



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E POLÍTICAS AMBIENTAIS

Andreza dos Santos Rodrigues de Melo

**SOLOS SALINIZADOS EM ÁREAS IRRIGADAS SUBMETIDOS AO USO DE
CONDICIONADOR DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL**

Recife
2017

ANDREZA DOS SANTOS RODRIGUES DE MELO

**SOLOS SALINIZADOS EM ÁREAS IRRIGADAS SUBMETIDOS AO USO DE
CONDICIONADOR DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais.

Orientador: Prof. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo
Coorientador: Dra. Vanderlise Giongo

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

M528sp Melo, Andreza dos Santos Rodrigues de.
Solos salinizados em áreas irrigadas submetidos ao uso de condicionador de
baixo impacto ambiental. / Andreza dos Santos Rodrigues de Melo. – 2017.
68 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria do Socorro Bezerra de Araújo.
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Vanderlise Giongo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2017.
Inclui referências e apêndice.

1. Meio ambiente. 2. Solos - salinidade. 3. Irrigação. 4. Solo - Uso. I. Araújo,
Maria do Socorro Bezerra de (Orientadora). II. Giongo, Vanderlise
(Coorientadora). III. Título

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-059)

ANDREZA DOS SANTOS RODRIGUES DE MELO

**SOLOS SALINIZADOS EM ÁREAS IRRIGADAS SUBMETIDOS AO USO DE
CONDICIONADOR DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais.

Orientador: Prof. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo
Coorientador: Dra. Vanderlise Giongo

Aprovada em: 06/09/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Maria Sonia Lopes da Silva (Examinador Externo)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dra. Manuella Vieira Barbosa Neto (Examinador Externo)
Instituto Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha vida e pela oportunidade de vivenciar essa experiência.

Ao meu amado esposo Marcílio dos Santos, por seu amor, apoio e compreensão em todos os momentos.

A minha mãe e aos meus queridos irmãos Adrian e Adônis pelo amor e compreensão.

A professora Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo, pela orientação e apoio.

A pesquisadora Dra. Vanderlise Giongo da Embrapa Semiárido pela Coorientação e apoio.

E aos funcionários da Embrapa Semiárido “Cozão” e “Fred” por toda ajuda durante a amostragem dos solos.

Ao Laboratório de Análise de Solo e Planta da Embrapa Semiárido.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente- PRODEMA, por contribuírem com meu crescimento intelectual ao longo das disciplinas.

Aos funcionários da Secretaria Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente- PRODEMA em especial a secretária Solange.

Aos funcionários do Almoarifado do CFCH Sr. Carlos e Sr. Joel pelo auxílio na montagem das colunas e “PVC”.

Ao professor Dr. Everardo Sampaio por sua contribuição no projeto.

Ao professor Emídio do Departamento de Agronomia da UFRPE, por disponibilizar o Gesso Agrícola, material fundamental para essa pesquisa.

A Lenize Oliveira, aluna da Graduação em Geografia da UFPE, por sua amizade e por seu importante auxílio no laboratório.

Ao Prof. Dr. Araújo Coordenador do LARCA-DEN pela disponibilização do laboratório.

Aos grandes amigos pelo apoio no Laboratório Sr. Edmilson e Msc. Tiago Lopes pela imensa ajuda.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco– FACEPE pelo apoio financeiro.

*“Porque o Senhor dá a sabedoria; da sua boca é que
vem o conhecimento e o entendimento.”*

Provérbios 2:6.

RESUMO

Na região do Vale Submédio São Francisco, o manejo inadequado do solo associado a uma drenagem restrita e a evapotranspiração elevada contribuem para a degradação dos solos principalmente pelo acúmulo de sais que prejudicam a sustentabilidade de áreas irrigadas. Este trabalho tem como objetivo comparar a eficiência do gesso agrícola sólido e o gesso agrícola solubilizado na água de irrigação para correção da salinidade-sodicidade e sodicidade de solos afetados por sais nesta região, como uma alternativa para recuperação das áreas degradadas. No experimento, utilizou-se amostras de solos de 6 áreas provenientes dos perímetros irrigados localizados nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande no estado de Pernambuco. Foram feitos testes de lixiviação em colunas de PVC medindo 30 cm de altura com 10 cm de diâmetro, com três tratamentos 1- gesso sólido incorporado à amostra (T1), 2- água com gesso solubilizado (T2) e 3- lixiviação com água. Os resultados indicaram correção dos solos, porém sem apresentar diferenças significativas entre os tratamentos.

Palavras-Chave: Solos afetados por sais. Irrigação. Recuperação de solo. Manejo do solo. Gesso agrícola.

ABSTRACT

In the Submédio São Francisco valley region, inadequate soil management associated with restricted drainage and high evapotranspiration contribute to soil degradation mainly due to the accumulation of salts that affects the sustainability of irrigated areas. This work aims to compare the effectiveness of the solid gypsum with solubilized gypsum in irrigation water for the correction of salinity-sodicity and sodicity in soils this region affected by salts as an alternative for the recovery of degraded areas. Soil samples from six areas from the irrigated perimeters located in the municipalities of Petrolina and Lagoa Grande in the state of Pernambuco were used. Leaching tests were performed on PVC columns measuring 30 cm in height with 10 cm in diameter, with three treatments: 1- solid gypsum incorporated into the sample (T1), 2 water with solubilized gypsum (T2) and 3-leaching with water. The results indicated soil correction but did not show differences between treatments.

Keywords: Soils affected by salts. Irrigation. Soil recovery. Soil management. Gypsum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama para avaliação das águas de irrigação.....	18
Figura 2- Mapa de localização da área de estudo nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande no estado de Pernambuco.....	23
Figura 3- Mapa geológico da área de estudo nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande no estado de Pernambuco.....	25
Figura 4- Mapa de Solos da área de estudo nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande no estado de Pernambuco.....	26
Figura 5- Modelo da Coluna de lixiviação em tubo PVC.....	31

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1- Amostras de solos em laboratório na Universidade Federal de Pernambuco- secas e destorroadas.....	27
Fotografia 2- Área de coleta do Solo 1 no município de Lagoa Grande-PE.....	28
Fotografia 3- Área de coleta do Solo 2 no município de Petrolina-PE.....	28
Fotografia 4- Área de coleta do Solo 3 no município de Petrolina-PE.....	29
Fotografia 5- Área de coleta do Solo 4 no município de Petrolina-PE.....	29
Fotografia 6- Área de coleta do Solo 5 no município de Petrolina-PE.....	30
Fotografia 7- Área de coleta do Solo 6 no município de Petrolina-PE.....	30
Fotografia 8- Unidades experimentais em blocos ao acaso.....	32
Fotografia 9- Leitura da Condutividade elétrica e pH nas soluções lixiviadas.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação de solos afetados por sais.....	15
Tabela 2- Efeito da salinidade sobre as plantas.....	16
Tabela 3- Classificação de águas salinas.....	17
Tabela 4- Classificação das águas para irrigação -condutividade elétrica.....	19
Tabela 5- Classificação das águas para irrigação -concentração de sódio.....	19
Tabela 6- Classes dos solos coletados com diferentes níveis de salinidade e sodicidade nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande-PE.....	27
Tabela 7- Necessidade de Gesso para cada solo.....	33
Tabela 8- Características químicas dos solos antes dos tratamentos.....	36
Tabela 9- Características físicas dos solos estudados.....	36
Tabela 10- Classificação dos solos por nível de salinidade e sodicidade (Richards, 1954).....	37
Tabela 11- Médias das características químicas do solo após aplicação dos tratamentos.....	47
Tabela 12- Tabela de ANOVA para a Condutividade Elétrica (C.E).....	49
Tabela 13- Tabela de ANOVA para a Porcentagem de Sódio Trocável.....	49
Tabela 14- Tabela ANOVA para o Ph.....	50
Tabela 15- Tabela ANOVA, para o Sódio (Na^+).....	51
Tabela 16- Tabela ANOVA, para o Cálcio (Ca^{2+}).....	52
Tabela 17- Tabela ANOVA, para o Magnésio (Mg^{2+}).....	52
Tabela 18- Tabela ANOVA, para o Potássio (K^+).....	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Condutividade elétrica (C.E.) do lixiviado do solo 1.....	39
Gráfico 2- pH da água lixiviada no solo 1.....	39
Gráfico 3- Condutividade elétrica da água lixiviada no solo 2.....	40
Gráfico 4- pH da água lixiviada no solo 2.....	40
Gráfico 5- Condutividade da água lixiviada do Solo 3.....	41
Gráfico 6- pH da água lixiviada Solo 3.....	42
Gráfico 7- Condutividade elétrica da água lixiviada no Solo 4.....	43
Gráfico 8- pH da água lixiviada no Solo 4.....	43
Gráfico 9- Condutividade da água lixiviada do Solo 5.....	44
Gráfico 10- pH da água lixiviada do Solo 5.....	45
Gráfico 11- Solo 6 - Condutividade elétrica da água lixiviada.....	46
Gráfico 12- Solo 6 - pH da água lixiviada.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	SOLOS AFETADOS POR SAIS	14
2.2	IMPACTOS DA SALINIZAÇÃO DOS SOLOS.....	16
2.3	RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	23
3.2	METODOLOGIA.....	26
3.2.1	Amostragem dos solos.....	26
3.2.2	Ensaio em colunas de Lixiviação.....	30
3.2.3	Tratamentos.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ANTES DOS TRATAMENTOS.....	35
4.1.1	Condutividade Elétrica (C.E) e Porcentagem de Sódio trocável (PST).....	37
4.2	ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE) E PH NO LIXIVIADO DAS COLUNAS DE SOLO.....	38
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS APÓS APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	47
4.3.1	Condutividade Elétrica (CE).....	48
4.3.2	Porcentagem de Sódio Trocável (PST).....	49
4.3.3	Acidez ou basicidade (pH).....	50
4.3.4	Sódio (Na ⁺).....	50
4.3.5	Cálcio (Ca ²⁺).....	51
4.3.6	Magnésio (Mg ²⁺).....	52
4.3.7	Potássio (K ⁺).....	53
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A	62

1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento populacional tem elevado a demanda por alimentos em todo o mundo. A elevação do consumo acelerou a expansão agrícola intensificando o uso dos recursos naturais sem planejamento e gerenciamento, agravando muitos dos processos de degradação da terra. Nos últimos anos, tem havido um aumento das terras cultivadas e pastagem às custas das florestas (PNUMA, 2014).

Segundo Sombroek e Sene (1993), a degradação da terra está ligada à redução do potencial dos recursos renováveis, seja por um ou uma combinação de processos que atuam sobre a terra. Podendo ser induzida pelo homem, seja diretamente no terreno ou indiretamente através das mudanças climáticas.

A exploração inadequada dos solos coloca em risco não apenas a segurança alimentar, mas todas as formas de vida terrestre. Conforme Brady e Nyle (2013), os solos são de extrema importância para a vida na terra, pois a qualidade deles determina a natureza dos ecossistemas das plantas e a capacidade da terra em sustentar a vida animal e humana.

Segundo o relatório *State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture* (SOLAW), a situação atual dos solos chama atenção para necessidade de políticas e ações que gerenciem e planejem de forma mais sustentável o uso deste recurso natural. Os dados mostram que 1,6 bilhão de hectares de solos produtivos do mundo são utilizados para o cultivo e parte dessas áreas estão sendo degradadas devido ao mal-uso e manejo dos solos que acarretam erosão, perda de matéria orgânica, compactação do solo superficial, salinização, poluição do solo e perda de nutrientes (FAO, 2011).

Com o desenvolvimento das técnicas de irrigação, regiões áridas e semiáridas do mundo, antes não exploradas para fins agrícolas por serem consideradas inaptas pela restrição hídrica, passaram a ser utilizadas. Contudo, nessas regiões o manejo inadequado tem levado à degradação das terras, principalmente pelo processo de salinização dos solos que é uma das principais maneiras de degradação, sendo considerada um grande perigo ambiental, por estar intrinsecamente ligada ao processo de desertificação (WANG et al., 2012) levando a perdas de solos irreversíveis.

No Brasil a região Semiárida também vem sofrendo grandes mudanças. O governo vem investindo há anos na instalação de polos de produção agrícola baseados em sistemas complexos e onerosos de irrigação na região. A esses sistemas de irrigação o governo imputa solução para os problemas ligados à escassez hídrica na região (BUAINAIN; GARCIA, 2015).

Na esfera econômica, o desenvolvimento da agricultura irrigada tem sido importante para a região, pois viabiliza a produção agrícola nessas áreas antes restritas às práticas agrícolas em grandes escalas. O polo de agricultura irrigada Juazeiro-Petrolina é um exemplo bem-sucedido de como esta prática tem permitido a produção de culturas com qualidade para exportação (BERNARDO, 1997). O arranjo produtivo local se tornou atração para investidores internacionais e de outras regiões do país (BUSTAMANTE, 2009).

Entretanto, no cenário ambiental a instalação desses sistemas de irrigação na região semiárida tem elevado o risco de degradação dos solos. Segundo Silva (1997), cerca de 25% dos perímetros irrigados do nordeste brasileiro já estavam em processo de degradação por salinidade e/ou sodicidade. Solos sob irrigação são muito vulneráveis a processos de salinização. Isto ocorre por características próprias do solo, com sua maior ou menor susceptibilidade à salinização, e por manejos inadequados, como drenagem mal dimensionada ou sua ausência e, principalmente pelo uso de água de má qualidade, associados às condições climáticas do semiárido, que favorecem o processo (ACCIOLY, 2000).

O excesso de sais nos solos é uma das grandes limitações à produção agrícola em áreas semiáridas (MUNNS, 2002). As culturas agrícolas, em sua grande maioria, não são tolerantes a níveis altos de salinidade, que prejudica o desenvolvimento, produção e qualidade dos frutos. Essa condição do solo leva o agricultor a abandonar sua terra, em decorrência da baixa produtividade, o que gera um grave impacto socioeconômico. Segundo Wanderley (2009), o êxodo rural atinge um grande número de pequenos agricultores, o que os torna extremamente vulneráveis, no que se refere à sua permanência no meio rural.

Diante desse cenário há uma emergência na aplicação de medidas preventivas e corretivas para minimizar os impactos causados pela salinização dos solos na região, para proporcionar um desenvolvimento sustentável.

As medidas de recuperação de solos salinos se referem a ações que levem à redução dos teores de sal no solo em níveis seguros que permitam o desenvolvimento e produção das plantas. Porém, os custos para remediação de áreas com solos salinos são altos, porque requerem água de boa qualidade e o uso de condicionadores químicos, principalmente quando o solo é classificado como sódico ou salino-sódico. Nestas situações, há o requerimento da troca do sódio por cálcio, antes de iniciar o processo de lixiviação (BRESLER et al., 1982). Entretanto, para minimizar os efeitos da salinização, deve-se buscar alternativas de baixo custo e eficientes.

Um dos mais comuns condicionadores de solo para correção da salinidade é o gesso agrícola, devido à sua abundância e baixo custo (SANTOS; FERREYRA, 1997). Um fator limitante para eficiência na sua utilização é a baixa solubilidade. Devido a esta característica,

Visando a sustentabilidade do sistema de produção agrícola e a recuperação dos solos, este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência da aplicação do gesso agrícola solubilizado na água de irrigação, em comparação com aplicação na forma sólida na correção de solos salinos-sódicos e sódicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOLOS AFETADOS POR SAIS

Solos afetados por sais podem ocorrer em todos os continentes e em quase todas as condições climáticas. Sua distribuição, no entanto, é mais expressiva em regiões áridas e semiáridas devido à alta relação evaporação/precipitação, comum nessas áreas (ABROL et al., 1988).

Os sais têm origem na natureza. Em condições naturais, a presença e a concentração de sais no manto superficial do terreno e no solo são controladas pela geologia, geomorfologia, fatores climáticos e hidrológicos. Todos os sais se originam do intemperismo dos minerais primários (METTERNICHT; ZINCK, 2008).

A salinização dos solos é causada de forma natural, inerente à própria formação do solo, mas principalmente pela ação antropogênica (METTERNICHT; ZINCK, 2002, 2003). Processos que afetam o equilíbrio da água no solo podem interferir na movimentação dos sais levando à acumulação destes na superfície do solo. Fatores como hidrologia, clima, drenagem, práticas agrícolas, dentre outros, interferem nesse equilíbrio podendo causar problemas de salinização dos solos (USDA, 1998; IPTRID, 2005).

A salinização ocorre quando sais solúveis se acumulam na superfície do solo. Este processo conduz a um aumento excessivo de sais solúveis em água no solo. Estes sais contêm os íons de potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), bicarbonato (HCO_3^-), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) e sódio (Na^+). Quando ocorre a acumulação excessiva de sódio denomina-se processo de sodificação (SOCO, 2009).

Segundo Richards (1954), solos salinos são aqueles que apresentam uma condutividade elétrica no extrato de saturação do solo superior a 4 mS/cm. Os sais solúveis mais presentes são os cloretos, sulfatos de sódio e magnésio. O pH é inferior a 8,5.

Os Solos sódicos são aqueles que têm uma percentagem de sódio trocável (PST) maior que 15. O excesso de sódio nos solos pode causar efeitos adversos sobre as propriedades físicas e nutricionais dos solos (ABROL et al., 1980).

A avaliação da salinidade pode ser feita através da relação entre a Condutividade Elétrica no extrato de saturação do solo (CE_{es}) e a Porcentagem de Sódio Trocável (PST). Os dados da condutividade elétrica referem-se à quantidade total de íons solúveis no solo (Tabela 1).

