

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – SOLOS E NUTRIÇÃO DE
PLANTAS

CLEYTON SAIALY MEDEIROS CUNHA

RELAÇÃO ENTRE SOLOS AFETADOS POR SAIS E CONCENTRAÇÃO DE METAIS
PESADOS EM QUATRO PERÍMETROS IRRIGADOS NO CEARÁ

FORTALEZA

2013

CLEYTON SAIALY MEDEIROS CUNHA

RELAÇÃO ENTRE SOLOS AFETADOS POR SAIS E CONCENTRAÇÃO DE METAIS
PESADOS EM QUATRO PERÍMETROS IRRIGADOS NO CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. D.Sc. Fernando Felipe
Ferreira Hernandez

FORTALEZA

2013

CLEYTON SAIALY MEDEIROS CUNHA

RELAÇÃO ENTRE SOLOS AFETADOS POR SAIS E CONCENTRAÇÃO DE METAIS
PESADOS EM QUATRO PERÍMETROS IRRIGADOS NO CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: __/__/__

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Fernando Felipe (Orientador)

Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. D.Sc. Maria Eugenia Ortiz Escobar(Examinador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. D.Sc. Francisco Nildo da Silva (Examinador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB

DEDICO

A minha mãe Maria Jacinta Medeiros
Cunha e ao meu pai Sandoval Candido da Cunha.

OFEREÇO

As minhas irmãs Cecília Samara Medeiros
Cunha e Celane Samandra Medeiros Cunha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar força, sabedoria e saúde.

A meus pais (Sandoval e Jacinta) pelo respaldo para que eu pudesse terminar o curso. Sem eles eu não seria nada.

As minhas irmãs (Celane e Cecília) por todo o carinho e por sempre acreditarem em mim.

Ao orientador, professor Fernando Felipe Ferreira Hernandez, por sempre estar presente, de forma direta; pelos conhecimentos passados e pela paciência que sempre teve comigo durante esses dois anos de convivência.

A Maria Eugênia Ortiz Escobar por aceitar participar como avaliadora na banca.

A laboratorista Maria de Fátima, por me auxiliar nas análises e pela dedicação.

Ao professor Francisco Nildo, pelos ensinamentos e participação no projeto.

A meu amigo de todas as horas Alcione Guimarães Freire, por sempre me ajudar e incentivar.

Ao amigo Diego Rolney, por estar presente em todas as etapas do estudo.

Ao amigo e professor Stefeson Bezerra de Melo, pela ajuda na estatística.

Aos meus amigos da sala de estudo, em especial, Alisson Simplício e Carlos Vitor.

A David Correia, pelas ajudas nas coletas e pela amizade.

A Minha turma do mestrado (Gildivan, Juciane, Alves, Junior) pelo companheirismo nestes dois anos de estudo.

A todos que de uma forma direta ou indireta contribuíram para que hoje eu me tornasse um mestre em agronomia (Solos e Nutrição de Plantas).

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Morada Nova.	24
Figura 2 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú.	25
Figura 3 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Curu-Pentecostes.	27
Figura 4 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Icó-Lima Campos.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores de metais na litosfera e nos principais tipos de rochas ígneas e sedimentares.	20
Tabela 2 - Teores de metais pesados em solos agrícolas.....	21
Tabela 3 - Classes de Solos, Localização e Uso.....	29
Tabela 4 - Condições de operação do sistema.	31
Tabela 5 - Características Físico-Químicas dos solos dos quatro perímetros irrigados.	34
Tabela 6 - Classificação dos solos dos quatro perímetros quanto à salinização.....	38
Tabela 7 - Faixa de concentração e teor médio de metais pesados certificados (NIST SRM 2709 San Joaquin soil) pela US Departamento of Commerce utilizados nas análises pelo método USEPA (3050 B).	40
Tabela 8 - Teores Totais de Cu, Ni e Co nas Camadas Superficiais (0-10 cm) e Subsuperficiais (10-20 cm) em quatro perímetros irrigados do Ceará.	42
Tabela 9 - Teores Totais de Fe, Zn e Mn nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.	44
Tabela 10 - Teores Totais de Cr, Pb e Cd nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.	48
Tabela 11 - Teores Totais de Al, Si e V nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.	50
Tabela 12 - Teores Totais de B, Mo e Ti nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) para solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.	53
Tabela 13 - Teores Totais de Se e Zr nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.	56
Tabela 14 - Teores Totais de Hg e As nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.	58
Tabela 15 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Morada Nova.	60
Tabela 16 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Morada Nova.	61
Tabela 17 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú.	63
Tabela 18 - Relações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú.	65
Tabela 19 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Curu-Pentecostes.	66
Tabela 20 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Curu-Pentecostes.	67

