

## **SIMILARIDADE DE SOLOS QUANTO A SALINIDADE NO VALE PERENIZADO DO RIO TRUSSU, CEARÁ**

**JOSÉ RIBEIRO DE ARAÚJO NETO<sup>1</sup>; FRANCISCO EMANOEL FIRMINO GOMES<sup>2</sup>; HELBA ARAÚJO DE QUEIROZ PALÁCIO<sup>1</sup>; ELDIR BANDEIRA DA SILVA<sup>2</sup> E PAULO PALÁCIO BRASIL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Campus Iguatu, Departamento de Tecnologia em Irrigação e Drenagem. Endereço: rodovia Iguatu-Várzea Alegre, Km 05, s/n, CEP: 63.500-000, Iguatu, Ceará, Brasil. E-mail: [juniorifcelabas@gmail.com](mailto:juniorifcelabas@gmail.com); [helbaraujo23@yahoo.com.br](mailto:helbaraujo23@yahoo.com.br).

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: [emanoelfg@hotmail.com](mailto:emanoelfg@hotmail.com); [eldir\\_2005@hotmail.com](mailto:eldir_2005@hotmail.com); [paulilopalacio@gmail.com](mailto:paulilopalacio@gmail.com).

### **1 RESUMO**

O objetivo foi avaliar os impactos da irrigação na adição de sais em solos de duas áreas irrigadas no trecho perenizado do rio Trussu, Iguatu, Ceará, localizado no semiárido brasileiro, aplicando a técnica de estatística multivariada, análise de agrupamento, como ferramenta para identificar a similaridade das áreas no tempo e no espaço. As coletas foram realizadas em 3 áreas, uma com mata de regeneração, uma cultivada com pastagem irrigada e outra com goiaba irrigada. As coletas de solo foram realizadas bimestralmente, de maio/2013 a abril/2014, nas camadas de 0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm. Foram considerados os seguintes atributos: Condutividade Elétrica do estrato de saturação (CE), pH, PST (percentual de sódio trocável), RAS (razão de adsorção do sódio) e os íons solúveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ . O grupo 1 foi formado pelos solos que apresentaram as menores concentrações médias de sais, composto por todas as coletas realizadas nos solos da mata de regeneração, sete oriundas da área com pastagem e seis da área com goiaba, independentemente da camada amostrada ou da época de coleta. O grupo 2 expressa uma completa dissimilaridade das informações da mata de regeneração, visto que nenhuma informação desta área se faz presente neste grupo. As maiores concentrações de sais no grupo 2 indicam que houve uma acumulação de íons no solo nas áreas irrigadas, mas ainda não em nível que comprometa o crescimento das plantas e coloquem em risco os solos quanto a salinidade. A separação destes solos em grupos contendo solos similares quanto à salinidade pode contribuir para estratégias de manejo a serem adotadas para cada grupo de solo formado.

**Palavras-chaves:** sais no solo, irrigação, estatística multivariada.

**ARAÚJO NETO, J. R. de; GOMES, F. E. F.; PALÁCIO, H. A. de Q.; SILVA, E. B. da; BRASIL, P. P.**

**SIMILARITY OF SOILS WITH REGARD TO SALINITY IN THE PERENNIAL VALLEY OF TRUSSU RIVER, CEARÁ**

### **2 ABSTRACT**

The goal was to evaluate the impacts of irrigation with addition of salts on soils of two irrigated areas in the perennial stretch of Trussu River, Iguatu, Ceará, located in the Brazilian

semiárido, by applying the multivariate statistical technique, and clustering analysis, as a tool to identify the similarity of the areas in time and space. Samples were collected in three areas: one with forest regeneration, cultivated with irrigated pasture and another with irrigated guava. Soil samples were collected every two months from May/2013 to April/2014 in 0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm layers. The following attributes were considered: Electrical Conductivity of the saturation extract (EC), pH, PES (percentage of exchangeable sodium), SAR (sodium adsorption ratio) and soluble ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ . Group 1 was formed by soils presenting the lowest salts concentration average, composed for all samples taken in the regeneration forest soils, seven originating from areas with pasture and six from areas with guava, regardless of the sampled layer or collection time. Group 2 expresses a complete dissimilarity of information on the regeneration forest, since no information on this area is present in this group. The largest salt concentrations in Group 2 indicates that there was an accumulation of ions in the soil in the irrigated areas, but not at a level that could compromise plant growth and jeopardize both soils as salinity. The separation of these soils into groups containing similar soil in salinity can contribute to management strategies to be adopted for each soil group formed.

**Keywords:** salts in the soil, irrigation, multivariate statistics.

### 3 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é uma região que sofre constantemente com o déficit hídrico, entretanto, sabe-se que não é a falta de chuva a principal responsável pela escassez de água nessas regiões, mas sua má distribuição no tempo e no espaço associadas a elevadas taxas de evapotranspiração, causando o fenômeno conhecido por seca, que sazonalmente preocupa a população vivente nessas regiões. A condição de baixos índices pluviométricos registrados nas regiões semiáridas é agravada pelo elevado saldo de energia solar disponível ao processo de evapotranspiração (ANDRADE, 2009). A combinação desses dois processos naturais com a adoção da irrigação, muitas vezes com água de baixa qualidade para uso na agricultura irrigada, pode resultar em altas concentrações de sais no solo (LOPES; ANDRADE; CHAVES, 2008; CHAVES et al., 2009; ANDRADE et al., 2011; LOPES et al., 2011).

