

NATÁLIA DE SOUZA CAVALCANTI

**RESÍDUOS DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO CORRETIVO DE
SOLO SALINO-SÓDICO DE PERNAMBUCO**

RECIFE

2014

NATÁLIA DE SOUZA CAVALCANTI

**RESÍDUOS DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO CORRETIVO DE
SOLO SALINO-SÓDICO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim

Co-orientadora: Prof^a Dr. Maria de Fátima Cavalcanti Barros

RECIFE

2014

Ficha catalográfica

C376r Cavalcanti, Natália de Souza
Resíduos de gesso da construção civil como corretivo de solo salino-sódico de Pernambuco / Natália de Souza Cavalcanti. – Recife, 2014.
73 f. : il.

Orientador: Mário Monteiro Rolim.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, 2014.

Referências.

1. Solos afetados por sais 2. Resíduos de gesso
3. Construção civil I. Rolim, Mário Monteiro, orientador
II. Título

CDD 631

NATÁLIA DE SOUZA CAVALCANTI

**RESÍDUOS DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO CORRETIVO DE
SOLO SALINO-SÓDICO DE PERNAMBUCO**

Dissertação defendida e aprovada em 30 de setembro de 2014 pela banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim
UFRPE/DEAGRI

Co-orientadora:

Prof. Dr. Maria de Fátima Cavalcanti Barros
UFRPE/DEPA

Examinadores:

Prof. Dr. Hans Raj Gheyi
UFCEG/DEAg

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva
UFRPE/DEAGRI

“Hoje tenho o que posso, mas luto pelo que mereço.”

(Karen Cavalcanti, minha mãe)

*A Deus, por ser a fonte de toda minha inspiração e força
e aos meus pais Karen e João por todo o apoio e carinho.*

Dedico

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pelo seu amor infinito e por ser minha fonte de inspiração, iluminando minha mente para concretização do presente trabalho, sendo sempre minha fonte inesgotável de esperança e fé - sem ele nada seria possível.

Ao Programa de Pós graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de crescimento e pelo suporte técnico e acadêmico sem a qual não teria sido possível obter meu título de mestre. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento que possibilitou a realização das pesquisas do presente estudo.

Aos meus amados pais, por serem minha fortaleza e que com muito amor e dedicação não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Muito obrigada por toda a ajuda, cada um de sua forma, e por me tornarem a pessoa que sou hoje.

A minha família, pelo cuidado e atenção, especialmente à minha adorada avó Marluce Pena por todo seu carinho e apoio.

A Carlos Gustavo Lopes Lima por todo seu amor e paciência nas horas mais difíceis, pelos conselhos e por ter me ajudado sempre que lhe solicitei nas suas horas vagas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim por ter acreditado em mim. Agradeço toda a dedicação e paciência na orientação e incentivo, fatores muito importantes para tornar possível a conclusão deste trabalho.

A minha Co-Orientadora Prof. Dr. Maria de Fátima Cavalcanti Barros, o meu muito obrigada por todo auxílio, dedicação e todos os ensinamentos prestados sem os quais não seria possível a realização e conclusão desse trabalho.

De forma especial a Prof. Dr. Anamaria Souza Duarte por toda sua ajuda na realização deste trabalho, tirando minhas dúvidas e revisando o que eu escrevia e, principalmente, pela sua amizade, sempre me ouvindo e aconselhando nas horas que mais precisei. Uma grande amiga que quero levar para onde for.

Aos colegas da pós por sua companhia e amizade nestes dois anos de convivência, especialmente à Carolyne Andrade, pela companhia principalmente nas horas de estudos e à Jucicléia Soares pela sua amizade e por ter me dado àquela ajuda na reta final sem o qual não teria sido possível a conclusão dessa etapa.

Aos colegas de laboratório Andréa Raquel, Uilka Tavares e Núbia Meireles minhas “irmãs” pela ajuda, sempre que solicitei, pela companhia diária e pelas boas risadas e

especialmente a Heitor Trajano por toda sua ajuda na execução desse trabalho, sempre muito prestativo e atencioso.

Aos professores do curso, por todo conhecimento repassado, tornando-se tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Ao pós-doutorando Gerônimo da Silva, sempre muito paciente tirando todas as minhas dúvidas e me ajudando sempre que o solicitei.

Aos responsáveis e os integrantes dos Laboratórios de Física do solo, Química do solo e Microbiologia do solo por permitirem a realização, nestes locais, de parte das análises químicas deste trabalho.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para finalização dessa etapa tão importante em minha vida, deixo aqui a minha enorme gratidão.

Sumário

	Página
Resumo	
Abstract	
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	3
2.1 Formação de solos afetados por sais	3
2.2 Classificação de solos afetados por sais	6
2.3 Efeito dos sais nas propriedades físicas e químicas do solo	8
2.4 Recuperação de solos afetados por sais	11
2.4.1 Tipos de gesso utilizados na correção da sodicidade dos solos	14
2.4.1.1 Gesso mineral	15
2.4.1.2 Gesso agrícola	16
2.4.1.3 Resíduo de gesso da construção civil	19
3. Material e métodos	23
3.1 Descrição da área	23
3.2 Coleta das amostras	23
3.3 Preparo e caracterização física do solo	24
3.4 Preparo e caracterização química do solo	26
3.5 Coleta e caracterização do gesso	27
3.6 Determinação da necessidade de gesso	28
3.7 Preparo das unidades experimentais	29
3.8 Delineamento experimental	30
3.9 Condução do experimento	31
3.10 Análises estatísticas	32
4. Resultados e Discussão	33
4.1 Condutividade elétrica (CE), Na ⁺ solúvel e pH no lixiviado	33
4.2 Condutividade hidráulica saturada (k _o) do solo	37
4.3 Condutividade elétrica (CE), pH, cátions solúveis e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato de saturação	39
4.4 Cátions trocáveis, percentagem de sódio trocável (PST) e gesso remanescente no solo	48
5. Conclusões	59
6. Referências	60

Lista de figuras

	Página
Figura 1 - Representação do processo de sodificação do solo	6
Figura 2 - Reação de troca entre os íons Ca^{2+} presente no gesso e o sódio presente no solo sodificado	13
Figura 3 - Localização geográfica do Município de Ibimirim no Estado de Pernambuco, Brasil	23
Figura 4 - Área de coleta das amostras de solo afetado por sais no perímetro irrigado de Ibimirim, PE	24
Figura 5 - Indicação da caçamba de acondicionamento do resíduo de gesso coletado na obra	28
Figura 6 - Visão frontal do experimento com as colunas de PVC utilizadas como parcelas experimentais	30
Figura 7 - Condutividade elétrica no lixiviado em função do tipo de gesso e das lâminas de lixiviação aplicadas equivalentes a 1, 2, 3 e 4 VP	34
Figura 8 - Sódio lixiviado em função das lâminas de lixiviação aplicadas equivalentes a 1, 2, 3 e 4 VP	36
Figura 9 - pH no lixiviado em função das lâminas de lixiviação aplicadas equivalentes a 1, 2, 3 e 4 VP	36
Figura 10 - Condutividade hidráulica saturada dos solos (k_o) durante a passagem das lâminas de lixiviação.	38
Figura 11 - Condutividade elétrica do extrato de saturação em função das lâminas de lixiviação equivalentes aos volumes de poros	41
Figura 12 - Sódio no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	42
Figura 13 - Cálcio no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	44
Figura 14 - Potássio no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	45
Figura 16 - RAS no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	47
Figura 17 - Sódio trocável do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	49

Figura 18 - Cálcio trocável do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	51
Figura 19 - Potássio trocável do solo em função das lâminas de lixiviação equivalentes aos volumes de poros	52
Figura 20 - Magnésio trocável do solo em função das lâminas de lixiviação equivalentes aos volumes de poros	53
Figura 21 - Percentagem de sódio trocável do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	54
Figura 22 - Gesso remanescente no solo (método qualitativo) em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	57
Figura 23 - Gesso remanescente no solo (método quantitativo) em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas	58

Lista de tabelas

	Página
Tabela 1 - Classificação de solos afetados por sais conforme Richards (1954)	7
Tabela 2 - Classificação de solos afetados por sais conforme McNeal (1976)	7
Tabela 3 - Características físicas da amostra de solo	25
Tabela 4 - Características do extrato da pasta de saturação dos solos	26
Tabela 5 - Características químicas do solo	27
Tabela 6 - Caracterização química dos gessos utilizados como corretivo de sodicidade no experimento	28
Tabela 7 - Resumo de análise de variância referente à condutividade elétrica (CE), pH e teores de sódio (Na^+) no lixiviado do solo.	33
Tabela 8 - Resumo de análise de variância referente a condutividade elétrica (CE), pH, teores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}) e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato de saturação do solo.	40
Tabela 9 – Resumo de análise de variância referente aos teores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}) no complexo de troca, percentagem de sódio trocável (PST) e gesso remanescente (GR) no solo.	68

Resumo

O gesso é um material que vem sendo largamente utilizado na construção civil, contudo, existe grande preocupação em relação à gestão e gerenciamento dos seus resíduos, podendo a utilização na agricultura, ser uma alternativa viável de destinação para corrigir a sodicidade de solos sódicos e salino-sódicos. Com o objetivo de avaliar a eficiência do resíduo de gesso da construção civil como corretivo de solo salino-sódico foi conduzido um experimento em colunas preenchidas com amostra de solo salino-sódico de Ibimirim, PE, instaladas no laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizados, em arranjo fatorial 2×4 (dois tipos de gesso e quatro lâminas de lixiviação), com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os corretivos utilizados no experimento para a recuperação do solo foram o gesso mineral (G1) e o resíduo de gesso da construção civil (G2), ambos com granulometria < 0,3 mm. A dose de gesso utilizada correspondeu a 100% da necessidade de gesso (NG) do solo e as lâminas de lixiviação aplicadas foram equivalentes a 1, 2, 3 e 4 vezes o volume de poros (VP). As variáveis avaliadas no lixiviado foram a condutividade elétrica, o sódio solúvel e o pH; no extrato da pasta saturada a condutividade hidráulica saturada; a condutividade elétrica, o pH, os cátions solúveis e a relação de adsorção de sódio; e no solo os cátions trocáveis, percentagem de sódio trocável e o gesso remanescente do solo. A salinidade e sodicidade do solo foram corrigidas com a aplicação de 100% NG e uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP ($CE < 4 \text{ dS m}^{-1}$; $PST < 15\%$ e $RAS < 13 (\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$). O resíduo de gesso da construção civil foi tão eficiente na correção da sodicidade do solo quanto o gesso mineral. A utilização de resíduos de gesso da construção civil como corretivo químico da sodicidade do solo, apresenta-se como alternativa viável na agricultura.

Palavras chaves: solos afetados por sais; resíduos de gesso; construção civil.

Abstract

Gypsum is a material that has been widely used in construction, however, there is great concern for management of their waste, agricultural use may be a viable alternative destination to correct sodicity of sodic and saline-sodic soils. Aiming to evaluate the efficiency of gypsum waste from construction as corrective of saline-sodic soil, an experiment was carried out in columns filled with soil sample saline-sodic from Ibimirim, PE, installed in the Laboratory of Soil Mechanics and Utilization of Waste of Department of Agricultural Engineering, Federal Rural University of Pernambuco. The treatments were arranged in a completely randomized design in a factorial 2×4 (two types of gypsum and four leaching depths), with five replicates, totaling 40 experimental units. The corrective used in the experiment for the recovery of the soil were the mineral gypsum (G1) and the residue of gypsum of civil construction (G2), both with particle size <0.3 mm. The amount of gypsum used was 100% of the gypsum requirement (NG) and the leaching depths applied were equivalent to 1, 2, 3 and 4 pore volume (PV). The variables evaluated on the leachate were electrical conductivity, soluble sodium and pH; on the saturated paste extract saturated hydraulic conductivity, electrical conductivity, pH, soluble cations and sodium adsorption ratio; and on the soil the exchangeable cations, percentage of exchangeable sodium and remaining gypsum in soil. The salinity and soil sodicity were corrected by application of 100% NG and a depth leaching equivalent 3 PV ($EC < 4 \text{ dS m}^{-1}$; $PST < 15\%$ and $RAS < 13 \text{ (mmol L}^{-1})^{1/2}$). The residue of gypsum of construction was so effective in the correction of soil sodicity as the mineral gypsum. The use of waste of gypsum of construction as chemical corrective of soil sodicity is presented as a viable alternative in agriculture.

Keywords: salt affected soils; gypsum waste; civil construction.

1. Introdução

Problemas de solos afetados por sais vêm sendo apresentados em diversas partes do mundo, ocasionando o abandono de extensas áreas agricultáveis. A formação desse tipo de solo pode se dar naturalmente ou devido à ação antrópica, sendo esta última, a causadora dos maiores problemas de salinização e, ou, sodificação dos solos, principalmente, em áreas que apresentam clima árido e semiárido, onde há predominância de baixa precipitação, altas taxas evaporativas e adoção do manejo inadequado da irrigação e ineficiência da drenagem. O excesso de sais no solo ocasiona efeitos diretos sobre o potencial osmótico e promove um desbalanço nutricional nas plantas em detrimento da competição no processo de absorção entre os sais e os nutrientes, prejudicando o desenvolvimento das plantas nele cultivadas. Quando a predominância é de sódio, os parâmetros físicos, químicos e físico-hídricos do solo são diretamente afetados, reduzindo, principalmente, a infiltração da água e prejudicando o desenvolvimento dos vegetais.

Atualmente, existem duas técnicas fundamentais empregadas para a recuperação de solos afetados por sais e/ou sódio: a) lixiviação dos sais através da aplicação de lâminas d'água quando o problema é a alta salinidade; e b) aplicação de corretivo químico como fonte de cálcio e posterior lixiviação para eliminação do caráter sódico do solo.

Para a correção da sodicidade do solo, podem ser utilizados vários corretivos químicos, como gesso mineral, gesso agrícola, cloreto de cálcio, ácido sulfúrico, entre outros. Contudo, por estar disponível em grande quantidade, ser de fácil acesso, apresentar eficiência comprovada por diversos estudos na redução dos teores de sódio trocáveis presentes no solo, e principalmente, por poder ser utilizados em todos os tipos de solo independente das suas características químicas, o gesso mineral é o mais utilizado para a correção da sodicidade de solos afetados por sais.

O gesso é um insumo muito utilizado na construção civil no Brasil, consumindo, aproximadamente, 95% da produção total de gesso no país. A larga utilização deste material se deve à sua grande disponibilidade, principalmente, nos Estados atendidos pelo Pólo gesseiro do Araripe, como é o caso de Pernambuco; e do mesmo ser empregado na fabricação de placas para forro, painéis, divisórias, blocos pré-moldados, pisos e revestimentos, entretanto, sua utilização gera também grandes quantidades de resíduos.

Atualmente, no Brasil, a construção civil despende 30% do gesso utilizado nas obras, sendo um resíduo de difícil gestão, o que denota que o setor tem o desafio de

conciliar uma atividade produtiva de ampla ascensão com condições que levem a um desenvolvimento menos agressivo ao meio ambiente.

O maior problema relacionado ao gerenciamento dos resíduos de gesso se deve ao seu poder contaminante. Desta feita, tanto na obra quanto num aterro, o resíduo deve ser devidamente separado dos demais, pois, o mesmo, ao entrar em contato com a matéria orgânica, umidade e condições anaeróbicas, com baixo pH, e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos, condições presentes em muitos aterros sanitários, pode formar gás sulfídrico (H_2S), que contribui para o efeito estufa além de, quando não manejado adequadamente, contaminar o solo e o lençol freático e ser tóxico para as plantas.

Neste sentido, na busca por prover tecnologias de tratamento e reciclagem para os resíduos de construção e demolição, a Resolução CONAMA nº 431/2011, aponta que o resíduo de gesso, antes enquadrado como resíduo sem tecnologia economicamente viável de reciclagem (classe C), pela Resolução CONAMA 307/2002, possam ser reciclados e/ou, reutilizados para outras atividades, podendo a agricultura, ser uma potencial alternativa de destinação como corretivo de sodicidade.

O reaproveitamento dos resíduos de gesso na agricultura como corretivo químico de solos afetados por excesso de sódio trocável se mostra uma excelente ferramenta de gestão deste material, pois minimiza o impacto ao meio ambiente e preserva os recursos minerais e energéticos utilizados pela construção civil, além de ser de fácil aquisição e mostrar-se eficaz para tal fim, permitindo também a minimização dos prejuízos ambientais consequentes da disposição inadequada destes resíduos, assim como o aumento da vida útil dos aterros sanitários.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo comparar a eficiência do gesso mineral (G1) e do resíduo de gesso da construção civil (G2) como corretivos químicos da sodicidade de solo salino-sódico do sertão pernambucano e avaliar o comportamento da salinidade e sodicidade do solo após a aplicação de G1 e G2 e diferentes lâminas de lixiviação.

2. Revisão de literatura

2.1 Formação de solos afetados por sais

Segundo a FAO (2006), a área ocupada por solos na superfície terrestre é de 13,2 bilhões de hectares, destes 7 bilhões aráveis, mas apenas 1,5 bilhões cultivados, incluindo-se, os 220 milhões de hectares cultivados sob irrigação. Ainda segundo a fonte, estima-se que 20% dos solos cultivados por meio de irrigação tenham algum problema associado ao excesso de sais, e/ou sódio trocável, resultando em perdas médias de 0,25 milhões de hectares por ano de produção.

Na Austrália, o National Land and Water Resources Audit (2001), estima que a área de terra no país, com "um alto potencial para desenvolver salinidade" é de 5,7 milhões de hectares e deve chegar a 17 milhões de hectares em 2050. Casos de extensas áreas afetadas por sais, também são encontrados na Europa em países como a Hungria (Micheli et al., 2002) e na Bulgária, onde 35.500 hectares de terra já estão afetados por sais (Hengl et al., 2007). Em Israel, as águas residuárias tratadas são utilizadas em cerca de 50% das áreas irrigadas (Levy et al., 2014), o que vem acarretando, segundo Levy & Assouline (2011), problemas de degradação da estrutura e na estabilidade dos solos Israelenses afetando, conseqüentemente, suas propriedades hidráulicas. Isso provavelmente vem ocorrendo, segundo Balks et al. (1998), porque a irrigação com água residuária frequentemente ocasiona a elevação da sodicidade do solos tendo em vista a média-alta salinidade e altas concentrações de sódio de muitos efluentes, acarretando a salinização e/ou sodificação dos solos irrigados com este tipo de água.

No Brasil, de acordo com Ribeiro et al. (2009), cerca de 160.000 km² (2%), do território apresentam alto teor de sais; e destes, 91.000 km² estão localizados na região Nordeste. Esta problemática vem afetando os Perímetros Irrigados desta região, onde, aproximadamente, de 25% a 30% das áreas irrigadas encontram-se afetadas por sais, o que corresponde, aproximadamente, a uma área de 9 milhões de hectares (Bernardo, 1997; Fageria & Gheyi, 1997; Gheyi, 2000; Barros et al., 2005 b; Silva et al., 2008).

No Estado de Pernambuco, Santos et al. (2010), relatam que a Cidade de Ibimirim possui o maior reservatório do Estado, sendo a agricultura irrigada, a atividade que demanda maior retirada de água; todavia, a eficiência de aplicação de água é baixa, o que deve-se a pouca capacitação dos irrigantes, do predomínio da irrigação por sulcos e também reflexo da ausência ou má difusão de tecnologias adequadas ao convívio com os

longos períodos de estiagens. Segundo Freire et al. (2003), em Ibimirim a ocorrência de solos afetados por sais, devido ao manejo inadequado da irrigação é corrente.

A principal fonte de todos os sais no solo provém dos minerais primários na camada superficial da crosta terrestre. Durante o processo de intemperismo químico os sais são gradualmente liberados tornando-se solúveis, denominando-se este processo de salinização primária. Esses sais são transportados para longe da sua fonte de origem por meio de fluxos superficiais ou subterrâneos. Os sais no fluxo das águas subterrâneas são gradualmente concentrados à medida que a água com os sais dissolvidos se movem de áreas mais húmidas para áreas menos húmidas e relativamente áridas e semi-áridas (Abrol et al., 1988).

Os solos afetados por sais, também denominados de salinos, salinos-sódicos ou sódicos, são solos que possuem concentrações excessivas de sais solúveis e/ou sódio trocável, em quantidades suficientes para prejudicar o desenvolvimento da maioria das plantas cultivadas (Richards, 1954; Barros et al., 2009).

A formação de solos afetados por sais em condições naturais depende de fatores como características do material de origem e das condições geomorfológicas e hidrogeológicas do local, ocorrendo comumente onde predominam condições de elevadas taxas de evaporação, alta insolação e baixa precipitação pluviométrica, condições estas que prevalecem nas regiões áridas e semi-áridas do mundo, incluindo-se as brasileiras (Richards, 1954; Barros et al., 2004; Costa et al., 2006). Segundo Bernstein (1975), problemas relacionados à salinidade e sodicidade de solos ocorrem, em sua maioria, em regiões áridas e semi-áridas. Os fatores descritos anteriormente associados a uma drenagem ineficiente, devido à existência de camadas impermeáveis próximas à superfície do solo, proporcionam o acúmulo de sais solúveis, e/ou, sódio trocável no mesmo, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Ribeiro et al., 2009).

Altas concentrações de sais no solo propiciam condições extremamente prejudiciais ao desenvolvimento da maioria das plantas, pois quando estes se encontram em excesso na solução do solo, ocorre uma redução da disponibilidade de água para as plantas, em decorrência da diminuição do potencial osmótico (Dias & Blanco, 2010). Embora as plantas tenham mecanismos de autoajuste osmótico, conseguindo sobreviver no ambiente salino, a energia empregada para manter estes mecanismos afetam negativamente o seu desenvolvimento (Willadino & Camara, 2010).

Contudo, apesar da intemperização dos minerais primários ser a principal fonte dos sais solúveis encontrados no solo, raros são os exemplos onde a liberação destes sais tenha

provocado diretamente problemas de salinização dos solos, visto que grande parte dos sais liberados são carreados pelas águas subterrâneas e/ou fluviais até os oceanos (Richards, 1954; Pizarro, 1985).

A salinização e sodificação são causadas mais intensamente devido às ações antrópicas, segundo Barros et al. (2005 a) as que geram os problemas mais sérios aos solos anteriormente produtivos, ocasionados pelo excesso de irrigação e drenagem ineficientes ou inexistentes, tornando-os afetados por sais e conseqüentemente degradados.

A água utilizada na irrigação quando possui excesso de sais solúveis e é aplicada com frequência e em volumes impróprios, associada a uma drenagem inadequada e altas taxas de evapotranspiração geram, com o tempo, acúmulo de sais no perfil e na superfície do solo, o que provoca redução da condutividade hidráulica do mesmo tornando-os ao longo do tempo, impróprios para o desenvolvimento vegetal, o que ocasiona quase sempre, abandono dos solos cultivados (Freire et al., 2003; Tavares Filho et al., 2012).