Tabela 21 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Icó-Lima Campos.	68
Tabela 22 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos grupos I e Grupo II referentes ao perímetro irrigado Icó-Lima Campos.....	69
Tabela 23 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes aos 80 pontos do estudo.....	70
Tabela 24 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes aos 80 pontos do estudo.....	71
Tabela 25 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Morada Nova com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.	74
Tabela 26 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Baixo-Acaraú com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.	76
Tabela 27 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Curu-Pentecostes com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.....	78
Tabela 28 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Ico-Lima Campos com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.	79
Tabela 29 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados para as amostras de solos dos quatro perímetros irrigados do CE com suas respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.....	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Solos afetados por sais	16
2.1.1 <i>Aspectos gerais e classificação</i>	16
2.1.2 <i>Influências dos sais nas características físico-químicas e biológicas do solo</i>	17
2.1.3 <i>Influências da irrigação na concentração de sais no solo.....</i>	18
2.2 Metais pesados.....	19
2.2.1 <i>Origem natural e definições</i>	19
2.2.2 <i>Origem antrópica dos metais pesados no ambiente.....</i>	20
2.3 Interações entre solos afetados por sais e metais pesados	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Locais do estudo	23
3.2 Coleta e amostra de solos	28
3.3 Atributos analisados	30
3.3.1 <i>Metais pesados: Teores pseudototais.....</i>	30
3.3.2 <i>Análises químicas físicas de rotina</i>	31
3.3.2.1 <i>Reação do solo (pH):</i>	31
3.3.2.2 <i>Condutividade elétrica (CE):</i>	32
3.3.2.3 <i>Carbono orgânico total:</i>	32
3.3.2.4 <i>Potássio (K) e sódio (Na):</i>	32
3.3.2.5 <i>Cálcio (Ca) e magnésio (Mg):</i>	32
3.3.2.6 <i>Percentagem de Sódio Trocável (PST):.....</i>	32
3.3.2.7 <i>Hidrogênio mais alumínio (H + Al):</i>	32
3.3.2.8 <i>CTC:.....</i>	33
3.3.2.9 <i>Análise Física: Análise Granulométrica.....</i>	33
3.4 Análises estatísticas.....	36
3.4.1 <i>Análise de correlações canônica (ACC)</i>	36
3.4.2 <i>Análise Fatorial por Componentes Principais (AF).....</i>	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Classificação dos solos quanto à salinidade.....	38

4.2 Teores pseudototais de metais pesados nas amostras de solo	39
4.2.1 <i>Materiais de referência certificados</i>	39
4.2.2 <i>Cobre, Níquel e Cobalto</i>	40
4.2.3 <i>Ferro, Manganês e Zinco</i>	43
4.2.4 <i>Cromo, Chumbo e Cadmio</i>	45
4.2.5 <i>Alumínio, Silício e Vanádio</i>	49
4.2.6 <i>Boro, Molibdênio e Titânio</i>	51
4.2.7 <i>Selênio e Zircônio</i>	54
4.2.8 <i>Mercúrio e Arsênio</i>	57
4.3 Análise de correlação canônica	59
4.3.1 <i>Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Morada Nova</i>	59
4.3.2 <i>Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Baixo-Acaraú</i>	62
4.3.3 <i>Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Curu-Pentecoste</i>	65
4.3.4 <i>Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Icó-Lima Campos</i>	67
4.3.5 <i>Análise de correlação canônica para as amostras dos solos dos quatro perímetros irrigados</i>	69
4.4 Análise fatorial por componentes principais	73
4.4.1 <i>Análise fatorial referente a solos do Perímetro irrigado Morada Nova</i>	73
4.4.2 <i>Análise fatorial referente ao Perímetro irrigado Baixo-Acaraú</i>	75
4.4.3 <i>Análise fatorial referente ao Perímetro irrigado Curu-Pentecoste</i>	77
4.4.4 <i>Análise fatorial referente ao Perímetro irrigado Icó-Lima Campos</i>	78
4.4.5 <i>Análise fatorial para as amostras de solos dos quatro perímetros irrigados estudados</i>	80
5 CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS	83