Tabela 1- Classificação de solos afetados por sais

Tipo de solo	C. E (mS/cm)	PST %
Normal	<4	<15
Salino	>4	<15
Salino-sódico	>4	>15
Sódico	<4	>15

Fonte: Richards, 1954.

A presença excessiva de sais no solo provoca efeitos drásticos prejudicando o solo e as plantas. Nos solos os efeitos são: a desestruturação, aumento da densidade aparente e da retenção de água, redução da infiltração pelo excesso de íons sódicos e diminuição da fertilidade físico-química (RHOADES et al., 2000; LOUWAGIE et al., 2009).

A ação dos sais presentes nos solos pode variar de acordo com sua concentração. Diferentemente do efeito causado pela salinidade do solo, o sódio tem efeito contrário pois enquanto a elevada concentração de eletrolíticos causam floculação, a saturação por sódio pode causar dispersão das argilas dos solos e dilatação dos agregados. Isso ocorre porque as forças que se ligam às partículas de argilas são interrompidas, quando grandes quantidades de íons de sódio estão entre elas. Quando a separação ocorre as partículas de argilas se expandem, causando dilatação e dispersão do solo. A dispersão do solo faz com que as partículas de argilas obstruam os poros do solo, tornando o solo impermeável, conduzindo a diversos problemas como a redução da taxa de infiltração, redução da condutividade hidráulica e formação de crostas na superfície dos solos (AYERS; WESTCOT, 1976; REGAMMANSE; OLSSON, 1991; WARRENCE et al., 2003).

O teor de sal nos solos acima do qual o crescimento das plantas é afetado depende de vários fatores, entre os quais estão a textura do solo, a distribuição de sais no perfil do solo, a composição salina e a espécie da planta (RICHARDS, 1954; AYERS; WESTCOT, 1985).

O efeito da salinização sobre as plantas (Tabela 2) pode ser causado pela dificuldade de absorção de água, toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, provocando a redução do crescimento e desenvolvimento das plantas (RHOADES et al., 2000).

Tabela 2- Efeito da salinidade sobre as plantas

Condutividade do extrato de saturação mS cm ⁻¹)	Efeito sobre plantas cultivadas
0-2	Efeitos insignificantes da salinidade
2-4	O rendimento das culturas sensíveis poderá ser restringido
4-8	Os rendimentos de muitas culturas são restritos
8-16	Apenas culturas tolerantes produzem satisfatoriamente
> 16	Apenas algumas culturas muito tolerantes produzem satisfatoriamente

Fonte: Adaptado de Abrol (1988)

O efeito da salinidade sobre as plantas é consequência de dois distintos componentes do estresse salino; o componente osmótico resultante da elevada concentração de solutos na solução do solo, provocando um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico; o componente iônico decorrente dos elevados teores de Na⁺ e Cl⁻; e da alterada relação K⁺ /Na⁺ e outros nutrientes (WILLADINO; CAMARA, 2010).

2.2 IMPACTOS DA SALINIZAÇÃO DOS SOLOS

A agricultura irrigada tem reconfigurado a região semiárida do Brasil. Os impactos na esfera socioeconômica têm sido positivos, pois a implantação dos sistemas públicos, atraíram investimentos da esfera privada, que ampliaram os postos de empregos, o que beneficiou diretamente a população das áreas rurais (BERNARDO, 1997).

A região semiárida brasileira é caracterizada por possuir um déficit hídrico com um prolongado período de seca, irregularidades das chuvas, alto índice de aridez e alta taxa de evapotranspiração (SUDENE, 2015). Essa condição climática era um fator limitante para o desenvolvimento agrícola na região. Porém, com o advento das técnicas de irrigação, a insuficiência hídrica causada pela má distribuição de chuva na região passou a ser suprida (CODEVASF, 2015). Segundo a EMBRAPA (2015) o clima quente e seco e insolação favorecem a produção de frutas e hortaliças de boa qualidade, não apenas para as exigências do

mercado interno, mas também para o mercado externo, tornando a região um ambiente vantajoso e competitivo economicamente.

Apesar dos benefícios trazidos com a irrigação, há também os desafios à serem enfrentados. Segundo Días e Blanco (2010) os problemas ligados à salinização dos solos em áreas irrigadas, geralmente são consequências da baixa qualidade da água para irrigação, da aplicação de quantidades excessivas de fertilizantes e drenagem insuficiente.

Os problemas da irrigação na agricultura familiar, refletem as condições desfavoráveis em que os agricultores vivem, pois fazem uso de bases tecnológicas tradicionais, faltando suporte técnico e capacitação. Esses fatores atrelados, favorecem à degradação dos solos, salinização e/ou sodificação, comprometendo, muitas vezes, as reservas hídricas disponíveis (LIMA et al. 2006).

A agricultura irrigada depende de uma oferta de qualidade de água para ser utilizada de forma adequada na atividade. Para determinar a disponibilidade de água para a irrigação deve-se levar em conta a quantidade e a qualidade, porém o critério qualidade muitas vezes tem sido negligenciado, o que tem sido um fator de risco para os solos (AYERS; WESTCOT, 1985).

A água usada para irrigação contém grande número de substâncias dissolvidas, em termo coletivo são chamados de sais. Estes sais contidos na água são resultantes do processo de intemperismo químico das rochas e do solo, da dissolução do calcário, gesso e outras fontes de sais. A adequabilidade da água para usos na agricultura irrigada é determinada pela quantidade e os tipos de sais presentes (AYERS; WESTCOT, 1976)

A classificação de águas salinas segundo Richards (1954) (Tabela 3), leva em consideração a condutividade elétrica e a concentração de sais.

Tabela 3 – Classificação de águas salinas

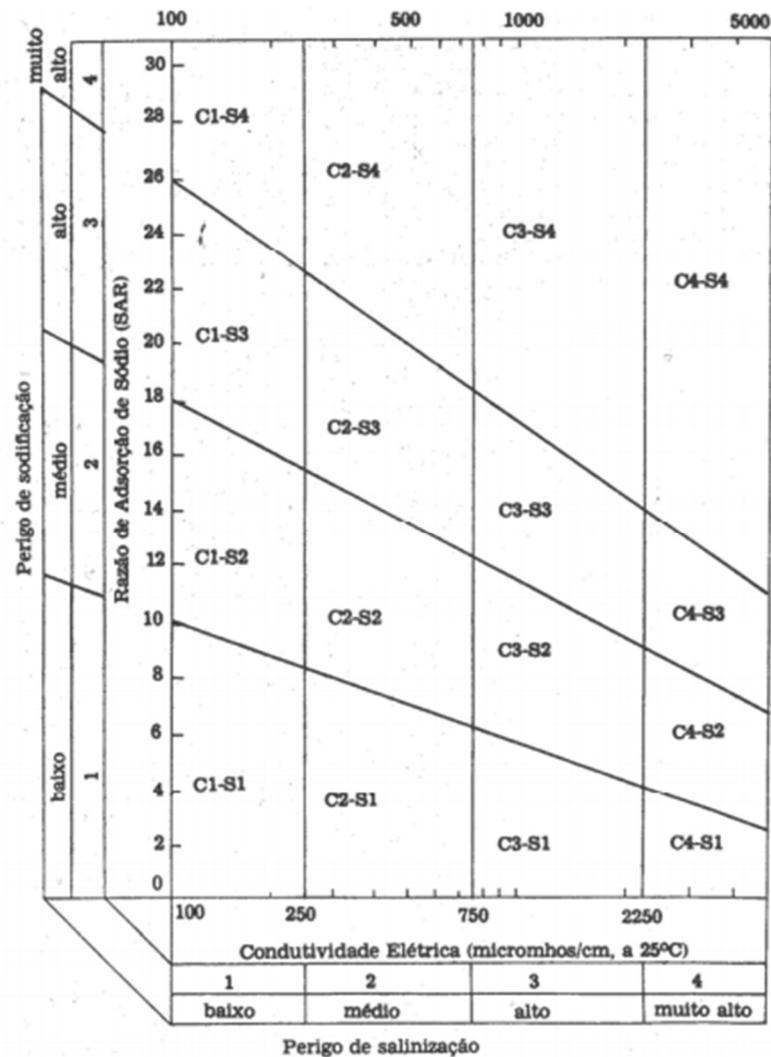
Classe da água	Condutividade Elétrica (dS m⁻¹)	Concentração de sais (mg L⁻¹)	Tipo de água
Não-salina	<0.7	<500	Água potável e Irrigação
Ligeiramente salina	0.7-2	500-1500	Água de irrigação
Moderadamente salina	2-10	1500-7000	Água primária de drenagem e lençóis freáticos
Altamente salina	10-25	7000-15000	Água secundária de drenagem e lençóis freáticos

Extremamente salina	25-45	15000-35000	Água subterrânea muito salina
Salmoura	>45	>35000	Água do Mar

Fonte: Almeida, 2010

As águas para fins de irrigação são avaliadas em função da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), da Condutividade Elétrica (CE) pelo risco de sódio (CODEVASF, 2016). A combinação dos diferentes índices permite estabelecer diferentes tipos de água. Para aplicar o diagrama de classificação de águas proposta por Richards em 1954 (Figura 1), se faz necessário conhecer a condutividade elétrica, e as concentrações de sódio, cálcio e magnésio para determinar a RAS da água

Figura 1 – Diagrama para avaliação das águas de irrigação



Fonte: Bernardo, 1989.

Nessa classificação, as águas se dividem em quatro classes C1 a C4, correspondente à condutividade elétrica (CE) (Tabela 4) e outras quatro classes S1 a S4 relacionadas ao sódio (Tabela 5) e seguem os seguintes parâmetros para classificação (ALMEIDA, 2010).

Tabela 4 – Classificação das águas para irrigação -condutividade elétrica

Classificação	Parâmetro CE em $\mu\text{S cm}^{-1}$ à 25 °C	Descrição
C1	0 e 0,250	Água de baixa salinidade
C2	250-750	Água de salinidade média
C3	750-2250	Água de salinidade alta
C4	2250-5000	Água de salinidade muito alta

Fonte: Almeida, 2010

Tabela 5 – Classificação das águas para irrigação -concentração de sódio

Classificação	Parâmetro	Descrição
S1	$\text{RAS} \leq 18,87 - 4,44 \log \text{CE}$	Baixo conteúdo de sódio
S2	$18,87 - 4,44 \log \text{CE} < \text{RAS} \leq 31,31 - 6,66 \log \text{CE}$	Médio conteúdo de sódio
S3	$31,31 - 6,66 \log \text{CE} < \text{RAS} \leq 43,75 - 8,87 \log \text{CE}$	Alto conteúdo de sódio
S4	$\text{RAS} > 43,75 - 8,87 \log \text{CE}$	Muito alto conteúdo de sódio

Fonte: Almeida, 2010

Segundo Pizarro (1985) a sodicidade determinada pela razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação que tende a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), afetando a capacidade de infiltração.

No Nordeste as fontes de água para irrigação são oriundas de rios e reservatórios superficiais, onde a água é armazenada durante a estação chuvosa (açudes). De uma maneira geral, são de boa qualidade, variando de C1 a C2 e de S1 a S2. Sendo o rio São Francisco a fonte de água mais importante para a região, apresentando baixo teor de sais, classificada como C1S1. Em alguns casos são também usadas águas de poços que, não raro, apresentam concentrações elevadas de sais, chegando mesmo a limitar seu uso para irrigação. As águas subterrâneas, devido ao embasamento cristalino existente no semiárido, não ocorrem em

grandes quantidades, sendo encontradas em aquíferos localizados e geralmente consideradas marginais para irrigação (CORDEIRO, 2003; DE OLIVEIRA, 2016).

Seguindo essa classificação, a utilização destas águas não deveria apresentar maiores problemas para irrigação sob condições adequadas de manejo. Porém, se o manejo não for realizado de forma adequado, como por exemplo o uso de fertilizantes em excesso pode levar ao aumento da quantidade de sais nos solos levando à salinização. Outro fator que afeta o equilíbrio de sais nos solos são os problemas de drenagem na região (CORDEIRO, 2003).

A salinização dos solos nas áreas irrigadas, põe em risco o potencial agrícola da região, causando diversos impactos, sejam estes ambientais como degradação das terras, ou como para o desenvolvimento da economia. Como resultado da degradação as áreas são normalmente abandonadas pelos agricultores, que acabam migrando para outras áreas provocando mais desmatamentos. Essa realidade é historicamente praticada na região semiárida do Brasil, onde a agricultura é nômade, itinerante ou migratória. Os agricultores desmatam queimam e plantam por um curto período e mudam para outras áreas repetindo a mesma prática, na expectativa de uma recuperação da capacidade produtiva dos solos reduzindo consideravelmente a biodiversidade (DRUMOND et al., 2000).

Em decorrência da perda das terras e/ou grande redução da produção, os agricultores acabam abandonando as atividades agrícolas por não serem economicamente viáveis, refletindo no aumento do êxodo rural que tem sido uma tendência no Brasil nos últimos anos (SANTOS et al., 2009). Tal fato ocorre da falta de assistencialismo técnico de apoio ao desenvolvimento dos sistemas de produção local e social, associado ao alto nível de degradação ambiental, levando a população rural do Semiárido migrar para outras regiões. Segundo a Articulação Semiárido Brasileiro - ASA (2015) a população rural da região semiárida é de mais de 8 milhões e meio de pessoas reduziu 5,7% em relação ao ano de 2000, e representa apenas 38% da população na região. Foram mais de 520 mil pessoas que deixaram de viver no semiárido rural nos últimos dez anos.

2.3 RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS

Existem diferentes métodos de recuperação de solos com problemas de sais, sendo mais comuns os seguintes: Métodos físicos, biológicos e químicos. Todos esses métodos têm como objetivos principais, melhorar a permeabilidade dos solos e permitir a troca de sódio por cálcio no complexo de troca. Na recuperação de solos salinos as combinações de técnicas tendem a ser mais eficientes que apenas a aplicação de técnicas isoladas (DÍAS; BLANCO, 2010).

A lavagem é a técnica mais simples, a qual consiste em se aplicar uma certa quantidade de água no perfil do solo, que seja suficiente para carrear os sais no perfil do solo, principalmente na faixa onde fica localizada a zona radicular das plantas. Sendo assim, a técnica da lavagem tem como principais funções, minimizar a alta salinidade dos solos para níveis que as plantas possam sobreviver e a prevenção da salinização em áreas irrigadas (RICHARDS; 1954).

Outra técnica bastante importante e que tem demonstrado eficiência na recuperação de solos, principalmente os sódicos, é o melhoramento químico, pois para solos classificados como apenas salinos a lavagem é bastante eficiente, porém para solos classificados como salinos-sódicos ou sódicos só a lavagem não é suficiente. Para correção de solos sódicos é necessário o uso de corretores químicos para deslocar o sódio que está adsorvido na micela do solo. Para que haja esse deslocamento as substâncias utilizadas devem conter preferencialmente o cálcio, para substituir o sódio trocável, pois o cálcio desloca o sódio do complexo de troca que passa a ser lixiviado com a lavagem do solo (BERNARDO et al., 2009)

Vários corretivos químicos podem ser utilizados na recuperação de solos com excesso de sódio trocável, como o gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio e ácido sulfúrico. Porém o gesso é um produto que apresenta baixo custo para a sua aquisição (BARROS et al., 2005)

O gesso agrícola é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, de baixo custo para o agricultor, disponibilidade e facilidade de manuseio. Sua composição química é o sulfato de cálcio hidratado, que sendo um sal de caráter neutro não tem efeito prático na mudança da acidez do solo, apesar de ter sido recomendado e aplicado com tal finalidade no final dos anos 70 e 80 (TANAKA E MASCARENHAS, 2015). A solubilidade do gesso agrícola é 2,5 g/L.

Diversos estudos aplicados para recuperação da salinidade dos solos, avaliaram o uso do gesso, e este tem demonstrado uma alta eficiência seja na melhoria química quanto física dos solos. Khosla et al., (1979), em seu estudo de remediação aplicando a técnica de lixiviação em campo misto, observou que a dessalinização do perfil, quando lixiviado com o gesso, tem a RAS reduzida em profundidades maiores ao longo do perfil, além de observar melhorias na percolação da água.

Barros et al., (2005) aplicaram gesso agrícola e calcário na recuperação de solos salinos-sódicos e obteve a eficiência dos tratamentos na recuperação dos solos.

Tavares Filho et al., (2011), avaliaram o uso do gesso para correção da salinidade e sodicidade dos solos salinos-sódicos e chegou à conclusão que com o nível de 100% na

necessidade de gesso, houve uma significativa redução da sodicidade, mostrando-se como um método eficiente.

Melo et al., (2008), aplicaram gesso mineral em seus experimentos para a remediação de solos-salinos sódicos e obteve uma eficiência na correção da sodicidade do solo quando utilizado o nível de 100% de acordo com a necessidade dos solos utilizados no estudo.

Moreira Leite (2010) concluiu que em comparação com o ácido sulfúrico, o gesso apresentou maior potencial para deslocar o sódio do complexo de troca, sendo indicado para correção de solos afetados por sais.

O uso do gesso agrícola combinado com outros corretivos e técnicas biológicas também tem demonstrado eficiência na correção dos solos salinos-sódicos ou sódicos. Miranda (2011) aplicou condicionadores químicos (gesso e polímeros) e orgânicos (esterco) em solo salino-sódico em casa de vegetação e obteve como resultado que as aplicações desses condicionantes melhoraram as propriedades físico hídricas do Neossolo Flúvico salino-sódico.