Embora a intemperização dos minerais primários (exemplos: quartzo, feldspato e plagioclastes) seja a fonte principal e direta de todos os sais solúveis encontrados no solo, raramente tem-se verificado acúmulo de quantidades suficientes de sais solúveis através desse fenômeno (salinização primária), uma vez que grande parte dos sais liberados é transportada pelas águas subterrâneas e/ou fluviais até os oceanos (PIZARRO, 1978). Na maioria das vezes, conforme Ayers e Westcot (1999) as causas que favorecem os problemas de salinidade no solo são a própria água de irrigação com uso da água de má qualidade, ausência de sistemas de drenagem, a presença de lençol freático próximo à superfície do solo o que tende a um maior acúmulo de sais provenientes da ascensão por capilaridade, além do uso inadequado de corretivos químicos (salinização secundária).

A salinização é um dos fenômenos crescentes em todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, decorrente das condições climáticas e da agricultura irrigada (CHAVES et al., 2006; LIMA JUNIOR; SILVA, 2010). Os efeitos negativos da salinidade estão diretamente relacionados ao crescimento e rendimento das plantas e, em casos extremos, na perda total da cultura. Pode prejudicar a própria estrutura do solo, proveniente de águas

dotadas de elevados teores de sódio, provocando a dispersão das frações de argila e, conseqüentemente, diminuir a permeabilidade do solo (DIAS; BLANCO, 2010).

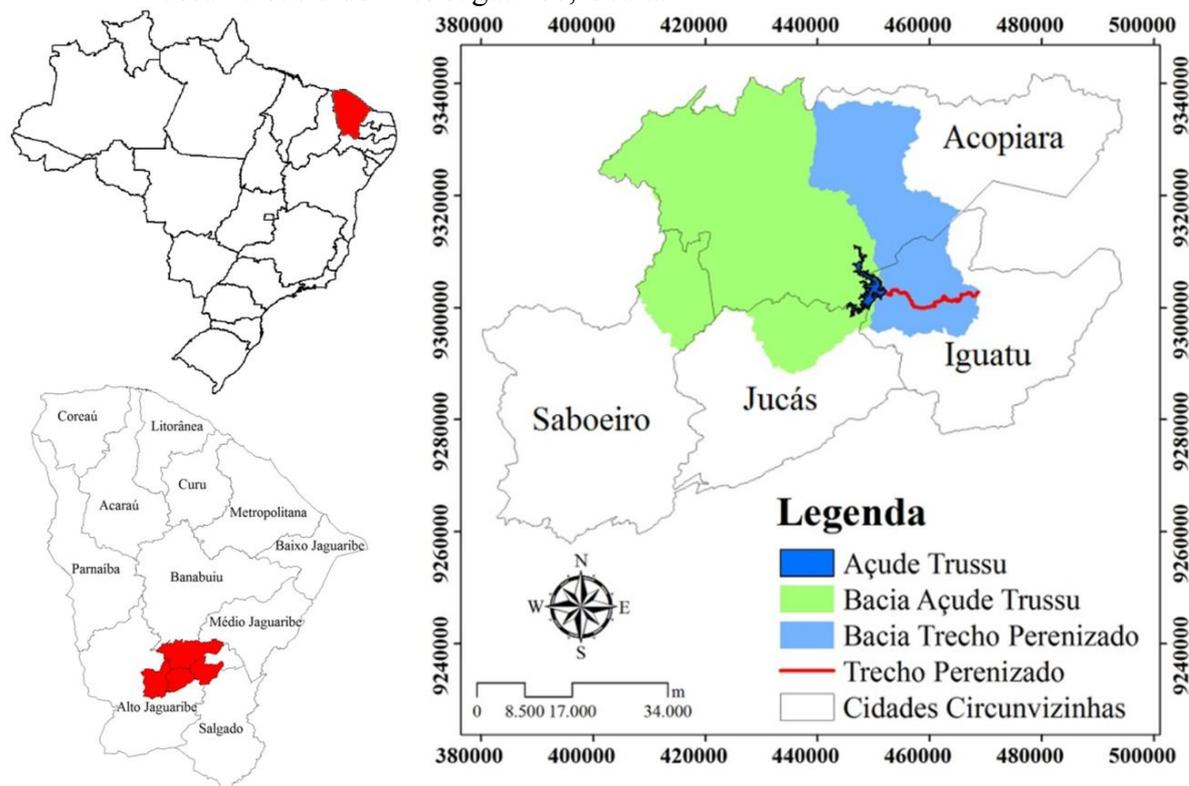
Nos últimos 50 anos as terras cultiváveis no mundo cresceram 12%, enquanto a produção agrícola aumentou 150%, graças a um crescimento significativo da produtividade das principais culturas (FAO, 2015). Em muitos locais, essas conquistas têm sido associadas a práticas de gestão que têm degradado os sistemas solo e água, sobre os quais a produção alimentar depende (FAO, 2015). Atualmente, estima-se que ocorra uma perda de cerca de 1,5 milhões de hectares de terras aráveis a cada ano devido ao acúmulo de sais (OLIVEIRA; GOMES-FILHO; ENÉAS-FILHO, 2010). Dessa forma, a salinização tem sido identificada como o principal processo de degradação dos solos em áreas agrícolas (FAO, 2015). No Brasil, embora a informação sobre as áreas salinas não esteja bem definida, estima-se que 20 a 25% das áreas irrigadas enfrentem problemas de salinização (OLIVEIRA; GOMES-FILHO; ENÉAS-FILHO, 2010). Este problema é mais eminente na região Nordeste, a qual possui uma área de 155 milhões de hectares, sendo que 52% dessa superfície está no semiárido (ANDRADE, 2009; OLIVEIRA; GOMES-FILHO; ENÉAS-FILHO, 2010).