De acordo com Batista et al. (2002), a salinização proveniente da irrigação tem sido observada em regiões com precipitação pluviométrica anual de até 1.000 mm, sobretudo, em solos rasos e de drenagem deficiente. Além da reduzida precipitação pluviométrica, o elevado déficit hídrico resultante de altas taxas de evapotranspiração colabora para o processo de acúmulo de sais. Este déficit hídrico, segundo Ribeiro et al. (2003), impede que as precipitações promovam lavagens completas e frequentes dos perfis de solos irrigados, fazendo com que os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} e HCO_3^- em solução tendam a permanecer na zona radicular.

Os íons da solução do solo tendem a entrar em equilíbrio com os íons adsorvidos no complexo de troca, por isso, a solução do solo nestas condições está, em geral, com altas concentrações de sais. Contudo, quando os teores de Na^+ na água de irrigação chegam a valores elevados em relação aos de Ca^{2+} e Mg^{2+} , a solução pode ocasionar um processo de sodificação do solo, degradando suas características físicas (Ribeiro et al., 2009).

No processo de sodificação de origem antrópica, o sódio desloca para a solução do solo, o cálcio adsorvido no complexo de troca, formando facilmente compostos insolúveis devido à sua baixa solubilidade. Deste modo, ao deslocar o cálcio para a solução do solo e este perder o seu poder de troca, o Na^+ , presente em altas concentrações na solução do solo, consegue se adsorver e saturar quase em sua totalidade o complexo de troca do solo (Richards, 1954), como é mostrado na Figura 1:

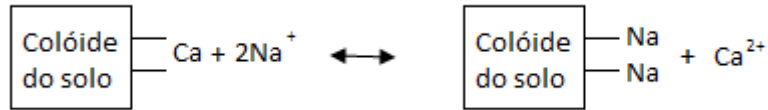


Figura 1: Representação do processo de sodificação do solo (Ribeiro et al., 2009)

Segundo Landon (1984), quando o sódio está presente em quantidades significantes, em relação aos outros cátions presentes, ele irá causar efeitos adversos, não somente às culturas, mas também às condições físicas do solo.

Solos com elevada concentração de sais solúveis, com exceção do sódio, apresentam maior propensão a flocular, em condições naturais, o que facilita a infiltração de água no solo, contudo dificulta ou até mesmo impede a absorção de água pelas plantas. Já os solos saturados com Na^+ apresentam-se naturalmente propensos á dispersão, o que acarreta a obstrução de poros e dificulta a infiltração de água e ar nos solos, prejudicando a sua capacidade produtiva e, causando efeitos tóxicos as plantas (Ribeiro et al., 2009).

Melo et al. (2008), mostram que a salinização e/ou, sodificação do solo é responsável pela redução na produção agrícola, acarretando, na maioria das vezes, o abandono de áreas agricultáveis gerando grandes prejuízos à economia regional. Segundo os mesmo autores, a recuperação desses tipos de solos é indispensável para que eles sejam reincorporados ao sistema produtivo.

Diante dos problemas mostrados, ocasionados pela presença de excesso de sais e/ou sódio trocável no solo, torna-se substancial a necessidade de um manejo adequado do sistema solo-água-planta, com vistas a promover o retorno da utilização das terras e melhoria da produção das culturas, trazendo, conseqüentemente melhorias socioeconômicas na vida dos que dependem da agricultura para sobreviver, além de reduzir os impactos ambientais causados pela salinidade e/ou sodicidade.

2.2 Classificação de solos afetados por sais

Atualmente, existem diversos sistemas propostos de classificação de solos afetados por sais, onde, dentre eles, alguns podem ser destacados. No sistema de classificação proposto por Richards (1954), são utilizadas como parâmetros a condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação (CE_{es}), a percentagem de sódio trocável (PST) e o pH a pasta saturada (pH_{ps}), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação de solos afetados por sais conforme Richards (1954)

Tipo de solo	CE _{es} (dS m ⁻¹)	PST	pH _{ps}
Não afetado por sal	<4	<15	<8,5
Salino	>4	<15	<8,5
Salino-sódico	>4	>15	≥8,5
Sódico	<4	>15	≥8,5 e ≤10

CE_{es}- Condutividade elétrica do extrato de saturação; PST- Percentagem de sódio trocável; pH_{ps}- pH da pasta saturada

Os solos para serem classificados como salinos devem conter concentrações excessivas de sais solúveis, de modo que a CE_{es} seja maior do que 4,0 dS m⁻¹ a 25°C, a PST seja menor que 15% e o pH_{ps} menor que 8,5 (Richards, 1954). Esses solos apresentam, no período de seca, a superfície coberta por crostas salinas esbranquiçadas (Ribeiro et al., 2009).

McNeal (1976) classifica o solo quanto à salinidade e sodicidade baseado na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE), percentagem de sódio trocável (PST) e relação de adsorção de sódio (RAS), Tabela 2.

Na Austrália, Rengasamy & Olsson (1991), citam a ocorrência de três tipos de solos sódicos: solos sódicos alcalinos, solos sódicos neutros e solos sódicos ácidos. Fazem parte dos solos sódicos alcalinos os solos com elevada concentração de CO₃²⁻ e CO₃⁻ solúveis, sendo estes os principais fatores responsáveis pelo seu pH alcalino. Os solos sódicos neutros ocorrem em áreas com precipitação pluviométrica < 550 mm ano⁻¹, sendo caracterizados pela baixa concentração de CO₃²⁻ e CO₃⁻ solúveis, com predominância de Cl⁻ e SO₄²⁻ solúveis. Os solos sódicos ácidos são pouco comuns, porém geralmente ocorrem em áreas com precipitação pluviométrica de 550-750 mm ano⁻¹ e são caracterizados pela substituição de cálcio e magnésio do complexo de troca e consequente lixiviação.

Tabela 2: Classificação de solos afetados por sais conforme McNeal (1976)

Tipo de solo	CE _{es} (dS m ⁻¹)	RAS (mmol L ⁻¹) ^{1/2}	PST (%)
Não afetado por sal	<4	<13	<15
Salino	>4	<13	<15
Salino-sódico	>4	>13	>15
Sódico	<4	>13	>15

CE_{es}- Condutividade elétrica do extrato de saturação; RAS- Relação de adsorção de sódio PST- Percentagem de sódio trocável

Naidu et al. (1995) definiram que para as condições australianas se considera um solo sódico quando o mesmo apresenta uma PST > 6, da superfície até 1 m de profundidade. Os autores também relataram que o termo solos sódicos deve ser usado para

fazer referência às situações em que o comportamento físico do solo é consideravelmente afetado pela presença de sódio trocável (degradação da estrutura).

O efeito negativo da PST nas propriedades físicas do solo depende além dos níveis de PST, de outros fatores, como: presença de sais na solução do solo, textura, tipo de argila e CE da água utilizada na irrigação (Ribeiro et al., 2009).

2.3. Efeito dos sais nas propriedades físicas e químicas do solo

As elevadas concentrações de sais e de sódio no solo geram efeitos adversos e preocupantes sobre o solo e as plantas, tendo como consequência a diminuição ou até mesmo a perda da produtividade dos solos, além de enormes prejuízos socioeconômicos, principal causa dos transtornos nos perímetros irrigados (Barros et al., 2009). As condições de degradação nos perímetros irrigados estão comumente relacionadas aos processos de salinização e/ou, sodificação dos solos, pois estes processos afetam diretamente as propriedades físico-químicas dos sais que compõem a solução do solo, o equilíbrio entre cátions adsorvidos e, em solução, os fenômenos de interface sólido-líquido.

A salinidade e/ou sodicidade são fatores que afetam diretamente as características físicas e químicas dos solos, influenciando diretamente na floculação ou dispersão e, conseqüentemente, na estrutura e condutividade hidráulica destes.

Em solos de clima tropical, a troca de íons adsorvidos na superfície dos colóides com os íons presentes na solução do solo favorece o desenvolvimento da fertilidade do solo (Kokovich & Ribeiro Jr, 2008). Já nos solos afetados por sais a troca iônica está relacionada intimamente ao processo de sodificação do solo e a recuperação dos solos salino-sódicos e sódicos (Ferreira et al., 2010).

Quando em condições ambientais e geológicas adequadas, águas contendo elevados teores de sais podem ser utilizadas para fins de irrigação, desde que haja o manejo correto da mesma, e ainda obter respostas produtivas, uma vez que a elevação de sais no solo, principalmente de Ca^{2+} e Mg^{2+} , em detrimento dos de Na^+ propicia diminuição da camada difusa, em virtude da ocupação do complexo de troca do solo por íons de menor raio hidratado, favorecendo a floculação das partículas de argila, melhorando assim, a sua estrutura e seu espaço poroso, o que permite que haja melhores condições de translocamento de água e de nutrientes, de trocas gasosas e de calor, de desenvolvimento radicular, ocasionando o melhor desenvolvimento das plantas (Ayers & Westcot, 1999; Almeida Neto, 2007).

Considerando que os solos são compostos por partículas de tamanho e características físicas e químicas diversas, o comportamento dos elementos químicos presentes nele varia amplamente, dependendo, sobretudo, das cargas elétricas das partículas que constituem o solo, as quais estão relacionadas à predominância das forças de repulsão ou atração exercidas por tais partículas. Os fenômenos de dispersão e floculação importantes no manejo do solo, principalmente nos afetados por sais, são diretamente relacionados às forças de atração e repulsão das partículas do solo, as quais são influenciadas por diversos fatores, sendo as forças de van der Waals-London, a dupla camada difusa e efeito do magnésio trocável, os de maior importância em solos salinos e/ou sódicos, pois produzem grande influência na floculação e dispersão das partículas de argila do sistema solo-solução (McKissock et al., 2000; Ribeiro et al., 2009; Brady & Weil, 2013).

Contudo, segundo Richards (1954), o aumento da concentração de sais solúveis, em especial o Na^+ , na solução do solo de zonas áridas e semiáridas pode fazer com que o sódio se torne o cátion predominante, visto que os sais de cálcio e magnésio podem formar compostos facilmente precipitáveis e pouco solúveis na água, como o CaCO_3 e o MgCO_3 .

Nos solos não afetados por sais, há sempre uma tendência de existir um equilíbrio químico entre os sais presentes em sua solução. No entanto, quando há um excesso de sais no solo e a sua solução torna-se muito concentrada, alguns sais formam compostos, deixando de ser solúveis na solução do solo (Richards, 1954). A formação de precipitados está relacionada à solubilidade que cada substância apresenta, isto é, a quantidade máxima limite em que cada substância consegue se dissolver em um solvente expresso em concentração molar por litro.

Ressalta-se, ainda, que este comportamento só se apresentará em solos que contenham carbonato em sua composição, o que não é o caso dos solos do semiárido pernambucano, conforme mostram os resultados de Barros (1986) e Barros et al. (2006), quando trabalharam com solos salino-sódicos e sódicos localizados em Custódia e Ibimirim, ambos em Pernambuco. Em suas respostas foi observado que houve ausência de carbonatos e baixos teores de bicarbonatos ($\leq 4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), de modo que a disposição ao acúmulo excessivo de sódio no complexo de troca destes solos não estão relacionados à formação de compostos insolúveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} , mas sim pelo uso de águas de irrigação com altas concentrações de Na^+ em detrimento das concentrações de cálcio e magnésio, aliadas às condições ambientais e geológicas típicas destas regiões, além do manejo inadequado da irrigação e drenagem ineficiente dos solos, contribuindo para a sodificação destes.

A dispersão dos colóides altera, de forma bastante significativa, os atributos físicos do solo, fazendo com que estes desenvolvam condições desfavoráveis à germinação e ao crescimento das plantas; somando-se a isto, o sódio solúvel, em elevadas concentrações, exerce efeito tóxico às plantas.

A dispersão das partículas do solo, ocasionada pela expansão e contração das argilas saturadas com Na^+ , em função da umidade do solo, degrada a estrutura e altera a geometria dos poros do solo, reduzindo, drasticamente a sua permeabilidade (Bresler et al., 1982). A diminuição dos macroporos dos agregados do solo, em função do aumento da camada difusa, ocasiona o aumento da densidade do solo, o que afeta diretamente a expansão do sistema radicular das plantas e diminui a retenção de água no solo, além de refletir também nos seus parâmetros físico-hídricos, de modo que há a diminuição da condutividade hidráulica e da infiltração de água no solo (Dias & Blanco et al., 2010; Ferreira et al., 2010).

Quando as partículas do solo estão dispersas, o mesmo se torna mais susceptível à erosão e à degradação, e, em áreas sem cobertura vegetal, a superfície do solo ao entrar em contato com as gotas de chuva e, ou, irrigação, pode vir a se compactar, reduzindo, a infiltração de água no solo e ocasionando, devido ao escoamento superficial, erosão e enxurradas (Oliveira, 2000; Yu et al., 2003; Melo et al., 2008). Além disso, a compactação da camada superficial ocasiona também o escoamento na superfície acarretando processos erosivos pela desagregação e transporte de sedimentos (Brandão et al., 2006), assim como também compromete o suprimento hídrico e gasoso das raízes (Beulter & Centurion, 2004; Michelon et al., 2009).

Ballesteros et al. (2014), avaliando diferentes tratamentos (tipos de gesso + culturas) para redução da perda de solo causada pela exploração de jazidas de gesso na Espanha, concluíram que a aplicação de gesso no solos melhorou a produtividade e o crescimento das culturas plantadas no local, além de reduzir a perda de solo.

De modo geral, pode-se afirmar que não só a quantidade, mas também o tipo de cátion presente na solução do solo e no complexo de troca influenciam nas características físicas e químicas dos solos, podendo ser benéfica ou maléfica, dependendo de fatores como: composição mineralógica e química do solo, fatores climáticos e geológicos, manejo e composição físico-química das águas de irrigação. No tocante aos atributos químicos, observa-se que a salinidade/sodicidade afetam, principalmente, a dupla camada difusa e as forças de van der Waals-London. Além disso, em relação aos atributos físicos do solo, observa-se que os mais afetados pelo excesso de sais de sódio são a porosidade, a

densidade, a permeabilidade e a estrutura, já que estão diretamente relacionados aos processos de floculação e dispersão das argilas, conforme explicado anteriormente.

2.4 Recuperação de solos afetados por sais

A recuperação de solos salinos, salino-sódicos e sódicos tem como principal objetivo diminuir a concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no solo a níveis que não prejudiquem o desenvolvimento das culturas. A redução do grau de salinidade engloba o processo de solubilização dos sais e a subsequente retirada destes pela água de percolação. A redução da concentração de sódio trocável envolve o seu deslocamento do complexo de troca pelo cálcio antes do processo de lixiviação (Barros, 2001).

Diversas são as técnicas empregadas para recuperar os solos afetados por sais e/ ou sódio, dentre elas, pode-se destacar a lixiviação dos sais, a aplicação de corretivos químicos como fonte de cálcio e a drenagem do solo, que são as técnicas fundamentais, bem como a combinação destas, tendo em vista que as mesmas atuam diretamente na eliminação ou correção dos problemas de salinidade e sodicidade (Miranda, 2013). A correção de desses tipos de solos deve seguir uma aplicação criteriosa de tecnologia específica desenvolvida para as condições particulares de cada região, objetivando propiciar condições favoráveis de umidade, aeração e balanço de sais ao sistema radicular das culturas (Costa et al., 2005).

Barros et al. (2005 b) afirmam que, para recuperação de solos salinos, o método mais eficaz a ser utilizado é a lixiviação dos sais solúveis presentes no solo, mediante a aplicação de lâminas de água em quantidade suficiente para dissolver os sais solúveis e os transportarem da zona radicular das plantas para camadas mais profundas do solo ou para o sistema de drenagem. Esta informação corrobora com o que foi dito por Wang et al. (2012), quanto estes afirmam que a chave para o controle de salinidade e a sustentabilidade da irrigação é a lixiviação dos sais do solo.

Fatores como a manutenção da drenagem interna do solo de modo que o lençol freático fique a profundidade de 1,8 a 2,0 m da superfície do solo, e a adoção de profundidades de recuperação adequadas, garantem a efetividade do processo de lixiviação. Ressalta-se que a profundidade de recuperação irá depender do tipo de cultura a ser explorada, podendo variar de 0,6 m à 1,5 m, e que o tempo para que a lixiviação dos sais ocorra no perfil do solo está relacionado a fatores como: escoamento dos sais e da água dentro do perfil do solo, características físicas do solo, condições climáticas,

características das culturas cultivadas e manejo da irrigação (Ribeiro et al., 2009; Cavalcante et al, 2010).

A aplicação de lâminas de lixiviação de sais para recuperar solos salinos e salino-sódicos pode ser feita através de duas técnicas de aplicação de água, são elas (Pizarro, 1985): a) Lixiviação contínua: que consiste em aplicar uma lâmina de água continuamente no solo, a ponto de cobrir a superfície do mesmo com uma lâmina de 10 cm de altura pela adição frequente de água. Essa técnica permite que os sais sejam lixiviados mais rápido e que o cultivo seja feito mais cedo, sendo recomendado para solos de boa permeabilidade, lençol freático profundo e alta taxa de evaporação; b) Lixiviação intermitente: esse tipo de lixiviação é mais recomendada para solos que tenham reduzida capacidade de drenagem, lençol freático elevado e água subterrânea de baixa salinidade, devendo ser aplicada nos períodos de baixa taxa de evaporação.

Segundo Ferreira (2002), por utilizar menos água e permitir uma lixiviação mais eficiente, isto é, utiliza-se menor volume de água, embora requeira mais tempo, a técnica de lavagem intermitente é a mais recomendada para regiões com problemas de disponibilidade de água e com altas taxas de evaporação, como é o caso das regiões do agreste e sertão pernambucanos.

Tavares Filho et al. (2012), em pesquisa com solos salino-sódicos do Município de Ibitimir, PE verificaram que a aplicação de uma lâmina de lixiviação referente a três vezes o volume de poros (VP) do solo e 100% da necessidade de gesso (NG) reduziu a CE do extrato de saturação dos solos S1 e S2 que eram de 6,22 e 35,96 dS m⁻¹ respectivamente, para valores menores do que 4 dS m⁻¹, sendo indicada para a correção da salinidade dos solos estudados.

Wang et al. (2012), avaliando o efeito da aplicação em solos salino-sódicos provenientes de Xinjiang, Noroeste da China, em um período de 2008 a 2010, avaliaram os efeitos da aplicação diferentes volumes de água, em solo salino-sódico, sobre o crescimento do algodão e salinidade do solo. Os autores chegaram a conclusão que depois de três anos, tanto a salinidade do solo (CE) quanto a sodicidade (RAS) diminuíram significativamente na camada de 0-120 cm de profundidade, porém observou-se maior redução na camada de 0-40 cm de profundidade do solo.

A correção de solos sódicos e salino-sódicos consiste na combinação de duas técnicas, a saber: a aplicação de um corretivo seguido posteriormente da aplicação de lâmina d'água, visto que, a recuperação desse tipo de solo requer que o excesso de sódio trocável seja substituído pelo cálcio e que o produto dessa reação seja, necessariamente,

removido da zona radicular, por lixiviação, e como a reação de troca é reversível, se o sódio que foi trocado pelo cálcio não for removido por lixiviação, ele voltará a sodificar o solo (Barros et al., 2005 a; Freire & Freire, 2007).

Na correção dos solos salino-sódicos e sódicos, podem ser utilizados vários corretivos como gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio, ácido sulfúrico. Contudo, o gesso é o produto mais empregado por apresentar menor custo, ser de simples manuseio e fácil de ser encontrado no mercado (Barros et al., 2009). No solo, o gesso, ao entrar em contato com a água, reage com o sódio, e este ao passar para solução do solo é removido por lixiviação, Figura 2.



Figura 2: Reação de troca entre os íons Ca^{2+} presente no gesso e o sódio presente no complexo de troca (Ribeiro et al., 2009)

Segundo Ribeiro et al. (2009), os corretivos considerados como sais solúveis de cálcio (ex: gesso e cloreto de cálcio) são os únicos tipos de corretivos de sodicidade que podem ser utilizados em todos os tipos de solos independente de suas características químicas, contudo, o elevado custo envolvido na utilização do cloreto de cálcio torna seu uso na agricultura inviável. Ainda segundo os autores, diferentemente dos sais solúveis de cálcio, os corretivos ácidos ou formadores de ácidos (ex: enxofre, ácido sulfúrico) e os pouco solúveis de cálcio (ex: calcário) possuem restrições de uso em função das características químicas do solo. No caso dos corretivos ácidos ou formadores de ácidos, para que estes sejam eficientes na correção da sodicidade, deve haver presença de CaCO_3 no solo a ser corrigido, já os corretivos pouco solúveis e cálcio só devem ser utilizados em solos de $\text{pH} < 7,5$.

É válido ressaltar que o gesso ($\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) tem a solubilidade em água de $2,04 \text{g L}^{-1}$, enquanto o NaCl tem solubilidade de 358g L^{-1} , isto é, consegue-se dissolver uma massa muito maior de NaCl em relação ao gesso num mesmo volume de solvente. Ribeiro et al. (2009) e Ferreira et al. (2010) explicam que em soluções complexas, como a solução do solo, a solubilidade do gesso, eleva-se para $7,09 \text{g L}^{-1}$ com a adição de 358g L^{-1} de NaCl , sendo esta uma importante informação no contexto da recuperação de solos afetados por sais. Ainda segundo os mesmos autores, a solubilidade pode ser influenciada por

fatores como o temperatura, pH, natureza do solo e força iônica. Suarez & Jurinak (2012) afirmam que a adição de sais que contém íons, tais como Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- e NO_3^- , aumentam a solubilidade do gesso por efeito da força iônica, ao passo que a adição de sais que contém Ca^{2+} ou SO_4^{2-} diminuem a solubilidade do gesso pelo efeito do íon comum.

Melo et al. (2008), trabalhando com solos salino-sódicos de Custódia, PE, constataram efeito benéfico na capacidade de transmissão de água e na correção da sodicidade dos solos devido à aplicação do gesso. O que se confirma com o trabalho realizado por Barros et al. (2006), ao trabalhar com colunas preenchidas com Neossolo Flúvico salino-sódico proveniente de Custódia, PE, que relataram que a aplicação de gesso corrigiu a PST para valores menores que 15% para todas as amostras estudadas, e que a partir do nível de 100% NG e 2,5 VP ocorreu a correção da sodicidade do solo. Ainda neste sentido, Rasouli et al. (2013), trabalhando com solos sódicos em área semiárida do Irã, recomendam a aplicação de 100% NG para a recuperação dos solos sódicos da região estudada, afirmando ser esta a forma mais eficaz em termos de custos de recuperação de solo sódico.

Estudos realizados por Miller et al. (1989) e Yu et al. (2003) comprovaram que os solos tratados com gesso tiveram a perda de solo reduzida durante o processo de lixiviação, além de um aumento significativo na taxa de infiltração de água no solo.