Além do uso das técnicas da lavagem e aplicação de corretivos químicos, existem técnicas auxiliares como: aração profunda, subsolagem, mistura com areia, inversão de perfis geológicos. Porém na recuperação de solos salinos, não pode esquecer o fator drenagem que é de extrema importância e deve ser bem avaliada quando forem definidas as técnicas de correção. A movimentação dos sais é bastante dinâmica no perfil do solo, principalmente quando há, além da presença natural de sais no solo, a aplicação destes no solo seja pela água de irrigação como pelo uso de fertilizantes nos solos, associados ao fator clima da região, que nas áreas onde ocorre a salinização, existe uma alta taxa de evapotranspiração (DÍAS; BLANCO, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

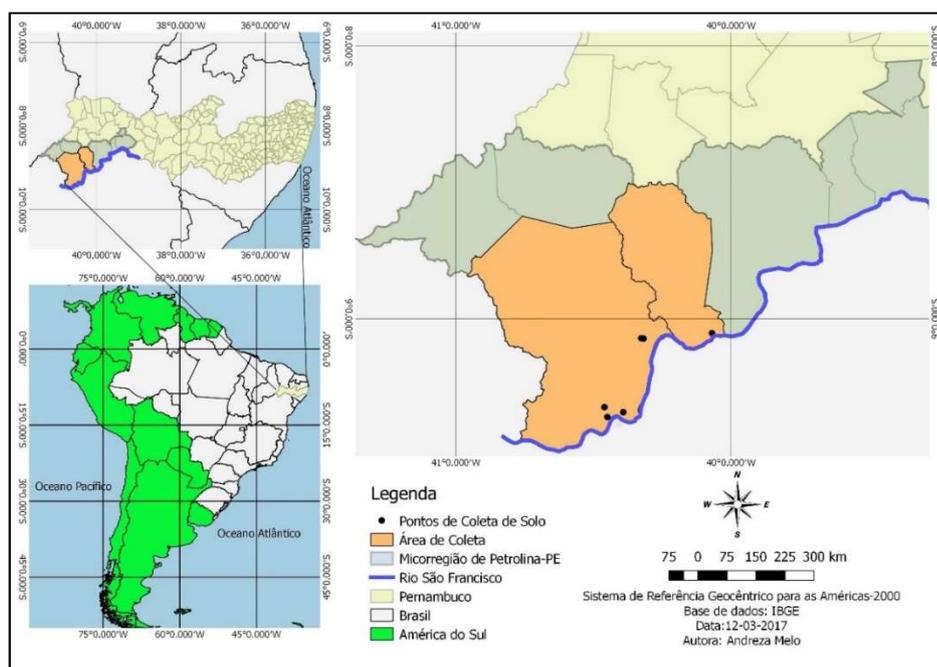
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

Para a realização do experimento foram coletados solos em cinco áreas no município de Petrolina-PE e em uma área no município de Lagoa Grande-PE. O município de Petrolina está localizado sob as coordenadas geográficas 9° 23' S e 40° 30' W, possuindo uma área de 4.561,872 km² e uma população de 293.962 habitantes. O município de Lagoa Grande está localizado sob as coordenadas geográficas 8° 59' S e 40° 16' W, possuindo uma área de 1.848,928 km² com uma população de 22.760 habitantes (IBGE, 2010). As cidades estão inseridas na região hidrográfica do Submédio São Francisco (CBHSF, 2016) e na microrregião de Petrolina (Figura 2).

A economia dos dois municípios é baseada na agricultura irrigada, tanto para exportação como de subsistência (IBGE, 2010).

Historicamente as áreas onde foram coletadas as amostras de solo nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande, eram utilizadas para plantação de frutas destacando-se a produção de banana, uva e manga (JANSEN, 2017).

Figura 2- Mapa de localização da área de estudo nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande no estado de Pernambuco



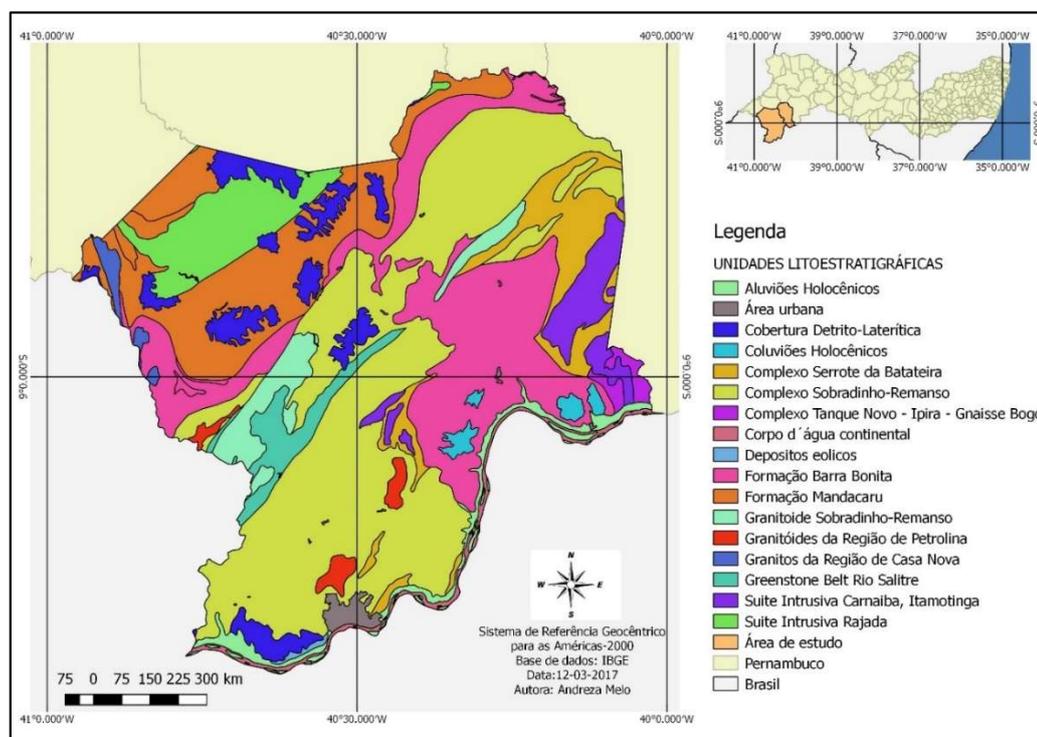
Fonte: Autor, 2017

O Clima da região segundo a Classificação de Koppen é BSh – Clima Semiárido quente, caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição; baixa nebulosidade; forte insolação; índices elevados de evaporação, e temperaturas médias elevadas (por volta de 27°C). A umidade relativa do ar é normalmente baixa, e as poucas chuvas, de 250 mm a 750 mm por ano, concentram-se num espaço curto de tempo. As chuvas se iniciam no mês de novembro com término em abril, sua distribuição é irregular, deixando de ocorrer durante alguns anos e provocando secas (CPRM, 2005; EMBRAPA, 2016).

O relevo da área de estudo é predominantemente suave-ondulado. A vegetação original é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005; IBGE, 2017).

O município de Petrolina é constituído pelos litotipos do Complexo Gnáissico-migmatito Sobradinho/Remanso, do Greenstone Belt Rio Salitre, do Complexo Saúde, dos Granitóides Sim e Pós-Tectônicos, das formações Mandacaru 1 e 2, do Grupo Casa Nova, da Suíte Metaluminosa e Peraluminosa Rajada, dos depósitos Dentríticos e/ou Lateríticos, Colúvio-eluviais e Aluvionares e das Paleodunas Continentais. E o município de Lagoa Grande, pelos litotipos do Complexo Gnáissico- migmatítico Sobradinho-Remanso, dos Gnaisses Bangê e Bogó, do Complexo Saúde, dos Granitos Calcicalcino de alto potássio Meta e Peraluminosos, das formações Barra Bonita e Mandacaru, da Suíte Intrusiva Metaluminosa e Peraluminosa Rajada e dos depósitos Colúvio-eluviais e Aluvionares (CPRM, 2005) (Figura 3)

Figura 3- Mapa geológico da área de estudo nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande no estado de Pernambuco

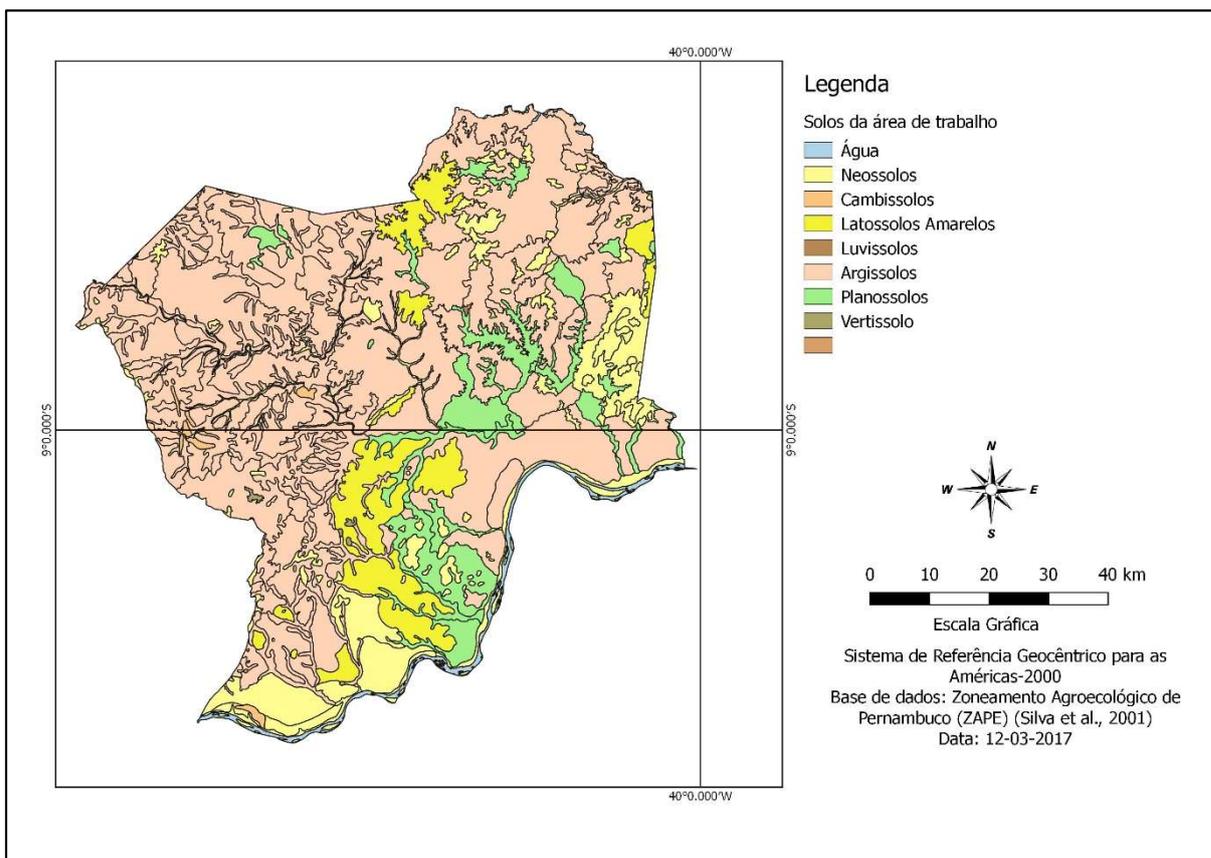


Fonte: Autor, 2017

Conforme o mapa de solos (Figura 4) os solos predominantes na área de estudos são: Argissolos, Neossolos, Latossolos Amarelos e Planossolos e em menor proporção os Cambissolos, Luvisolos e Vertissolos.

Segundo Cunha et al., (2008) no Submédio do Vale do São Francisco os solos predominantes apresentam as seguintes características: os Luvisolos e os Neossolos Litólicos são pouco profundos e muito suscetíveis erosão; os Neossolos Quartzarênicos e os Neossolos Regolíticos apresentam textura muito grosseira, refletindo-se em altas taxas de infiltração, baixa retenção de umidade e baixa fertilidade; os Planossolos contém altos teores de sódio. Os solos irrigáveis são pouco extensos, sendo os Vertissolos, Argissolos, Latossolos e alguns Cambissolos, os principais. Com os modernos sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), os Neossolos Quartzarênicos foram incorporados aos sistemas produtivos, principalmente com o cultivo da videira. Margeando todo o rio e seus afluentes, encontra-se a faixa de Neossolos Flúvicos e Cambissolos Flúvicos.

Figura 4: Mapa de Solos da área de estudo nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande no estado de Pernambuco



Fonte: Autor, 2017

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Amostragem dos solos

As coletas foram realizadas nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm em cinco pontos que formaram uma amostra composta por profundidade. Após a coleta, as amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da Embrapa Semiárido, onde foram realizadas análises para determinação das características químicas e físicas seguindo normas da Embrapa (1997). As classes de solo das amostras coletadas estão tabeladas abaixo:

Tabela 6 - Classes dos solos coletados com diferentes níveis de salinidade e sodicidade nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande-PE

Identificação da amostra	Pontos de coleta		Classe (EMBRAPA, 2006)
	Coordenadas (SIRGAS 2000)		
Solo 1	9° 3.116'S 4	40° 4.161'O	Planossolo
Solo 2	9° 4.304'S	40° 19.079'O	Argissolo
Solo 3	9° 20.494'S	40° 23.513'O	Planossolo
Solo 4	9° 21.558'S	40° 26.965'O	Argissolo
Solo 5	9° 19.391'S	40° 27.630'O	Planossolo
Solo 6	9° 23.010'S	40° 24.538'O	Cambissolo vértico

Determinou-se a partir das análises químicas, seguindo a classificação de Richards, 1954, a salinidade e/ou sodicidade dos solos.

A segunda parte das amostras foi enviada para a Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, onde passou por processo de secagem ao ar livre, sendo as amostras destorroadas e passadas por peneira de malha de 2 mm para posterior preenchimento as colunas de PVC para realização de lixiviação.

Fotografia 1 - Amostras de solos em laboratório na Universidade Federal de Pernambuco- secas e destorroadas



Fonte: Autor, 2016

Fotografia 2- Área de coleta do Solo 1 no município de Lagoa Grande-PE



Legenda: (a) Solo 1 -Planossolo, apresenta na camada superficial dispersão da matéria orgânica em decorrência da presença excessiva de sais. (b) Características da área de amostragem com pouca presença da vegetação de Caatinga. Fonte: Autor, 2016

Fotografia 3 - Área de coleta do Solo 2 no município de Petrolina-PE



Legenda: (a) Solo 2 – Amostragem do solo. (b) Características do solo: presença de crosta salina na camada superficial. Fonte: Autor, 2016

Fotografia 4- Área de coleta do Solo 3 no município de Petrolina-PE



(a)

(b)

Legenda: (a) Solo 3 –Afloramento de sais na superfície do solo. (b) Perfil de coleta do solo. Fonte: Autor, 2016

Fotografia 5- Área de coleta do Solo 4 no município de Petrolina-PE



(a)

(b)

Legenda: (a) Presença de Crosta salina na superfície do solo.(b) Área de coleta. Fonte: Autor, 2016

Fotografia 6- Área de coleta do Solo 5 no município de Petrolina-PE



(a)

(b)

Legenda: (a) Área de coleta , presença de alagamento. Foto b) Perfil solo. Fonte: Autor, 2016.

Fotografia 7- Área de coleta do Solo 6 no município de Petrolina-PE



(a)

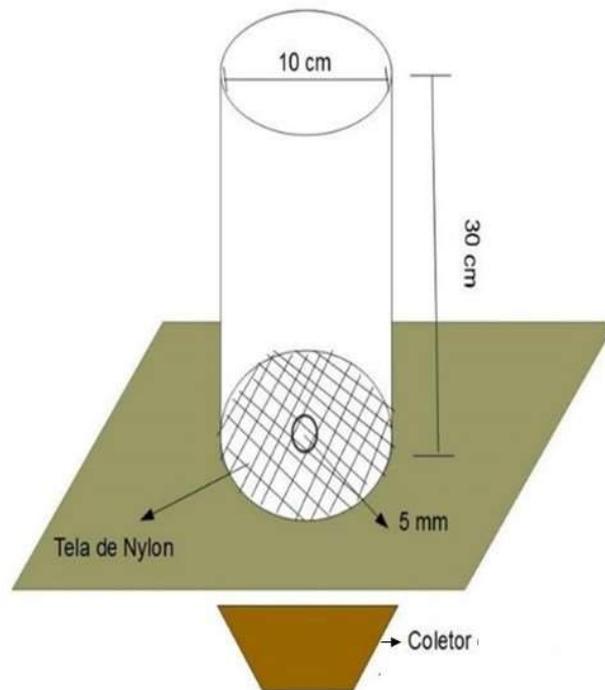
(b)

Legenda: Foto (a) e (b) Afloramento de sais na superfície do solo. Fonte: Autor, 2016

3.2.2 Ensaio em colunas de Lixiviação

Para realizar os ensaios em colunas de lixiviação, utilizou-se a camada de 0-20 cm do solo amostrado. As colunas foram confeccionadas em tubos de PVC com 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Foi usado na base do tubo, pedaços de telas de nylon com objetivo de conter o solo e fixada com tampão de PVC onde foi feito um orifício de 5mm de diâmetro para passagem da água de lixiviação (Figura 5). As colunas foram preenchidas com solo até a altura de 20 cm para simular as condições originais do horizonte amostrado.

Figura 5- Modelo da Coluna de lixiviação em tubo PVC



Fonte: Autor, 2017.

Para a realização do experimento, adotou-se delineamento em Blocos Casualizados, em arranjo fatorial 6x3x3, sendo 6 blocos separados por amostra de solo, contendo 9 colunas de lixiviação, onde 3 tratamentos foram aplicados (incluindo um tratamento testemunha) e repetidos 3 vezes, totalizando 54 unidades experimentais.