Vários pesquisadores empregaram a técnica de estatística multivariada – análise de agrupamento hierárquico nas ciências naturais para a interpretação dos fatores que influenciam na identificação de grupos similares no que diz respeito às concentrações salinas (ANDRADE et al., 2008; PALÁCIO et al., 2011; ANDRADE et al., 2011). A partir do exposto, este trabalho objetivou avaliar os impactos da irrigação na adição de sais em solos de duas áreas irrigadas com água do trecho perenizado do rio Trussu e cultivadas com pastagem e goiaba em comparação com uma área de mata em regeneração no semiárido brasileiro. Utilizou-se técnica de estatística multivariada, análise de agrupamento, como ferramenta para identificar a similaridade das áreas no tempo e no espaço.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado ao longo do trecho perenizado do Rio Trussu o qual encontra-se na Bacia do Alto Jaguaribe (Figura 1).

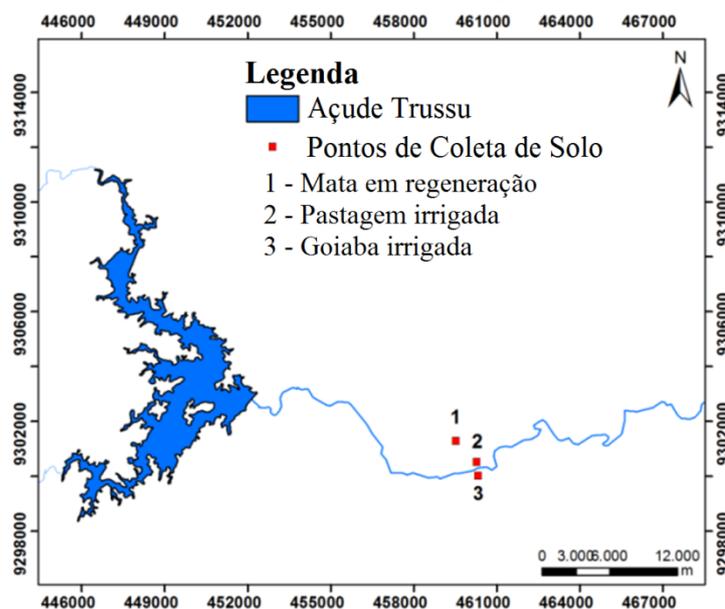
**Figura 1.** Localização da bacia hidrográfica do açude Trussu e do trecho perenizado do rio Trussu na bacia do Alto Jaguaribe, Ceará.



O açude Trussu está localizado na região Centro-Sul do Ceará responsável por perenizar 24 km do rio, com a finalidade de fornecer água para o consumo humano, irrigação e pecuária da região. O açude Trussu possui uma capacidade de acumulação máxima de 301.000.000 m<sup>3</sup>, que representa um espelho d'água de 5.509 ha, sendo drenado por uma bacia hidrográfica de 1.590 km<sup>2</sup>, e sua vazão regularizada do trecho perenizado do rio Trussu varia entre 0,2 a 4,2 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média sempre superior a 18 °C no mês mais frio. A evapotranspiração potencial média é de 2.059 mm ano<sup>-1</sup>, a precipitação média anual histórica na região é de 867 mm, com 88% da precipitação anual registrada no período de janeiro a abril, e 65% nos meses de março a abril, mostrando uma alta pluviosidade concentrada em um curto período do ano (SANTOS et al. 2014).

Para caracterização do acúmulo e da mobilidade dos sais no solo, no entorno do trecho perenizado do rio Trussu, foram realizados monitoramento da salinidade do solo em 3 áreas (Figura 2): uma área com mata de regeneração (MR) sem irrigação no entorno do trecho perenizado do rio Trussu (Figura 3a); uma área irrigada por aspersão convencional com cultivo de pastagem (PT) – capim *Brachiaria* (Figura 3b) e outra irrigada por micro aspersão e com cultivo de fruticultura (GB) – goiaba *Paluma* (Figura 3c), ambas irrigadas com as águas do rio perenizado do Trussu. Das quais as duas primeiras estão situadas na localidade de Santa Clara, e a última na comunidade de Varzinha no município de Iguatu, Ceará.

**Figura 2.** Áreas de coletas de solo as margens do trecho perenizado do rio Trussu, Ceará.



**Figura 3.** Áreas de Coletas: mata de regeneração sem irrigação (a), Pastagem irrigada (b) e Fruticultura - Goiaba irrigada (c) as margens do trecho perenizado do rio Trussu, Ceará.



As coletas de solo foram realizadas bimestralmente, tendo início em maio de 2013 e término em abril de 2014, totalizando seis campanhas de coletas. As amostras foram coletadas em três camadas distintas, sendo a primeira de 0,0 a 30,0 cm, a segunda de 30,0 a 60,0 cm, e a última de 60,0 a 90,0 cm de profundidade. Perfazendo um total de 54 amostras (3 áreas x 3 camadas x 6 coletas). Para realização das coletas foram utilizadas ferramentas alternativas como; cavadeira (tipo boca-de-lobo) e alavanca por se tratar de solos que quando secos tem a penetração de trados dificultada, até a profundidade desejada.