2.4.1 Tipos de gesso utilizados na correção da sodicidade dos solos

Comumente são utilizados dois tipos de gesso para corrigir problemas de sodicidade nos solos: o gesso mineral, que é a gipsita triturada, e o gesso agrícola, subproduto advindo da fabricação do ácido fosfórico. Diversos são os estudos (Barros et al., 2004; Barros et al., 2005a; Santos et al., 2005; Barros et al., 2006; Silveira et al., 2008; Leite, et al., 2010; Tavares Filho et al., 2010; Vasconcelos, 2012) que comprovam a eficiência desses dois tipos de gesso na correção de solos salino-sódicos e sódicos.

Entretanto, estudos que utilizam resíduos de gesso da construção civil como corretivo de sodicidade do solo são escassos. Segundo Santos et al. (2014), a destinação final de resíduos de construção tem ocasionado grandes problemas ambientais e gastos para o setor da construção civil, especialmente, em se tratando de resíduos de gesso já que têm sua capacidade para reciclagem restringida. Estes resíduos possuem altos teores de cálcio em sua composição, mostrando-se como uma alternativa ao uso de gesso mineral e fosfogesso na recuperação de solos salino-sódicos e sódicos.

2.4.1.1 Gesso mineral

A gipsita é o mineral mais importante da classe dos sulfatos hidratados, e sua ocorrência é observada em rochas gipsíferas (Rocha, 2013). Este mineral é um sulfato de cálcio hidratado que possui a seguinte fórmula: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e tem a composição estequiométrica média de 32,5% de CaO, 46,6% de SO_3 e 20,9% de H_2O (Lyra, 2003; Cunha Filho et al., 2008). Os depósitos de gesso por vezes podem apresentar impurezas de óxidos de ferro, de magnésio e de cálcio; assim como, também, de carbonatos de cálcio e magnésio e sais de sulfato (Shainberg et al., 1989).

Durante o processo de calcinação, a gipsita perde 3/4 da água de cristalização, convertendo-se a um sulfato hemi-hidratado de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) o gesso (Lyra, 2003; Baltar et al., 2008), podendo se formar, dependendo do tipo de gipsita explorada e da forma de calcinação, o gesso β -hemi-hidratado, tipo de gesso menos nobre (puro), muito utilizado na construção civil e agricultura, e o gesso α -hemi-hidratado, que é um tipo de gesso mais nobre, sendo utilizado na medicina e odontologia. Cunha Filho et al. (2008) realizando estudos de caracterização estrutural e microestrutural do gesso produzido pelo pólo gesseiro de Araripina, PE, detectaram em suas amostras teores de gipsita não calcinada, hemidrato- β , anidrita insolúvel e carbonato de cálcio.

O potencial brasileiro do minério de gipsita, que até 2008 tinha como referência 1,22 milhões de toneladas, passou, no ano de 2011, para 3,2 milhões de toneladas de reservas efetivamente lavráveis, sendo a maior parte concentrada no Pólo Gesseiro do Nordeste do Brasil, um dos maiores depósitos exploráveis de gipsita do continente americano, abrangendo vários Estados da Federação, ocupando uma área de aproximadamente 24.000 km². A produção do Brasil representa, aproximadamente, 2,2% do total mundial, o que o coloca no ranking dos dez maiores produtores de gipsita do mundo (DNPM, 2010; DNPM, 2012 b; SINDUSGESSO, 2014).

O Estado de Pernambuco é o principal produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável por 91,5% do total produzido pelo país no ano de 2011, destacando-se o “pólo gesseiro do Araripe”, situado no extremo oeste pernambucano e formado pelos Municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri (Severo, 2011; DNPM, 2012 b; SINDUSGESSO, 2014).

Sabe-se que o consumo de gipsita na produção do gesso mineral é de 1 tonelada de minério de gipsita para cada 0,8 toneladas de gesso produzido. Sendo assim, com base nos dados levantados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), no ano de

2011, estima-se que a produção nacional de gipsita chegou a 3.000.000 toneladas, o que gerou uma produção em torno de 2.500.000 toneladas de gesso mineral (DNPM, 2012 b).

O gesso mineral, é utilizado largamente na correção de solos afetados por sais, por sua grande disponibilidade e por sua comprovada eficiência em reduzir o teor de sódio presente no solo, como mostram os resultados dos estudos realizados por Shainberg et al. (1989), Barros et al., (2004); Barros et al., (2005a); Barros et al. (2006), Melo et al. (2008), Tavares Filho et al. (2012) e Miranda et al. (2011). Por se tratar de um sal neutro, o gesso se dissocia, quando presente em solução, formando Ca^{2+} e SO_4^{2-} e, deste modo, reage na solução do solo. A reação de troca de cátions envolvendo o gesso se dá principalmente nos solos sódicos, tendo em vista que o íon Ca^{2+} por ser mais fortemente adsorvido ao solo que o íon Na^+ , grande parte do sódio trocável tenderá para a solução do solo (Raij, 1992). O íon sulfato tende a neutralizar o sódio em solução, originando o sulfato de sódio decaidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) que, após a adição de água, é drenado ou lixiviado para as camadas mais profundas do perfil do solo (Santos, 1995).

Estudos realizados por Leite (2012), utilizando diferentes doses de compostos orgânicos e gesso mineral na correção de solos salino-sódicos, comprovam a eficiência do gesso na redução da sodicidade, já que a aplicação de 100% da necessidade de gesso do solo exerceu efeito positivo sobre as propriedades do solo, ocasionado principalmente pela substituição do sódio adsorvido, já que a PST reduziu de 21,49%, no solo antes da aplicação do gesso como corretivo, para 9,21% após a sua correção.

Ilyas et al. (1997), estudando solos salino-sódicos dos Paquistão, observou que a incorporação de 75% da necessidade de gesso do solo e a utilização de rotação de culturas aumentou, inicialmente, a concentração de Na^+ solúvel na solução do solo na camada de 0-20 cm, justificando essa ocorrência devido à drenagem do solo ser insuficiente para lixiviar os sais presentes no solo. No entanto, um ano após os tratamentos, a rotação de culturas com a aplicação de gesso diminuiu significativamente a RAS, CE, pH e Cl^- na camada de 0-20 cm no solo. Os autores ressaltam que em geral, para o melhoramento da superfície do solo, uma combinação de 75% da necessidade de gesso + rotação de cultura foi o tratamento que obteve os melhores resultados para correção de solos salino-sódicos.

2.4.1.2 Gesso agrícola

O gesso pode ser também oriundo da fabricação de adubo fosfatado, que no processo de fabricação do ácido fosfórico, gera, a partir da reação química da rocha fosfática com ácido sulfúrico e água (Equação 1) no processo via úmida (Canut, 2006;

Curado & Rezende, 2011), um subproduto constituído basicamente de sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), o qual é denominado internacionalmente fosfogesso (gipsita secundária ou gipsita química) ou, nacionalmente, de gesso agrícola, produzido em larga escala no Brasil (Mazzilli & Saueia, 1997).



Mundialmente, estima-se que as reservas de rochas fosfáticas sejam de aproximadamente 71 bilhões de toneladas, concentradas, principalmente, em três países: Marrocos, com 50 bilhões de toneladas; seguido pela China com 3,7 bilhões de toneladas e Síria com 1,8 bilhões de toneladas. O Brasil está em 8º lugar, com uma reserva de aproximadamente 273 milhões de toneladas (DNPM, 2012 b). Segundo esta mesma fonte, cerca de 65% do suprimento de rochas fosfáticas no mundo são destinados à produção de ácido fosfórico.

No ano de 2011, a extração de rocha fosfática no mundo chegou a um patamar de 191 milhões de toneladas, o que mostra um crescimento de 5,5% em relação a 2010 e de 42,5%, em relação a 2002. Entre os anos de 2002 e 2011, este crescimento foi impulsionado, sobretudo, pela China, que aumentou sua produção em 213%. A China, os Estados Unidos da América (EUA) e o Marrocos foram os maiores produtores em 2011, responsáveis por 67% da produção mundial. No Brasil, em 2011, a produção de gesso agrícola chegou a aproximadamente 1 milhão de toneladas (DNPM, 2012 b).

No mundo, a produção de rocha fosfática é oriunda, em sua maioria, de depósitos sedimentares de mais baixo custo de extração e com teores de P_2O_5 maiores, porém, no Brasil, 90% da produção, originam-se do manto de alteração de rochas ígneas (complexos alcalino-carbonatíticos), cujos teores médios são de cerca de 10% de P_2O_5 . Embora, o Brasil abrigue grande quantidade destes complexos, os fundamentais, em termos de produção de rocha fosfática, situam-se em Minas Gerais, Goiás e São Paulo, sendo o primeiro responsável pela maior produção (DNPM, 2012 b).

No Brasil o gesso agrícola é utilizado na agricultura como corretivo de solos agrícolas, adicionado ao clínquer na produção de cimento Portland, na construção civil e na preparação de cargas minerais (Damasceno & Lima, 1994; Ferrari, 2012).

Segundo Papastefanou et al. (2006), o gesso agrícola é predominantemente composto por gesso, sendo o teor de fósforo geralmente inferior a 1%. Segundo os mesmo autores, para cada tonelada de ácido fosfórico fabricado, são produzidas cerca de 5

toneladas de gesso. Por isso, no Brasil, o gesso agrícola vem sendo considerado como um problema, tendo em vista que, além de ser gerado em grande quantidade, possui uma fina granulometria, elevado grau de umidade, é de difícil manuseio e poluente, sendo, por isso considerado um passivo ambiental (Lyra Sobrinho et al., 2001; Canut, 2006).

Sendo assim, uma alternativa ambientalmente correta de destinação do gesso agrícola é seu uso na construção civil, servindo de matéria prima para produção de blocos, placas e, ou, revestimento ou na agricultura, pois, o gesso agrícola se comporta como o gesso mineral no tocante à correção da sodicidade do solo (Kinjo et al., 1992; Carvalho, 2008). Também, deve-se salientar as quantidades substanciais de fósforo (P) presentes no gesso agrícola, vestígio do processo de fabricação de fertilizantes fosfatados, que podem ser benéficas às plantas quando aplicadas em proporções ideais (Sumner, 1992).

Diferente do gesso mineral, o gesso agrícola possui flúor, metais pesados e elementos radioativos tais como urânio, Ra-226 e os seus produtos de decaimento Pb-210 e Po-210, que fazem com que o uso do gesso agrícola como corretivo da sodicidade dos solos necessite de um monitoramento criterioso do solo e da água, com vistas em prevenir possíveis contaminações do ambiente (Papastefanou et al., 2006; Jacomino et al., 2009).

Contudo, estudos mostram que o gesso agrícola gerado no Brasil devido à rocha mãe que dá origem ao resíduo, expõem baixos níveis de radioatividade natural, estando abaixo do limite máximo fixado pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), segundo medições realizadas e objeto de citações em diversos trabalhos publicados (Freitas, 1992; Mazzilli et al, 2000; Silva, 2001; Jacomino, 2003). O que corrobora com os estudos realizados por Malavolta (1992), pois seus dados demonstram que a radiação emitida, a menos de 1 km dos locais de armazenamento ou lagoas de sedimentação do gesso agrícola não se diferencia daquela ocasionada pela radioatividade natural do ambiente.

Resultados obtidos por Becegato et al. (2006), ao realizar estudos de monitoramento da radioatividade oriundo de fertilizantes fosfatados em solos do polo regional agrícola de Maringá, PR, afirmam não existir motivo de preocupação ambiental no que se refere aos teores de radioatividade nos solos estudados.

Villaverde (2008), avaliando o efeito da exposição externa em residência construída com gesso agrícola, concluiu que a aplicação de placas fabricadas na construção de residências com o gesso agrícola produzido no Brasil, não provocou risco radiológico aos moradores da residência.

No tocante a presença de metais pesados no gesso agrícola, pesquisas realizadas por Bourlegat (2010) estudando a disponibilidade de metais pesados em amostras de gesso agrícola e fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura, mostrou que é segura a aplicação do gesso agrícola nos solos em relação à contaminação por metais pesados, pois afirmam que os metais presentes neste subproduto são muito pouco disponíveis para o meio ambiente.

2.4.1.3 Resíduo de gesso da construção civil

A enorme quantidade de resíduos produzida pela indústria da construção civil tem estado em grande evidência visto os sérios problemas ambientais, sociais e econômicos que vem sendo gerados pelos mesmos. A indústria representa cerca de 50% em massa da totalidade dos resíduos sólidos urbanos (Pinto, 1992; 1999). O gerenciamento desses resíduos torna-se mais complicado quanto maior for à produção dos mesmos. A geração de grandes volumes de resíduos de construção originários dos canteiros de obras, além dos materiais de demolição, é responsável por cerca de 20 a 30% do total dos resíduos gerados pelos países-membros da União Europeia (Murakami et al., 2002). Segundo John (2000), esses dados possivelmente fazem da indústria da construção civil uma das atividades humanas que gera maior impacto sobre a natureza.

Carneiro (2005), investigando as principais empresas coletoras de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) licenciadas pela Prefeitura Municipal da Cidade do Recife, PE, no ano de 2004, buscou estimar o volume de resíduos coletado advindos de atividades de construção. Em sua pesquisa, encontrou que, no ano de realização do estudo, o volume diário médio de RCD coletado correspondia a 840 m³. Por sua vez, Guerra (2008) estimou que na Região Metropolitana do Recife (RMR), a geração de RCD chegue de 3.000 a 4.000 toneladas por dia, contudo apenas 3% desse total são encaminhados a locais licenciados. As pesquisas têm mostrado que 90% desses RCD poderiam ser reciclados, caso fossem segregados na fonte geradora. Esta realidade da cidade do Recife se extrapola para os demais estados do Brasil, o que denota grande desperdício de materiais no ramo da construção civil.

A composição dos resíduos de construção e demolição (RCD), oriundos de cada uma das atividades que compõem os trabalhos da construção civil, é diferente em cada etapa da obra, mas sempre há um produto que se sobressai, o qual é diferente em cada país, em razão da diversidade de tecnologias construtivas utilizadas (Karpinsk, et al., 2009). Na construção americana e japonesa, a madeira se sobressai tendo presença menos

significativa nas construções europeia e brasileira; o gesso, por sua vez, é amplamente utilizado na construção americana e europeia, e recentemente passou a ser utilizado de forma mais significativa nos maiores centros urbanos brasileiros (Global Recycling Network, 2013).

Dentre os diversos tipos de resíduos da construção civil, pode-se destacar o gesso, que no Brasil, cada vez mais vem sendo utilizado no ramo da construção civil, devido algumas de suas características e propriedades que particularizam o seu emprego, tais como o fácil manuseio, baixo custo e a praticidade. Ressalta-se que, neste ramo, como mostra Canut (2006), por apresentarem semelhanças de suas propriedades físicas e químicas, tanto o gesso mineral quanto o gesso agrícola são utilizados na fabricação de placas para forro, painéis, divisórias, blocos pré-moldados, pisos e revestimentos. Em vários países como, por exemplo, o Japão, face à escassez de matéria-prima, a gipsita, o fosfogesso é comumente utilizado em substituição ao gesso mineral em materiais de construção.

Agopyan et al. (1998) afirmam que, em média, nos canteiros de obras brasileiros cujo o processo construtivo é não tradicional, 45% do gesso a ser utilizado no processo construtivo é desperdiçado. Cardoso et al. (2009), em pesquisas mais recentes, estimam que a perda de gesso na construção civil, no Brasil, é da ordem de 30%, gerando grandes volumes de resíduos. Segundo Munhoz & Renóbio (2006), estima-se que 8% do gesso acartonado é transformado em resíduos durante a construção, assim como também 4% são perdidos na fabricação de pré-moldados. Já em relação ao gesso aplicado como revestimento, a geração de resíduos é bem maior, estando em torno de 88%.

Sendo assim, a geração de resíduos de gesso de construção representa, além de gastos com a disposição e destinação final, um passivo ambiental, visto que um grande volume deste material é comumente descartado de forma inadequada, mesmo quando destinado para aterros, pois os resíduos de gesso, se não forem isolados, estando livre de contato com a matéria orgânica e água, podendo vir a alterar a composição química do solo e da água.

Segundo Munhoz & Renóbio (2006) e Kijjanapanich et al. (2013), isso ocorre porque o gesso, quando não é manejado adequadamente, ao entrar em contato com umidade e condições anaeróbicas, com baixo pH, e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos, condições presentes em muitos aterros sanitários e lixões, pode formar gás sulfídrico (H_2S), que possui odor característico de ovo podre, e contribui para o efeito estufa, sendo tóxico e inflamável, vindo a contaminar o solo e os lençóis freáticos quando

não drenado. Ressalta-se que o enxofre, quando em concentrações adequadas, é um nutriente-chave, indispensável ao desenvolvimento das culturas, pois atua em todas as funções e processos que fazem parte da vida da planta, da absorção iônica aos papéis do RNA e DNA, até mesmo no controle hormonal para o crescimento e a diferenciação celular (Stipp & Casarin, 2010).

Mesmo quando os resíduos de gesso são dispostos corretamente em aterro sanitário, estes ficarão depositados *ad aeternum* sem utilidade nenhuma, diminuindo a vida útil dos aterros e impossibilitando a sua reutilização e/ou reciclagem. Desta feita, a gestão destes, passou a demandar cada vez mais atenção dos construtores, devido às exigências da legislação ambiental brasileira. Na Holanda, por exemplo, o governo do país estabeleceu os limites para a quantidade máxima de poluentes compostos presentes no material de construção. Para reutilização da areia, o limite de emissão é de 1,73 g de sulfato por kg de areia (de Vries, 2006). Portanto, apesar de no Brasil não ter sido estabelecido nenhum limite neste sentido, a maior parte dos RCD não podem ser reutilizadas para atividades de construção devido ao seu alto teor de sulfato.

Neste sentido, na busca por diminuir o volume ou ao menos dar um tratamento adequado aos resíduos da construção e demolição no Brasil, foi criada a Resolução N° 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que “estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, tendo para esse fim definido as especificações de resíduos da construção civil” (CONAMA, 2002; Moraes & Henkes, 2013). Esta resolução classificava o gesso como um resíduo classe C, ou seja, sem tecnologia economicamente viável de reciclagem.

Contudo, a mesma foi alterada em 2011 pela Resolução N° 431/2011 do CONAMA, que passou a classificar os produtos advindos do gesso como resíduos de classe B, ou seja, que possuem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação (CONAMA, 2011). Devido ao seu poder contaminante em relação aos demais resíduos gerados nas obras, os resíduos de gesso deverão ser devidamente separados na fonte, acondicionados em caçambas específicas e posteriormente encaminhados para aterros de inertes ou reutilizados alternativamente, sendo reincorporado como matéria prima para produção de gesso ou na agricultura, como mostram estudos realizados por Marvin (2000), Carr & Munn (2001), Severo (2011), utilizando o gesso da construção civil como corretivo de acidez dos solos. Estes estudiosos não encontraram resultados tão positivos de aumento no pH se comparados as respostas

obtidas ao uso do calcário. Isso ocorreu provavelmente por o gesso não ser fonte de hidroxila, principal fator de elevação do pH do solos, mais sim, de cálcio, que apesar de também elevar o pH não o incrementa de forma suficiente para corrigir solos muito ácidos.

Entretanto, os resíduos de gesso também podem ser utilizados para aumentar a produtividade das plantas, como mostra o estudo realizado por Wolkowski, (2000) que avaliou o efeito da aplicação de resíduos de placas de gesso trituradas em solos de quatro locais do Estado de Wisconsin, Estados Unidos plantados com alfafa com diferentes tipos de solo e condições climáticas. O autor concluiu que tanto no solo quanto na alfafa a concentração de cálcio e enxofre aumentou e a de magnésio diminuiu a medida que se aumentou as doses de gesso aplicadas. Também não foram notados efeitos fitotóxicos onde houve a aplicação direta do resíduo no solo. Este mesmo autor concluiu ainda que o resíduo de gesso parece ser tão eficaz como gesso mineral comercial no incremento de cálcio e enxofre para o solo e as plantas, embora o seu estudo não tenha comparado as taxas equivalentes dos dois materiais.

Os resíduos de gesso quando aplicados corretamente no solo, servem como corretivo de sodicidade, como mostra o estudo realizado pela Gypsum Association, Estados Unidos que propõe uma alternativa de moagem do gesso no canteiro com aplicação do produto diretamente no solo, em até 22 ton/ha, desde que o solo que receberá o gesso, tenha drenagem adequada e aeração (Gypsum Association, 2003). Santos et al. (2014), que aplicou os resíduos de gesso construção civil na correção de solos salino-sódicos de Pernambuco, mostram que os solos que receberam este resíduo associados a uma lâmina referente à dois volumes de poros tiveram 95% do sódio solúvel existente lixiviado.

Sendo assim, levando-se em consideração a crescente preocupação com a geração e disposição adequada dos resíduos de gesso, bem como os enormes gastos e impactos ambientais ocasionados quando se dispõe este tipo de material inadequadamente, fica clara a necessidade da reutilização deste resíduo em atividades rentáveis, como por exemplo reincorporando-o como matéria prima para produção de gesso reciclado ou na agricultura como corretivo de solos salino-sódicos ou sódicos.

3. Material e métodos

3.1 Descrição da área

As amostras de solos utilizadas foram provenientes de uma área localizada no Perímetro Irrigado situado em Ibimirim, PE (Figura 3) à 339 km da Cidade do Recife. O perímetro irrigado situa-se a jusante do açude público de Poço da Cruz e se estende ao longo de cerca de 40 km do Rio Moxotó. A área é plana, não apresentando diferenças de níveis significativas e encontra-se localizadas nas coordenadas geográficas latitude 08°32'26" Sul, longitude 37°41'25" Oeste, a 401 m de altitude, (CONDEPE/FIDEM, 2011).



Figura 3: Localização geográfica do Município de Ibimirim no Estado de Pernambuco, Brasil.

O Município de Ibimirim tem uma área total de 1.906,437 km², localiza-se na região semiárida de Pernambuco, e faz parte da microrregião do Sertão do Moxotó. Possuindo clima semiárido quente, (BSh), segundo a classificação do Köppen, com temperatura média anual de 25 °C, tendo duas estações definidas, chuvosa no período de dezembro a maio e seca de agosto a outubro, com a menor precipitação em setembro, obtendo-se valores médios de precipitação pluvial de 500 mm ano⁻¹ (Temóteo, 2000; IBGE, 2014).

3.2 Coleta das amostras

As amostras de solo utilizadas foram coletadas em um lote do Perímetro Irrigado de Ibimirim-PE (Figura 4), o qual apresenta problemas de excesso de sais e sódio trocável, sendo descrito por Ribeiro et al. (1999) como Neossolo Flúvico salino-sódico.



Figura 4: Área de coleta das amostras de solo afetado por sais no perímetro irrigado de Ibimirim, PE.

A coleta das amostras foi realizada segundo procedimento descrito por Magalhães (1987) e adaptado por Barros (2001). A área foi dividida em cinco quadrantes, sendo retiradas cinco amostras simples por quadrante, da camada 0-40 cm, uma situada no meio da área e as demais distribuídas conforme os pontos cardeais. As cinco amostras simples foram misturadas formando uma amostra composta por quadrante, sendo estas posteriormente misturadas formando uma única amostra da área. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas.