Fotografia 8- Unidades experimentais em blocos ao acaso



Fonte: Autor, 2017.

3.2.3 Tratamentos

O corretivo utilizado no experimento para a recuperação do solo foi o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a.). Adotou-se uma dosagem equivalente a 100% da necessidade de gesso (NG) para cada amostra (Tabela 7). A necessidade do gesso agrícola foi calculada a partir da equação proposta por Pizarro (1978):

$$NG \text{ (kg/ha)} = ((PST_1 - PST_2) \times T \times 86 \times P \times D) / 100.$$

PST₁: valor inicial da PST no solo;

PST₂: valor final da PST no solo (definida para que o solo não tenha mais caráter sódico ou salino sódico);

T: valor da CTC do solo a pH 7,0;

P: profundidade do perfil que se deseja corrigir em cm;

D: densidade do solo;

A Porcentagem de Sódio Trocável (PST) foi calculado pela seguinte fórmula $PST = (100 \times Na^+) / T$ onde T é a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) potencial do solo. O valor 86 da fórmula corresponde a massa molar do gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

Tabela 7- Necessidade de Gesso para cada solo

Identificação da amostra	PST1 (%)	PST2 (%)	T (cmol dm^{-3})	Densidade (g/cm^3)	Profundidade (cm)	NG (g)
Solo 1 (0-20)	15,92	12	7,1	1,6	20	0,60
Solo 2 (0-20)	17,66	12	14,7	1,5	20	1,69
Solo 3 (0-20)	18,73	12	13,8	1,3	20	1,63
Solo 4 (0-20)	30,25	12	24,2	1,4	20	8,35
Solo 5 (0-20)	31,13	12	33,5	1,1	20	9,52
Solo 6 (0-20)	20,69	12	44,1	1,2	20	6,21

As aplicações do corretivo foram realizadas da seguinte maneira, em cada bloco: gesso sólido na camada de 0-5 cm do perfil do solo na coluna (T1), em 3 colunas; gesso solubilizado em água deionizada para lixiviação do solo, a uma concentração de 2 g/L (T2), em 3 colunas; e um tratamento sem aplicação do corretivo (T0) que serviu de testemunha, aplicado nas últimas 3 colunas do bloco. A lixiviação das colunas descrita em T1 e T0, foi feita com água deionizada. Padronizou-se uma lâmina de lixiviação de 500 ml por aplicação e repetiu-se a lixiviação a cada 24 horas por bloco, até que 100% da necessidade de gesso fosse alcançada na coluna onde adotou-se o tratamento (T2). O método adotado visa avaliar as duas formas de aplicação escolhidas. O gesso pode ser solubilizado em água na proporção de até 2,5 g/L, adaptado de Silveira (2008).

No primeiro dia, as colunas tratadas conforme T1 e T0, foram saturadas com água deionizada até a capacidade de pote; enquanto as colunas tratadas segundo T2 foram saturadas com água deionizada mais gesso solubilizado na mesma até sua capacidade de pote.

Após o processo de saturação das amostras, as colunas foram cobertas com filme plástico para evitar a evapotranspiração. As colunas ficaram 24 horas em fase de incubação, para que houvesse uma maior interação do corretivo com o solo. Após as 24 horas de incubação foram realizadas as primeiras aplicações das lâminas de lixiviação e coletadas amostras de água que seguiram para análise da condutividade elétrica e pH adaptado de Barros (2001).

Fotografia 9- Leitura da Condutividade elétrica e pH nas soluções lixiviadas



Fonte: Autor, 2017.

Devido à baixa solubilidade do gesso e à capacidade de pote das amostras nas colunas serem limitadas, não foi possível a aplicação de 100% da necessidade de gesso na primeira dosagem para o tratamento T2 sem que houvesse drenagem, excetuando-se apenas as amostras que tinham baixa necessidade de gesso. Assim foi necessário parcelar a aplicação do gesso solubilizado, que foi aplicado diariamente através da própria lixiviação até que se alcançasse 100% da necessidade de gesso NG(g), somando-se todas as aplicações.

Após realização do experimento, as colunas foram desmontadas e as amostras de solo foram secas ao ar livre, separadas e encaminhadas para análise química no laboratório da EMBRAPA semiárido afim de caracterizar as amostras de solo após os tratamentos.

Os resultados da Condutividade Elétrica (CE), PST, pH, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ das amostras foram analisados pelo método ANOVA (Análise de Variância) à 5%. Sempre que se verificavam que os parâmetros do método citado satisfaziam $F > F_{\text{crítico}}$, indicando diferença significativa nos tratamentos, os dados foram avaliados usando o teste de Tukey para isolar os métodos que apresentaram diferenças significativas entre si. Usou-se, neste processo, o software Excel do pacote office da Microsoft.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ANTES DOS TRATAMENTOS

A alta concentração de sódio causa dispersão das argilas o que conduz a problemas como; baixa infiltração nos solos, redução da condutividade hidráulica e formação de crostas na superfície dos solos, que prejudica as plantas e favorece processos erosivos. Como pode ser observado na tabela 8, as concentrações de sódio nos solos variaram de $1,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a $10,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O solo 1 na camada de (20-40 cm) não apresentou problemas de sodicidade com uma concentração de $0,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O pH dos solos variou de 4,5 a 7,4.

A presença de sais que contribuem para a salinidade, tal como cálcio e magnésio, não têm o mesmo efeito do sódio porque são menores e tendem a agrupar-se mais perto de partículas de argila. As presenças do cálcio e do magnésio geralmente mantem o solo floculado, pois estes competem pelos mesmos espaços com o sódio para se ligarem às partículas de argila. O aumento da quantidade de cálcio e de magnésio pode reduzir a quantidade de dispersão das argilas do solo induzida por sódio (WARRANCE et al, 2001).

Nos solos estudados a concentração de Cálcio (Ca) e o Magnésio (Mg) variaram de respectivamente, de $1,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a $20,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a $10,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 8). As concentrações do Potássio variaram de 0,10 a $0,57 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A maior parte dos solos estudados apresentam uma textura arenosa, apenas o solo 6 foi caracterizado como franco (Tabela 9)

Tabela 8 - Características químicas dos solos antes dos tratamentos

Amostras	Ph	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	CTC
	--	cmol _c dm ⁻³						
SOLO 1 (0-20)	4,8	0,12	1,14	1,10	0,60	0,20	4,20	7,10
SOLO 1 (20-40)	5,5	0,14	0,70	1,10	0,70	0,00	3,70	6,30
SOLO 2 (0-20)	6,7	0,57	2,61	5,60	2,30	0,00	3,70	14,70
SOLO 2 (20-40)	6,9	0,55	2,70	5,30	1,70	0,00	4,40	14,70
SOLO 3 (0-20)	7,1	0,25	2,57	5,90	2,10	0,00	2,90	13,80
SOLO 3 (20-40)	7,3	0,21	3,48	3,90	2,10	0,00	2,90	12,60
SOLO 4 (0-20)	6,4	0,23	7,30	9,20	4,00	0,00	3,40	24,20
SOLO 4 (20-40)	4,6	0,23	5,22	12,10	4,50	0,00	3,40	25,50
SOLO 5 (0-20)	7,4	0,27	10,43	13,20	5,90	0,00	3,70	33,50
SOLO 5 (20-40)	6,4	0,10	5,22	3,10	1,00	0,00	3,70	13,10
SOLO 6 (0-20)	5,7	0,10	9,13	20,30	10,20	0,00	4,40	44,10
SOLO 6 (20-40)	4,9	0,55	6,65	10,10	5,00	0,05	5,10	27,40

Tabela 9 -Características físicas dos solos estudados

Identificação da Amostra	Densidade		Porosidade	Granulometria			Textura
	Solo	Partículas	Total (%)	A. Total	Silte	Argila	
	(kg/dm ³)		(g/kg)				
Solo 1 (0-20)	1,6	2,43	33,19	853,8	130,5	15,7	Arenosa
Solo 1 (20-40)	1,6	2,56	37,52	781,5	134,6	84	
Solo 2 (0-20)	1,5	2,57	42,42	876	121,3	2,7	Arenosa
Solo 2 (20-40)	1,5	2,55	40,8	841,7	74,1	84,2	
Solo 3 (0-20)	1,3	2,65	51,48	855,2	144,1	0,7	Arenosa
Solo 3 (20-40)	1,4	2,57	46,77	770,9	102,9	126,2	
Solo 4 (0-20)	1,4	2,53	46,21	821,2	127,9	50,9	Arenosa
Solo 4 (20-40)	1,3	2,49	49,01	822,1	117,1	60,8	
Solo 5 (0-20)	1,1	2,59	56,15	793,9	163,8	42,4	Arenosa

Solo 5 (20-40)	1,3	2,59	48,7	863,3	69,4	67,3	
Solo 6 (0-20)	1,2	2,48	51,65	590,4	338,1	71,5	Franco
Solo 6 (20-40)	1,3	2,5	48,01	510,5	262,2	227,3	

4.1.1 Condutividade Elétrica (C.E) e Porcentagem de Sódio trocável (PST)

Segundo a classificação de Richards (1954), os solos foram classificados como salino-sódicos e sódicos (Tabela 10). Os solos classificados como sódicos apresentaram uma condutividade elétrica menor que 4 mS/ cm, enquanto os classificados como Salino-sódico apresentaram uma condutividade elétrica superior a 4 mS/ cm. Exceto na amostra do solo 1, na camada de 20-40 cm, a condutividade elétrica foi inferior a 4 mS/ cm.

A Porcentagem de Sódio Trocável (PST) foi inferior a 15%, resultando na classificação do solo como não salino e não sódico. A PST nos demais solos foram superiores ao valor crítico de 15%. A porcentagem de sódio trocável causa toxidez à maioria das plantas, afetando diretamente no seu crescimento, pois a presença de sódio inibe a adsorção de Cálcio e Magnésio.

Tabela 10- Classificação dos solos por nível de salinidade e sodicidade (Richards, 1954)

Amostra	Classe do Solo	C.E(es) mS/ cm	PST %	Classificação
Solo 1 (0-20)	Planossolo	2,31	15,92	Sódico
Solo 1 (20-40)		1,55	11,04	Normal
Solo 2 (0-20)	Argissolo	15,49	17,66	Salino-sódico
Solo 2 (20-40)		8,87	18,43	Salino-sódico
Solo 3 (0-20)	Planossolo	9,25	18,73	Salino-sódico
Solo 3 (20-40)		7,80	27,64	Salino-sódico
Solo 4 (0-20)	Argissolo	10,40	30,25	Salino-sódico
Solo 4 (20-40)		99,80	20,51	Salino-sódico
Solo 5 (0-20)	Planossolo	9,09	31,13	Salino-sódico
Solo 5 (20-40)		39,9	39,79	Salino-sódico
Solo 6 (0-20)	Cambissolo vértico	0,94	20,69	Sódico
Solo 6 (20-40)		1,34	24,27	Sódico

Legenda: C.E (Condutividade Elétrica no extrato de saturação); PST (Porcentagem de Sódio Trocável).

4.2 ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE) E PH NO LIXIVIADO DAS COLUNAS DE SOLO

A seguir são apresentados os gráficos que representam os níveis de condutividade elétrica e pH nos rejeitos de lixiviação dos solos sódicos e salinos sódicos. Nos solos 1, 2 e 3, o nível de salinidade é maior e a necessidade de gesso também é maior.

O gráfico 1 abaixo mostra que a água lixiviada no tratamento com gesso solubilizado em água (T2) tem maior condutividade elétrica em comparação com os demais tratamentos, gesso sólido agregado ao solo (T1) e o tratamento sem gesso recebendo apenas água. Isso demonstra que o gesso solubilizado na água, carrou mais sais em comparação com os demais tratamentos, após 24 horas da sua aplicação.

Conforme o gráfico 2 o pH das soluções lixiviada do solo 1, tratadas com gesso sólido (T1) e solubilizado (T0) foram mais alcalinos que no tratamento apenas com água (T0).

Diferente do solo 1, o solo 2 foi lixiviado duas vezes, até alcançar a necessidade de gesso de 100%. Como pode ser observado no gráfico 3, a condutividade elétrica da água lixiviada foi semelhante entre os tratamentos, porém para este solo o tratamento com gesso sólido a condutividade da primeira lixiviação foi um pouco superior. A condutividade elétrica do lixiviado caiu significativamente na 2 lavagem.

O pH do lixiviado do solo 2 (Gráfico 4), variou da primeira para segunda lixiviação tornando- se mais alcalino.