Depois de coletado, o solo era acondicionado em sacos plásticos, fechado, identificado e enviado ao Laboratório de Análise de Água, Solo e Tecidos Vegetais – LABAS do IFCE, Campus Iguatu onde eram protocolados, secos em estufa a 40 °C e armazenados para futuras análises. Foram determinados a Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CE), potencial hidrogeniônico (pH), PST (percentual de sódio trocável), RAS (razão de adsorção do sódio) e os íons solúveis: cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), pelo extrato de saturação na suspensão 1:1, em que foram tomados 250 g da amostra de solo e adicionados 250 ml de água deionizada. Depois de agitado e filtrado, adotou-se a suspensão para determinação dos parâmetros citados, empregando a metodologia de Richards (1954). Ainda foram realizadas análises granulométricas para determinação das

porcentagens de areia, argila e silte para cada camada, segundo a metodologia da Embrapa (2011).

Os solos em todas as áreas monitoradas são classificados como NEOSSOLO FLUVICO, que nesta região são compostos por sedimentos cásticos de granulometria variada, desde argilas até areias grosseiras (EMBRAPA, 2013). Na Tabela 1, observa-se as porcentagens de areia, argila e silte para cada camada, seguida da respectiva classe textural. A área de mata de regeneração apresentou o maior conteúdo de areia na camada superficial, 60,1 %, enquanto, que as áreas de pastagem e goiaba tiveram 30,8% e 38,7%, respectivamente. Nas camadas inferiores na mata de regeneração os teores de argila foram mais elevados, o que pode diminuir a infiltração de água e, conseqüentemente, a lixiviação de sais para as camadas mais profundas, diferentemente das áreas de goiaba e pastagem, em que nas camadas inferiores os teores de argila foram menores.

**Tabela 1.** Classificação Textural do solo de cada área e camada estudada no vale perenizado

Amostra	Areia	Areia	Areia	Argila	Silte	Classificação Textural
	Total	Grossa	Fina (%)			
Mata regeneração 0-30 cm	60,1	40,0	20,1	25,2	14,7	Franco argilo arenosa
Mata regeneração 30-60 cm	36,0	24,9	11,1	39,8	24,2	Franco argilosa
Mata regeneração 60-90 cm	29,1	9,9	19,2	28,0	42,9	Franco argilosa
Pastagem 0-30 cm	30,8	13,6	17,3	20,3	48,9	Franca
Pastagem 30-60 cm	37,1	21,3	15,8	17,9	45,0	Franca
Pastagem 60-90 cm	37,2	7,3	30,0	16,3	46,5	Franca
Fruticultura - goiaba 0-30 cm	38,7	6,5	32,2	11,4	50,0	Franco siltosa
Fruticultura - goiaba 30-60 cm	35,8	8,5	27,3	5,7	58,4	Franco siltosa
Fruticultura - goiaba 60-90 cm	48,0	14,4	33,6	7,0	45,1	Franco arenosa

Com o objetivo de classificar as amostras de salinidade do solo em grupos semelhantes, que expressassem as coletas e áreas (mata de regeneração, pastagem e goiaba) com tendências similares de salinidade dos solos, utilizou-se a análise de agrupamento (cluster analysis) através do processamento no software SPSS 20.0 (Statistical Package for the Social Sciences). Os dados foram normalizados (Z-scores) e tratados pelo método de ligação de Ward (método da variância mínima), com o quadrado da distância Euclidiana como medida de similaridade, conforme Palácio et al. (2011) e Andrade et al. (2011).

Na análise de agrupamentos é fundamental a definição de uma medida de similaridade ou de distância entre os grupos a serem constituídos. Convencionou-se adotar uma medida de distância com propriedades métricas, tendo a escolha recaída no Quadrado da Distância Euclidiana, por ser esta a mais utilizada.

Muito embora não exista critério pré-estabelecido para a determinação do número de grupos a serem considerados, o número de agrupamentos similares foi definido com base na técnica empírica descrita por Hair Júnior et al. (2010), que consiste em analisar a diferença entre os níveis de fusão dos grupos no dendrograma e considerar a existência de um grupo similar quando ocorrer uma grande variação entre seus níveis de fusão (PALÁCIO et al., 2011). Trata-se de identificar um platô no sentido horizontal, o que significa que alguns grupos foram formados na mesma distância de ligação. Esta distância pode ser um ponto

ótimo de corte no dendrograma, determinando o número de grupos formados (PALÁCIO et al., 2011).