3.3 Preparo e caracterização física do solo

As análises de caracterização física do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Agronomia e no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar e a sombra, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha. Antes do processo de destorroamento amostras de solo indeformadas foram separadas (torrões) para obtenção da densidade do solo. A caracterização física do solo (Tabela 3) foi realizada seguindo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), sendo determinada a densidade do solo pelo método do torrão parafinado e a densidade das partículas de pelo método do balão volumétrico.

Tabela 3: Características físicas da amostra de solo

Dp	Ds	PT	k _o	Análise Granulométrica			Classificação Textural
				Areia	Silte	Argila	
---kg dm ⁻³ ---		%	cm h ⁻¹	--- g kg ⁻¹ ---			
2,49	1,30	47,79	0,00	111,34	568,66	320,00	Franco argilo siltoso

Dp- Densidade da partícula; Ds- Densidade do solo; PT- Porosidade total; k_o- Condutividade hidráulica

A porosidade total (PT) foi determinada a partir da relação entre a densidade das partículas (Dp) e do solo (Ds), conforme Eq. (2). A condutividade hidráulica saturada (k_o) foi determinada pelo método descrito para solos com estrutura deformada, sendo calculada pela Eq. (3).

Para obtenção do valor de PT foi utilizada a seguinte equação:

$$PT = 100x \frac{Ds - Dp}{Ds} \quad (Eq.2)$$

Em que:

PT= porosidade total;

Ds= densidade do solo (g cm⁻³);

Dp= densidade das partículas (g cm⁻³).

Para obter o valor de k_o, utilizou-se a equação abaixo:

$$k_o = \frac{Q \times L}{A \times H \times T} \quad (Eq.3)$$

Em que:

k_o= condutividade hidráulica saturada (cm h⁻¹);

Q= volume de água drenada (mL);

L= altura da coluna de solo (cm);

A= área da coluna (cm²);

T= tempo (horas);

H= carga hidráulica (cm).

A composição granulométrica (areia, silte e argila) foi determinada pelo método do densímetro de Boyoucos. Ressalta-se que para obtenção da granulometria do solo antes de se aplicar o método do densímetro foi realizado o pré-tratamento da amostra, lavando-se o solo com etanol a 60% até a eliminação total de cloretos. A areia foi separada por peneiramento, enquanto a argila por sedimentação e o silte por diferença entre a percentagem de areia e argila (EMBRAPA, 1997).

3.4 Preparo e caracterização química do solo

A caracterização química foi realizada nos Laboratórios de Química do Solo e Microbiologia do Solo do Departamento de Agronomia e no Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos do Departamento de Engenharia Agrícola.

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar e a sombra, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha. O extrato de saturação do solo foi obtido a partir da pasta saturada, seguindo a metodologia descrita por Richards (1954). No extrato de saturação do solo foram determinados, seguindo a metodologia de Richards (1954): i) condutividade elétrica (CE) pelo método eletrométrico e pH com potenciômetro, ii) cálcio e magnésio solúveis, por espectrofotometria de absorção atômica, e iii) sódio e o potássio solúveis, por fotometria de chama. Os valores da relação de adsorção de sódio (RAS) foram obtidos a partir dos resultados de sódio, cálcio e magnésio solúveis presentes no extrato de saturação do solo, calculado por meio da Equação (4). A caracterização do solo no extrato da pasta de saturação apresenta-se na Tabela 4.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (Eq.4)$$

Onde:

RAS= Relação de adsorção de sódio, $(mmol L^{-1})^{1/2}$;

Na^+ = Concentração de sódio solúvel, $(mmol_c L^{-1})$;

Ca^{2+} = Concentração de cálcio solúvel, $(mmol_c L^{-1})$;

Mg^{2+} = Concentração de magnésio solúvel, $(mmol_c L^{-1})$.

Tabela 4: Características do extrato da pasta de saturação do solo

Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	pH	CE	RAS
----- $mmol_c L^{-1}$ -----					$dS m^{-1}$	$(mmol L^{-1})^{1/2}$
304,59	1,02	61,92	7,63	6,90	37,85	51,70

CE- Condutividade elétrica; RAS- Relação de adsorção de sódio

Para extração dos cátions trocáveis (Tabela 5), foi utilizada uma solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 e a capacidade de troca de cátions (CTC), foi determinada pelo método do cátion índice utilizando uma solução de acetato de sódio, determinados seguindo a metodologia descrita por Richards (1954). As amostras de solo foram lavadas com etanol a 95% até a eliminação total de cloretos. O cálcio e magnésio trocável foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e sódio e o potássio, por fotometria de chama (EMBRAPA, 1997). Com os valores obtidos de sódio trocável e da CTC, foi calculada a percentagem de sódio trocável (PST), pela Equação (5):

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100 \quad (Eq. 5)$$

Onde:

PST= percentagem de sódio trocável (%);

Na⁺ = concentração de sódio trocável (cmol_c dm⁻³);

CTC= capacidade de troca de cátions (cmol_c dm⁻³).

Tabela 5: características químicas do complexo de troca

Cátions Trocáveis				NG	CTC	PST
Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
-----cmol _c dm ⁻³ -----						%
8,8	0,68	2,09	0,79	9,98	12,35	70,96

NG- Necessidade de gesso; CTC- Capacidade de troca de cátions; PST- Percentagem de sódio trocável.

3.5 Coleta e caracterização do gesso

O gesso mineral (G1) empregado foi um produto comercial extraído de jazida localizada em Araripina, PE. O resíduo de gesso foi recolhido em uma obra de construção civil em Recife, descartados diretamente em caçambas utilizadas para o armazenamento de tal material (Figura 5). O resíduo foi coletado de forma a se obter uma amostra representativa de todos os tipos de gesso utilizados na obra, sendo coletados cinco tipos de resíduo de gesso: gesso de placa, gesso de revestimento e gesso em bloco branco, rosa e azul.

O material recolhido foi armazenado em sacos etiquetados e conduzido ao Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFRPE, onde foram armazenados, triturados em moinho de bolas e passados em peneiras de 0,3 mm. Com intuito de manter o gesso mineral com a mesma

granulometria do resíduo de gesso, realizou-se, também, o seu peneiramento em peneira de mesmo diâmetro de abertura da malha.



Figura 5: Indicação da caçamba de acondicionamento do resíduo de gesso coletado na obra

Após o peneiramento, foram separados 500 g de cada tipo de resíduo de gesso, que foram misturados de forma a se obter uma amostra uniforme composta dos cinco tipos de resíduo gesso coletados na obra (placa, revestimento e blocos branco, rosa e azul). A partir da amostra composta passou-se a denominar essa como resíduo de gesso (G2). Para caracterização química do gesso mineral e do resíduo de gesso, foram separados 150 g de cada tipo, sendo posteriormente enviados ao Laboratório de Análises de Solo da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina da UFRPE, onde foram determinados os seguintes parâmetros: o CaO e o MgO, ambos pelo método espectrofotométrico de absorção atômica descrito pela EMBRAPA (2009) estando, os resultados, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Caracterização química dos gessos utilizados como corretivo de sodicidade no experimento.

Tipo de gesso	CaO	MgO
	%	
Gesso Mineral	28,7	2,49
Resíduo de Gesso	25,9	1,99

3.6 Determinação da necessidade de gesso

A necessidade de gesso (NG) foi determinada pelo método de Schoonover M-1,

modificado por Barros & Magalhães (1989), para solos salino-sódicos de Pernambuco, de modo a evitar que haja uma superestimação da NG do solo.

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

- a) Metodologia**

A determinação da necessidade de gesso (NG) para cada amostra de solo foi realizada de acordo com o procedimento de Schoonover (1952), descrito pela Embrapa (1997). Paralelamente, foram colocados 5g de cada amostra de solo em Erlenmeyer de 125 mL, onde foram adicionados 100 mL de água deionizada, agitando-se durante cinco minutos em agitador mecânico e filtrando em papel Whatman nº 42. No filtrado foi determinada a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} , estes valores foram subtraídos da concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} , determinado pelo método Shoonover (1952).

- b) Equação:**

$$NG \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)} = (\text{Conc. de } Ca^+ \text{ solução saturada de gesso (Schoonover)} - A) \times 2 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

$$A = \left[\frac{\text{Conc. de } Ca^+ + Mg^{2+} \text{ no filtrado (Schoonover)} - \text{conc. de } Ca^{2+} + Mg^{2+} \text{ no filtrado (H}_2\text{O)}}{2} \right] \quad (\text{Eq. 7})$$

3.7 Preparo das unidades experimentais

As parcelas experimentais (Figura 6) foram constituídas de colunas de PVC rígido medindo 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, as quais foram preenchidas com 1425,6 g de solo, de modo a se aproximar da densidade do solo encontrada em condições de campo. A coluna de solo foi composta por duas camadas, cada uma com 7,5 cm de altura e 0,70 dm³ de solo.



Figura 6: Visão frontal do experimento com as colunas de PVC utilizadas como parcelas experimentais.

Na parte inferior das colunas foram colocados CAP de PVC, perfurados no centro, para fixação de uma mangueira de aproximadamente 5 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro, de modo a possibilitar a coleta do lixiviado. Visando conter a passagem do solo através do dispositivo de drenagem foram colocadas duas mantas geotêxtil 100% poliéster de 0,001 mm e, 15 mm de abertura de malha dispostas uma sobre a outra antes da colocação do solo na coluna. Para coleta do lixiviado, utilizaram-se recipientes (garrafa pet 0,5 litros) e em cada garrafa, foram feitas marcações de 100 mL, visando realizar a leitura da condutividade hidráulica saturada (k_0).

3.8 Delineamento experimental

Os tratamentos consistiram na aplicação de 100% da NG do solo, de modo que o gesso foi incorporado ao solo e disposto nos primeiros 7,5 cm da coluna (sentido topo base). Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2×4 (dois tipos de corretivo e quatro lâminas de lixiviação), com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os corretivos para a recuperação do solo utilizado no experimento foram o gesso mineral (G1), produto comercial extraído de jazida localizada em Araripina, PE e o resíduo de gesso da construção civil (G2), obtido diretamente na obra, ambos com granulometria < 0,3 mm.

Para promover a remoção do excesso de sais solúveis do solo, procedeu-se a técnica de lixiviação intermitente, adotando-se lâminas de lixiviação equivalentes a 1, 2, 3 e 4 volume de poros; ressaltando-se que cada volume de poros (VP) correspondeu a 450 mL de água. O intervalo entre a aplicação de cada lâmina foi de 7 dias, tempo necessário para que a lâmina aplicada fosse completamente percolada no solo.

3.9. Condução do experimento

As colunas de PVC preenchidas com solo foram saturadas, lentamente com água destilada, até atingirem a saturação, permanecendo por 24 h para restabelecimento do equilíbrio do sistema. No intuito de se evitar perdas por evaporação, as colunas de PVC foram cobertas com sacos plásticos.

Posteriormente, procedeu-se a lixiviação mantendo-se uma lâmina de água de 2 cm acima da superfície do solo em cada coluna experimental. A lixiviação intermitente do solo foi realizada da seguinte forma: inicialmente foi aplicada uma lâmina referente a 1 VP em todas as unidades experimentais, sendo coletado o lixiviado de cada uma delas. Antes da aplicação da segunda lâmina, todos os lixiviados coletados foram armazenados, assim como, cinco colunas de cada tipo de gesso (G1 e G2) totalizando dez colunas retiradas antes da aplicação da segunda lâmina. Este procedimento foi realizado para todas as lâminas subsequentes.

Após a aplicação de cada lâmina as colunas foram cobertas com sacos plásticos para evitar a evaporação durante o processo de infiltração da água no solo. No lixiviado foram determinados condutividade elétrica (CE), pH e Na^+ solúvel conforme metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

Após a lixiviação o solo foi coletado na coluna à profundidade de 7,5 cm (topo/base), para posterior secagem ao ar e a sombra, destorroamento e peneiramento em malha de 2 mm de abertura. A pasta saturada foi preparada seguindo a metodologia descrita por Richards (1954) determinando-se, os cátions solúveis, a CE e o pH no extrato de saturação do solo pela metodologia da EMBRAPA (1997) e a RAS determinada a partir dos valores de sódio, cálcio e magnésio solúveis presentes. Os cátions trocáveis no solo foram extraídos com uma solução de acetato de amônio 1 mol L^{-1} a pH 7,0 seguindo a metodologia descrita por Magalhães (1987). O cálcio e magnésio trocável foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e sódio e o potássio, por fotometria de chama (EMBRAPA, 1997). Com os valores obtidos de sódio trocável após a

condução do experimento e da CTC obtida na caracterização do solo, foi calculada a porcentagem de sódio trocável (PST).

Buscando estabelecer uma relação entre a dissolução do gesso aplicado e a correção da sodicidade do solo, após a execução do experimento, também foram realizadas análises qualitativas e quantitativas de gesso, seguindo o método da acetona descrito por Richards (1954), para avaliar a presença de gesso remanescente no solo após aplicação das lâminas de lixiviação.

3.10 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão, testando-se diversos modelos. Os critérios levados em consideração para escolha do modelo foram: o valor do coeficiente de determinação ajustado (R^2) e a significância dos coeficientes da equação de regressão através do programa SAS ao nível de 1% de probabilidade.

4. Resultados e discussão

4.1 Condutividade elétrica (CE), Na⁺ solúvel e pH no lixiviado

Através da análise de variância dos dados, observou-se efeito significativo pelo teste F a 1% de probabilidade, sendo constatado efeito isolado das lâminas de lixiviação para o pH e o sódio (Na⁺) solúvel; e interação entre os fatores tipos de gesso e lâminas de lixiviação, para a condutividade elétrica (CE) do lixiviado (Tabela 7). As relações entre a variável independente, lâmina de lixiviação e as variáveis dependentes CE, pH e teor de Na⁺ solúvel no lixiviado apresentaram elevados coeficientes de determinação. Os dados de CE e Na⁺ solúvel se ajustaram ao modelo potencial e o pH ao modelo quadrático.

Tabela 7. Resumo da análise de variância referente à condutividade elétrica (CE), pH e teores de sódio (Na⁺) no lixiviado do solo.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		CE	pH	Na ⁺
Gesso (G)	1	230,6445**	0,0015 ^{ns}	13,506 ^{ns}
Lâmina (L)	3	6346,644**	6,3249**	525459,33**
G x L	3	145,7164**	0,0089 ^{ns}	4,883 ^{ns}
Resíduo	92	26,9559	0,0079	161,003
CV (%)	-	13,0722	1,1005	9,031

CV (%) = coeficiente de variação; ** = respectivamente significativo ao nível de probabilidade de erro de 1%; ns = não significativo.

Ao avaliar o comportamento da condutividade elétrica (CE) no lixiviado, observou-se que o parâmetro decresceu com o aumento das lâminas de lixiviação aplicadas ao solo, sendo constatados valores iguais a 36,52 dS m⁻¹ e 34,99 dS m⁻¹, quando se utilizou o gesso mineral (G1) e resíduo de gesso (G2) respectivamente, para a aplicação de uma lâmina de lixiviação equivalente a 1 volume de poros (VP). Após a aplicação da lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP, a CE média foi igual a 2,56 dS m⁻¹, mostrando que tanto o gesso mineral (G1) quanto o resíduo de gesso (G2) quando aplicados no solo, associados a lâminas de lixiviação, foram eficientes na diminuição da salinidade das amostras de solo (Figura 7).

Tal comportamento é explicado devido à aplicação do gesso elevar, inicialmente, a quantidade de sais no solo, ocasionando conforme McBride & Baveye (2002), a diminuição da dupla camada difusa, promovida pela substituição do sódio trocável pelo cálcio trocável, de forma a haver a floculação das argilas dispersas, melhorando, desta forma, a condutividade hidráulica do solo, acarretando a lixiviação dos sais solúveis.

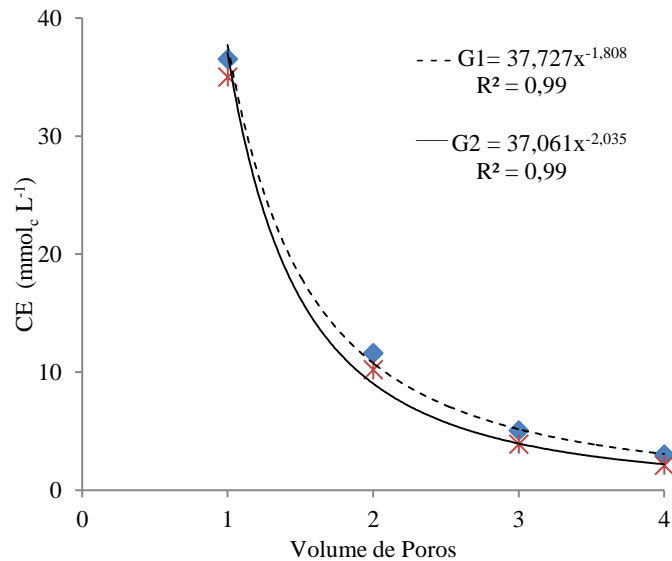


Figura 7: Conduividade elétrica no lixiviado em função do tipo de gesso e das lâminas de lixiviação aplicadas equivalentes a 1, 2, 3 e 4 VP.

Salienta-se, ainda que a CE no lixiviado após a aplicação da primeira lâmina de lixiviação apresentou valores muito próximos, ao valor de CE encontrado no extrato de saturação dos solos antes da aplicação dos corretivos e das lâminas de lixiviação. Este fato ocorreu, provavelmente, devido à incorporação do gesso e a aplicação da primeira lâmina de lixiviação terem promovido a remoção de grande parte do Na^+ (Figura 8).

Os dados de CE no lixiviado apresentados corroboram com os resultados encontrados por Barros et al. (2007), trabalhando em colunas com quatro solos salino-sódicos de diferentes texturas do Perímetro Irrigado de Custódia, PE, tratados com gesso mineral e gesso mais calcário de diferentes granulometrias. Os autores verificaram redução na CE de $17,20 \text{ dS m}^{-1}$ no primeiro lixiviado (1 VP) para $2,61 \text{ dS m}^{-1}$ ao aplicar uma lâmina equivalente a 2 VP e 100% da necessidade de gesso (NG) do solo.

Miranda et al. (2011) trabalhando com Neossolo Flúvico salino-sódico de Custódia, PE, com experimento instalado em colunas aplicaram 10 tratamentos de: esterco ovino (40 t ha^{-1}), esterco bovino (40 t ha^{-1}), gesso (4 t ha^{-1}), seis doses de polímero sintético poliacrilamida Superfloc A-130 (0,001, 0,005, 0,010, 0,025, 0,050 e 0,100%), além da testemunha (sem a utilização de condicionadores). A lâmina de lixiviação utilizada foi equivalente à precipitação média anual no Município de Custódia, correspondente ao volume total de 4.680 mL para a área da coluna; dividido em dez frações de 468 mL, aplicadas aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 70 dias após o período de saturação, sendo realizadas coletas do lixiviado no início, aos 7 dias e ao final, 70 dias. Os autores

observaram que a CE do lixiviado coletado aos 7 dias para os tratamentos gesso e esterco foram os que apresentaram os maiores valores, contudo, ao final do experimento a CE no lixiviado decresceu para valores inferiores a $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ em todos os tratamentos aplicados.

Vasconcelos (2012), trabalhando com colunas de PVC, utilizou gesso mineral para correção de um Neossolo Flúvico salino-sódico do Perímetro Irrigado de Ibimirim, PE. O autor concluiu que a CE do lixiviado reduziu significativamente de $60,65 \text{ dS m}^{-1}$ para $6,48 \text{ dS m}^{-1}$ ao aplicar no solo o equivalente a 100% da necessidade de gesso (NG) do solo e uma lâmina de lixiviação referente à 3 VP.

Com relação a concentração de Na^+ no lixiviado do solo (Figura 8), após a passagem da primeira lâmina de lixiviação, para ambos os tipos de gesso (G1 e G2), apresentou-se bastante elevada, $292,95 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ para o G1 e $293,17 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ para o G2, chegando a valores próximos ao valor do sódio solúvel encontrado no extrato de saturação dos solos que em condições iniciais que foi igual a $304,59 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Tabela 4).

Para as lâminas subsequentes, equivalentes a 2, 3 e 4 VP, o sódio lixiviado apresentou-se em menores concentrações quando comparados aos valores encontrados na primeira lâmina de lixiviação, possivelmente devido a grande parte do Na^+ solúvel ter sido removido quando se aplicou a 1ª lâmina de lixiviação ficando, apenas, o Na^+ advindo das reações de troca entre o cálcio da solução, fornecido pelo gesso aplicado, e o sódio presente no complexo de troca, a ser retirado pela 2ª 3ª e 4ª lâmina de lixiviação.

Os resultados encontrados no presente estudo, com relação a concentração de Na^+ no lixiviado, estão de acordo com obtidos por Tavares Filho (2010) que, trabalhando com colunas preenchidas com solos salino-sódicos de Ibimirim, PE para avaliar o efeito da aplicação de diferentes níveis de necessidades de gesso mineral (50, 75, 100, 125, 150, 175 e 200% NG do solo) e lâminas de lixiviação equivalentes a 1 e 2 VP na alteração das características físico-químicas dos solos estudados, constatou diminuição da concentração de Na^+ na solução lixiviada dos dois solos estudados a medida que houve o aumento das lâminas de lixiviação, este comportamento foi observado até a aplicação do nível de 100% da NG do solo.

Por outro lado, Pessoa et al. (2010), ao avaliar a composição química e salinidade do lixiviado de dois Neossolos Flúvicos de diferentes texturas cultivados em vaso com cebola, observaram que a concentração de Na^+ , K^+ , Ca^+ e Mg^+ , do Cl^- , da CE e da relação de adsorção de sódio (RAS) dos lixiviados aos 30, 60 e 90 dias após o transplântio elevaram-se. Isso possivelmente ocorreu porque a água utilizada pelos autores para

irrigação continha elevados teores de sais, o que promoveu, conseqüentemente, a elevação da concentração dos parâmetros avaliados no lixiviado.

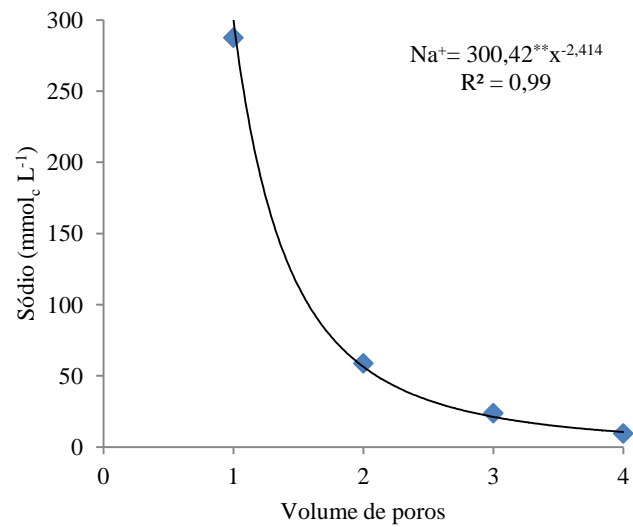


Figura 8: Sódio lixiviado em função das lâminas de lixiviação aplicadas equivalentes a 1, 2, 3 e 4 VP.