Gráfico 1- Condutividade elétrica (C.E.) do lixiviado do solo 1

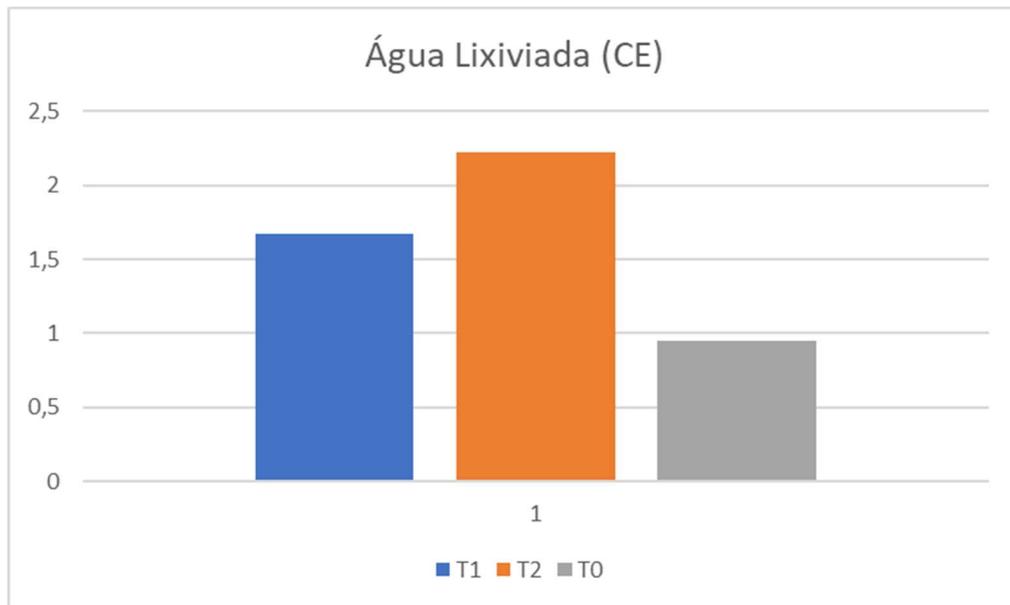


Gráfico 2- pH da água lixiviada no solo 1

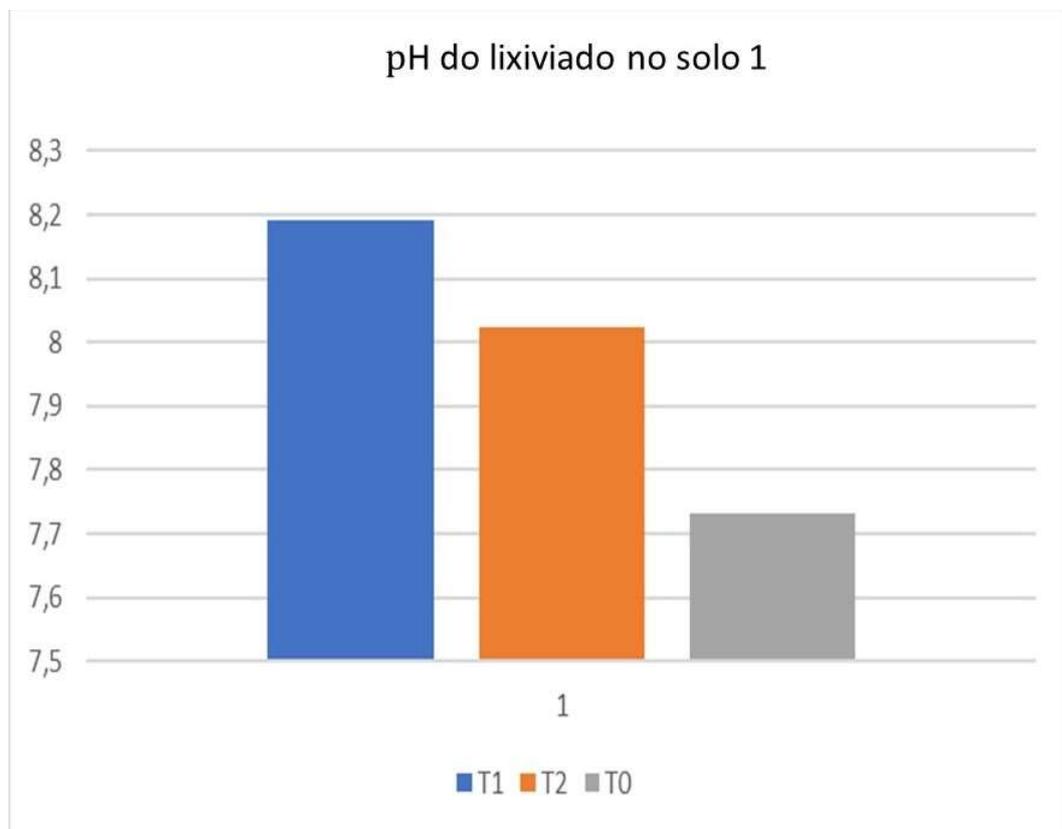


Gráfico 3 - Condutividade elétrica da água lixiviada no solo 2

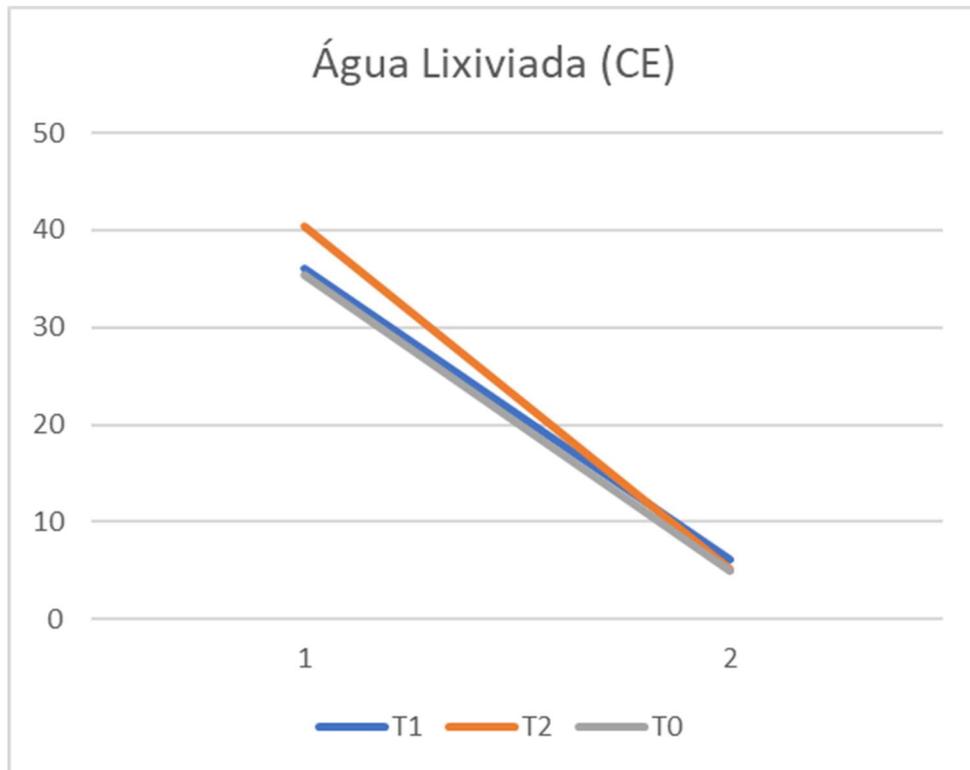
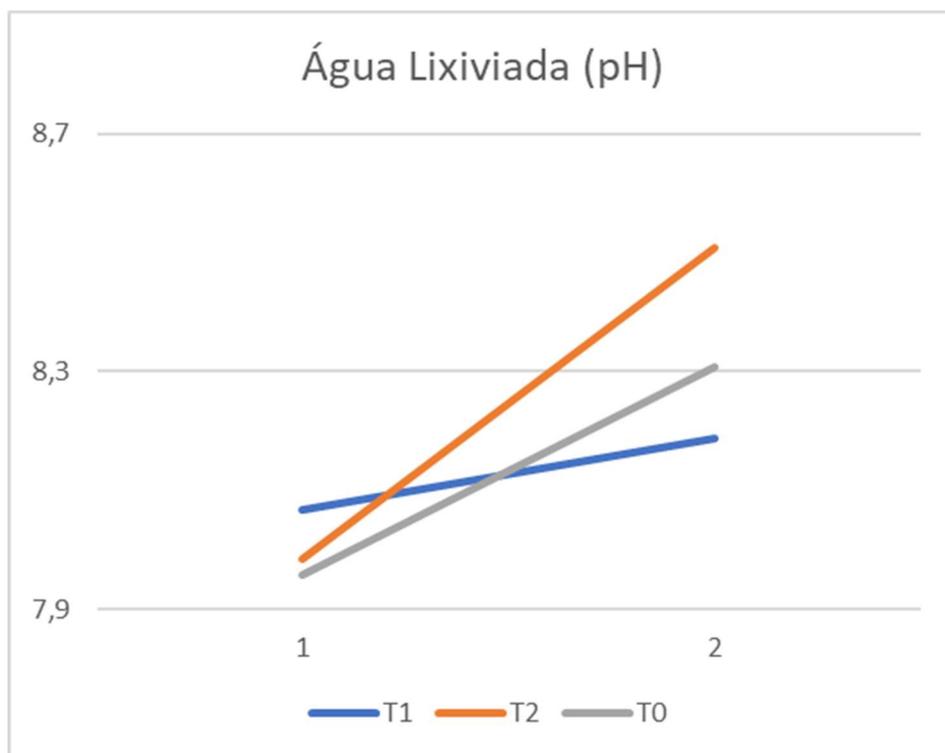


Gráfico 4 – pH da água lixiviada no solo 2



Assim como observado no lixiviado do solo 2 a condutividade elétrica na segunda lavagem teve uma redução significativa para o lixiviado do solo 3, porém nessas amostras o lixiviado apenas com água teve uma condutividade superior aos tratamentos com gesso sólido e solubilizado (Gráfico 5).

O pH do lixiviado do solo 3 (Gráfico 6), variou da primeira para segunda lixiviação tornando-se mais alcalino assim como no solo 2.

Gráfico 5– Condutividade da água lixiviada do Solo 3

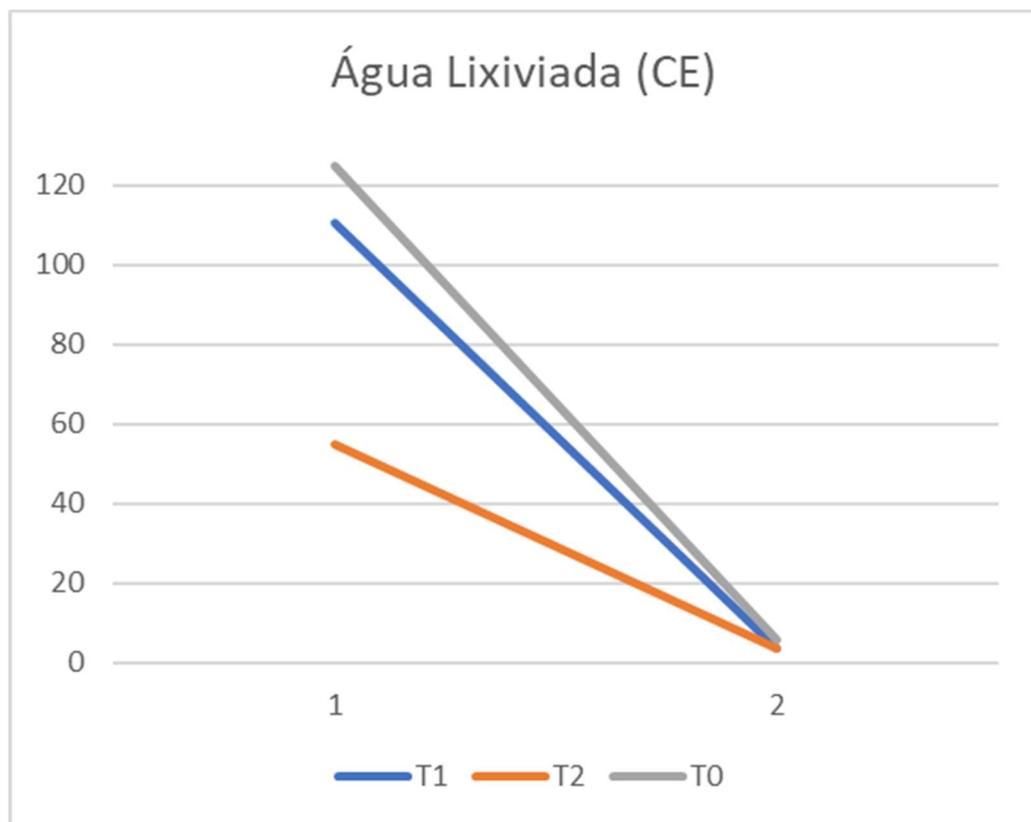
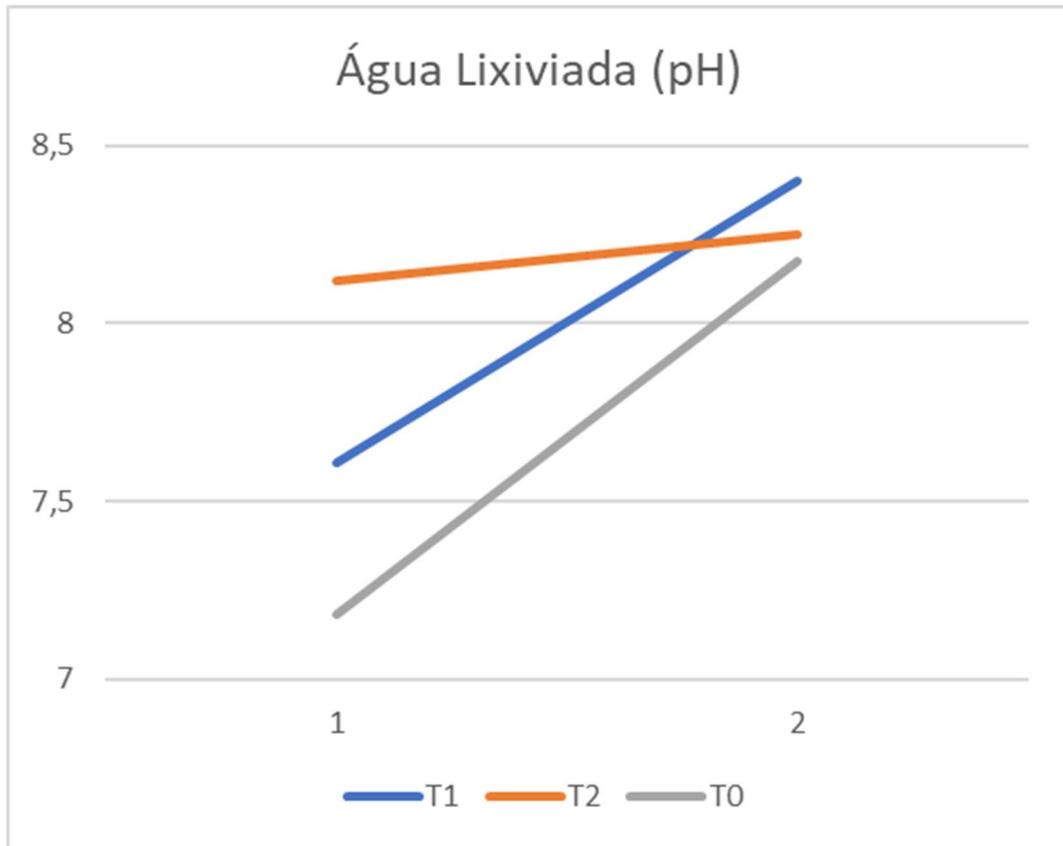


Gráfico 6– pH da água lixiviada Solo 3



O solo 4 apresentava um nível de necessidade de gesso superior aos solos 1, 2 e 3 aqui estudados. Para esse solo foram realizadas lavagens durante 11 dias. A condutividade elétrica no lixiviado do solo 4 obteve também uma redução bastante expressiva no lixiviado do solo e permaneceu na mesma tendência durante todo o processo. A condutividade elétrica nos tratamentos com gesso sólido (T1) e solubilizado (T2) foram maiores que a do tratamento com apenas água (T0) (Gráfico 7). O pH das amostras lixiviadas no solo 4, se permaneceu acima de 7,0 (Gráfico 8).

Gráfico 7- Condutividade elétrica da água lixiviada no Solo 4

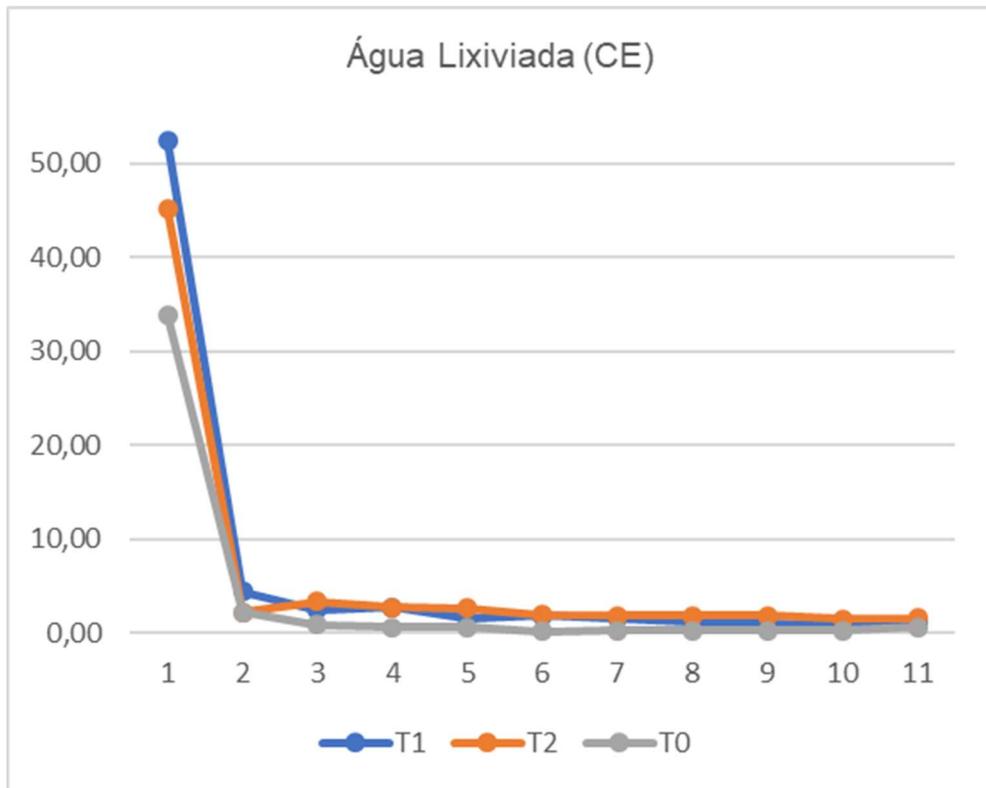
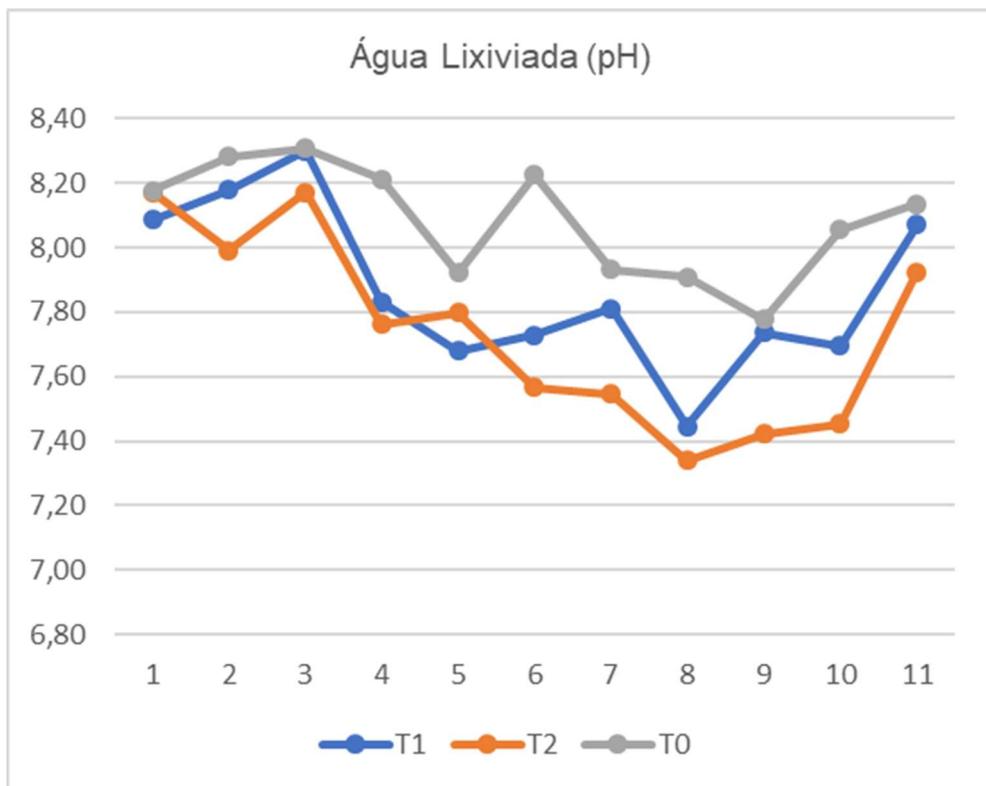


Gráfico 8- pH da água lixiviada no Solo 4



Durante a aplicação dos tratamentos no solo 5, foram realizadas doze lavagens a fim de diminuir a salinidade desse solo. A condutividade elétrica do líquido do solo foi semelhante ao solo 4, tendo os tratamentos com gesso resultando numa condutividade maior na primeira lixiviação (Gráfico 9).

O pH das amostras lixiviadas no solo 5, a partir da segunda lixiviação, passou a ser mais alcalino que na primeira lixiviação (Gráfico 10).