RESUMO

As pesquisas com salinização nos perímetros irrigados, quanto à presença de metais pesados ainda são incipientes. Estes metais vêm sendo encontrados em áreas irrigadas e estão associados a grupos de impactos ambientais, por serem poluentes devido à sua toxicidade e persistência no ambiente. O trabalho teve como objetivo verificar a concentração de metais pesados e verificar as correlações existentes entre eles em solos afetados por sais referentes a quatro (4) perímetros irrigados no Ceará (Baixo-acaraú; Morada Nova; Curu-Pentecoste e Icó-Lima Campos). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0–10 e 10-20 cm em 10 pontos dentro de cada perímetro, sendo (1) ponto, dentro de cada perímetro, referente a solos de vegetação preservada, totalizando oitenta (80) amostras. Foram obtidos os teores pseudototais de metais, assim como foram realizadas análises multivariadas (análise de correlação canônica e fatorial), entre atributos relacionados com a salinização (CTC, PST, pH e CE) e variáveis constituídas pelos metais pesados (Al, B, Mn, Mo, Si, Zr, Cr, Fe, V, Ni, Pb, Ti, Zn, As, Cd, Co e Cu) na camada de 0-10 e 10-20. Concluiu-se que: a) Os teores de metais pesados e elementos nos solos dos quatro perímetros seguiram a seguinte ordem decrescente: Fe, Al, Si, Ti, Mn, Zn, Cr, V, Ni, Cu, Co, B, Pb, Se, Cd, Mo, Zr, sendo esta ordem, no geral, independente das camadas superficiais e subsuperficiais consideradas. b) Os valores de referência de qualidade para metais pesados e elementos obtidos neste estudo, de modo geral, foram considerados baixos, quando comparados com os valores estipulados por órgãos ambientais (CONAMA e CETESB). Inclusive, para todas as amostras de solo, os teores de As e Hg, ficaram abaixo de limite de detecção do aparelho (0,01). c) Os atributos do solo relacionadas com a salinização CTC, pH, PST e CE contribuíram para explicar os teores de metais pesados nos solos dos quatro perímetros irrigados, quando analisados em conjunto; todavia, não foram capaz de explicar quando analisados de forma individual; seguindo a ordem de importância: CTC > pH > PST > CE. d) Foram verificadas correlações entre os elementos metálicos analisados neste estudo (B, Mo, Si, Zr, Cr, Ni, Pb, Ti, Zn, Cd, Co, Se e Cu) com o Fe, Mn, Al, Ti e V, ou, ainda, afinidades geoquímicas entre os elementos, nos solos dos quatro perímetros irrigados do Ceará.

Palavras-chave: Metais pesados, Salinidade, Irrigação.

ABSTRACT

Researches with salinization in irrigated areas, for the presence of heavy metals are still incipient. These metals have been consistently found in areas irrigated groups and are associated with environmental impact, being pollutants because of their toxicity and persistence in the environment. The study aimed to determine the concentration of heavy metals and to establish correlations between them in salt affected soils less than four (4) in irrigated Ceará (Baixo-Acaraú; Morada Nova; Curu-Pentecost and Ico-Lima Campos). Samples were collected at depth of 0-10 and 10-20 cm in 10 points within each perimeter, being (1) point within each perimeter, referring to soils preserved vegetation, totaling (80) samples. Were obtained the total contents of metals, as well as multivariate analyzes were performed (canonical correlation analysis and factorial) between attributes related to salinization (pH, CE, CTC and PST) and variable consisting of the heavy metals (Al, B, Mn, Mo, Si, Zr, Cr, Fe, V, Ni, Pb, Ti, Zn, As, Cd, Co and Cu) in the 0-20 cm. It was concluded that: a) The levels of heavy metals and elements in soils of the four perimeters followed the following order: Fe, Al, Si, Ti, Mn, Zn, Cr, V, Ni, Cu, Co, B, Pb, Se, Cd, Mo, Zr, and this order, in general, independent of the surface and subsurface layers considered. b) The reference values for heavy metals and quality data obtained in this study, in general, were low compared to the values stipulated by environmental agencies at Brasil (CONAMA and CETESB). In fact, for all the soil samples, the levels of As and Hg were below the limit of detection apparatus (0.01). c) Soil attributes related to salinity CTC, pH, EC and PST contributed to explain the levels of heavy metals in soils of the four irrigation schemes, when analyzed together, however, were not able to explain when analyzed individually. Following the order of importance: CTC > pH > PST > EC. d) Correlations were observed between metallic elements analyzed in this study (B, Mo, Si, Zr, Cr, Ni, Pb, Ti, Zn, Cd, Co, Se and Cu) with Fe, Mn, Al, Ti and V, or even, geochemical affinities between the elements in the four soils irrigated Ceará.