Analisando os valores do pH do lixiviado (Figura 9), percebe-se que o parâmetro químico sofreu influência significativa das lâminas de lixiviação, independente do tipo de gesso utilizado, sendo observado acréscimo do pH quando a lâmina de lixiviação aumentou de 1 para 3 VP. O valor máximo estimado pela equação de regressão foi de 8,62, o qual foi obtido para uma lâmina de lixiviação equivalente média de 2,9 VP.

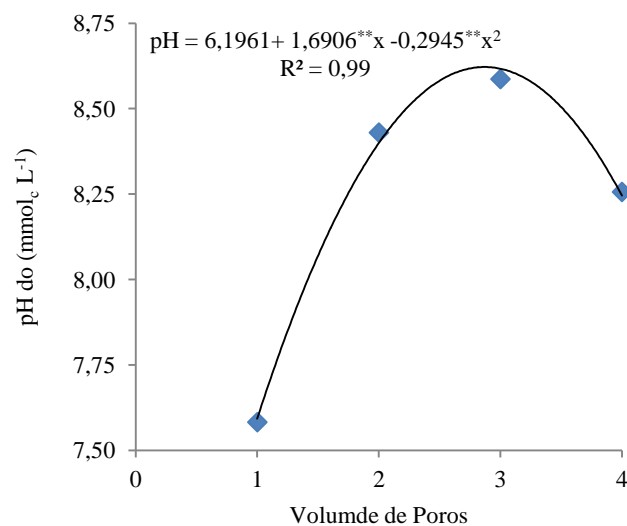


Figura 9: pH no lixiviado em função das lâminas de lixiviação aplicadas equivalentes a 1, 2, 3 e 4 VP.

Acredita-se que este aumento esteja relacionado com a diminuição da concentração total de sais e com a predominância de sódio em relação aos demais cátions presentes na solução, já que segundo Barros (2001), o pH do solo é diretamente influenciado pela composição e natureza dos cátions trocáveis presentes, assim como, pelo tipo de sais solúveis e pela existência ou não de gesso ou carbonato de cálcio e magnésio em solução.

Silva et al. (2008), trabalhando com quatro solos do Rio Grande do Norte (Cambissolo Háplico, Argissolo Vermelho, Latossolo Vermelho-amarelo e Neossolo Flúvico) cultivados com melão irrigaram suas amostras com águas de valores crescentes de CE (0,1, 0,25, 0,5, 0,75, 1,25, 1,75, 2,25 e 3,0 dS m⁻¹), para atender à demanda pela planta (80% da capacidade máxima de retenção de umidade do solo) e um volume adicional para proporcionar a lixiviação, correspondendo a 50% do volume de poros de cada solo. Os autores observaram que os valores de pH nos lixiviados mantiveram-se praticamente constantes nas primeiras lâminas, decrescendo suavemente quando foi aplicada a última lâmina de lixiviação, atribuindo estes resultados ao fato de terem utilizado soluções salinas à base de cloretos na irrigação, o que pode ter possivelmente promovido a remoção de ânions carbonato e bicarbonato dos solos, colaborando para a redução no pH, com a lixiviação.

4.2 Condutividade hidráulica saturada (k_o) do solo

A análise de variância dos dados mostrou que a condutividade hidráulica do solo sofreu efeito significativo pelo teste F à 1% de probabilidade apenas dos fatores isolados lâminas de lixiviação e tipos de gesso.

O comportamento para k_o em função das lâminas de lixiviação foi linear crescente (Figura 10), obtendo-se valores iguais a 0,08 e 0,32 cm h⁻¹, quando foram aplicadas lâminas de lixiviação equivalentes à 1 e 4 VP, respectivamente. Considerando-se que a k_o inicial do solo foi 0,00 (Tabela 3), a aplicação dos corretivos de sodicidade proporcionou melhora significativa desta variável.

Pelo teste de Tukey a 5%, foi possível verificar que o gesso mineral (G1) e o resíduo de gesso (G2), elevaram significativamente a k_o do solo estudado observando-se pequena diferença média de incremento (3,5%) de G1 em relação a G2, fato ocorrido provavelmente em razão do G1 apresentar maior concentração de Ca²⁺ em sua composição que o G2 (Tabela 6).

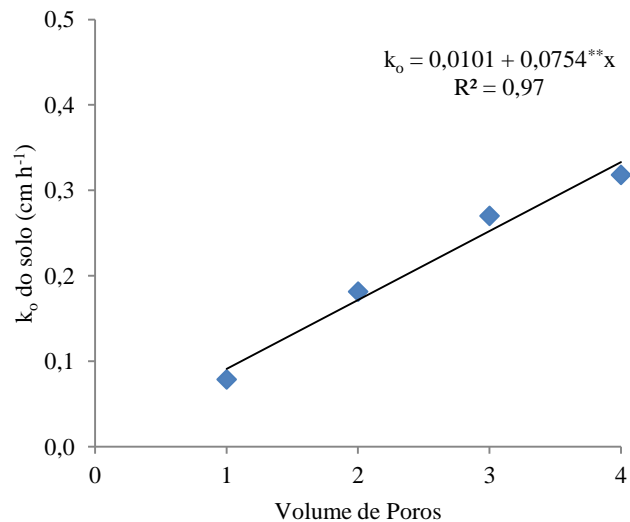


Figura 10: Condutividade hidráulica saturada dos solos (k_0) durante a passagem das lâminas de lixiviação.

O incremento de Ca^{2+} no solo promove a diminuição da dupla camada difusa e ocasiona conseqüentemente um aumento no grau de floculação das argilas em detrimento da dispersão destas partículas, resultando em uma maior estabilidade de agregados e conseqüentemente um pequeno incremento na movimentação da água no solo. Rosa Júnior et al. (2006) afirmam que a aplicação do gesso em solos salino-sódicos, além de acarretar melhora nas características físicas do solo, sobretudo na agregação das partículas do mesmo, também reduz a quantidade de argila dispersa em água, elevando o grau de floculação.

Ao contrário do observado neste trabalho, no tocante à k_0 , Tedesch et al. (2006), realizando experimento em campo no sul da Itália em solo argilo arenoso, observaram redução nos valores de k_0 do solo estudado ao aplicar soluções salinas no solo. Tal fato provavelmente ocorreu porque os tratamentos aplicados ao solo estudado consistiram em soluções salinas com concentração de 2,5, 5,0 e 10 g L⁻¹ de sal comercial (Na^+ 26,3%, Cl^- 56,7%, K^+ 16,4%, Ca^{2+} 0,11%, Mg^{2+} 0,11%, SO_4^{2-} 0,31%), fazendo com que a CE, o pH e a PST do solo aumentassem, afetando negativamente a agregação e a estabilidade dos agregados do solo, contribuindo para redução da k_0 .

Resultados semelhantes quanto ao aumento da k_0 foram obtidos por Bhardwaj et al. (2009), avaliando as características hidráulicas de um solo com alta proporção de materiais dispersos, superfícies adensadas em função dos cátions trocáveis, mineralogia e aplicação de poliácridamida. Os autores observaram que a sua adição elevou a floculação da argila,

contudo, ressaltam que a magnitude desse aumento depende do tipo de cátion trocável existente no solo. As respostas encontradas pelos referidos autores condizem com as encontradas no presente estudo, pois, assim, como a poliacrilamida, tanto o gesso mineral (G1) quanto o resíduo de gesso (G2) foram eficientes em aumentar a floculação do solo à medida que o complexo sortivo deixou de ser saturado pelo sódio e passou a ser saturado pelo cálcio.

Sahin et al. (2011), estudando o comportamento da k_o de solo salino-sódico que recebeu a aplicação de microorganismos e gesso, também observaram aumento na k_o do solo estudado, constatando que o solo que apresentou os maiores valores de k_o foi o que recebeu o tratamento com microorganismos e gesso, seguido do tratamento que recebeu somente microorganismos e por último o que não recebeu nenhum tipo de tratamento. Os autores explicam que o tratamento com microorganismos e gesso foi o que teve maior elevação da k_o , possivelmente, porque os microorganismos ao sofrerem estresse podem secretar grandes quantidades de ácidos orgânicos, e, tendo em vista que a dissolução de gesso e de CaCO_3 por metabólitos microbianos, pode aumentar o cálcio dissolvido e trocável no solo, a presença destes microorganismos no processo de correção de solos sódicos facilita a substituição de sódio por cálcio como mostra estudo de fitoremediação realizado por Qadir et al. (2001). Sahin et al. (2011), ainda, ressaltam que, se a CE da solução de percolação for adequada para reduzir a dispersão da argila, a permeabilidade do solo irá permanecer elevada.

Ainda neste sentido Rasouli et al. (2013), trabalhando com um solo sódico cultivado com trigo da Cidade de Rmjerd, Irã, avaliaram a eficácia da aplicação de diferentes níveis de gesso (50, 75 e 100% NG) e granulometrias variando de 1-10 mm e menor que 1 mm, na melhoria das propriedades físicas e químicas do solo e da produtividade da cultura. Estes autores concluíram que a aplicação de gesso aumentou a salinidade e a k_o do solo, mas diminuiu a RAS e o pH, além disso, obteve-se resultados positivos na produtividade do trigo.

4.3 Condutividade elétrica (CE), pH, cátions solúveis e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato de saturação

A partir dos dados obtidos no extrato da pasta saturada do solo (Tabela 8) após a aplicação dos corretivos e a aplicação das lâminas de lixiviação observou-se que houve efeito significativo teste F à 1% de probabilidade para interação entre os fatores gesso \times lâmina de lixiviação de todas as variáveis avaliadas no extrato de saturação com exceção

da condutividade elétrica (CE) que só apresentou efeito significativo para o fator isolado lâmina de lixiviação.

Tabela 8: Resumo de análise de variância referente a condutividade elétrica (CE), pH, teores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}) e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato de saturação do solo após os tratamentos.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio						
		CE	pH	Na^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	RAS
Gesso (G)	1	0,0024 ^{ns}	0,0055 ^{ns}	5,67 ^{**}	5,8906 ^{**}	0,0518 ^{**}	0,1145 ^{**}	2,4651 ^{**}
Lâmina (L)	3	398,07 ^{**}	0,1653 ^{**}	25715,69 ^{**}	1571,82 ^{**}	0,571 ^{**}	11,8283 ^{**}	1118,25 ^{**}
G x L	3	0,0059 ^{ns}	0,0682 ^{**}	0,9351 ^{**}	0,4265 ^{**}	0,0036 ^{**}	0,0064 ^{**}	0,2967 ^{**}
Resíduo	32	0,0145	0,0191	0,062	0,0279	0,0008	0,0005	0,0063
CV (%)	-	1,7325	1,8343	0,5126	0,8467	6,4471	2,0716	0,6011

CV (%) = coeficiente de variação; ** = respectivamente significativo ao nível de probabilidade de erro de 1%; ns = não significativo.

Verificando-se, Figura 11, o comportamento da CE do extrato de saturação percebe-se que houve redução da concentração de sais presentes no solo em decorrência das lâminas de lixiviação aplicadas, removendo cerca de 95,9% dos sais contidos nas amostras que receberam a lâmina de lixiviação equivalente à 4 VP em relação ao valor inicial de CE obtido na caracterização inicial do solo. Os dados estão de acordo com os resultados obtidos por Lopes et al. (2008), os quais afirmam que a lixiviação no perfil do solo é maior quando uma determinada lâmina, que ocorreria em um longo período de tempo, concentra-se em um curto espaço de tempo.

Conforme os dados de CE obtidos após a aplicação das lâminas de lixiviação, observa-se que as amostras de solo que receberam a lâmina de lixiviação equivalente a 3 e 4 VP tiveram a salinidade corrigida independente do tipo de gesso utilizado, pois a condutividade elétrica foi reduzida a valores inferiores ao estabelecido pela classificação de solos afetados por sais proposta por Richards (1954), de 4 dS m^{-1} . Gheyi et al. (1995) ao aplicar diferentes lâminas de lixiviação em um solo salino-sódico do perímetro irrigado de Sumé, PB, tratados com gesso (30 t ha^{-1}), ácido sulfúrico ($1,2 \text{ t ha}^{-1}$) e esterco de curral (16 t ha^{-1}) também constataram redução da CE do extrato de saturação para todos os tratamentos estudados.

Efeito semelhante ao encontrado nesta pesquisa foi observado por Silveira et al. (2008) trabalhando com colunas preenchidas com Neossolo Aluvial, Neossolo salino-sódico e Neossolo sódico, todos de Custódia, PE e irrigados com água adicionada de gesso mineral. Esses autores observaram que a lixiviação do solo com água saturada com gesso reduziu a condutividade elétrica dos solos estudados, corrigindo-os quanto à salinidade.

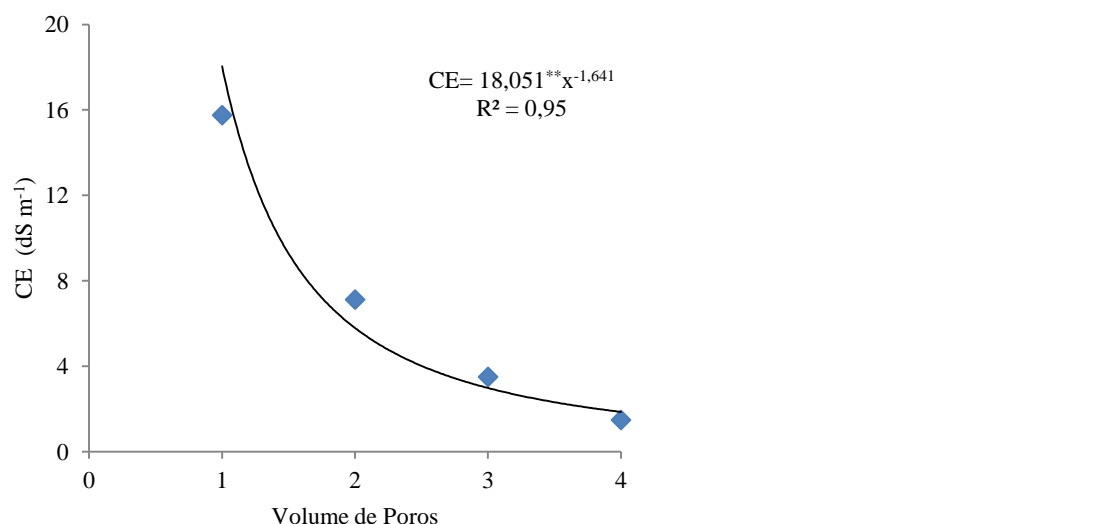


Figura 11: Conduividade elétrica do extrato de saturação em função das lâminas de lixiviação equivalentes aos volumes de poros.

As respostas encontradas, com relação a CE, se assemelham às encontrados por Melo et al. (2008) quando avaliaram a correção de um solo franco arenoso (S1) e um franco argilo arenoso (S2), ambos salino-sódicos e provenientes do Perímetro Irrigado de Custódia, PE pela aplicação de gesso mineral. Os autores constataram que a aplicação de 100% NG e uma lâmina referente a 3 VP reduziu a CE dos solos, que foi, originalmente, de 22,40 e 20,20 dS m⁻¹, para valores máximos de 2,18 a 3,16 dS m⁻¹ para os solos S1 e S2, respectivamente, mostrando que o volume de água aplicado foi suficiente para solubilizar o gesso e remover maior parte dos sais dos solos.

Kahlon et al. (2012), realizando experimento durante um ano num solo salino-sódico com CE inicial, no extrato de saturação, maior que 13 dS m⁻¹ e textura franco argilo siltosa em Gojra, Paquistão, no qual testou diferentes tipos de água de irrigação (água não salobra, água salobra e uma mistura das duas) e corretivos, sendo: gesso (100% NG do solo), estrume (10 t ha⁻¹) e cobertura morta (10 t ha⁻¹) para recuperação dos solos estudados. Os resultados obtidos estão de acordo com os encontrados no presente estudo, pois mostram que os menores valores CE foram verificados nas amostras que receberam gesso, independente do tipo de água utilizada na irrigação, chegando ao valor de 4,46 dS m⁻¹ para as amostras irrigadas com a água mista; no entanto, os autores ressaltam que a irrigação com água salobra foi melhor para a recuperação inicial do solo.

Os resultados do presente estudo também condizem com os obtidos por Tao et al. (2014), que testando em solo salino cultivado em um sistema agroecológico de canteiro

elevado na China, aplicaram diferentes doses de gesso FGD (Flue Gas Desulfurization), subproduto industrial sintético, idêntico ao gesso mineral, que provém da dessulfuração de gases de combustão das centrais termoelétricas. Esses autores observaram que a aplicação do gesso FGD no solo diminuiu a CE do extrato de saturação de 7,20 dS m⁻¹, para 4,22 dS m⁻¹, nas amostras que receberam 4.000 m³ ha⁻¹ de gesso, e para 3,85 dS m⁻¹, nas que receberam 8.000 m³ ha⁻¹ de gesso nas camadas de solo de 0 a 20 cm. Os autores ainda afirmam que a CE também foi significativamente reduzida nas camadas de 0 a 40 cm após incorporação de gesso FGD.

Para o pH no extrato de saturação, verificou-se que apesar da análise de variância dos dados mostrar efeito significativo para a interação entre os tipos de gesso e as lâminas de lixiviação utilizadas, não foi possível obter um modelo de ajuste de dados que indicasse uma explicação plausível para descrever seu comportamento.

A relação entre a variável independente, lâmina de lixiviação equivalente ao volume de poros (VP) e a dependente, teor de Na⁺ no extrato de saturação do solo, apresentou, tanto para G1 quanto para G2, comportamento potencial e elevados coeficientes de determinação (Figura 12).

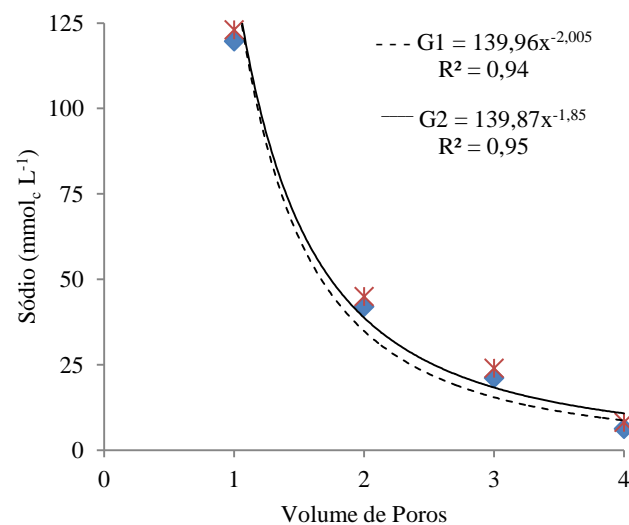


Figura 12: Sódio no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Também foi observado, que a redução no teor de sódio no extrato de saturação do solo se deu à medida que houve o aumento nas lâminas de lixiviação, representando uma redução de aproximadamente 93% do sódio solúvel existente no solo em condições iniciais (304,59 mmol_c L⁻¹) quando se aplicou uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP. Isso

denota a eficiência da associação gesso+lâmina de lixiviação na correção de solos salino-sódicos, tanto para os solos tratados com o G1 quanto para G2 à um nível de 100% NG do solo e associados a uma lâmina de lixiviação equivalente à 4 VP.

Qadir et al. (1996), trabalhando com solos salino-sódicos em lisímetros testando diferentes doses de gesso mineral em comparação grama kallar (*Leptochloa fusca*) como corretivo de salinidade e sodicidade, observaram que o tratamento que recebeu 100% da necessidade de gesso removeu a maior quantidade de Na^+ das colunas de solo e causou uma diminuição substancial na salinidade (CE) e sodicidade (RAS) do solo.

Redução da concentração de sódio no extrato de saturação de solo salino-sódico de Custódia, PE, tratado com gesso mineral e resíduos de gesso associados a diferentes lâminas de lixiviação equivalentes a 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 VP também foram encontrados por Santos et al. (2014) os quais concluíram que a aplicação no solo de 100% NG associada a uma lâmina de lixiviação equivalente à 2 VP foi suficiente para que a concentração de sódio solúvel do solo decresse em 95%.

Entretanto, observa-se que, Santos et al. (2014), obtiveram a maior redução do sódio no extrato de saturação aplicando uma lâmina de lixiviação menor; tal fato, provavelmente, ocorreu devido à classe textural do solo utilizada ser franco arenosa, o que permite com maior facilidade a lixiviação dos sais presentes no solo, do que em um franco argilo siltoso, tipo de solo utilizado no presente estudo. Além disso, o valor da concentração de sódio inicial no extrato de saturação do solo estudado pelos autores supracitados antes da correção era de $148,52 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, ou seja, bem menor que o encontrado no presente estudo, que foi de $304,59 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Tabela 4).

A concentração de Ca^{2+} no extrato de saturação do solo (Figura 13) diminuiu linearmente com o aumento das lâminas de lixiviação, provando que houve uma relação direta entre a concentração de Ca^{2+} presente no extrato de saturação do solo, o volume de água aplicado e a k_o . A concentração deste íon no extrato de saturação do solo antes da aplicação dos corretivos foi de $61,92 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, após a aplicação dos corretivos reduziu-se a $7,35 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e $6,96 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, quando foram aplicados gesso mineral (G1) e resíduo de gesso (G2), respectivamente e lixiviados com uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP, evidenciando, portanto, uma diminuição na concentração de cálcio no extrato de saturação de 88,12% e 88,76% para as amostras de solo tratadas com G1 e G2, respectivamente.

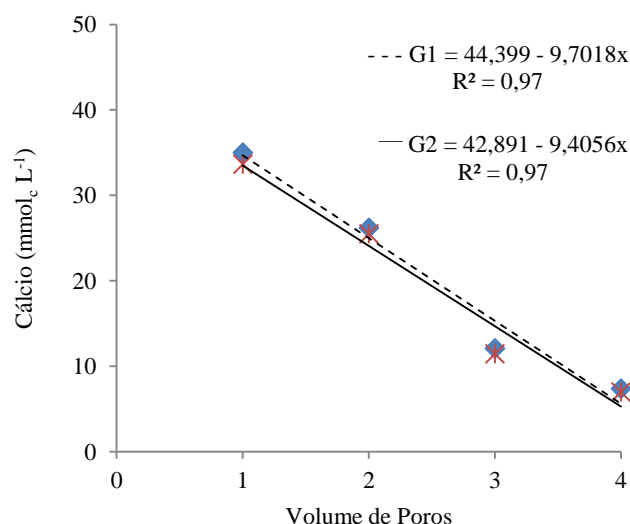


Figura 13: Cálcio no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Ao analisar os dados, pode-se constatar que, apesar de ter sido adicionado gesso ao solo, o que aumentaria a concentração do Ca^{2+} na solução, não foi o que ocorreu, uma vez que os valores da sua concentração reduziram com o aumento das lâminas de lixiviação. Isso, provavelmente, ocorreu porque à medida que as lâminas de lixiviação foram aplicadas, o gesso foi solubilizado, passando a disponibilizar Ca^{2+} na solução do solo e este, por sua vez, promoveu a floculação das partículas de argila, o que veio a ocasionar o aumento da k_o (Figura 10) e possibilitou a lixiviação dos cátions solúveis presentes no solo.