Gráfico 9– Condutividade da água lixiviada do Solo 5

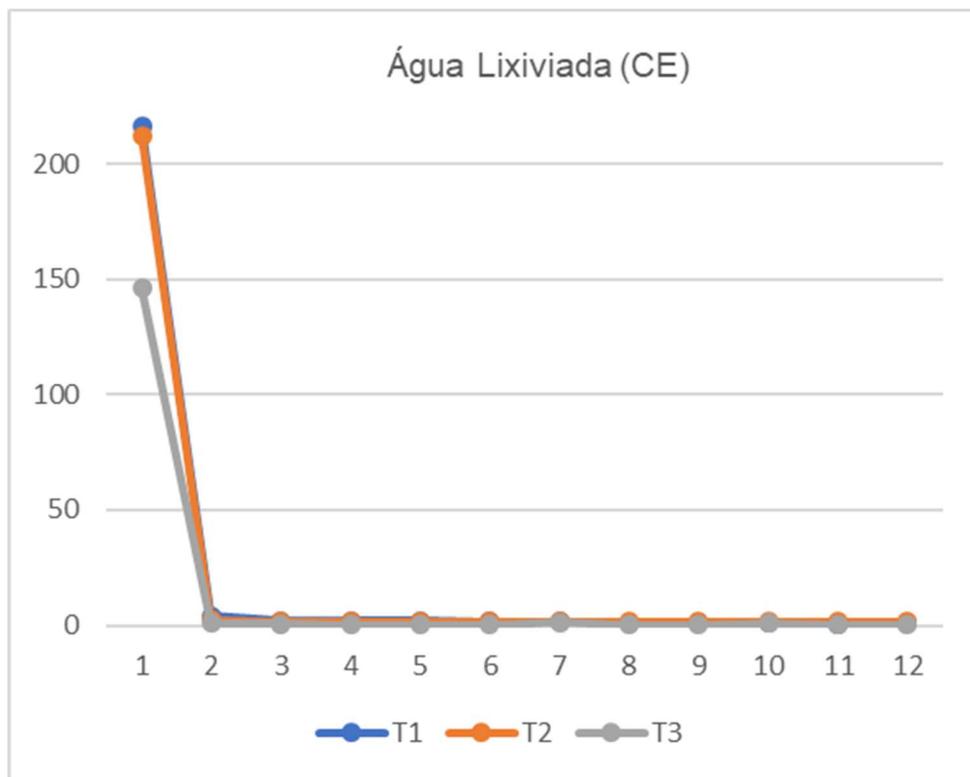
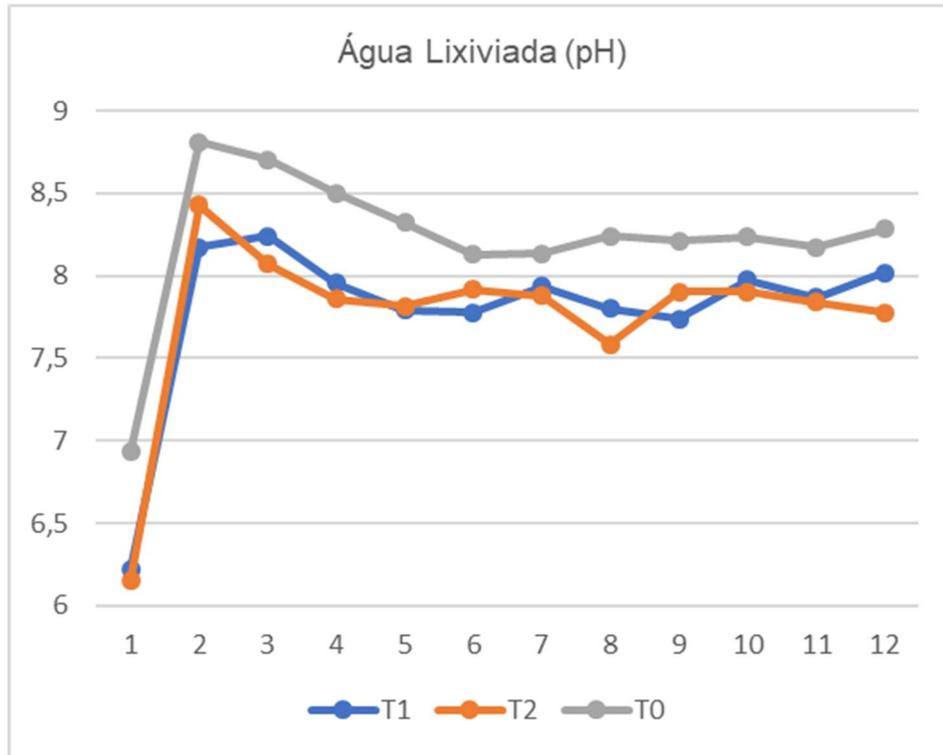


Gráfico 10– pH da água lixiviada do Solo 5



A análise da condutividade elétrica no lixiviado do solo 6 (Gráfico 11) diferiu do que ocorreria nos solos anteriormente analisados, pois esses a partir da segunda lixiviação já apresentavam uma condutividade elétrica bastante reduzida. No solo 6 essa redução só aconteceu a partir da terceira lixiviação

O pH das amostras lixiviadas no solo 6 (Gráfico 12), a partir da segunda lixiviação, passou a ser mais alcalino que na primeira lixiviação, acontecimento similar ao lixiviado do solo 5.

Gráfico 11 - Solo 6 – Condutividade elétrica da água lixiviada

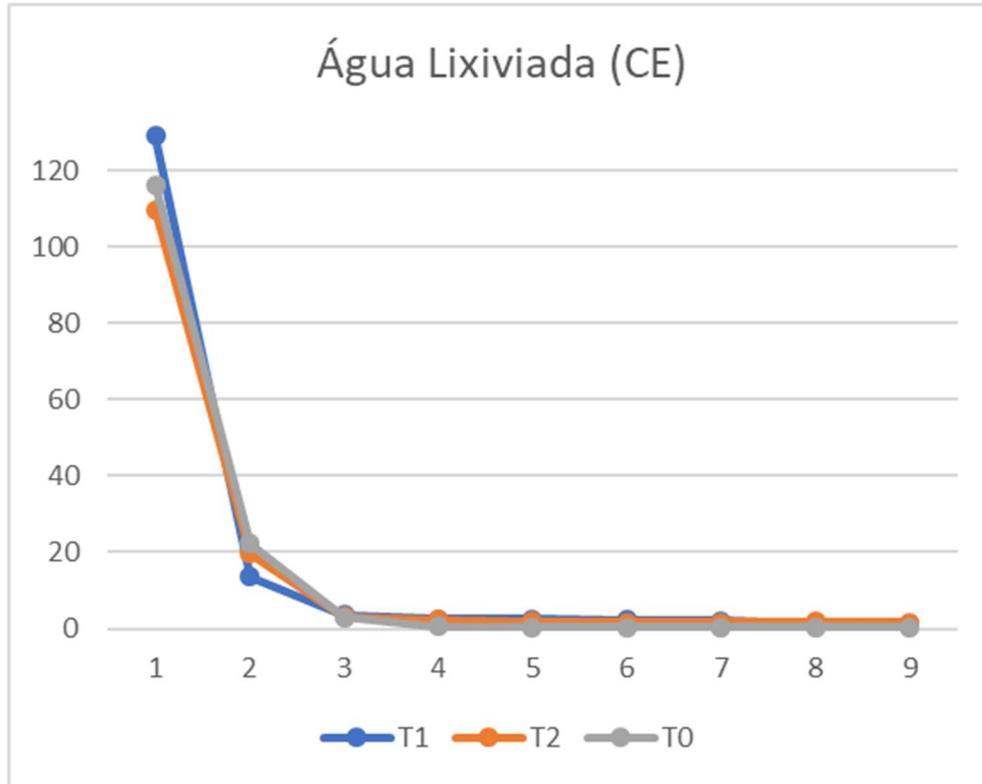
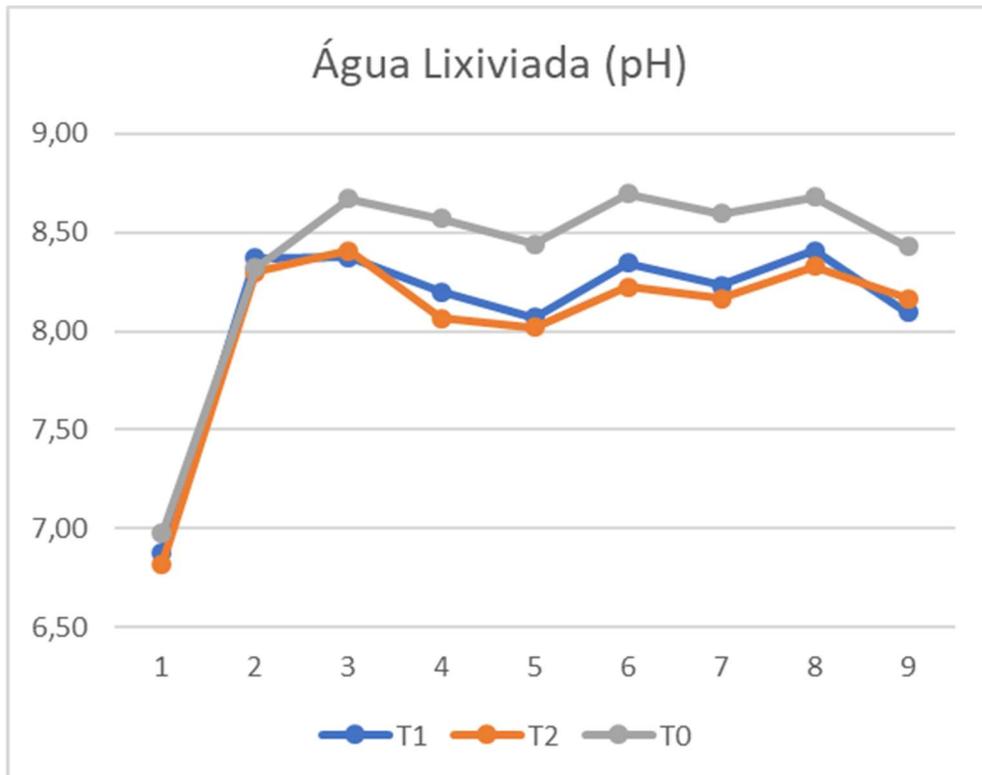


Gráfico 12 - Solo 6 – pH da água lixiviada



A tendência observada nos valores da condutividade elétrica e do pH em todos os lixiviados é bastante similar a Silveira (2008).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS APÓS APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tabela 11- Médias das características químicas do solo após aplicação dos tratamentos.

Amostras	Tratamentos	C.E (mS/ cm)	Ph -	K+ <i>cmol_c/dm³</i>	Na+	Ca2+	Mg2+	CTC	PST (%)	Classificação
Solo 1	(T1)	0,9900	5,7667	0,1367	0,0200	1,9000	1,1667	4,7567	0,4205	NS
	(T2)	0,5400	5,7000	0,1267	0,0100	1,5667	1,1000	3,9367	0,2540	NS
	(T0)	0,9000	5,4667	0,1567	0,0167	1,3667	0,7333	3,5400	0,4708	NS
Solo 2	(T1)	2,8133	7,5333	0,3267	0,2567	5,3000	1,6667	7,5333	3,4071	NS
	(T2)	1,5667	7,7000	0,3233	0,1267	4,5000	1,8333	6,7667	1,8719	NS
	(T0)	0,9967	7,8667	0,3500	0,1233	3,5333	2,1000	6,0667	2,0330	NS
Solo 3	(T1)	2,2500	7,3000	0,2267	0,1000	7,8000	2,5000	10,6333	0,9404	NS
	(T2)	2,1333	7,3333	0,2133	0,0833	7,5333	2,3000	10,1333	0,8224	NS
	(T0)	0,9367	7,5000	0,2400	0,2300	5,3000	3,3333	9,2000	2,5000	NS
Solo 4	(T1)	2,4867	7,1333	0,1033	0,0367	6,2333	2,1667	8,5667	0,4280	NS
	(T2)	1,5567	7,3000	0,1000	0,0367	5,6000	1,8000	7,5000	0,4889	NS
	(T0)	0,7567	7,2667	0,1100	0,0300	3,4000	1,9000	5,4000	0,5556	NS
Solo 5	(T1)	2,2433	7,6333	0,1333	0,0600	8,5000	2,6000	11,3000	0,5310	NS
	(T2)	1,5467	7,7667	0,1333	0,0533	7,6667	1,5667	9,4333	0,5654	NS
	(T0)	0,7300	7,9667	0,1333	0,0667	5,3667	1,9333	7,5000	0,8889	NS
Solo 6	(T1)	1,1100	6,8333	0,6033	0,0633	10,5667	2,0333	13,7333	0,4612	NS
	(T2)	1,2233	6,9000	0,5800	0,0667	9,5667	2,3000	12,9000	0,5168	NS
	(T0)	0,4200	6,8667	0,7767	0,0800	6,3333	2,7000	10,6000	0,7547	NS

Legenda: T1-Gesso sólido; T2- Gesso solubilizado; T0- Água sem gesso; NS- Não salino.

4.3.1 Condutividade Elétrica (CE)

O valor da condutividade elétrica expressa a concentração de sais solúveis no solo. As diferentes concentrações afetam o desenvolvimento das plantas, pois a maioria delas não se desenvolvem em solos com alta concentração de sais, excetuando-se as halófitas. Nas concentrações de 2 a 4 mS/cm pode ocorrer restrição de algumas culturas de 8 a 16 mS/cm só algumas plantas produzem e, >16 mS/cm somente as culturas, tolerantes produzem satisfatoriamente (KLAR,1988).

Após a aplicação dos tratamentos gesso sólido (T1), gesso solubilizado (T2) e água sem gesso (T0), foi observado uma redução na condutividade elétrica nos solos classificados como salino-sódicos (S2, S3, S4 e S5) (Tabela 11).

No solo sódico S1 a condutividade elétrica também foi reduzida após os tratamentos, diferenciando do solo 6, onde houve um pequeno aumento de 0,94 mS/cm (Tabela 8) para 1,11 mS/cm no tratamento com gesso sólido e 1,22 mS/cm para o gesso solubilizado (Tabela 11). Essa condição pode ser explicada pelo acréscimo de íons cálcio que ocorre quando o gesso é adicionado ao solo. Para o tratamento apenas com água (T0) a condutividade foi reduzida 0,42 mS/cm (Tabela 11).

A diminuição da condutividade elétrica no solo 1 (sódico), pode ser resultado de diversos fatores que interferem na química e na física dos solos. A Porcentagem de Sódio Trocável (PST) é um desses fatores, pois quando a mesma é elevada contribui para as más condições físicas dos solos, por causar dispersão das argilas (EMBRAPA, 2016), e esta dispersão interfere na drenagem do solo, pois causa selamento na superfície, impedindo que os sais sejam carregados mais facilmente. Sendo o valor da PST do Solo 1 igual a 15, 92% (Tabela 10) menor do que do Solo 6, na camada de 0-20 cm, pode-se concluir que o solo 1 apresenta uma drenagem mais eficiente o que contribuiu para que a lixiviação dos sais fosse mais eficiente.

Outro fator que pode ser analisado para justificar essa diferença entre os solos sódicos é a granulometria destes que também se diferenciam entre arenoso (solo 1) com menor fração de argila e franco (solo 6) com uma maior fração de argila. As argilas apresentam cargas elétricas negativas responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC) no solo.

Para avaliar as inferências feitas nos dados de condutividade elétrica em todos os solos e para cada tratamento, foi realizada a ANOVA dos dados, cujos resultados são apresentados na Tabela 12. Não há diferenças significativas entre as médias dos tratamentos T0, T1, T2 com relação a diminuição da condutividade elétrica. Do ponto de vista da condutividade elétrica

(CE), todos os tratamentos foram igualmente eficientes na diminuição da condutividade elétrica. Isto é de se esperar pois a lixiviação ou a melhora da drenagem tem-se mostrado eficiente na redução da salinidade de solos.

Tabela 12- Tabela de ANOVA para a Condutividade Elétrica (C.E)

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	27,08842	17	1,593436	3,710956	0,00046	1,915321
Dentro dos grupos	15,45793	36	0,429387			
Total	42,54635	53				

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Grau de Liberdade; MQ: Média dos quadrados

4.3.2 Porcentagem de Sódio Trocável (PST)

Em todos os solos e tratamentos houve uma diminuição expressiva da PST (%) para < 10%, porém nos tratamentos que receberam gesso sólido e solubilizado a PST foi menor que no tratamento apenas com água (Tabela 11). De acordo com Gheyi et al., (1995), a aplicação de gesso em solos salino-sódicos resulta em uma expressiva diminuição da PST e Segundo Malik et al., (1991) em solos afetados por sódio, a aplicação de gesso agrícola reduz o selamento superficial, aumentando a taxa de infiltração de água no solo, facilitando a remoção dos sais da camada superficial.

Todos os tratamentos (T0, T1, T2) foram igualmente efetivos na redução da PST e as médias não diferem significativamente. Sejam tratamentos com ou sem gesso a PST foi reduzida. Por um lado, isto fortalece o fato que a melhora da drenagem será efetiva na diminuição da PST também. De todo modo, comparando-se os tratamentos com gesso sólido e com o gesso solubilizado, não existem diferenças significativa entre estes tratamentos (Tabela 13).

Tabela 13- Tabela de ANOVA para a Porcentagem de Sódio Trocável

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	35,3996	17	2,082329	2,574596	0,008403	1,915321
Dentro dos grupos	29,11674	36	0,808798			

Total 64,51634 53

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Grau de Liberdade; MQ: Média dos quadrados

4.3.3 Acidez ou basicidade (pH)

Em todos os solos analisados o pH foi elevado (Tabela 11), corroborando com os resultados obtidos por Barros (2010). Também foi observado um comportamento similar por Pizarro (1977), quando comparou a relação condutividade elétrica e o pH de um solo aluvial e concluiu que quando a condutividade elétrica aumenta, o pH diminui.

Como foi observado nesse estudo, a condutividade elétrica de todos os solos foi reduzida e conseqüentemente o pH foi elevado, contudo, sem diferença média significativa entre os tratamentos (T1) e (T2) nas amostras de solo S1, S2, S3, S4, S5 e S6. Nos solos S1 e S2, houve diferença significativa no tratamento com gesso sólido (T1) e no tratamento com água (T0), entretanto nos demais casos não houve diferenças significativas (Tabela 14) (Apêndice A).