Key Words: Heavy metals, salinity, Irrigation.

1 INTRODUÇÃO

O processo de acumulação de sais no solo é um problema no cenário agrícola mundial e vem causando perdas significativas em produção e produtividade, principalmente em regiões onde os sais solúveis se precipitam a superfície ou no interior do solo.

No Nordeste, onde o clima é propenso para este acontecimento, a acumulação de sais no solo é mais acentuada. Em termos gerais, o excesso de sais ocorre onde, dependendo das características do solo e do nível do lençol freático o equilíbrio da irrigação ou precipitação e evaporação são deslocados para cima em direção à evaporação.

Altos teores de sais no solo e da água reduzem a disponibilidade da água para as plantas e afetam seus rendimentos. Os teores relativamente altos de sódio, ou baixos de cálcio no solo e água, reduzem a velocidade com que a água de irrigação atravessa a superfície do solo. Esta redução pode alcançar uma magnitude, que as raízes das plantas não recebam água suficiente entre as irrigações. Além disso, íons de sódio, cloreto e boro contidos nos solos ou na água podem acumular nas plantas em concentrações elevadas e causar danos irreversíveis.

Nos últimos anos, além dos sais vem sendo encontrado outra fonte de preocupação para os agricultores: Os chamados metais pesados. Estes são componentes inerentes dos solos, mas uma grande preocupação hoje está relacionada com a sua acumulação devido às atividades antrópicas. A exploração de minerais e metais por parte da mineração ou pela adição de fertilizantes, pulverizações de agroquímicos e uso de lodo de esgoto, podem causar alterações nos teores naturais do solo. A acumulação desses metais pode representar um significativo risco, pela sua possível toxicidade para as plantas, organismos e contaminação do lençol freático.

Sabe-se que o aumento da salinidade do solo pode aumentar a mobilização de metais e promover sua absorção pelas culturas. O Ca^{2+} e Mg^{2+} são abundantes na solução do solo, em virtude disso, os metais podem ser mobilizados como resultado da competição destes com e os íons metálicos. No entanto, não há estudos que evidencie a possível relação entre a salinidade do solo e a concentração de um determinado metal potencialmente tóxico.

Com o intuito de elucidar esse problema, foram realizadas análises de solos e os resultados submetidos a técnicas de análise estatística multivariada, como a análise de correlação canônica e análise fatorial, para demonstrar como os grupos de variáveis interagem, e como os elementos interagem entre si, levando-se em conta a contribuição conjunta de atributos químicos e físicos associados à migração e a adsorção de metais pesados pelos solos.

Neste contexto, o trabalho partiu das hipóteses de que: (1) O excesso de sais no solo implica na concentração de um ou mais metais pesados no mesmo; (2) Teores elevados de sais no solo podem interferir nas relações entre os metais. Face ao exposto, o presente estudo objetivou-se estudar a relação entre atributos químicos relacionados com a salinidade e teores de metais pesados em amostras de solos Neossolos Flúvicos e Quatizarênicos referentes à quatro (4) perímetros irrigados no Ceará.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solos afetados por sais

2.1.1 Aspectos gerais e classificação

A agricultura está enfrentando um grande problema em todo o mundo com a falta de recursos hídricos adequados, forçando muitos produtores a utilizar água salobra para a irrigação das culturas (REED, 1996). Em várias áreas de produção, o uso de água de baixa qualidade para a irrigação e a aplicação de quantidades excessivas de fertilizantes são as principais razões para o problema do aumento da salinidade do solo. Em se tratando de regiões áridas e semiáridas irrigadas, constitui o sério problema, limitando a produção agrícola e reduzindo a produtividade das culturas a níveis anti-econômico (MEDEIROS et al., 2008).