Tavares Filho et al. (2012), ao estudar o efeito da aplicação de diferentes níveis de gesso mineral (50, 75, 100, 125, 150, 175, 200% da NG) e uma lâmina equivalente a 3 VP em dois solos de granulometrias distintas, provenientes de Ibimirim, PE, observaram que houve aumento linear crescente da concentração de Ca^{2+} no extrato de saturação do solo; justificando-se tal comportamento à aplicação de crescentes níveis de gesso ao solo e da lâmina de lixiviação aplicada não ter sido suficiente para lixiviar o Ca^{2+} do extrato de saturação do solo.

As concentrações de potássio no extrato de saturação diminuíram significativamente em função das lâminas de lixiviação aplicadas, apresentando comportamento semelhante para G1 e G2 (Figura 14), entretanto, com taxas diferentes. Tal comportamento provavelmente é explicado pela baixa concentração inicial de K^+ no extrato de saturação do solo ($1,02 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), bem como a elevada lixiviação de sais promovida pela aplicação das crescentes lâminas de lixiviação, que proporcionam uma

redução média de 27% nos solos que receberam uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP. Pode-se atribuir esta redução, ao fato do íon K^+ ser monovalente, sendo assim, mais facilmente lixiviado por apresentar ligações mais fracas com os colóides do solo.

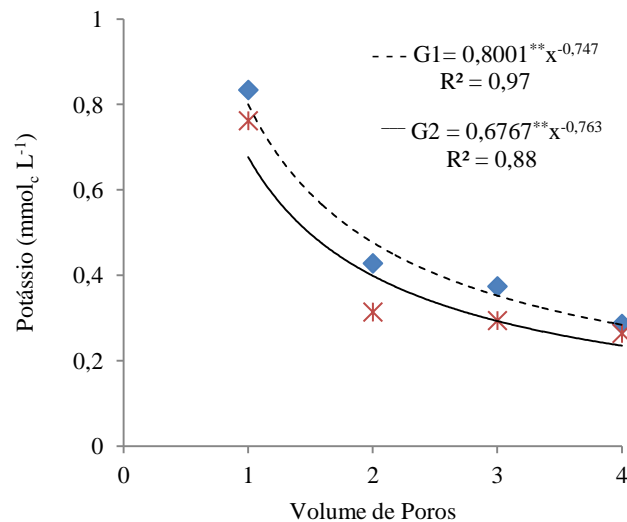


Figura 14: Potássio no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Concordando com as afirmações anteriores, Jalali e Rowell (2003) afirmam que em regiões áridas e semi-áridas, a lixiviação de K^+ é reforçada pela presença de calcita e gesso. De maneira geral, Santos et al. (2005), afirmam que a concentração de K^+ tende a ser menor com o aumento da relação Na:Ca no extrato de saturação do solo, fato ocorrido no presente trabalho.

Pode-se observar, Figura 15, que o comportamento do Mg^{2+} no extrato de saturação do solo foi semelhante ao do K^+ , ou seja, os dados se ajustaram a um modelo potencial e a sua concentração diminuiu com o aumento das lâminas de lixiviação, independente do tipo de gesso utilizado. Tal fato pode ser explicado por a utilização de gesso para a correção da sodicidade de solos, segundo Syed-Omar & Sumner (1991), reduzir a concentração dos outros elementos, especialmente o K^+ e Mg^{+2} . Wadt & Wadt (1999) explicam que isso ocorre, provavelmente, por esses íons serem fracamente adsorvidos pelos colóides do solo podendo ser lixiviados mesmo na presença de ânions que formem ligações fracas, como cloretos e sulfatos. Ainda segundo os mesmo autores, quanto menor a força de adsorção entre o ânion e a superfície dos colóides do solo, maior a propensão para a lixiviação do cátion acompanhante.

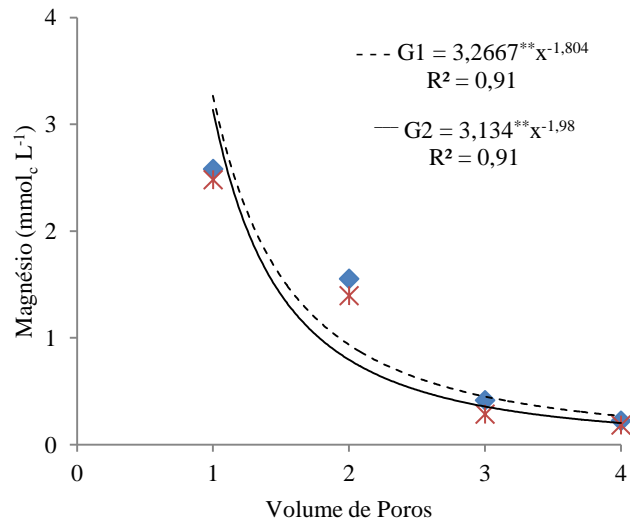


Figura 15: Magnésio no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Antes da incorporação dos corretivos ao solo, o teor de Mg^{2+} no extrato de saturação foi de $7,63 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Tabela 4), reduzindo-se para $0,222 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e $0,182 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, quando se utilizou o gesso de mineral (G1) e o resíduo de gesso (G2), respectivamente, e foi aplicada uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP. Este fato, provavelmente, se deu face o efeito da remoção dos sais pela lâmina de lixiviação, bem como o efeito dos tipos de gessos aplicados na floculação das partículas do solo possibilitando a lixiviação dos sais solúveis, dentre eles o íon Mg^{2+} . Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2014).

Assim como ocorreu para o K^+ e Mg^{2+} , os dados da relação de adsorção de sódio (RAS) também se ajustaram ao modelo potencial positivo, de modo que essa variável foi substancialmente reduzida em função da elevação das lâminas de lixiviação e da aplicação do gesso (Figura 16), o que já era de se esperar, tendo em vista que a RAS expressa a relação entre a concentração de sódio solúvel e a raiz quadrada da soma dos valores de cálcio e magnésio solúveis divididos por dois, sendo, assim, à medida que as lâminas de lixiviação foram aplicadas ao solo houve maior solubilização do gesso, que favoreceu a lixiviação do sódio, passando a haver uma maior concentração do íon Ca^{2+} em relação ao íon Na^+ no extrato de saturação do solo, reduzindo assim o valor da RAS neste local.

Antes da incorporação dos corretivos ao solo, a RAS era de $51,7 (\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$ (Tabela 4), após a correção, foi constatada uma expressiva redução no valor da RAS, quando aplicou-se a lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP, atingindo o valor médio de $9,15 (\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$, conseguido devido à incorporação de gesso ao solo. A partir desse

resultado e baseando-se no critério de classificação de solos afetados por sais estabelecido por McNeal (1976) verifica-se que o solo do presente estudo, classificado antes da incorporação do gesso e da aplicação das lâminas de lixiviação como salino-sódico ($CE > 4 \text{ dS m}^{-1}$; $RAS > 13 \text{ (mmol L}^{-1})^{1/2}$; $PST > 15\%$), passou a ser classificado como não afetado por sal ($CE < 4 \text{ dS m}^{-1}$; $RAS < 13 \text{ (mmol L}^{-1})^{1/2}$; $PST < 15\%$), devido à correção dos níveis excessivos de sais e sódio trocável.

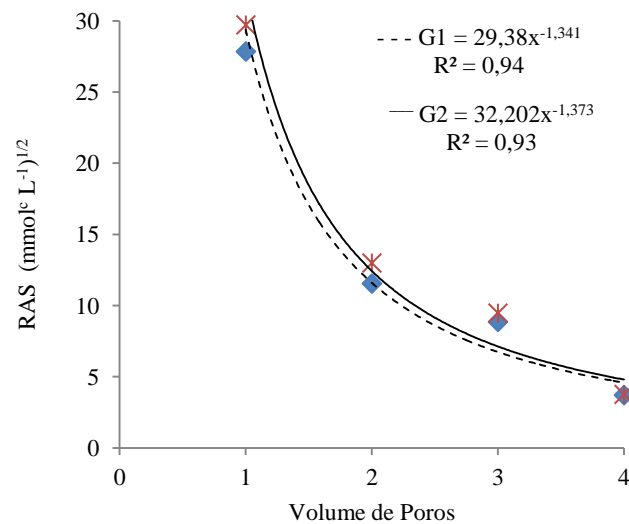


Figura 16: RAS no extrato de saturação do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Resultados semelhantes quanto à redução da RAS também foram obtidos por Coelho (2004) ao trabalhar com um Neossolo Flúvico salino, visando avaliar o efeito de doses crescentes do polímero hidratassolo ($T_0 = 0$; $T_1 = 0,05$; $T_2 = 0,10$; $T_3 = 0,15$ e $T_4 = 0,20 \text{ dag kg}^{-1}$) sobre o desenvolvimento da beterraba que recebeu $17,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de corretivo químico de sodicidade (cloreto de cálcio di-hidratado + gesso) e uma lâmina de lixiviação equivalente a 2,5 VP do solo para promover a correção da salinidade do mesmo. O autor constatou uma redução de aproximadamente 94% no valor da RAS após a correção da salinidade do solo em relação ao valor obtido antes da aplicação do corretivo e da lâmina de lixiviação.

Freire et al. (2007) ressaltam que os valores da RAS devem ser analisados levando-se em consideração o seu conceito, pois ao irrigarem amostras de quatro solos do Rio Grande do Norte com águas de valores crescentes de CE (0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1,25; 1,75; 2,25 e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$) e RAS observaram que além de ocorrer o deslocamento do sódio, o magnésio também foi deslocado, o que contribuiu com o aumento dos teores desse

elemento na solução lixiviada, sendo assim, nesse caso, uma RAS maior na solução lixiviada indicou que o Na^+ estava saindo do sistema em proporções superiores à soma de Ca^{2+} e Mg^{2+} , o que foi benéfico, por não permitir a sodificação dos solos.

Trabalhando com dois Neossolo Flúvicos Salino-sódicos (A1 e A2) de diferentes pontos e um Vertissolo salino-sódico (V), todos do Rio Grande do Norte, com valores de RAS de 10,8; 8,2 e 3,4 (mmol L^{-1})^{1/2} respectivamente, submetidos à aplicação de 100% NG e uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP dos solos, Ruiz et al. (2004) também observaram que a RAS decresceu substancialmente para os solos estudados, chegando a atingir valores de 0,93; 0,18 e 0,16 (mmol L^{-1})^{1/2} para os solos A1, A2 e V respectivamente.

Khalon et al. (2012) trabalhando com solo franco arenoso salino-sódico do Pasquistão, testaram diferentes tipos de corretivos, dentre eles, o gesso mineral, também constataram redução significativa da RAS para o solo corrigido com gesso, havendo um decréscimo de 60-80% em relação a RAS antes da aplicação do corretivo que era maior que 100 (mmol L^{-1})^{1/2}.

4.4 Cátions trocáveis, percentagem de sódio trocável (PST) e gesso remanescente no solo

A partir dos dados obtidos para os cátions trocáveis no complexo de troca do solo (Tabela 9) após a aplicação dos corretivos e a lixiviação dos sais, observou-se que houve efeito significativo teste F à 1% de probabilidade sendo constatado efeito isolado do fator lâmina de lixiviação para todas as variáveis analisadas no complexo de troca excetuando-se a variável gesso remanescente que apresentou efeito significativo de interação entre os fatores gesso × lâmina de lixiviação.

Tabela 9: Resumo de análise de variância referente aos teores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}) no complexo de troca, percentagem de sódio trocável (PST) e gesso remanescente (GR) no solo.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		Na^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	PST	GR
Gesso (G)	1	0,3385**	0,4494**	0,0038**	0,0002 ^{ns}	20,7734**	0,0609**
Lâmina (L)	3	68,8671**	73,8966**	0,0583**	0,0037**	5128,43**	1,2743**
G x L	3	0,0202**	0,013**	0,004 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	1,5595**	0,0086**
Resíduo	32	0,0017	0,0016	0,0006	0,00001	0,0585	0,0005
CV (%)	-	1,3	0,52	4,28	5,74	0,96	6,69

A concentração inicial de sódio trocável era de $8,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 5), após a aplicação dos corretivos, gesso mineral (G1) e resíduo de gesso (G2), e das lâminas de lixiviação, foi observado que a concentração desse íon no complexo de troca do solo decresceu linearmente (Figura 17) para G1 e G2. Verificou-se, também, que o comportamento do sódio trocável foi inverso ao do cálcio trocável, mostrando que a concentração do sódio no complexo de troca decresceu à medida que a de cálcio aumentou, ou seja, o sódio trocável foi substituído pelo cálcio advindo dos corretivos, sendo obtida a menor concentração de sódio trocável no solo após a aplicação da lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP, chegando a valores de $0,68$ e $0,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para os solos tratados com G1 e G2, respectivamente.

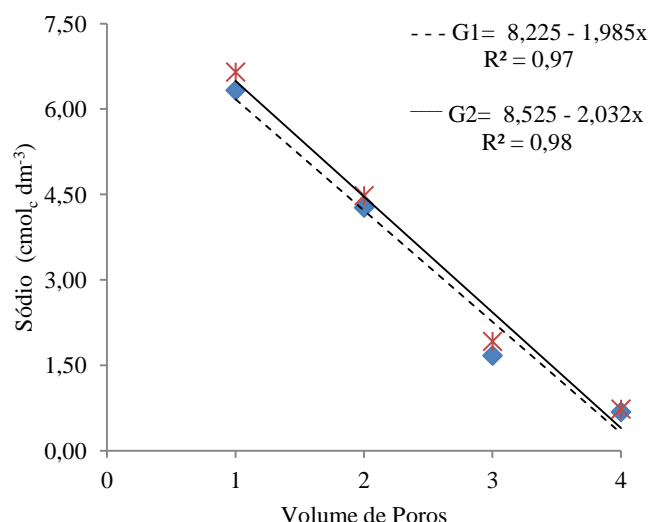


Figura 17: Sódio trocável do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

A aplicação de 100% NG do solo, independente do tipo de gesso (G1 ou G2) promoveu reações de troca bastante intensas entre o cálcio advindo dos corretivos e o sódio trocável presente no solo, sendo esta adequada para aumentar a concentração de cálcio trocável (Figura 18) e reduzir a concentração de sódio no complexo de troca do solo estudado, ocasionando sua correção quanto à sodicidade. Desta maneira, confirma-se a eficiência do Método Shoonover M-1 na determinação da necessidade de gesso para promover o deslocamento do sódio do complexo de troca do solo estudado.

Singh & Bajwa (1991) trabalhando em casa de vegetação com um solo sódico proveniente da Índia, que foi recuperado com diferentes níveis de gesso mineral (33, 67 e

100% NG total do solo) e cultivado com arroz, também, observaram que a aplicação do corretivo associada à irrigação com água com baixa concentração de sais de sódio, aumentou a remoção de sódio trocável e diminuiu a PST do solo. Contudo, quando foi utilizada na irrigação água contendo elevada concentração de sódio, os autores notaram que, até mesmo nos solos que receberam o equivalente a 100% NG, não foi possível reduzir a PST inicial do solo a níveis adequados para o desenvolvimento da cultura.

Leite et al. (2010) ao trabalhar com um solo salino-sódico de Condado, PB, em condições de ambiente protegido, testaram o efeito do ácido sulfúrico e do gesso agrícola como corretivos de sodicidade e observaram que os teores de sódio trocável do solo foram reduzidos de $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para teores inferiores a 3 e $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para os solos tratados com ácido sulfúrico e gesso agrícola, respectivamente, obtidos quando foi aplicada uma dose de 100% NG para o solo tratado com gesso agrícola e uma dose de 3,9 mL de ácido sulfúrico kg^{-1} de solo, para o solo tratado com H_2SO_4 associados a uma lâmina de irrigação de 220 mL, indicando ação positiva de ambos os corretivos químicos na redução da sodicidade do solo.

Santos et al. (2012), também encontraram resultados de redução do sódio trocável do solo, trabalhando em ambiente telado com um Luvissole salino-sódico de Souza, PB, ao avaliar os efeitos de doses de gesso (0, 21, 43, 64, 86 e 100% NG do solo) sob lixiviação contínua durante 50 dias, com água de baixa concentração de sódio e cultivado com três cultivares de girassol (*Helianthus annuus L.*). Os autores observaram que as amostras que receberam a aplicação de 100% NG do solo foram as que tiveram a maior redução nos valores de sódio trocável, cerca de 95% em relação ao valor desse antes da aplicação do gesso e da lixiviação contínua.

Ao analisar os dados de cálcio trocável, foi observado predomínio desse íon no complexo de troca, em relação ao sódio, magnésio e potássio trocáveis, apresentando comportamento linear crescente à medida que foram aplicadas as lâminas de lixiviação. A ocorrência de tal fato pode ser justificada pela dissolução do gesso incorporado ao solo, o que promoveu a elevação da concentração de cálcio na superfície trocadora do mesmo, permitindo que os cátions anteriormente adsorvidos, sobretudo, o sódio, fossem substituídos, pelo cálcio, já que esse se apresentava em maior concentração na solução do solo, além de ter menor raio iônico hidratado e maior valência, características que influenciam na troca iônica. Embora ambos os gessos tenham apresentado o mesmo comportamento as taxas foram diferentes.

Antes da incorporação dos corretivos, a concentração de cálcio no complexo de troca foi de $2,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 5), após a aplicação dos corretivos e lixiviação do solo constatou-se aumento nos teores de cálcio trocável (Figura 18), chegando-se a 11,04 e $10,94 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, quando se aplicou o gesso mineral e o resíduo de gesso, respectivamente. Concordando com Wadt & Wadt (1999), quando afirmam que na presença de grandes concentrações de CaSO_4 , o aumento do teor de cálcio trocável se dá, principalmente, devido à competição do cálcio com os outros íons presentes no complexo sortivo, ocasionando o deslocamento desses para a solução do solo.

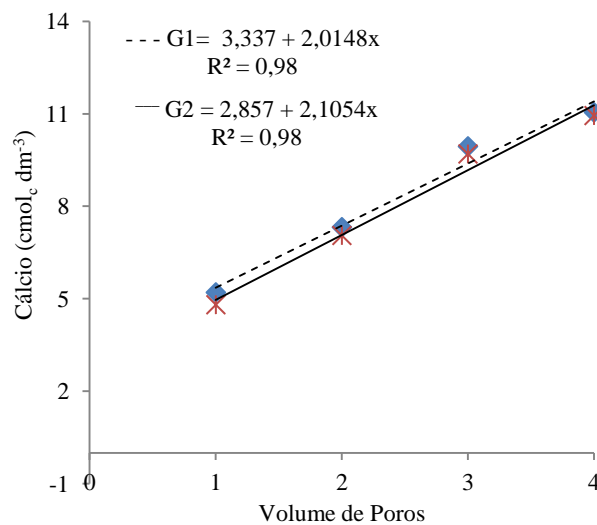


Figura 18: Cálcio trocável do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Resultados de elevação da concentração de cálcio no complexo sortivo também foram encontrados por Caires et al. (2003), trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, em Ponta Grossa, PR, buscando avaliar as alterações químicas do solo e a resposta da soja aos seguintes tratamentos: calcário parcelado na superfície (três aplicações anuais de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$); calcário na superfície ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$); calcário incorporado ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$) e nas subparcelas, em superfície, quatro doses de gesso agrícola: 0, 3, 6 e 9 t ha^{-1} . Os autores constataram que aplicação de gesso aumentou os teores de cálcio trocável do solo, independentemente dos tratamentos de calagem aplicados.

Leal (2005), realizando estudo em casa de vegetação num Neossolo salino-sódico proveniente de Pesqueira, PE, corrigido com *Atriplex nummularia* e 50% da necessidade de gesso mineral e posteriormente submetido à irrigação com águas de diferentes salinidades ($0,175$, $0,5$ e $1,5 \text{ dS m}^{-1}$), também, observou comportamento semelhante quanto ao

aumento de cálcio no complexo de troca, já que antes da correção, o valor deste cátion no complexo sortivo era de $3,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, passando a ser, após a incorporação do gesso, de $18,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

As concentrações de potássio no complexo de troca (Figura 19) mantiveram-se praticamente constantes se comparadas ao valor original que era de $0,67 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 5), apresentando pequena variação após a aplicação de uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP. A presença de potássio no complexo de troca após a aplicação do gesso e das lâminas de lixiviação pode ser explicada pela capacidade do solo de manter o equilíbrio inicial entre as formas trocável e solúvel em relação ao suprimento de potássio, uma vez que os solos da região estudada segundo Oliveira et al. (2004) apresentam mica em sua composição mineralógica.

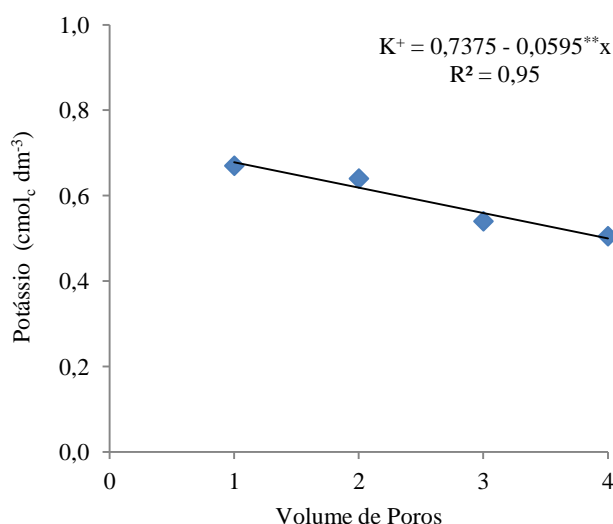


Figura 19: Potássio trocável do solo em função das lâminas de lixiviação equivalentes aos volumes de poros.

Tedesch et al. (2006), realizando experimento em campo no sul da Itália em solo argilo arenoso irrigado com água salina, por 12 anos, ao aplicar soluções salinas com concentração de 2,5; 5 e 10 g L^{-1} de sal comercial (Na^+ 26,3%, Cl^- 56,7%, K^+ 16,4%, Ca^{2+} 0,11%, Mg^{2+} 0,11%, SO_4^{2-} 0,31%), observaram que a salinidade crescente da água de irrigação aumentou a CE, a PST e o pH do solo, ao passo que diminuiu a concentração de potássio trocável.