Tabela 14- Tabela ANOVA para o pH

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	28,46315	17	1,674303	184,515	$7,8 \times 10^{-30}$	1,915321
Dentro dos grupos	0,326667	36	0,009074			
Total	28,78981	53				

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Grau de Liberdade; MQ: Média dos quadrados

4.3.4 Sódio (Na⁺)

O sódio compromete a estrutura dos solos prejudicando as plantas em seu desenvolvimento e por causar toxicidade. Isso prejudica as áreas onde há produção agrícola, causando grandes prejuízos econômicos para o agricultor, além de degradar a terra. Uma solução para o problema é reduzir a sodicidade dos solos, a fim de possibilitar o desenvolvimento das plantas. Segundo Smith et al. (2009), a redução da sodicidade melhora a condutividade hidráulica do solo, melhorando a distribuição de água no solo, beneficiando as plantas em seu desenvolvimento.

Os tratamentos aplicados aos solos (T1, T2 e T0) foram eficientes na redução do sódio nos solos. Após o tratamento com gesso sólido (T1) foi possível obter a redução da concentração de sódio em todas as amostras (Tabela 11) em relação ao solo original. Os resultados obtidos estão de acordo com Barros et al., (2009) que evidenciaram a redução da sodicidade após a aplicação do gesso incorporado no solo. Os tratamentos com gesso solubilizado (T2) e água sem gesso (T0) também reduziram a concentração de sódio, como observado em resultados obtidos por Silveira (2000).

Tabela 15- Tabela ANOVA, para o Sódio (Na^+)

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,234881	17	0,013817	2,407532	0,013166	1,915321
Dentro dos grupos	0,2066	36	0,005739			
Total	0,441481	53				

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Grau de Liberdade; MQ: Média dos quadrados

Não houve diferença significativa entre a média dos tratamentos aplicados para a retirada do sódio do solo. Entre os tratamentos com gesso sólido (T1) e gesso solubilizado (T2), não houve diferença significativa entre as médias dos resultados (Apêndice A).

4.3.5 Cálcio (Ca^{2+})

A variação da concentração de cálcio na solução do solo depende tanto da taxa de dissolução, quanto do tempo de contato de água com o gesso. Sendo assim, ao incrementar o fluxo de água no solo, aumenta a taxa de dissolução, contudo diminui o tempo de contato, para que haja a reação no solo (SAMPAIO, 1993).

Os tratamentos apresentaram diferenças significativas na média do cálcio final nas amostras, por exemplo, o solo 1 tratado com água (T0), gesso sólido (T1) e solubilizado (T2) apresentou diferença média significativa para os outros solos analisados com o mesmo tratamento. Isto possivelmente foi consequência do menor número de lavagens aplicadas a este solo e a melhora da drenagem dos solos S2, S3, S4, S5 e S6 que eram mais sódicos e no decorrer dos tratamentos foram se tornando mais permeáveis. Os solos mais lavados possuem menor diferença entre os níveis finais de cálcio e isto indica estabilização no processo de lixiviação de sais. Fato que decorre também da análise da concentração de sais na solução lixiviada. No solo

3, houve diferença significativa na média de cálcio entre os tratamentos (T1-T0) e (T2-T0). Nos demais casos, não houve diferença significativa (Tabela 16) (Apêndice A).

Tabela 16- Tabela ANOVA, para o Cálcio (Ca^{2+})

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	363,9504	17	21,40885	50,95098	4×10^{-20}	1,915321
Dentro dos grupos	15,12667	36	0,420185			
Total	379,077	53				

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Grau de Liberdade; MQ: Média dos quadrados

4.3.6 Magnésio (Mg^{2+})

Após os tratamentos os solos (S2, S4, S5 e S6) apresentaram diminuição da concentração de magnésio, principalmente nas colunas de solos tratadas com gesso sólido (T1) e solubilizado (T2) (Tabela 11). Segundo Caires et al. (1999) o gesso aplicado do solo provoca a lixiviação de magnésio trocável. Apenas os solos 1 e 3 tiveram aumento na concentração de magnésio independente dos tratamentos.

O tratamento com gesso sólido na primeira amostra S1T1 não mostrou diferença significativa para o tratamento com gesso solubilizado S1T2. Quando comparado o mesmo tratamento com gesso sólido, nos solos S3, S4 e S5, percebe-se que houve diferença significativa na média dos resultados do Mg^{2+} . Na amostra S3, houve diferença significativa entre o tratamento com gesso solubilizado para o tratamento com água. Não se observou diferença significativa entre tratamentos T1, T2 e T0 para as amostras de solo S4, S5 e S6 não havendo diferenças significativas entre si. A lavagem dos solos S3 e S4 com água resultou em diferenças significativas; a lavagem dos solos S2 e S3 com água tiveram diferenças significativas. Isto pode ser consequência de menor força nas ligações nestas amostras que permitiria carreamento apenas com água. O tratamento com gesso solubilizado no solo S1 teve diferença significativa com relação aos solos S3 e S6 (Tabela 17) (Apêndice A).

Tabela 17- Tabela ANOVA, para o Magnésio (Mg^{2+})

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	19,78833	17	1,16402	11,00824	$1,4 \times 10^{-09}$	1,915321
Dentro dos grupos	3,806667	36	0,105741			
Total	23,595	53				

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Grau de Liberdade; MQ: Média dos quadrados

4.3.7 Potássio (K⁺)

Os valores da concentração de potássio observados nas amostras, após a aplicação dos tratamentos, variam para cada solo. No solo 1 houve um pequeno acréscimo no tratamento com o gesso sólido (T1) e após a lixiviação com água (T0) em relação ao solo original (Tabela 11). Para os solos (S2, S3, S4 e S5) a concentração de potássio foi reduzida. Porém para o solo 6 a concentração de potássio foi aumentada em relação ao solo original. A diferença de textura dos solos, pode ser uma justificativa para essas diferenças. Segundo Sousa e Ritchely (1986) a lixiviação de potássio trocável pelo uso do gesso pode ocorrer dependendo do tipo de solo.

Comparando-se os mesmos tratamentos entre amostras distintas, foram obtidas as seguintes informações: S1 e S2 tratados com gesso sólido tiveram resultados significativamente diferentes (vale o mesmo entre os tratamentos S1-S3 e S1-S6); S1 e S2 tratados com gesso solubilizado tiveram resultados significativamente diferentes (vale o mesmo entre os tratamentos S1-S3 e S1-S6); S1 e S2 tratados com água tiveram resultados significativamente diferentes (vale o mesmo entre os tratamentos S1-S3 e S1-S6); S2 e S3 tratados com gesso sólido T1, T2 ou T0 tiveram resultados significativamente diferentes (vale o mesmo entre os tratamentos S2-S4, S2-S5 e S2-S6); S3 e S4 tratados com gesso sólido T1, T2 tiveram resultados significativamente diferentes (vale o mesmo entre os tratamentos S3-S5 e S3-S6); S3 e S4 tratados conforme o tratamento T0 tiveram resultados significativamente diferentes (vale o mesmo entre o tratamento S2-S6) (Tabela 18) (Apêndice A)

Tabela 18- Tabela ANOVA, para o Potássio (K⁺)

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	2,017617	17	0,118683	206,074	1,1x10 ⁻³⁰	1,915321
Dentro dos grupos	0,020733	36	0,000576			
Total	2,03835	53				

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Grau de Liberdade; MQ: Média dos quadrados

5 CONCLUSÃO

Através das análises químicas nas amostras após os dois tratamentos percebe-se uma diminuição mais expressiva da Porcentagem de Sódio Trocável (PST) nos tratamentos com gesso sólido e gesso solubilizado em comparação com o tratamento apenas com água e, além disso, após os tratamentos todos os solos deixaram de serem classificados como salino-sódico ou sódico.

A condutividade elétrica foi fortemente reduzida em todos os solos. Embora o tratamento estatístico não tenha demonstrado fundamentos suficientes para afirmarmos que existe uma real vantagem em usar gesso, seja este sólido ou seja este solubilizado. Ao menos no que se refere a camada de 0-20 cm. Esta camada, por ser mais arenosa, não tem a capacidade de reter os sais e, em particular, o sódio. Mais pesquisas sobre o resultado dos tratamentos em perfis de 0-40 cm são necessárias para tornar o modelo de drenagem mais realístico, permitindo perceber diferença que não puderam ser percebidas nas colunas de 0-20 cm.

Especificamente, entre os tratamentos com gesso sólido e gesso solubilizado, os dados não apresentaram base estatística para afirmar que exista vantagem entre o tratamento com gesso sólido agregado a superfície ou na solubilização do gesso na água de irrigação. As possíveis desvantagens advindas da necessidade de solubilizar o gesso podem ser uma desvantagem maior que as vantagens de usar o tratamento com gesso solubilizado.

No tratamento T1 com gesso sólido agregado na amostra ou no tratamento T2 usando gesso solubilizado na água de irrigação, as amostras tiveram seu pH levado para a faixa $5 < \text{pH} < 8$. O processo diminuiu a acidez do solo para uma faixa mais apropriada para o cultivo.

A primeira lixiviação foi capaz de carrear uma grande parcela dos sais nos solos, indicando que se pode diminuir o número de lavagens. Isto é importante por implicar na economia de água que é um recurso escasso na região.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L.J.O. **Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil**. B. Inf. SBCS, 25:23-25, 2000

ABROL, I.P., CHHABRA, R., GUPTA, R.K. 1980. A fresh look at the diagnostic criteria for sodic soils. In: Int. Symp. on **Salt Affected Soils**. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal. February 18-21, 1980. pp. 142-147.

ABROL, I.P., YADAV, J.S.P. AND MASSOUD, F.I. Salt-affected soils and their management. FAO. **Soils Bulletin** No. 39, FAO, Rome, 1988.

ASA **Semiárido Indicadores Sociais**. Disponível em ><http://www.asabrasil.org.br/semiarido#indicadore-semiarido> > Acesso em Julho de 2015.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Roma: FAO, 1985.174p. **Irrigation and Drainage Paper**, 29, Rev. 1. 1985.

AYERS, Robert S.; WESTCOT, D. W. **Calidad del agua para la agricultura**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1976.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação** . EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas. Ba. 2010. Disponível em:<http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro_qualidade_agua.pdf> Acesso em Agosto de 2016.

BARROS, Maria de Fatima Cavalcanti. **Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso do gesso de jazida e calcário**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, p. 123. 2001.

BARROS, M. de F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, 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, n.3, p.320-326, 2005

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRESLER, E.; McNEAL, B.L.; CARTER, D.L. Saline and sodic soils: principles, dynamics and modeling. New York: **Springer**, 1982. 236p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596p

BERNARDO, Salassier. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, v. 34, 1997.

BERNARDO,S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª.ed.Viçosa: Ed. UFV, , 2006. 625p.

BUAINAIN. A. M; GARCIA J.R. **Polos de Irrigação no Nordeste do Brasil**, Confins [Online], 23 | 2015, Acesso em 19 Setembro 2016.URL : <http://confins.revues.org/10031>

BUSTAMANTE, P.M.A.C. A fruticultura no Brasil e no Vale do São Francisco: Vantagens e Desafios. **Revista Econômica do Nordeste**, 40:153-172, 2009.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A. & MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p. 315-327,1999

CODEVASF. **Irrigação**. Disponível em <http://www.codevasf.gov.br/programas_acoes/irrigacao> Acesso em 26 de agosto de 2013.

CODEVASF. PROJETO PONTAL-Consultoria em Dinâmica de Mercados Análise da Água para Irrigação. [S.l.], 2016. Disponível em <[http:// ppp-projetopontal.codevasf.gov.br/licitacoes/ppp-projetopontal/analiseagua.pdf](http://ppp-projetopontal.codevasf.gov.br/licitacoes/ppp-projetopontal/analiseagua.pdf)

CORDEIRO, G. G. Salinidade em áreas irrigadas. **Embrapa Semiárido Folderes/Folhetos/Cartilhas (INFOTECA-E)**, 2001.

CUNHA T. J. F et al. Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina-PE: EMBRAPA, 2008. Embrapa Semiárido. **Documentos**, 211.

DE OLIVEIRA, Luiz Bezerra. USO E MANEJO DA ÁGUA NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, v. 11, p. 50-64, 2016.

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. p. 129-140, 2010.

DO BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Petrolina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DO BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Lagoa Grande, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DRUMOND, M.A., KIILL, L.H.P., LIMA, P.C.F., OLIVEIRA, M.C., OLIVEIRA, V.R., ALBUQUERQUE, S.G., NASCIMENTO, C.E.S. & CAVALCANTE, J.. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. **In Seminário para avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga**. Embrapa/Cpatsa, UFPE e Conservation International do Brasil, Petrolina, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Agricultura Irrigada**. Disponível em <<http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/pesquisa/agricultura.html>> Acesso em 2015.

_____. **Caráter sódico**. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_58_2212200611552.html>. Acesso em agosto de 2016.

_____. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p. Disponível em <<http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>>2011. Acesso em 2014.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.

GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C.; BATISTA, M.A.F.; SANTOS, J.G.R. Comparação de métodos na recuperação de solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.173-178, 1995

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO- INSA. **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. Disponível em <<http://www.insa.gov.br/censosab/publicacao/sinopse.pdf>>. Acesso em Julho de 2015.

IPTRID. **Management of irrigation-induced Salt-affected soils**. FAO. Rome, 2005.

KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. 2.ed. São Paulo: **Nobel**, 1988. 408p.
KHOSLA, B. K.; GUPTA, R. K.; ABROL, I. P. Salt leaching and the effect of gypsum application in a saline-sodic soil. **Agricultural Water Management**, v. 2, n. 3, p. 193-202, 1979.

SMITH, A. P. CHEN, D. CHALK, P. M. N₂ fixation by faba bean (*Vicia faba* L.) in a gypsum-amended sodic soil. **Biology and Fertility of Soils**. Berlin, v.45, n.3, p.329-333, 2009.

LIMA, P. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIRA JUNIOR, M. de. A.; SANTOS, F. X.; PEDROSA, E. M. R. Efeito do manejo da irrigação com água moderadamente salina na produção de pimentão. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife**, v.1, n.único, p.73-80, 2006.

LOUWAGIE, Geertrui; GAY, Stephan Hubertus; BURRELL, Alison. Final Report on the Project” **Sustainable Agriculture and Soil Conservation**“(SoCo). EUR-OP, 2009..

MALIK, M.; LETEY, J. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 2, p. 380-383, 1991.

MELO, R.M.; BARROS, M. F.; SANTOS, P. M.; ROLIM, M.M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Rev. Bras. eng. agríc. Ambient**, [online].2008, vol.12,n.4, pp.376-380. ISSN 1807-1929.

METTERNICHT G.I, ZINCK J.A, Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints, **Remote Sensing of Environment**, Volume 85, Issue 1, 25 April 2003, Pages 1-20, ISSN 0034-4257

METTERNICHT G.I,- ZINCK J.A. Spectral Behavior of Salt Types in: **Remote sensing of soil salinization: impact on land management**/ editors, Graciela Metternicht, J.Alfred Zinck 2008. Bibliographical p.5-390. ISBN 978-1-4200-6502-2

MIRANDA, Marcelo A. et al. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação.**Rev. bras. eng. agríc. ambient**. [on- line]. 2011, vol.15, n.5, pp. 484-490. ISSN 1807-1929.

MOREIRA LEITE, EGEIZA et al. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, 2010.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, 25: 239-250, 2002.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA MEIO AMBIENTE (PNUMA) Estado do meio ambiente e retrospectiva de políticas: 1972–2002. Perspectivas do Meio Ambiente Mundial 2002 GEO-3: Passado, presente e futuro; Brasília: **IBAMA/PNUMA**; 2004. p. 29-320.

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

RHOADES, J.D.; KANDIAHA.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.

RICHARDS, L.A. (ed.) 1954. **Diagnosis and improvements of saline and alkali soils**. USDA. Agriculture Handbook 60. 160 p.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. & COSTA, V. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, p.378-382, 1982.

SANTOS, M. J. D.; SILVA, B. B. D.; OLIVEIRA, E. M. D. Analogia entre desmatamento e êxodo rural no nordeste do Brasil. **Revista Eletrônica**, v.8, n. 1, 2009.

SANTOS, R.V.; FERREYRA, F.F.H. Recuperação de solos afetados por sais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26., Campina Grande, 1997. **Anais**. Campina Grande: SBEA, 1997. p.383.

SOCO. **Sustainable Agriculture and Soil Conservation**. Disponível em<
<http://soco.jrc.ec.europa.eu>> 2009.

SOMBROEK, W. & SENE, E.H. **Land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas: Rainfed and irrigated lands, rangelands and woodlands**. 1993. Disponível em<
<http://www.fao.org/docrep/x5308e/x5308e00.htm#Contents>> Acesso em 25 de julho de 2016.

SILVA, Ê.F. de F.E. Avaliação da eficiência de diversos produtos na recuperação de solo salino – sódico e no desenvolvimento e produção da cultura do arroz (Orizasetiva L.). 1997. 70f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - UFPB.

SILVEIRA, K.R.; RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B.; HECK, R.J.; SILVEIRA, R.R. Gypsum-saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Sci. Agric.**, 65:69-76, 2008.

SUDENE. **Semiárido**. Disponível em <<http://www.sudene.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/area-de-atuacao-da-sudene/semiario>> Acesso em 2015.

TANAKA, R. T. & MASCARENHAS, H. A. A. Resposta da soja à aplicação de gesso agrícola. **O Agrônomo**, v.54, n.2, 2002.