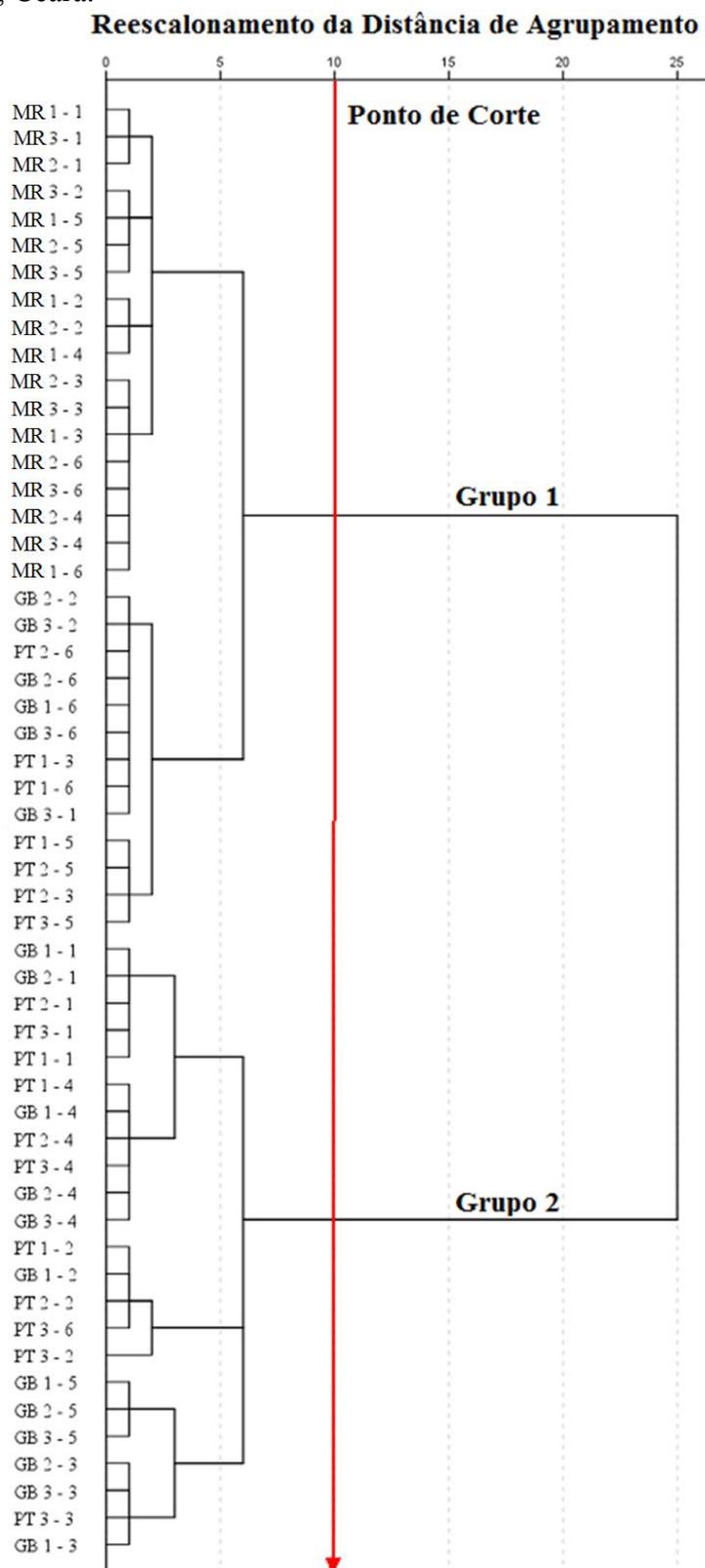
A formação dos grupos foi realizada em função das características semelhantes obtidas entre atributos de salinidades estudados: CE, pH, RAS, PST e os íons solúveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Esta análise de agrupamento permite verificar a formação de grupos no dendrograma, ou seja, aquelas amostras que possuíam valores médios aproximados dos atributos estudados, relacionadas com a salinidade do solo, formaram grupos homogêneos; enquanto que os atributos que possuem média diferenciada das demais, formaram grupos heterogêneos (FREIRE et al., 2014). O número de agrupamentos (ou *clusters*) depende do maior ou menor grau de homogeneidade que se desejar impor ao grupo formado (HAIR JÚNIOR et al., 2010).

Os dados médios de cada parâmetro analisado, dos respectivos grupos formados, foram submetidos à análise de teste de média e confrontados pelo teste t a 0,01 de probabilidade de erro, através do programa SPSS 20.0.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dendrograma mostra claramente que a similaridade da salinidade do solo para as áreas estudadas foi definida pela variabilidade espacial das concentrações dos atributos investigados, não ocorrendo uma influência maior da variabilidade temporal, uma vez que os arranjos ocorreram de forma independente das datas de coleta realizada (Figura 4). Esta maior influência da variabilidade espacial das áreas de coletas, não ocorrendo influência da variabilidade temporal, também foi observada por Andrade et al. (2011), investigando mudanças do status salino do solo no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (DIJA), Ceará.

**Figura 4.** Dendrograma das amostras de solo agrupadas quanto à salinidade, em áreas de mata de regeneração e áreas irrigadas cultivadas, no trecho perenizado do rio Trussu, Ceará.



\*MR= mata de regeneração, PT= área de pastagem e GB= área de goiaba. Abreviação seguida pela numeração da camada (variando de 1 a 3) e numeração da coleta (variando de 1 a 6).

A composição média, desvio padrão, valores máximos e mínimos dos atributos indicadores da salinidade dos solos estudados de cada grupo, podem ser vistos na Tabela 2. Observa-se que há entre os dois grupos formados, uma diferença estatística significativa ao nível de 1% de significância entre os parâmetros estudados: CE, RAS, PST,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Os valores do grupo 1 apresentaram-se sempre com menores médias em relação aos valores do grupo 2 para todos os atributos, mostrando que, os pontos de coletas que compõem o primeiro grupo, apresentam menores níveis de salinidade.

**Tabela 2.** Média, desvio padrão, valores máximo e mínimo dos atributos químicos em estudo para os grupos do solo no trecho perenizado do rio Trussu, Ceará, definidos pela análise de agrupamento.