No tocante ao comportamento apresentado pelo magnésio no complexo de troca (Figura 20), nota-se que os dados se ajustaram ao modelo linear decrescente, sendo constatados valores iguais a $0,16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, quando se utilizou uma lâmina equivalente a

4 VP, o que representa uma redução média de 80% se comparado ao valor obtido na caracterização que foi de $0,79 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 5). O decréscimo de magnésio trocável pode ser atribuído ao acréscimo das lâminas de lixiviação que promoveu a gradativa solubilização do gesso, disponibilizando o cálcio para participar das reações de troca, que se apresentando em maior concentração em relação ao magnésio, possivelmente, acabou por retirar, além do sódio trocável, o magnésio trocável do solo, reduzindo assim sua concentração no complexo sortivo.

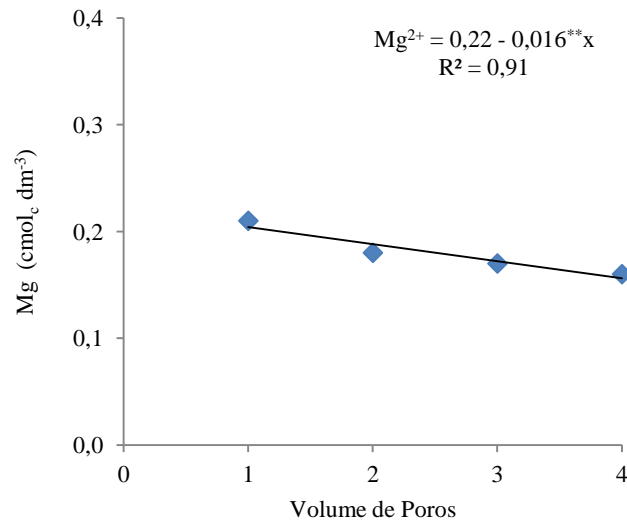


Figura 20: Magnésio trocável do solo em função das lâminas de lixiviação equivalentes aos volumes de poros.

Resultados semelhantes foram obtidos por Barros (2001), trabalhando com solos salino-sódicos de Custódia, PE, que observou que a aplicação ao solo de gesso com partículas de diâmetro máximo de 1 mm e uma lâmina de lixiviação equivalente a 2 VP promoveu a substituição do cálcio pelo magnésio na fase sólida do solo, havendo um maior deslocamento do magnésio do complexo de troca quando foi utilizado gesso de menor granulometria. A autora atribui a esta maior redução da concentração de magnésio no complexo de troca à subdivisão do gesso, já que quanto menores as partículas maior a rapidez sua solubilização e, conseqüentemente, maior a concentração de cálcio na solução do solo para participar das reações de troca.

Caires et al. (2004), ao trabalhar com um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, em Ponta Grossa, PR, buscando avaliar as alterações químicas do solo em quatro profundidades (0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm) e a resposta do milho aos seguintes tratamentos: calcário parcelado na superfície (três aplicações anuais de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$; calcário

na superfície ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$); calcário incorporado ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$) e nas subparcelas, em superfície, quatro doses de gesso agrícola: 0, 3, 6 e 9 t ha^{-1} , também observaram que a concentração de magnésio no complexo de troca foi reduzida. Os autores verificaram que o gesso proporcionou a substituição do magnésio trocável até à profundidade de 20 cm, sendo assim, os mesmos recomendam, o uso de gesso em combinação com o calcário dolomítico para minimizar as perdas de magnésio trocável, tendo em vista que a lixiviação desse último tem sido uma resposta frequente nos estudos com aplicação de gesso em solos (Syed-Omar & Sumner, 1991; Caires et al., 2003).

Os dados de percentagem de sódio trocável (PST) se ajustaram ao modelo linear decrescente e estão apresentados na Figura 21. A correção do solo em relação à sodicidade representada pela PST, só foi realizada após a aplicação da lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP do solo, sendo obtidos valores de 12,71 e 14,18% (Figura 21) nos solos tratados com gesso mineral (G1) e resíduo de gesso (G2), respectivamente, evidenciando uma redução média da PST igual a 81%, em relação a PST inicial do solo (Tabela 5).

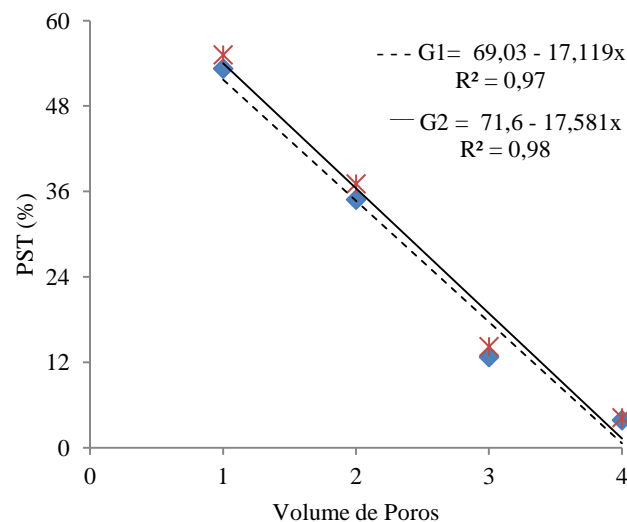


Figura 21: Percentagem de sódio trocável do solo em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Tal fato mostra a eficiência dos corretivos químicos utilizados em fornecer cálcio, que, conseqüentemente, substitui o sódio no complexo de troca do solo, proporcionando uma diminuição em sua PST, quando associado à aplicação de lâminas de lixiviação mostrando que independente do tipo de gesso, estes foram eficientes em corrigir a sodicidade do solo estudado quando da aplicação de uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP. Salienta-se que os valores de PST obtidos após a aplicação da lâmina de lixiviação

equivalente a 3 VP estão muito próximos ao limite de PST estabelecido por Richards (1954) para separar solos sódicos dos não sódicos, que é de 15%, revelando o alto risco do solo voltar a sodificar-se; recomenda-se, assim, que para o solo em estudo, a fim de se evitar problemas futuros de sodificação, a aplicação de uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP, pois essa reduziu a PST do solo estudado para 4,02%

Os menores valores de PST encontrados no solo se devem à relação entre a taxa de dissolução do gesso e a correção da sodicidade do solo, pois se observa que essa ocorreu a medida que o gesso foi sendo solubilizado. Barros et al. (2005 a) afirmam que a influência da PST sobre a dissolução do gesso é possivelmente indireta, ressaltado que a taxa de dissolução do gesso é provavelmente controlada pela concentração de sais de sódio dissolvidos na solução do solo. Os autores ainda explicam que a redução da PST, mesmo em solos com PST muito elevada, é explicada pela relação entre a PST do solo e a dissolução do gesso.

Gomes et al. (2000) objetivando avaliar o efeito de diferentes produtos, sendo eles, o gesso (20 Mg ha^{-1}); casca de arroz (15 Mg ha^{-1}); vinhaça ($40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); esterco de curral (40 Mg ha^{-1}) e testemunha nas propriedades químicas do solo e seus reflexos nos componentes de produção e rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado realizaram experimento em campo num solo salino-sódico em Sousa, PB. Assim como no presente trabalho, os autores também observaram reduções da PST após a aplicação dos condicionadores e do gesso e subsequente lixiviação durante 40 dias, mantendo-se uma lâmina de água de 8 cm na sua superfície. Esses autores ainda ressaltam que as reduções foram mais significativas nas camadas de 0 - 20 e 20 - 40 cm de profundidade do solo, destacando-se a camada de 0 - 20 cm, onde ocorreram diminuições da PST de 48,5% para 14%, no tratamento com esterco de curral, de 46% para 29% para o tratamento com casca de arroz e de 25% para 17,7% para o tratamento com o gesso.

Leite et al. (2007), trabalhando em condições protegidas com dois solos salino-sódicos provenientes da Paraíba, verificaram que ao aplicarem doses de gesso agrícola equivalentes a 0, 25, 50, 75 e 100% NG dos solos e quatro lâminas de lixiviação equivalentes a duas vezes o volume de poros dos solos, também, observaram declínio acentuado da PST para ambos os solos estudados. Entretanto, vale salientar que os autores atribuem tais resultados ao aumento das doses de gesso incorporadas aos solos e não ao aumento do volume de água utilizado para solubilizar o gesso, diferentemente do que ocorreu no presente trabalho, onde conseguiu-se demonstrar que 100% da NG do solo foi

suficiente para corrigir a sodicidade do solo, quando submetida a lâminas de lixiviação adequadas.

Conduzindo experimento com colunas de solo preenchidas com Neossolo Flúvico salino-sódico proveniente de Custódia, PE, Miranda et al. (2011) também constataram redução significativa da PST, quando aplicaram-se os tratamentos: gesso mineral, esterco ovino, esterco bovino e polímero, associados a uma lâmina de lixiviação igual a 4,68 L para a área da coluna, sendo esta calculada levando-se em consideração a precipitação anual do local de origem do solo.

Ao analisar qualitativamente a presença de gesso remanescente (Figura 22) no solo que recebeu gesso mineral (G1) e resíduo de gesso (G2) e a aplicação de lâminas de lixiviação equivalentes a 1, 2 e 3 VP observou-se presença de gesso remanescente, tanto para G1 quanto para G2, principalmente, quando foi aplicada uma lâmina de lixiviação equivalente a 1 e 2 VP. Para a lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP, verificou-se pequena concentração de partículas de gesso quando foi aplicada uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP, só sendo constatada ausência visual de gesso remanescente no solo, apenas, quando aplicou-se uma lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP independente do tipo de gesso utilizado na correção do solo.

Pode-se atribuir a presença de gesso remanescente no solo, o fato das lâminas de lixiviação equivalentes a 1, 2 e 3 VP aplicadas não terem sido suficientes para solubilizar o gesso incorporado ao solo, propiciando a presença de gesso remanescente. Confrontando os dados de gesso remanescente com os de PST obtidos no presente trabalho, comprova-se que houve a correção da sodicidade do solo a partir da aplicação de uma lâmina de lixiviação equivalente a no mínimo 3 VP (Figura 21), pois os valores de PST foram menores do que 15%.

No entanto, a presença de gesso remanescente no solo indica que a aplicação da lâmina equivalente a 3 VP não foi suficiente para solubilizar por completo os corretivos aplicados, mostrando que apenas a aplicação da quarta lâmina de lixiviação, proporcionou toda a solubilização do gesso incorporado, havendo, assim, uma maior redução da sodicidade, já que todo o gesso foi utilizado no processo de recuperação, sendo obtido valor de PST iguais a 4,02%, valor, este, bem abaixo do nível máximo de PST estabelecido por Richards (1954) em relação a classificação do solo quanto a sodicidade.

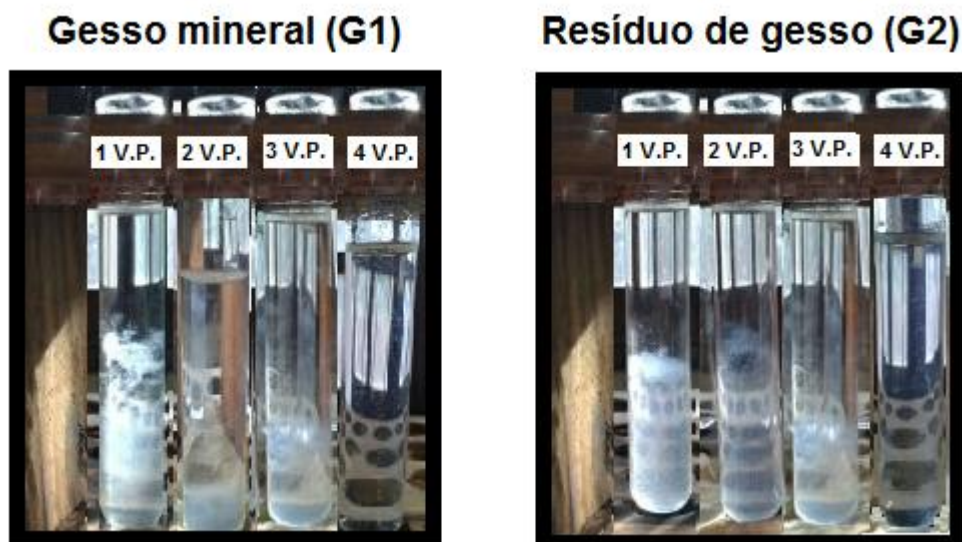


Figura 22: Gesso remanescente no solo (método qualitativo) em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Já para os resultados quantitativos do gesso remanescente no solo (Figura 23), constatou-se que os dados se ajustaram ao modelo quadrático positivo, tanto para G1 quanto para G2, decaindo conforme o aumento das lâminas de lixiviação, tendendo ao valor zero após a aplicação da maior lâmina de lixiviação (4 VP) podendo-se observar uma relação direta entre a presença de gesso remanescente e o volume de água aplicado ao solo.

A taxa de gesso remanescente no solo ao se aplicar a primeira lâmina de lixiviação foi de $0,76 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o solo no qual foi incorporado o gesso mineral (G1) e $0,89 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o solo no qual se aplicou o resíduo de gesso (G2), havendo uma redução de 100% do gesso remanescente, independente do tipo incorporado, quando foi aplicada a lâmina de lixiviação equivalente a 4 VP, fato que concorda com os resultados obtidos pela avaliação qualitativa quanto à presença de gesso remanescente no solo.

A maior concentração de gesso remanescente no solo tratado com G2, em relação ao tratado com o G1, pode ser explicada devido o G2 apresentar em sua composição, aditivos como, por exemplo, os hidrodispersivos, que repelem a água, fazendo com que a taxa de dissolução deste gesso seja menor em relação ao G1. Contudo, tal fato não diminui a eficiência do resíduo de gesso em corrigir solos afetados por sódio, tendo em vista que os resultados obtidos quando da aplicação deste corretivo para correção de sodicidade são bem próximos aos obtidos quando se aplicou gesso mineral.

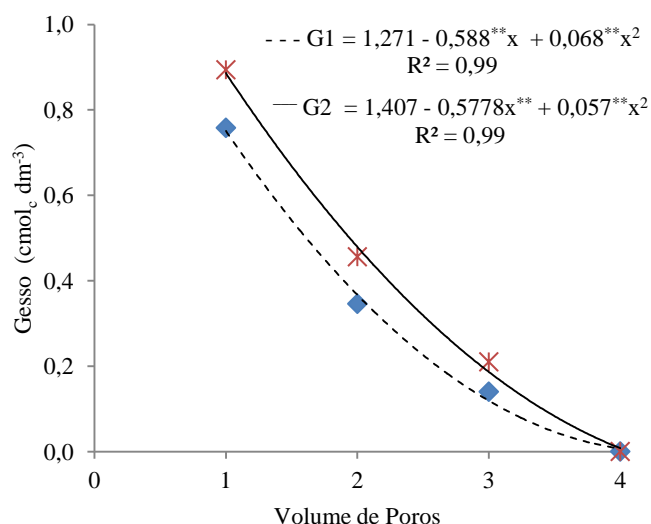


Figura 23: Gesso remanescente no solo (método quantitativo) em função do tipo de gesso e das diferentes lâminas de lixiviação aplicadas.

Barros et al (2005a), trabalhando com quatro solos salino-sódicos de granulometrias distintas provenientes de Custódia, PE, ao avaliar a presença de gesso remanescente no solo após a aplicação das lâminas de lixiviação equivalentes a 1 e 2 VP corrigido com gesso de diferentes granulometrias (2,0-1; 1,0-0,5; 0,5-0,3; e < 0,3 mm), também, observou a presença de gesso remanescente em três dos solos estudados que receberam gesso de diâmetro na faixa de 2,0-1,0 mm e um dos solos, por ter PST muito elevada (PST > 80%) apresentou gesso remanescente em todas as faixas de granulometrias utilizadas. Os autores, ainda, supõem que, quando uma amostra de solo apresentar uma PST > 40%, deve ser utilizada uma lâmina superior a duas vezes o volume de poros do solo, de modo a garantir que todo o gesso incorporado seja solubilizado e, conseqüentemente, mais cálcio seja disponibilizado para substituir o sódio no complexo de troca, aumentando o sucesso da recuperação.

A PST inicial que era de 70,96% foi corrigida com uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP e a incorporação do nível de 100% NG do solo, comprovando a hipótese levantada por Barros et al (2005a), mostrando assim, que a eficiência da recuperação de solos com elevada PST depende da quantidade de água utilizada para solubilizar o gesso incorporado ao solo.

5. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

- 1) A salinidade e sodicidade do solo foram corrigidas com a aplicação de 100% NG e uma lâmina de lixiviação equivalente a 3 VP ($CE < 4 \text{ dS m}^{-1}$; $PST < 15\%$ e $RAS < 13 (\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$);
- 2) O resíduo de gesso da construção civil foi tão eficiente na correção da sodicidade do solo quanto o gesso mineral;
- 3) A utilização de resíduos de gesso da construção civil como corretivo químico da sodicidade do solo, apresenta-se como alternativa viável na agricultura.

6. Referências

- Abrol, I. P.; Yadav, J. S. P.; Massoud, F. I. Salt-affected soils and their management. Food & Agriculture Org., 39 ed. 1988, 131p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e00.htm>>. Acesso em 12 de agosto de 2014.
- Agopyan, V.; Souza, U. E. L.; Paliari, J. C.; Andrade, A. C. Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: Relatório final. São Paulo: EPUSP/PCC, v.2, 1998, p.224-248.
- Almeida Neto, O. B. Dispersão da argila e condutividade hidráulica em solos de diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicas. Viçosa: UFV, 2007. 83p. Tese de Doutorado.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade de água na agricultura. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem 29 (Revisado). Campina Grande: UFPB, 1991, 218 p.
- Balks, M. R.; Bond, W. J.; Smith, C. J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. Australian Journal of Soil Research, v.36, p.821-830, 1998.
- Ballesteros, M.; Cañadas, E. M.; Foronda, A.; Peñas, J.; Valle, F.; Lorite, J. Central role of bedding materials for gypsum-quarry restoration: An experimental planting of gypsophile species. Ecological Engineering, v.70, p.470-476, 2014.
- Baltar, C. A. M.; Basatos, F. F.; Luz, A. B. Gipsita. In: Luz, A. B.; Lins, F. A. F. Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, cap. 23, p.505-526, 2008, 989p.
- Barros, M. F. C. Avaliação da necessidade de gesso em solos salino-sódicos de Pernambuco. Recife: UFRPE. 1986. 82p. Dissertação de Mestrado.
- Barros, M. F. C. Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso de gesso de jazida e calcário. Viçosa: UFV, 2001. 112p. Tese de Doutorado.
- Barros, M. 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, p.77-82, 2009.
- Barros, M. 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. F. C.; Fontes, M. P. F.; Alvarez V., V. H.; Ruiz, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.320-326, 2005 a.
- 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, p.119-123, 1989.
- Barros, M. F. C.; Santos, P. M.; Silva, A. J. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.310-313, 2005 b.
- Barros, M. F. C.; Santos, P. M.; Melo, R. M.; Ferraz, F. B. Avaliação de níveis de gesso para correção de sodicidade de solos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.1, p.17-21, 2006.
- Barros, M. F. C. B.; Santos, P. F.; Ferraz, F. B. Qualidade de água de drenagem de solos degradados pela salinização e sodificação depois da aplicação de gesso e calcário e de lâminas de irrigação. In: Messias, A. S.; Costa, M. R. N. (org.). *Água superficial, residuária e sedimento*. Recife: UNICAP, p.363-378, 2007.
- Batista, M. J.; Novais, F.; Santos, D. G.; Suguino, H. H. Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização dos solos. Brasília, DF: MMA-SRH, (Ministério do Meio Ambiente. Série informes técnicos), 2002. 203 p.
- Becegato, V. A.; Ferreira, F. J. F.; Machado, W. C. P.; Cassol, P. C. Monitoramento ambiental da radioatividade do U, Th e K oriunda de fertilizantes fosfatados em área agrícola no sul do Brasil. *Revista de Estudos Ambientais*. Blumenau, ano 2, v.8, n.5, 2006. Disponível em: <<http://www.geologia.ufpr.br/geofisica/periodicos/becegato21.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2014.
- Bernardo, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D.; Pruski, F. F.(Ed.) *Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura*. Viçosa: MMA/SRH/ABEAS/UFV, 1997. 252 p. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/56607743/Impacto-Ambiental-Da-Irrigacao-No-Brasil-Salassier-Bernardo-Winotec2008>>. Acesso em: 28 ago. 2014.
- Bernstein, L. Effects of salinity and sodicity on plant-growth. *Annual review of phytopathology*, v.13, n.1, p.295-312, 1975.
- Beulter, A. N.; Centurion, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

- Brady, N. C.; Weil, R. R. Elementos da natureza e propriedade dos solos. Porto Alegre. Editora Bookman, 3. ed, 2013, 624p.
- Brandão, V. S.; Demetrius, D. D. S.; Ruiz, H. A.; Pruski, F. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Martinez, M. A.; Menezes, S. J. M. C de. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.13-21, 2006.
- Bresler, E.; Mc Neal, B. L.; Carter, D. L. Saline and sodic soils: Principles, dynamics, modeling. New York, Springer Verlag, 1982, 236p.
- Bourlegat, F. M. L. Disponibilidade de metais em amostras de fosfogesso e fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura. São Paulo: IPEN/USP, 2010. 87p. Dissertação de Mestrado.
- Boyucos, G. Y. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomic Journal, v.54, p.454-455, 1962.
- Caires, E. F.; Chueiri, W. A.; Madruga, E. F.; Figueiredo, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.2, p.275-286, 2003.
- Caires, E. F.; Chueiri, W. A.; Madruga, E. F.; Figueiredo, A. Alterações de características químicas do solo e resposta do milho a calagem e aplicação de gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, n. 1, p.125-136, 2004.
- Canut, M. M. C. Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção. Minas Gerais: UFMG, 2006. 154p. Dissertação de Mestrado.
- Cardoso, F. A.; Agopyan, A. K.; Carbone, C.; Pileggi, R. G.; John, V. M. Squeeze flow as a tool for developing optimized gypsum plasters. Construction & Building Materials, v.23, p.1349-1353, 2009.
- Carneiro, F. P. Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na Cidade do Recife. João Pessoa: UFPB, 2005. 131p. Dissertação de Mestrado
- Carr, J.; Munn, D. A. Agricultural disposal method of construction site gypsum wallboard waste. Journal of Construction Education, v.6, p.28-32, 2001.
- Carvalho, L. C. T. Análise comparativa entre diferentes metodologias utilizadas para recomendação de gesso agrícola em solos cultivados com lavoura de Café na Região

- Sul de Minas Gerais. Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, MG, 2008. 38p. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura.
- Coelho, J. B. M. Aplicação de doses do polímero hidratassolo sobre a capacidade de retenção de água de solos e desenvolvimento da beterraba, em condições salinas. Recife: UFRPE, 87p. 2004. Dissertação de Mestrado.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 307, de 17 de julho de 2002. "Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil" – Data da legislação: 5/07/2002 – Publicação DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 431, de 5 de julho de 2011. "Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso" – Data da legislação: 24/05/2011 – Publicação DOU nº 99, de 25/05/2011, pág. 123
- CONDEPE/FIDEM, Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Perfil municipal. Correspondente ao ano de 2011, Disponível em: <<http://www.bde.pe.gov.br/ArquivosPerfilMunicipal/IBIMIRIM.pdf>>. Acesso em 08 de agosto de 2013.
- Costa, A. M. B.; Melo, J. G.; Silva, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. Águas Subterrâneas, v.20, n.1, p.67-82, 2006.
- Costa, R. N. T.; Saunders, L. C. U.; Oliveira JR, N. M.; Biserra, J. V. Indicadores econômicos da recuperação de um solo sódico em condições de drenagem subterrânea no Vale do Curu, CE. Irriga, v.10, p.272-278, 2005.
- Cunha Filho, P. L.; Ferreira, R. A. S.; Carneiro, A.; Almeida, Y. M.; Yadava, Y. P. Caracterização estrutural e microestrutural do gesso produzido pelo pólo gesseiro de Araripina. Cerâmica Industrial, v.13, n.3, 2008.
- Curado, T. S; Rezende, L. R. Ensaio laboratoriais com fosfogesso para fins de pavimentação. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 63, 2011, Goiânia. Anais da 63ª Reunião anual da SBPC, 2011. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/TALLYTA_PDF>.
- Acesso em: 21 de setembro de 2012.
- Damasceno, E. C.; Lima, J. Aproveitamento de resíduos da indústria de mineração: O fosfogesso gerado pela solubilização de concentrados fosfáticos. In: Congresso Italo Brasileiro de Engenharia Mineraria, 3, 1994, Verona. Anais do III Congresso Italo

- Brasiliano di Ingegneria Mineraria. Cagliari: Universita di Cagliari/Anim, v.1. p.229-230, 1994.
- de Vries, E. Biological sulfate removal from construction and demolition Debris Sand, Environmental Technology. Wageningen University, 2006.
- Dias, N. D.; Blanco, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010, p.129-140.
- DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral - Gipsita, Brasília, 2010. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=5474>. Acesso em: 03 setembro de 2013.
- DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral - Fosfato, Brasília, 2012 a Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7392>. Acesso em: 03 setembro de 2013.
- DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral - Gipsita, Brasília, 2012 b. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7393>. Acesso em: 03 setembro de 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 211p. 1997.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. Brasília, 624p. 2009.
- Fageria, N. K.; Gheyi, H. R. Lima, L. A. Efeitos dos sais sobre as plantas. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. de. (ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997, p.125-131.
- FAO - Food and Agriculture Organization. Water in agriculture: Opportunity untapped. Rome, 2006.
- Fernandes, J. G.; Freire, M. B. G. S.; Cunha, J. C.; Galvíncio, J. D.; Corrêa, M. M.; Santos, P. R. dos. Qualidade físico-química das águas utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.4, p.27-34, 2009.
- Ferrari, F. O. S. Utilização de fosfogesso, resíduos da produção de cal e areia da extração de ouro para produção de materiais da construção civil. Curitiba: UFPA, 2012. 84p. Dissertação de Mestrado.
- Ferreira, P. A. Manejo de água-planta em solos salinos. Curso de Engenharia Agrícola, Viçosa, UFV/DEA, 2002, 66p.