TAVARES FILHO, Antonio N. et al. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 3, 2012.

WANDERLEY, M. N. B. O mundo rural como espaço de vida, reflexões sobre a propriedade da terra, agricultura familiar e ruralidade. Porto Alegre: **Editora da UFRGS**, 2009.

WANG Q. LI P., CHEN X. Modeling salinity effects on soil reflectance under various moisture conditions and its inverse application: A laboratory experiment, **Geoderma**, Volume 170, 15 January 2012, Pages 103-111

WARRANCE, N. J.; BAUDER, J.; PEARSON, K. E. Salinity, Sodicy and Flooding Tolerance of Selected Plant Species of the Northern Cheyenne Reservation, Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University–Bozeman. 2001.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1

APÊNDICE A – Comparação entre médias pelo teste de Tukey

A seguir tem-se a exposição do resultado estatístico que fundamentou as análises obtidas neste trabalho dissertativo o método foi aplicado com o uso do software Excel 2017.

O teste ANOVA mostra, se o valor $F > F_{crítico}$ e o valor-p for menor que 5%, que existe diferença entre os tratamentos. Entretanto a garantia da diferença significativa entre os tratamentos não mostra qual tratamento se destaca entre todos.

Para destacar os tratamentos que se diferenciam dois a dois, aplicamos o teste de Tukey. As tabelas abaixo mostram quais tratamentos tiveram diferenças significativas entre média de seus respectivos resultados que destacamos pela cor laranja na tabela.

Tabela 1- Diferenças de média da Condutividade Elétrica (CE) no extrato de saturação após o experimento comparadas pelo teste de Tukey duas a duas

	S1T2	S1T0	S2T1	S2T2	S2T0	S3T1	S3T2	S3T0	S4T1	S4T2	S4T0	S5T1	S5T2	S5T0	S6T1	S6T2	S6T0		
	0,54	0,90	2,81	1,57	1,00	2,25	2,13	0,94	2,49	2,01	0,76	2,24	1,55	0,73	1,11	1,22	0,42		
S1T1	0,99	0,5	0,1	1,8	0,6	0,0	1,3	1,1	0,1	1,5	1,0	0,2	1,3	0,6	0,3	0,1	0,2	0,6	
S1T2	0,54		0,4	2,3	1,0	0,5	1,7	1,6	0,4	1,9	1,5	0,2	1,7	1,0	0,2	0,6	0,7	0,1	
S1T0	0,90			1,9	0,7	0,1	1,4	1,2	0,0	1,6	1,1	0,1	1,3	0,6	0,2	0,2	0,3	0,5	
S2T1	2,81				1,2	1,8	0,6	0,7	1,9	0,3	0,8	2,1	0,6	1,3	2,1	1,7	1,6	2,4	
S2T2	1,57					0,6	0,7	0,6	0,6	0,9	0,4	0,8	0,7	0,0	0,8	0,5	0,3	1,1	
S2T0	1,00						1,3	1,1	0,1	1,5	1,0	0,2	1,2	0,6	0,3	0,1	0,2	0,6	
S3T1	2,25							0,1	1,3	0,2	0,2	1,5	0,0	0,7	1,5	1,1	1,0	1,8	
S3T2	2,13								1,2	0,4	0,1	1,4	0,1	0,6	1,4	1,0	0,9	1,7	
S3T0	0,94									1,6	1,1	0,2	1,3	0,6	0,2	0,2	0,3	0,5	
S4T1	2,49										0,5	1,7	0,2	0,9	1,8	1,4	1,3	2,1	
S4T2	2,01											1,3	0,2	0,5	1,3	0,9	0,8	1,6	
S4T0	0,76												1,5	0,8	0,0	0,4	0,5	0,3	
S5T1	2,24													0,7	1,5	1,1	1,0	1,8	
S5T2	1,55														0,8	0,4	0,3	1,1	
S5T0	0,73															0,4	0,5	0,3	
S6T1	1,11																0,1	0,7	
S6T2	1,22																		0,8

Legenda:	
	TEM DIFERENÇA
	NAO TEM DIFERENÇA

Tabela 2- Diferenças de média do Percentual de Sódio Trocável (PST) após o experimento comparadas pelo teste de Tukey duas a duas

	S1T2	S1T0	S2T1	S2T2	S2T0	S3T1	S3T2	S3T0	S4T1	S4T2	S4T0	S5T1	S5T2	S5T0	S6T1	S6T2	S6T0	
	0,25	0,47	3,19	1,84	2,03	0,94	0,82	2,51	0,44	0,49	0,56	0,53	0,57	0,89	0,46	0,52	0,76	
S1T1	0,44	0,2	0,0	2,8	1,4	1,6	0,5	0,4	2,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,3
S1T2	0,25		0,2	2,9	1,6	1,8	0,7	0,6	2,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,6	0,2	0,3	0,5
S1T0	0,47			2,7	1,4	1,6	0,5	0,3	2,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	0,3
S2T1	3,19				1,3	1,2	2,3	2,4	0,7	2,8	2,7	2,6	2,7	2,6	2,3	2,7	2,7	2,4
S2T2	1,84					0,2	0,9	1,0	0,7	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,0	1,4	1,3	1,1
S2T0	2,03						1,1	1,2	0,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,1	1,6	1,5	1,3
S3T1	0,94							0,1	1,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,5	0,4	0,2
S3T2	0,82								1,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1
S3T0	2,51									2,1	2,0	2,0	2,0	1,9	1,6	2,1	2,0	1,8
S4T1	0,44										0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,3
S4T2	0,49											0,1	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,3
S4T0	0,56												0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,2
S5T1	0,53													0,0	0,4	0,1	0,0	0,2
S5T2	0,57														0,3	0,1	0,1	0,2
S5T0	0,89															0,4	0,4	0,1
S6T1	0,46																0,1	0,3
S6T2	0,52																	0,2

Legenda:	
	TEM DIFERENÇA
	NAO TEM DIFERENÇA

Tabela 3- Diferenças de média do Sódio (Na^+) após o experimento comparadas pelo teste de Tukey duas a duas

	S1T2	S1T0	S2T1	S2T2	S2T0	S3T1	S3T2	S3T0	S4T1	S4T2	S4T0	S5T1	S5T2	S5T0	S6T1	S6T2	S6T0	
	0,01	0,02	0,26	0,13	0,12	0,10	0,08	0,23	0,04	0,04	0,03	0,06	0,05	0,07	0,06	0,07	0,08	
S1T1	0,02	0,010	0,003	0,237	0,107	0,103	0,080	0,063	0,210	0,017	0,020	0,010	0,040	0,033	0,047	0,043	0,050	0,060
S1T2	0,01		0,007	0,247	0,117	0,113	0,090	0,073	0,220	0,027	0,030	0,020	0,050	0,043	0,057	0,053	0,060	0,070
S1T0	0,02			0,240	0,110	0,107	0,083	0,067	0,213	0,020	0,023	0,013	0,043	0,037	0,050	0,047	0,053	0,063
S2T1	0,26				0,130	0,133	0,157	0,173	0,027	0,220	0,237	0,227	0,197	0,203	0,190	0,193	0,187	0,177
S2T2	0,13					0,003	0,027	0,043	0,103	0,090	0,087	0,097	0,067	0,073	0,060	0,063	0,057	0,047
S2T0	0,12						0,023	0,040	0,107	0,087	0,083	0,093	0,063	0,070	0,057	0,060	0,053	0,043
S3T1	0,10							0,017	0,130	0,063	0,060	0,070	0,040	0,047	0,033	0,037	0,030	0,020
S3T2	0,08								0,147	0,047	0,043	0,053	0,023	0,030	0,017	0,020	0,013	0,003
S3T0	0,23									0,193	0,190	0,200	0,170	0,177	0,163	0,167	0,160	0,150
S4T1	0,04										0,003	0,007	0,023	0,017	0,030	0,027	0,033	0,043
S4T2	0,04											0,010	0,020	0,013	0,027	0,023	0,030	0,040
S4T0	0,03												0,030	0,023	0,037	0,033	0,040	0,050
S5T1	0,06													0,007	0,007	0,003	0,010	0,020
S5T2	0,05														0,013	0,010	0,017	0,027
S5T0	0,07															0,003	0,003	0,013
S6T1	0,06																0,007	0,017
S6T2	0,07																	0,010

Legenda:	
	TEM DIFERENÇA
	NAO TEM DIFERENÇA

Tabela 4- Diferenças de média do Cálcio (Ca^{++}) após o experimento comparadas pelo teste de Tukey duas a duas

	S1T2	S1T0	S2T1	S2T2	S2T0	S3T1	S3T2	S3T0	S4T1	S4T2	S4T0	S5T1	S5T2	S5T0	S6T1	S6T2	S6T0	
	1,57	1,37	5,30	4,50	3,53	7,80	7,53	5,30	6,23	6,30	3,40	8,50	7,67	5,37	10,57	9,57	6,33	
S1T1	1,90	0,3	0,5	3,4	2,6	1,6	5,9	5,6	3,4	4,3	4,4	1,5	6,6	5,8	3,5	8,7	7,7	4,4
S1T2	1,57		0,2	3,7	2,9	2,0	6,2	6,0	3,7	4,7	4,7	1,8	6,9	6,1	3,8	9,0	8,0	4,8
S1T0	1,37			3,9	3,1	2,2	6,4	6,2	3,9	4,9	4,9	2,0	7,1	6,3	4,0	9,2	8,2	5,0
S2T1	5,30				0,8	1,8	2,5	2,2	0,0	0,9	1,0	1,9	3,2	2,4	0,1	5,3	4,3	1,0
S2T2	4,50					1,0	3,3	3,0	0,8	1,7	1,8	1,1	4,0	3,2	0,9	6,1	5,1	1,8
S2T0	3,53						4,3	4,0	1,8	2,7	2,8	0,1	5,0	4,1	1,8	7,0	6,0	2,8
S3T1	7,80							0,3	2,5	1,6	1,5	4,4	0,7	0,1	2,4	2,8	1,8	1,5
S3T2	7,53								2,2	1,3	1,2	4,1	1,0	0,1	2,2	3,0	2,0	1,2
S3T0	5,30									0,9	1,0	1,9	3,2	2,4	0,1	5,3	4,3	1,0
S4T1	6,23										0,1	2,8	2,3	1,4	0,9	4,3	3,3	0,1
S4T2	6,30											2,9	2,2	1,4	0,9	4,3	3,3	0,0
S4T0	3,40												5,1	4,3	2,0	7,2	6,2	2,9
S5T1	8,50													0,8	3,1	2,1	1,1	2,2
S5T2	7,67														2,3	2,9	1,9	1,3
S5T0	5,37															5,2	4,2	1,0
S6T1	10,57																1,0	4,2
S6T2	9,57																	3,2

Legenda:	
	TEM DIFERENÇA
	NAO TEM DIFERENÇA

Tabela 5- Diferenças de média do PH após o experimento comparadas pelo teste de Tukey duas a duas

		S1T2	S1T0	S2T1	S2T2	S2T0	S3T1	S3T2	S3T0	S4T1	S4T2	S4T0	S5T1	S5T2	S5T0	S6T1	S6T2	S6T0	
		5,70	5,47	7,53	7,70	7,87	7,30	7,33	7,50	7,13	7,23	7,27	7,63	7,77	7,97	6,83	6,90	6,87	
S1T1	5,77	0,1	0,3	1,8	1,9	2,1	1,5	1,6	1,7	1,4	1,5	1,5	1,9	2,0	2,2	1,1	1,1	1,1	
S1T2	5,70		0,2	1,8	2,0	2,2	1,6	1,6	1,8	1,4	1,5	1,6	1,9	2,1	2,3	1,1	1,2	1,2	
S1T0	5,47			0,2	2,1	2,2	2,4	1,8	1,9	2,0	1,7	1,8	1,8	2,2	2,3	2,5	1,4	1,4	1,4
S2T1	7,53				0,2	0,3	0,2	0,2	0,0	0,4		0,3	0,1	0,2	0,4	0,7	0,6	0,7	
S2T2	7,70					0,2	0,4	0,4	0,2	0,6	0,5	0,4	0,1	0,1	0,3	0,9	0,8	0,8	
S2T0	7,87						0,6	0,5	0,4	0,7	0,6	0,6	0,2	0,1	0,1	1,0	1,0	1,0	
S3T1	7,30							0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,3	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	
S3T2	7,33								0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	
S3T0	7,50									0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,5	0,7	0,6	0,6	
S4T1	7,13										0,1	0,1	0,5	0,6	0,8	0,3	0,2	0,3	
S4T2	7,23											0,0	0,4	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4	
S4T0	7,27												0,4	0,5	0,7	0,4	0,4	0,4	
S5T1	7,63													0,1	0,3	0,8	0,7	0,8	
S5T2	7,77														0,2	0,9	0,9	0,9	
S5T0	7,97															1,1	1,1	1,1	
S6T1	6,83																0,1	0,0	
S6T2	6,90																	0,0	

Legenda:	
	TEM DIFERENÇA
	NAO TEM DIFERENÇA

Tabela 6- Diferenças de média do Potássio (K^+) após o experimento comparadas pelo teste de Tukey duas a duas

	S1T2	S1T0	S2T1	S2T2	S2T0	S3T1	S3T2	S3T0	S4T1	S4T2	S4T0	S5T1	S5T2	S5T0	S6T1	S6T2	S6T0		
	0,13	0,16	0,33	0,32	0,35	0,23	0,21	0,24	0,10	0,10	0,11	0,13	0,13	0,13	0,60	0,58	0,78		
S1T1	0,14	0,010	0,020	0,190	0,187	0,213	0,090	0,077	0,103	0,033	0,040	0,027	0,003	0,003	0,467	0,443	0,640		
S1T2	0,13		0,030	0,200	0,197	0,223	0,100	0,087	0,113	0,023	0,030	0,017	0,007	0,007	0,477	0,453	0,650		
S1T0	0,16			0,170	0,167	0,193	0,070	0,057	0,083	0,053	0,060	0,047	0,023	0,023	0,447	0,423	0,620		
S2T1	0,33				0,003	0,023	0,100	0,113	0,087	0,223	0,287	0,217	0,193	0,193	0,193	0,277	0,253	0,450	
S2T2	0,32					0,027	0,097	0,110	0,083	0,220	0,227	0,213	0,190	0,190	0,190	0,280	0,257	0,453	
S2T0	0,35						0,123	0,137	0,110	0,247	0,253	0,240	0,217	0,217	0,217	0,253	0,230	0,427	
S3T1	0,23							0,013	0,013	0,123	0,130	0,117	0,093	0,093	0,093	0,377	0,353	0,550	
S3T2	0,21								0,027	0,110	0,117	0,103	0,080	0,080	0,080	0,390	0,367	0,563	
S3T0	0,24									0,137	0,143	0,130	0,107	0,107	0,107	0,363	0,340	0,537	
S4T1	0,10										0,007	0,007	0,030	0,030	0,500	0,477	0,673		
S4T2	0,10											0,013	0,037	0,037	0,507	0,483	0,680		
S4T0	0,11												0,023	0,023	0,493	0,470	0,667		
S5T1	0,13													0,000	0,470	0,447	0,643		
S5T2	0,13														0,470	0,447	0,643		
S5T0	0,13															0,470	0,447	0,643	
S6T1	0,60																0,023	0,173	
S6T2	0,58																		0,197

Legenda:	
	TEM DIFERENÇA
	NAO TEM DIFERENÇA

Tabela 7- Diferenças de média da concentração de Magnésio (Mg^{++}) após o experimento comparadas pelo teste de Tukey duas a duas

	S1T2	S1T0	S2T1	S2T2	S2T0	S3T1	S3T2	S3T0	S4T1	S4T2	S4T0	S5T1	S5T2	S5T0	S6T1	S6T2	S6T0	
S1T1	1,17	0,1	0,4	0,5	0,7	0,9	1,3	1,1	2,2	1,0	0,6	0,7	1,4	0,4	0,8	0,9	1,1	1,5
S1T2	1,10		0,4	0,6	0,7	1,0	1,4	1,2	2,2	1,1	0,7	0,8	1,5	0,5	0,8	0,9	1,2	1,6
S1T0	0,73			0,9	1,1	1,4	1,8	1,6	2,6	1,4	1,0	1,2	1,9	0,8	1,2	1,3	1,6	2,0
S2T1	1,67				0,2	0,4	0,8	0,6	1,7	0,5	0,1	0,2	0,9	0,1	0,3	0,4	0,6	1,0
S2T2	1,83					0,3	0,7	0,5	1,5	0,3	0,1	0,1	0,8	0,3	0,1	0,2	0,5	0,9
S2T0	2,10						0,4	0,2	1,2	0,1	0,3	0,2	0,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,6
S3T1	2,50							0,2	0,8	0,3	0,7	0,6	0,1	0,9	0,6	0,5	0,2	0,2
S3T2	2,30								1,0	0,1	0,5	0,4	0,3	0,7	0,4	0,3	0,0	0,4
S3T0	3,33									1,2	1,6	1,4	0,7	1,8	1,4	1,3	1,0	0,6
S4T1	2,17										0,4	0,3	0,4	0,6	0,2	0,1	0,1	0,5
S4T2	1,77											0,1	0,8	0,2	0,2	0,3	0,5	0,9
S4T0	1,90												0,7	0,3	0,0	0,1	0,4	0,8
S5T1	2,60													1,0	0,7	0,6	0,3	0,1
S5T2	1,57														0,4	0,5	0,7	1,1
S5T0	1,93															0,1	0,4	0,8
S6T1	2,03																0,3	0,7
S6T2	2,30																	0,4

Legenda:	
	TEM DIFERENÇA
	NAO TEM DIFERENÇA