De acordo com Richards (1954), solos com $CE > 4$ dS/m, $PST < 15$ ou $RAS < 13$ e $pH < 8,5$ e apresentando os seguintes ânions Cl^- , $SO_4^{2-} > HCO_3^-$ e NO_3^- e cátions Ca^{2+} , $Mg^{2+} > Na^+$ e K^+ , podendo ou não apresentar precipitados na forma de $CaSO_4 \cdot H_2O$, $CaCO_3$ e $MgCO_3$ são classificados como salinos; para solos com $CE < 4$ dS/m, $PST > 15$ ou $RAS > 13$, $pH > 8,5$ e apresentando as seguintes características: CE e permeabilidade baixa e o horizonte superficial geralmente de coloração escura são denominados de sódicos e para solos com $CE > 4$ dS/m, $PST > 15$ ou $RAS > 13$, $pH < 8,5$ e manutenção do estado de floculação dos colóides e conservação da permeabilidade relativamente alta são designados salino-sódicos.

Na classificação genética brasileira o caráter salino corresponde a CE maior ou igual a 4 e menor que 7 dS/m (a 25 °C). O caráter sálico corresponde a CE maior ou igual a 7 dS/m (a 25 °C) (EMBRAPA, 1999).

A área total de solos afetados por sais no mundo, incluindo os solos salinos e sódicos é de 932 milhões de hectares. Sendo 450 milhões de solos salinos e 482 milhões de solos sódicos (FAO, 2000). Estas áreas tendem a aumentar no futuro em virtude da salinização secundária (Alcalinização) devido à irrigação e desmatamento da vegetação nativa, aumentando a incidência direta da radiação sobre o solo, aumentando a temperatura e, conseqüentemente, elevação dos sais por capilaridade (PANNELL e EWING, 2006).

2.1.2 Influências dos sais nas características físico-químicas e biológicas do solo

Os efeitos negativos da salinização no solo são desestruturação, aumento densidade aparente e da retenção de água do solo, redução da infiltração de água pelo excesso de íons sódicos e diminuição da fertilidade química (RHOADES et al., 2000).

A alta concentração de sais na solução do solo causa efeitos que são evidenciados na absorção de água devido o baixo potencial osmótico (HARRIS, 1980), pH elevado, e aumento de íons competidores limitando a absorção de nutrientes (KEREN, 2000). Reduzindo o crescimento das plantas, assim como, influenciando negativamente no tamanho e na atividade da biomassa microbiana do solo e processos bioquímicos essenciais para a manutenção de matéria orgânica do solo (RIETZ e HAYNES, 2003; TRIPATHI et al, 2006; YUAN et al., 2007).

Além disso, a degradação do solo, associada ao Na trocável, é de grande ameaça para a produção agrícola, uma vez que diminui potencialmente a colheita em muitas regiões áridas e semiáridas do mundo (BOSSIO et al., 2007). A baixa precipitação e a elevada evapotranspiração nestas regiões promovem o movimento ascendente de sais da solução do solo, que afeta negativamente as características físicas, químicas e biológicas (RENGASAMY, 2006).

E em se tratando de áreas com drenagem inadequada, sais solúveis e Na⁺ trocável podem se acumular no solo e prejudicar severamente e, às vezes, tornar impossível o crescimento de plantas, além de afetar prejudicialmente as propriedades físicas do solo (MELLO et al., 1983). Fato agravado com os sais contidos nas águas de irrigação, que também podem acumular no solo. Cavalcante et al. (2005) ressalta em seu trabalho, que o sódio trocável promove a degradação de algumas propriedades físicas do solo, reduzindo a infiltração da água e, conseqüentemente, dificultando o crescimento dos vegetais.

De acordo com Oades (1988) a concentração elevada de eletrólito desempenha um papel importante na ligação de matéria orgânica e argilas. Alto conteúdo de argila e crescente concentração de eletrólitos tornam a matéria orgânica menos acessível aos microorganismos para a decomposição em solos afetados por sais (NELSON et al., 1997). Assim, a dispersão da argila é negativamente correlacionada com a CE e positivamente correlacionada com RAS e pH (NELSON et al., 1998).