Variáveis	Estatística	Grupo 1		Grupo 2	
CE	Média ± Desvio Padrão	<b>74,1 ± 29,5</b>	a	<b>180,8 ± 73,0</b>	b
	Mínimo	32,7		73,9	
	Máximo	142,0		298,7	
pH	Média ± Desvio Padrão	<b>6,88 ± 0,5</b>	a	<b>6,89 ± 0,2</b>	a
	Mínimo	5,8		6,1	
	Máximo	7,7		7,9	
RAS	Média ± Desvio Padrão	<b>0,25 ± 0,2</b>	a	<b>0,57 ± 2,3</b>	b
	Mínimo	0,01		0,2	
	Máximo	0,5		1,2	
PST	Média ± Desvio Padrão	<b>2,46 ± 1,9</b>	a	<b>3,95 ± 0,4</b>	b
	Mínimo	0,1		1,7	
	Máximo	8,2		7,5	
$\text{Na}^+$	Média ± Desvio Padrão	<b>0,30 ± 0,2</b>	a	<b>0,95 ± 0,4</b>	b
	Mínimo	0,0		0,4	
	Máximo	0,8		2,0	
$\text{K}^+$	Média ± Desvio Padrão	<b>0,75 ± 0,9</b>	a	<b>2,94 ± 2,3</b>	b
	Mínimo	0,0		0,4	
	Máximo	3,4		8,2	
$\text{Ca}^{+2}$	Média ± Desvio Padrão	<b>1,79 ± 0,8</b>	a	<b>4,02 ± 0,8</b>	b
	Mínimo	0,8		2,4	
	Máximo	4,0		5,2	
$\text{Mg}^{+2}$	Média ± Desvio Padrão	<b>0,92 ± 0,5</b>	a	<b>2,39 ± 0,8</b>	b
	Mínimo	0,4		1,2	
	Máximo	2,0		3,2	
Cl	Média ± Desvio Padrão	<b>0,42 ± 0,3</b>	a	<b>0,93 ± 0,4</b>	b
	Mínimo	0,1		0,3	
	Máximo	1,1		2,0	

\*Médias seguidas de letra distinta, diferem entre si na linha pelo teste t ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ).

O grupo 1 contém todas as coletas realizadas nos solos da mata de regeneração, sete oriundas da área com pastagem irrigada e seis da área com goiaba irrigada, independentemente da camada amostrada ou da época de coleta. Todos os atributos investigados foram determinantes na definição do grupo 1, uma vez que suas médias diferiram do segundo grupo ao nível de 1% de significância (Tabela 2). Observa-se, pela referida tabela, que as concentrações dos atributos de salinidade dos solos no grupo 1 são

baixas. Estes resultados mostram que os solos do primeiro grupo não apresentam nenhum risco de salinidade ( $CE = 74,1 \mu S \cdot m^{-1}$ ) ou sodicidade ( $RAS = 0,25$  e  $PST = 2,46 \%$ ) aos solos.

O grupo 1 trata-se de um grupo formado pelos solos que apresentaram as menores concentrações médias de sais, com valores de  $0,30$  e  $0,42 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  para respectivamente os íons  $Na^+$  e  $Cl^-$ , valores inferiores aos limites estabelecidos de  $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  para toxidez em ambos os íons na irrigação (AYERS; WESTCOT, 1999). Para os atributos  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  os valores variaram entre  $1,79$  e  $0,92 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  sempre abaixo dos limites estabelecidos por estes autores ( $< 5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ). O íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , em condições adequadas no complexo de roca dos solos, favorecem o desenvolvimento do plantio e promovem o efeito neutralizador do  $Na^+$  (MEIRELES; FRISCHKORN; ANDRADE, 2007). Ainda de acordo com o autor supracitado, não houve problemas evidenciados para o parâmetro pH, tendo em vista que os valores médios encontrados estão dentro dos limites de normalidade ( $6,5 - 8,4$ ) de acordo com Ayers e Westcot (1999).

Apesar dos baixos níveis de salinidade no grupo 1, deve-se atentar para o fato de que de acordo com Ayers e Westcot (1999), a infiltração aumenta com a salinidade e diminui com a redução desta. Portanto, problemas de infiltração no solo podem ocorrer em virtude da baixa concentração de sais totais e não apenas por elevados valores de sódio (AYERS; WESTCOT, 1999). As baixas concentrações de sais alteram a espessura da dupla camada iônica que exerce efeito pronunciado no comportamento físico do solo, reduzindo a infiltração da água. Assim, altas concentrações de sais solúveis no solo não altera a estrutura do solo com argilas expansivas, mas sim a baixa concentração de sais no solo ( $CE < 200 \mu S \text{ m}^{-1}$ ) e/ou a alta concentração de sódio (DIAS; BLANCO, 2010).

As baixas concentrações de sais nas áreas irrigadas, pertencendo ao mesmo grupo em que foram realizadas coletas na mata de regeneração, podem estar associadas aos valores de salinidade da água proveniente do rio Trussu e utilizada na irrigação. Os valores de CE média no período, para as águas superficiais do rio perenizado, variaram entre  $201,9$  e  $323,6 \mu S \text{ cm}^{-1}$  (Tabela 3), não diferindo as coletas estatisticamente entre si ao nível de 1% de significância. De acordo com Freire et al. (2003), os valores de CE inferior a  $500 \mu S \text{ cm}^{-1}$  e, particularmente, abaixo de  $200 \mu S \text{ cm}^{-1}$  tendem a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo o cálcio e magnésio, reduzindo sua influência sobre as partículas coloidais, e conseqüentemente, a desestruturação dos agregados do solo. Portanto, baixas concentrações de sais na água de irrigação associado aos baixos valores de  $RAS^\circ$  (corrigida) (Tabela 3) podem afetar o balanço de sais e a estabilidade dos agregados do solo, podendo levar a problemas de redução da infiltração, redução da condutividade hidráulica e/ou presença de crosta superficial (DIAS; BLANCO, 2010).