- Ferreira, P. A.; Dilva, J. B. L.; Ruiz, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semi-áridas. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. Manejo da salinidade na agricultura. Fortaleza: INCT Sal, p.21-41, 2010, 472 p.
- Freire, M. B. G. S.; Freire, J. F. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, cap.16, p.929-954, 2007.
- Freire, M. B. S.; Ruiz, H. A.; Ribeiro, M. R.; Ferreira, P. A.; Alvarez, V. H.; Freire, J. F. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, p.227-232, 2003.
- Freire, M. B. S.; Silva, M. O.; Mendes, A. M. S.; Freire, F. J.; Góes, G. B.; Fernandes, M. B. Composição do lixiviado em quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas salinas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado- RS, ago.2007.
- Freitas, J. B. A disposição do fosfogesso e seus impactos ambientais. In: Seminário Sobre o Uso do Gesso na Agricultura, 2, 1992, Uberaba. Anais...Uberaba: IBRAFOS, 1992.
- Gesso Trevo. Especificações dos tipos de gesso. Disponível em: <http://www.gessotrevo.com.br/gesso_bloco.php>. Acesso em: 25 de agosto de 2014.
- Gheyi, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira, T. S.; Assis Jr, R. N.; Romero, R. E.; Silva, J. R. C. (org). Agricultura, sustentabilidade e o semiárido. Viçosa: Folha de Viçosa/SBCS. v.1, 2000, p.329-346.
- Gheyi, H. R., Azevedo, N. C., Batista, M. A., Santos, J. G. R. Comparação de métodos na recuperação de arroz em solo sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.19, p.173-178, 1995.
- Global Recycling Network. Green recycling exchange. 2013. Disponível em <<http://www.grn.com/>>. Acesso em 04 de agosto 2013.
- Gomes, E. M.; Gheyi, H. R.; Silva, E. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.355-361, 2000.
- Guerra, J, S. Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações. Recife: UFPE, 2008. 104p. Dissertação de Mestrado.
- Gypsum Association. Residential job-site disposal of new construction waste gypsum board, 2003. Disponível em: <<https://www.gypsum.org/technical-information/technical-topical-papers/#residential>>. Acesso em: 26 de agosto de 2013.
- Hengl, T.; Panagos, P.; Jones, A.; Toth, G. (eds). Status and prospect of soil information in south-eastern Europe: Soil databases, projects and applications. EUR 22646 EN

- Scientific and Technical Research Series, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 2007, 187p. Disponível em: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/doc.html>. Acesso em: 22 de agosto de 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=260660>>. Acesso em: 27 de agosto de 2014.
- Ilyas, M.; Quereschi, R. H.; Qadir, M. A. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil Technology*, v.10, p.247-260, 1997.
- Jacomino, M. F.; Oliveira, K. A. P.; Taddei, M. H. T.; Siqueira, M. C.; Carneiro, M. E. D. P.; Nascimento, M. R. L.; Silva, D. F.; Mello, J. W. V. Radionuclides and heavy metal contents in phosphogypsum samples in comparison to cerrado soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.5, P. 1481-1488, 2009.
- Jacomino, V. M. F. Fosfogesso. Relatório Técnico Científico por Missão. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2003. 17p.
- Jalali, M.; Rowell, D.L. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. *Experimental Agriculture*, v.39, n.4, p.379-394, 2003.
- John, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo: USP, 2000, 102p. Livre Docência.
- Kahlon, U. Z.; Murtaza, G.; Ghafoor, A. Amelioration of saline-sodic soil with amendments using brackish water, canal water and their combination. *International Journal of Agriculture & Biology*, v.14, n.1, p.38-46, 2012.
- Karpinsk, L. A.; Pandolfo, A.; Reinehr, R.; Kurek, J.; Pandolfo, L.; Guimarães, J. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: Uma abordagem ambiental. Porto Alegre. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2009,
- Kijjanapanich, P.; Annachhatre, A. P.; Esposito, G.; Van Hullebusch, E. D.; Lens, P. N. L. Biological sulfate removal from gypsum contaminated construction and demolition debris. *Journal of Environmental Management* n.131, p.82-91, 2013.
- Kinjo, T; Silveira, R. J.; Marcos, Z. Z; Abrahão, I. O. Efeito da aplicação de efluente da fábrica de celulose junto com fosfogesso na correção da acidez do solo. *Scientia Agrícola*, v.49, n.1, p.129-135, 1992.
- Kokovich, P. F.; Ribeiro Jr, P. J. A. Origem das cargas no solo. Universidade do Estado do Mato Grosso- UNEMAT, Campus Universitário de Alta floresta, 2008. Disponível em:

- < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAPUUAF/origem-das-cargas-nos-solos> >.
Acesso em: 21 de agosto de 2014.
- Landon, J. R. Booker tropical soil manual: A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Tate Ltd., 1984.
- Leal, I. S. Utilização de *Atriplex nummularia* e gesso de jazida na fitorremediação de solo salino-sódico. Recife: UFRPE, 2005. 61p. Dissertação de Mestrado.
- Leite, E. M.; Cavalcante, L.F.; Diniz, A. A.; Santos, R.V.; Alves, G. S.; Cavalcante, I. H. L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. Irriga, v.12, n.2, p.168-176, 2007.
- Leite, E. M.; Diniz, A. A.; Cavalcante, L. F.; Gheyi, H. R.; Campos, V. B. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. Revista Caatinga, v.23, n.2, p.110-116, 2010.
- Leite, M. J. H. Gesso e rejeitos de mineração na correção de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims. f. flavicarpa Deg.*). Patos: UFCG, 2012. 52p. Monografia
- Levy, G. J.; Assouline, S. Physical aspects. In: Levy, G. J.; Fine, P.; Bar-Tal, A. (eds.), Use of treated wastewater in agriculture: Use and impacts on the soil environment and crops. Oxford, U.K: Wiley-Blackwell, 2011, p.306-327.
- Levy, G. J.; Fine, P.; Goldstein, D.; Azenkot, A.; Zilberman, A.; Chazan, A. Grinhut, T. Long term irrigation with treated wastewater (TWW) and soil sodification. Biosystems Engineering, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.05.004>>. Acesso em: 08 de setembro de 2014.
- Lopes, J. F. B.; Andrade, E. M. de; Chaves, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na Bacia do Acaraú, Brasil. Engenharia Agrícola, v.28, p.34-43, 2008.
- Lyra, A. C. O mercado de gipsita e gesso no Brasil. Portal da cadeia produtiva do gesso, 2003. Disponível em: <www.prossiga.br/gesso>. Acesso em: 16 de agosto de 2013.
- Lyra Sobrinho, A. C. P.; Amaral, A. J. R.; Dantas, J. O. C.; Dantas, J. R. A. Gipsita. Balanço mineral brasileiro, 23p., 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf>>.
Acesso em: 21 de agosto de 2014.
- Magalhães, A. F. Métodos de análise químicas para solos salinos e sódicos. Recife: Departamento de Agronomia, UFRPE, 1987. 30p.

- Malavolta, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – Perguntas e respostas. In: Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura, 2, 1992, Uberaba, MG. Anais., Uberaba, IBRAFOS, p.41-66. 1992.
- Marvin, E. Gypsum wallboard recycling and reuse opportunities in the State of Vermont. Vermont Agency of Natural Resources, 2000. Disponível em: <<http://www.anr.state.vt.us/dec/wastediv/recycling/gypsum.pdf>>. Acesso em: 02 de setembro de 2013.
- Mazzilli, B.; Saueia, C. H. R. Implicações radiológicas da utilização de fosfogesso como material de construção. Revista Ambiente Construído, v.1, n.2, p.17-22, 1997.
- Mazzilli, B.; Palmiro, V.; Saueia, C.; Nisti, M. B. Radiochemical characterization of Brazilian phosphogypsum. Journal of Environmental Radioactivity, n.49, p.113-122, 2000.
- Mc Bride, M. B.; Baveye, P. Diffuse double-layer models, longrange forces, and ordering in clay colloids. Soil Science Society of America Journal, v.66, p.1207-1217, 2002.
- Mckissock, I; Walker, E. L.; Gilkes, R. J.; Carter, D. J. The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays: A review of some West Australian work. Journal of Hydrology, v.231-232, p.323-332, 2000.
- Melo, M. R.; Barros, M. F. C.; Santos M. P.; Rolim, M. M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, p.376-380, 2008.
- Micheli, E.; Nachtergaele, F. O.; Jones, R.J.A.; Montanarell, L. Soil classification 2001. EUR 20398 EN, 248p. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 2002.
- Michelon, C. J.; Carlesso, R.; Petry, M. T.; Melo, G. L.; Spohr, R. B.; Andrade, J. G. Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.1, p.39-45, 2009.
- Miller, William P.; Perkins, H. F.; Radcliffe, D. E.; Sumner, M. E.; Scifres, J.; Kim, J. Use of gypsum to improve physical properties and water relations in southeastern soils. Bartow, Flórida: Florida Institute of Phosphate Research, 1989. Disponível em: <[http://www1.fipr.state.fl.us/FIPR/FIPR1.nsf/a1380a2dc3df745f85256b4b006398eb/6d76ac4a5bc8d44b85256b2e005a6a54/\\$FILE/01-020-082Final.pdf](http://www1.fipr.state.fl.us/FIPR/FIPR1.nsf/a1380a2dc3df745f85256b4b006398eb/6d76ac4a5bc8d44b85256b2e005a6a54/$FILE/01-020-082Final.pdf)>. Acesso em: 21 de agosto de 2014.

- Miranda, M. A.; Oliveira, E. M. O.; Santos, K. F.; Freire, M. B. G. S.; Almeida, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, 2011.
- Miranda, M. F. A. Diagnóstico e recuperação de solos afetados por sais em perímetro irrigado do sertão de Pernambuco. Recife: UFRPE, 2013. 102p. Tese de Doutorado.
- Moraes, N. C.; Henkes, J. A. Avaliação do programa de gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição, no Município de Caçapava, SP. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v.2, n.1, p.113-134, 2013.
- Munhoz, F. C.; Renóbio, A. Uso da gipsita na construção civil e adequação para a P+L. In: *Simpósio de Engenharia de Produção – SIMPEP*. Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006
- Murakami, S.; Izumi, H.; Yashiro, T.; Ando, S.; Hasegawa, T. Sustainable building and policy design. Tokyo, Institute of International Harmonization for Building and Housing, 16 p, 2002.
- Naidu, R.; Rengasamy, P. Fertility constraints to plant production in sodic soils. In: Naidu, R.; Sumner, M. E.; Rengasamy, P. *Australian sodic soils: distribution, properties and management*. Victoria, CSIRO, p.127-137, 1995.
- National Land and Water Resources Audit. Australian dryland salinity assessment 2000, National Land and Water Resources Audit, Canberra, 2001.
- Oliveira, L. B.; Ribeiro, M. R.; Ferraz, F. B.; Ferreira, M. G. V. X.; Mermut, A. R. Mineralogia, micromorfologia e gênese de solos planossólicos do Sertão do Araripe, Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.4, p.665-678, 2004.
- Oliveira, M. L. Camadas superficiais adensadas em resposta à radiação solar, temperatura e umidade do solo. Viçosa, UFV, 2000. 67p. Tese de Doutorado. Disponível em: < <http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/solos%20e%20nutricao%20de%20plantas/2000/155507f.pdf> >. Acesso em: 05 de setembro de 2014.
- Papastefanou, C.; Stoulos, S.; Manolopoulou, M. The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact. *Journal of Environmental Radioactivity*, v.89, n.2, p.188-198, 2006.
- Pessoa, L. G. M.; Oliveira, E. M.; Freire, M. B. G. S.; Freire, F. J.; Miranda, M. A. Santos, R. L. Composição química e salinidade do lixiviado em dois solos cultivados com cebola irrigada com água salina. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.3, p.406-412, 2010.

- Pinto, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo: Poli-USP, 1999. Tese de Doutorado.
- Pizarro, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid, Editora Agrícola Española. Madrid, 521 p. 1985.
- Qadir, M.; Ghafoor, A.; Murtaza, G. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agricultural Water Management*, v.50, n.3, p.197-210, 2001.
- Qadir, M., Qureshi, R. H.; Ahmad, N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma*, v.74, p. 207-217, 1996.
- Raij, B. van. Algumas reflexões sobre análise de solo para recomendação de adubação. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20, 1992, Piracicaba. Anais. Piracicaba: SBCS, 1992. p.71-87.
- Rasouli, F.; Pouya, A. K.; Karimian, N. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma*, v.193-194, p.246-255, 2013.
- Rengasamy, P.; Olsson, K. A. Sodicty and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, v.29, n.6, p.935-952, 1991.
- Ribeiro, M. R. Caracterização e classificação dos solos de referência do Estado de Pernambuco. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1999, 140p.
- Ribeiro, M. R.; Barros, M. F. C.; Freire, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. In: Alleoni, L. R. F.; Melo, V. F. (ed). Química e mineralogia do solo, Parte II – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p.450-484.
- Ribeiro, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N.; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G. G.; Lima, J. M.; Lopes, A. S.; Alvarez, V. V. H. (ed). Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208, 2003.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U. S. Government Printing, Office, D. C., 1954. 160p. U. S. Dep. Agric. Handbook 60
- Rocha, I.T.M. Gesso mineral no condicionamento de subsolo e na produção de sorgo em Pernambuco. Recife: UFRPE, 2013. 81p. Dissertação de Mestrado.
- Rosa Júnior, E. J.; Martins, R. M. G.; Rosa, Y. B. C. J.; Cremon, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.36, p.37-44, 2006.

- Ruiz, H. A.; Sampaio, R. A.; Oliveira, M.; Venegas, V. H. A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.11, p.1119-1126, 2004.
- Sahin, U.; Eroglu, S.; Sahin, F. Microbial application with gypsum increases the saturated hydraulic conductivity of saline-sodic soils. *Applied Soil Ecology*, n.48, p.247-250, 2011.
- Santos, A. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Silva, D. J. R.; Montenegro, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.9, p.961–969, 2010.
- Santos, M. F. G.; Oliveira, F. A.; Cavalcante, L. F. Medeiros, J. F.; Souza, C. C. Solo sódico tratado com gesso agrícola, composto de lixo urbano e vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.3, p.307-313, 2005.
- Santos, P. D.; Cavalcante, L. F.; Gheyi, H. R.; Rodrigues, R. M.; Oliveira, L. P. Gesso agrícola e lavagem de um solo salino-sódico na redução da salinidade e sodicidade e no crescimento de plantas de girassol In: I INOVAGRI International Meeting & IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação WINOTEC, 2012, Fortaleza. I Inovagri International Meeting & IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação WINOTEC, 2012.
- Santos, P. M.; Rolim, M. M.; Duarte, A. S.; Barros, M. F. C.; Silva, E. F. F. Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v.44, n.1, p.95-103, 2014.
- Santos, R. V. Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*Vigna unguiculata* (L) Walp). Piracicaba: ESALQ, 1995. 120p. Tese de Doutorado.
- Schoonover, W. R. Examination of soils for alkali. Berkeley: University of California. Extension Service, 1952. Mimeographed.
- Severo, E. M. F. Impactos ambientais: O grande desafio para o crescimento sustentável da indústria do gesso pernambucano. Recife: UPE, 2011. 125p. Dissertação de Mestrado
- Shainberg, I.; Rhoades, J. D.; Suarez, D. L.; Prather, R. J. Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.45, p.287-291, 1981.
- 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. Springer: US, 1989. 111p.

- Silva, C. M. M. S; Vieira, R. F.; Oliveira, P. R. Salinidade, sodicidade e propriedades microbiológicas de Argissolo cultivado com erva-sal e irrigado com rejeito salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.10, p.1389-1396, 2008.
- Silva, N. C. Radionuclídeos naturais e elementos tóxicos em pilhas de fosfogesso no Brasil: Caracterização e lixiviação. Piracicaba: USP, 2001. 119p. Tese de Doutorado
- Silva, V. B. Diagnóstico da desertificação no Município de Ibimirim-PE. Recife: UFPE, 2006. 88p. Dissertação de Mestrado
- Silveira; K. R.; Ribeiro, M. R.; Oliveira, L. B.; Heck, R. J.; Silveira, R. R. Gypsum-saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodc soils. *Scientia Agricola*, v.65, n.1, p.69-76, 2008.
- SINDUSGESSO – Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, calcáreos, derivados de gesso e de minerais não-metálicos do Estado de Pernambuco, 2014. Disponível em: <www.sindusgesso.org.br>. Acesso em: 27 de agosto de 2014.
- Singh, H.; Bajwa, M. S. Effect of sodic irrigation and gypsum on the reclamation of sodic and growth of rice and wheat plants. *Agricultural Water Management*, v.20, n.2, p.163-171, 1991.
- Stipp, S. R.; Casarin, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. *Informações agronômicas*, n.129, 2010. Disponível em: <<http://www.multifossp.com.br/experimentos/outros/2.pdf>>. Acesso em: 18 de agosto de 2014. Acesso em: 18 de agosto de 2014.
- Suarez, D. L.; Jurinak, J. J. The chemistry of the salt-affected soils and waters. In: Wallender, W.W. and Tanji, K.K. (eds.). *ASCE Manual and Reports on Engineering Practice nº 71 Agricultural salinity assessment and management (2º ed.)*, Reston: ASCE Chapter 3, 2012, p.57-88.
- Sumner, M. E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, 2.,1992, Uberaba. *Anais...Uberaba: IBRAFOS*, 1992.
- 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.
- Syed-Omar, S. R.; Sumner, M. E. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfalfa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.22, n.19-20, p.2017-2028, 1991.

- Tao, J.; Wu, L.; Liu, X.; Zhang, H.; Xu, Y.; Gu, W.; Li, Y. Effect of brackish ice on salt and nutrient contents of saline soil in flue-gas desulfurization gypsum amended, raised bed agroecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, ago. 2014.
- Tavares Filho, A. N. Níveis da necessidade de gesso sobre as características físico-químicas e na correção de solos salino-sódicos do Perímetro Irrigado de Ibimirim – PE. Recife: UFRPE, 2010. 65p. Dissertação de Mestrado.
- Tavares Filho, A. N.; Barros, M. F. C.; Rolim, M. M.; Silva, E. F. F. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.3, p.247–252, 2012.
- Tedeschi, A.; Angelino, G.; Ruggiero, C. Physical and chemical properties of long-term salinized soils. *Italian Journal of Agronomy/ Rivista di Agronomia*, v.2, p.263-269, 2006.
- Temóteo, J. W. C. Base municipal de informações das águas subterrâneas– Município de Ibimirim, PE. Recife: CPRM, 18p., 2000.
- Vasconcelos, R. R. A. Eficiência da aplicação de níveis da necessidade de gesso na correção de solos salino-sódicos. Recife: UFRPE, 2012. 71p. Dissertação de Mestrado.
- Villaverde, F. L. Avaliação da exposição externa em residência construída com fosfogesso. São Paulo: USP, 2008. 65p. Dissertação de Mestrado.
- Wadt, P. G. S.; Wadt, L. H. O. Movimentação de cátions em amostras de um latossolo vermelho-amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. *Scientia Agricola*, v.56, n.4, p.1157-1164, 1999. Suplemento.
- Wang, R.; Kang, Y.; Wan, S.; Hu, W.; Liu, S.; Jiang, S.; Liu, S. Influence of different amounts of irrigation water on salt leaching and cotton growth under drip irrigation in an arid and saline area. *Agricultural Water Management*. v.110, p.109-117, 2012.
- Willadino, L. G.; Camara, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e biológicos. *Enciclopédia Biosfera*, v.6, n.11, p.1-23, 2010.
- Wolkowski, R.P. Land application of crushed gypsum wallboard waste for alfalfa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.31, p.187-199, 2000.
- Yu, J.; Lei, T.; Shainberg, I.; Mamedov, A. I.; Levy, G. J. Infiltration and erosion in soils threated with dry PAM and gypsum. *Soil Science Society of America Journal*, v.67, n.2, p.630-636, 2003.