2.1.3 Influências da irrigação na concentração de sais no solo

De acordo com Goes (1978), aproximadamente 25% das áreas irrigadas nos perímetros irrigados do Nordeste apresentam problemas de salinidade e, segundo o DNOCS (1991), a área afetada por sais nos diversos perímetros irrigados varia de 3 a 29,4% da superfície agrícola utilizável a percentagem média é de 7,8%, que corresponde a 2.000 hectares.

A maioria dos processos de salinização resulta de más práticas agrícolas associadas à irrigação. Os processos de acumulação de sal em terras irrigadas são em grande parte determinada pela salinidade da água de irrigação e a elevação do nível do lençol freático na área (JOHNSON e LEWIS, 1995).

E dada à demanda de produção de alimento, áreas irrigadas vêm sendo expandida sistematicamente em regiões áridas, sendo favorecida pelas grandes extensões das áreas de sequeiro (THORNE, 1970; GUPTA e ABROL, 1990). Mesmo com água de boa qualidade, projetos de irrigação representam problemas de salinidade em virtude das elevadas temperaturas (GUPTA e ABROL, 1990).

Primavesi (1996) afirma que para um solo se tornar salino não precisa necessariamente existir água salina no subsolo, nem que haja calor muito intenso, pois a própria água doce apresenta sais na solução, mas em pequenas quantidades, possuindo menos de 0,6 mmhos de concentração de sais, dentre eles, principalmente Ca, Na e em menor quantidade de Mg e K, esta quantidade de sais equivale, no máximo a 380 mg de sais dissolvidos por litro de água, ou seja, 380 g/m³. Se avaliando estes valores isoladamente, são quantidades quase que insignificantes, levando-se em conta o efeito cumulativo no solo, com o passar dos anos pode-se ter problemas de salinização em solos irrigados com água doce.

Regiões áridas são frequentemente caracterizadas pela limitada disponibilidade de água potável, por isso, a água salobra vem sendo comumente utilizada. Embora a água salobra possa ser utilizada para a irrigação, o seu uso em superfície e irrigação por aspersão pode prejudicar as plantas. Neste sentido a água de irrigação, com salinidade superior a 3 dS / m deve ser utilizado com cuidado em tais condições (BERNSTEIN, 1981; FAO, 1985;).

2.2 Metais pesados

2.2.1 Origem natural e definições

A ocorrência natural dos metais pesados em solos depende, principalmente, do material de origem sobre o qual o solo se formou e dos seus processos de formação. Os teores de metais aumentam à medida que os processos evoluem, sendo depositados de forma gradativa no solo. Assim, estes metais pesados, têm origem como componentes de rochas, sendo que, por terem origem natural, apresentam menores riscos aos seres vivos e ao meio ambiente (COSTA et al.,2004). À medida que o intemperismo atua, os solos guardam menos características de suas rochas de origem, neste caso, solos muito intemperizados tendem a apresentar concentrações menores de metais que aqueles com intemperismo inicial.

Os metais pesados quimicamente são definidos como um grupo de elementos situados entre o cobre e o chumbo na tabela periódica tendo pesos atômicos entre 63,546 e 200,590 e densidade superior a $4,0 \text{ g/cm}^3$. Nos trabalhos de Malavolta (1980) estabelece um peso específico maior que 5 g/cm^3 ou que possuem número atômico maior que 20 para definir os metais pesados. Já Garcia et al. (1990) fixam uma densidade mínima de $4,5 \text{ g/cm}^3$ para definir metais e Fergusson (1990) de $6,5 \text{ g/cm}^3$. Estes metais são conhecidos por influenciar a atividade do solo, comunidades microbianas e alterando a conformação de enzimas, bloqueando grupos funcionais e pela troca com íons metálicos essenciais (TYLER, 1981).

Enquadra-se, então: metais, semimetais e não-metais, como, por exemplo, o Selênio, normalmente associados à poluição ambiental, à contaminação e à toxidez, abrangendo alguns elementos essenciais às plantas e animais, quando requerido em pequenas concentrações (ALLOWAY, 1990).