**Tabela 3.** Classificação da água do trecho perenizado, em relação à Condutividade Elétrica (CE) e razão de adsorção de sódio corrigida ( $RAS^\circ$ ) (AYERS; WESTCOT, 1999).

Datas	CE ( $\mu S \text{ cm}^{-1}$ )	$RAS^\circ$	Classificação UCCC
Mai-13	323,6 a	0,70 a	C1S2
Jul-13	248,9 a	0,61 a	C1S2
Set-13	319,1 a	0,87 a	C1S2
Dez-13	201,9 a	0,84 a	C1S2
Fev-14	208,8 a	0,67 a	C1S2
Abr-14	316,6 a	0,94 a	C1S2

\*Médias seguidas de letra distinta, diferem entre si na coluna pelo teste t ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ ). Classificação do University of California Committee of Consultants (AYERS; WESTCOT, 1999).

Percebe-se que embora não exista diferença significativa ao nível de 1% entre os objetos que compõem o grupo 1, existe uma dissimilaridade entre as informações representativas da mata de regeneração e aquelas oriundas das áreas irrigadas e cultivadas com pastagem e goiaba (Figura 4). Identifica-se que dentro do grupo 1, as variáveis investigadas (CE, pH, RAS, PST,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) para a mata de regeneração apresentaram a maior similaridade entre si, visto que todos os objetos se uniram com o menor valor da distância reescalada, diferenciando dentro do grupo 1 das áreas irrigadas. A homogeneidade das variáveis para a mata de regeneração expressa a sua condição de equilíbrio com relação aos sais solúveis no extrato de saturação do solo. Esta diferença expressa a sensibilidade do teste em identificar as discrepâncias entre os objetos do mesmo grupo, embora a diferença entre as mesmas não seja estatisticamente significativa ao nível de 1% (HAIR JÚNIOR et al., 2010).

Analisando o grupo 2 gerado na análise de agrupamento, verifica-se que este grupo contém todas as coletas realizadas nos solos das áreas irrigadas, sendo onze coletas provenientes da área cultivada com pastagem e doze oriundas da área cultivada com goiaba, expressando uma completa dissimilaridade das informações da mata de regeneração, visto que nenhuma informação desta área se faz presente neste grupo. O grupo 2 é composto por solos que receberam maiores adições de sais pelo manejo da irrigação. Para praticamente todos os atributos investigados, exceção do pH, o grupo 2 diferiu estatisticamente ao nível de significância de 1% do grupo 1 (Tabela 2), tal fato caracteriza a existência de uma acumulação de sais nos solos irrigados, expressando que o total precipitado na região não foi suficiente para promover a lixiviação dos sais adicionados pela irrigação ao nível da mata de regeneração (LOPES; ANDRADE; CHAVES, 2008; CHAVES et al., 2009; ANDRADE et al., 2011; LOPES et al., 2011).

Apesar das maiores salinidades no grupo 2, os valores de CE apresentaram máximo de  $298,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ , valor abaixo dos limites para solos salinos adotados na literatura. No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) a salinidade é considerada no caráter sálico ( $\text{CE} > 7.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) e no caráter salino ( $4.000 < \text{CE} < 7.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), utilizados para separar classes no segundo, terceiro e quarto níveis categóricos (EMBRAPA, 2013). Este grupo ainda apresentou concentrações máximas dos íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  de  $2,00$  e  $2,00 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , respectivamente, sendo que concentrações superiores a  $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  para esses íons podem causar danos às culturas, reduzindo a produtividade (AYERS; WESTCOT, 1999). Tendências crescentes de incrementos de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em áreas irrigadas em todas as camadas, quando comparadas com área de floresta nativa, foram observados por Lopes et al. (2011) no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. Para os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , os valores médios não ultrapassaram os limites estabelecidos ( $< 5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ), porém vale ressaltar que o íon  $\text{Ca}^{2+}$  merece uma atenção maior em relação ao íon  $\text{Mg}^{2+}$ , pois o mesmo apresenta valor médio de  $4,02 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , se aproximando do limite máximo citado anteriormente. Já o  $\text{Mg}^{2+}$ , com valor médio de  $2,39 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , não oferece tantos riscos de salinização. Predominâncias de íons de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no extrato de saturação do solo foram verificados no Distrito de Irrigação Jaguaribe Apodi (DIJA) no Ceará por D'Almeida et al. (2005).

Quanto a sodicidade do grupo 2, observa-se valores de RAS e CE de  $0,57$  e  $180,8 \mu\text{S cm}^{-1}$ , respectivamente, apresentando um aumento nos valores médios quando comparados ao grupo 1. Entretanto, apesar desses valores superiores no grupo 2, os mesmos ainda estão abaixo dos limites estabelecidos para causar problemas de salinidade e sodicidade aos solos. Verifica-se o PST no grupo 2 com um valor médio de  $3,95\%$  o qual não ultrapassa o limite mínimo estabelecido na escala de Pizarro (1985) ( $> 7\%$  - ligeiramente sódico). Assim como no primeiro grupo, os problemas de infiltração no solo no grupo 2 podem ocorrer em virtude da

baixa concentração de sais totais que alteram a espessura da dupla camada iônica, e não pelos elevados valores de sódio.

As maiores concentrações de sais no grupo 2 em relação ao grupo 1 indicam que ao longo do tempo de exploração, houve uma acumulação de íons no solo nas áreas irrigadas, mas ainda não em nível que comprometa o crescimento das plantas e coloquem em risco a salinidade dos solos. O efeito acumulativo de sais em áreas irrigadas de regiões semiáridas é um problema que vem sendo constatado por pesquisas desenvolvidas em diferentes áreas semiáridas (CAUSAPÉ; QUÍLEZ; ARAGUÉS, 2004; D'ALMEIDA et al., 2005; CHAVES et al., 2006; ANDRADE, 2009; LOPES et al., 2011). Fatores como manejo inadequado da irrigação, uso excessivo de fertilizantes ou a própria natureza eutrófica podem gradualmente acarretar problemas de salinização dos solos (BATISTELLA; VALLADARES, 2009; MOTA et al., 2012; RESENDE et al., 2014).

Como aponta Andrade (2009), a tendência à salinização dos solos, em decorrência do manejo da irrigação nas regiões secas como o semiárido brasileiro, é inerente às características climáticas e geológicas dessas zonas. As elevadas taxas de evapotranspiração, os baixos índices pluviométricos anuais e a salinidade natural não podem ser modificados. A estratégia correta é a adoção de práticas de manejo dos recursos naturais adequadas à região, para assim mitigar os impactos adversos que a técnica da irrigação poderá gerar sobre os recursos naturais como os solos (CAUSAPÉ; QUÍLEZ; ARAGUES, 2004; MULLER; MAGESAN; BOLAN, 2007).

## 6 CONCLUSÕES

A técnica de estatística multivariada - análise de agrupamento hierárquico (AAH) mostrou-se eficiente no que diz respeito ao estudo da similaridade dos solos e a formação de grupos em função da concentração salina.

O grupo 1 foi formado pelas coletas que apresentaram menores concentrações de sais, sendo composto por todas as amostragem de solos realizadas na mata de regeneração, com a adição da presença de sete da área com pastagem e seis da área com goiaba.

No grupo 2 houve um incremento de sais ao solo em decorrência da irrigação e realização de adubações nas áreas de pastagem e goiaba, sendo formado por onze coletas da área de pastagem e doze da área de goiaba. Porém, as concentrações não ultrapassaram limites que comprometam o crescimento das plantas e coloquem em risco a salinidade dos solos.

Mesmo com o aumento de condutividade elétrica e o acréscimo de íons ao solo, as áreas irrigadas ainda não se encontram salinizadas. Porém, é importante que haja um melhor manejo da atividade para que as mesmas não alcancem tal estágio.

## 7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M. A irrigação e suas implicações sobre o capital natural em regiões áridas e semiáridas: Uma revisão. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, p. 390-398, 2009.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise

multivariada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 410-415, 2011.

ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; LEÃO, R. A. O.; GUERREIRO, M. J. Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. **Environmental Resource**, Amsterdam, v. 106, p. 170-177, 2008.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **Qualidade da Água na Agricultura**. Tradução de GHEYI, H. R.; DE MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 153p. 1999.

BATISTELLA, M.; VALLADARES, G. S. Farming expansion and land degradation in western Bahia, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 9, p. 61-76, 2009.

CAUSAPÉ, J.; QUÍLEZ, D.; ARAGUÉS, R. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 70, p. 211-228, 2004.

CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; NESS, R. L. L.; LOPEZ, J. F. B. Risco de degradação em solo irrigado do Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, p. 292-298, 2006.

CHAVES, L. C. G.; SANTOS, J. C. N.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Dinâmica da salinidade do solo em áreas do Distrito de Irrigação Araras Norte, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 522-532, 2009.

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 615-621, 2005.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, h. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora LTDA., 2010, cap. 9, p. 129-140, 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. revisada. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 225p. 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA. 353 p. 2013.

FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/solaw/solaw-home/en/>>. Acesso em: 01 de agosto de 2015.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa o risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas

salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 227-232, 2003.

FREIRE, M. G. B.; MIRANDA, M. F. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SILVA, L. E.; PESSOA, L. G. M.; ALMEIDA, B. G. Agrupamento de solos quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em função do tempo. . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18 (Suplemento), p. S86-S91, 2014.

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate data analysis**. 7th ed. UpperSaddle River: Prentice Hall, 785 p. il. 2010.

LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-21, 2010.

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na Bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 34-43, 2008.

LOPES, J. F. B.; CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M.; CRISOSTOMO, L. A. risco de degradação em solo irrigado do perímetro irrigado baixo Acaraú, Ceará. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 424-435, 2011.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semiárido cearense. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 25-31, 2007.

MOTA, L. H. S. O.; GOMES, A. S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1203-1209, 2012.

MULLER, K.; MAGESAN, G. N.; BOLAN, N. S.A Critical review of the influence of effluent irrigation on the fate of pesticides in soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 120, p. 93-116, 2007.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-16, 2010.

PALÁCIO H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M. SANTOS, J. C. N.; L. C. G. CHAVES. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 395-402, 2011.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. ed. Madrid: Editora Agrícola Española, S.A., 542p., 1985.

RESENDE, R. S.; AMORIM, J. R. A.; CRUZ, M. A. S.; MENESES, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, (Suplemento), p. 46-52, 2014.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington, DC, US Department of Agriculture, 160p.(USDA Agriculture Handbook, 60). 1954.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M., ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 35-44, 2014.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editorial Agrícola Española, 525 p. 1978.