A Tabela 1 apresenta os principais tipos de rochas ígneas e sedimentares na litosfera e, estas, apresentam-se enriquecidas com teores de cádmio, cobalto, cromo, cobre, mercúrio, manganês, níquel, chumbo e zinco (ALLOWAY, 1994).

Tabela 1 - Teores de metais na litosfera e nos principais tipos de rochas ígneas e sedimentares.

Elemento	Litosfera	Rochas ígneas (µg/g)			Rochas Sedimentares (µg/g)		
		Ultramáfica	Máfica	Granítica	Argilito	Arenito	Folhetos
Cd	0,10	0,12	0,13	0,09	0,03	0,05	0,22
Co	20	110	35	1	0,1	0,3	19
Cr	100	2980	200	4	1	35	39
Cu	50	42	90	13	5,5	30	39
Hg	0,005	0,004	0,099	0,079	0,159	0,289	0,179
Mn	950	1040	1500	400	620	460	850
Ni	80	2000	150	0,5	7,0	9,0	68
Pb	14	14	3,0	24	5,7	0	23
Zn	75	58	100	52	20	30	120

2.2.2 Origem antrópica dos metais pesados no ambiente

A contaminação ambiental com metais pesados e metalóides devido às atividades de mineração podem resultar em rejeitos de resíduos que entram na cadeia alimentar e são tóxicos aos organismos, incluindo os seres humanos (GIRI et al, 1980; SHARMA e AGRAWAL, 2005). Esses rejeitos geram grandes concentrações de metais pesados no solo (RAZO et al., 2004).

Os principais metais considerados como poluentes são: Pb, Hg e As. Outros como U, Se, Zn, As, Cd, Au, Ag, Cu e Ni podem também ser considerados como tóxicos (LARCHER, 2000; SIEGEL, 2002; TAIZ e ZEIGER, 2004).

Nos centros urbanos, as atividades industriais e o tráfego de máquinas surgem como uma das principais causas da contaminação. A utilização de fontes de energia para as indústrias, por meio da queima de carvão mineral e petróleo, impulsionam a liberação de diversos metais (Zn, Pb, Cr, Hg, Tl, Ni, V, Cd) em forma de vapor ou adsorvido ao material particulado transmitido na atmosfera (SANTI & SEVA FILHO, 2004; MILANEZ, 2007).

Na agricultura, os insumos agrícolas como, calcários, fertilizantes minerais podem constituir fontes de contaminação no solo por metais (KABATA-PENDIAS, 1995), que se encontram como impurezas nesses insumos utilizados. Outras fontes incluem lodo de esgoto, quando usado como adubo orgânico e ou esterco bem como transporte de resíduos no ar (ALLOWAY, 1995).

Um exemplo típico é o uso de fertilizantes fosfatados inorgânicos, como o superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato monoamônico, fosfato diamônico e fosfatos de rocha, que é uma prática comum na agricultura mundial, por serem fontes de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, SE, SI e Zn) para as culturas em solos deficientes, no entanto apresentam uma elevada concentração de metais pesados (MALAVOLTA, 1994).

Na Europa e no EUA cerca de 100.000 ha de terras estão contaminados por metais pesados decorrentes do uso excessivo de insumos agrícolas (LEWANDOWSKI et al., 2006). Lake (1987) externa as variações dos valores e os valores mais frequentes de metais pesados em solos agrícolas (Tabela 2).

Tabela 2 - Teores de metais pesados em solos agrícolas.

Metal	Faixa de variaçãomg /kg.....	Valor mais frequente
Antimônio	2-10	-
Arsênio	0,1-40	6
Boro	2-100	10
Cádmio	0,001-0,7	0,1
Cobre	2-100	20
Cobalto	1-40	15
Chumbo	2-200	30
Cromo	5-1000	100
Ferro	10000-200000	40000
Manganês	100-3000	800
Mercúrio	0,01-0,3	0,03
Molibidênio	1-5	1
Níquel	5-500	50
Zinco	10-300	80

Adaptado Lake(1987)

Numerosas pesquisas vêm demonstrando que os metais pesados afetam a respiração do solo, biomassa, mineralização e nitrificação (BAATH, 1989; GILLER et al., 1998). Estudos focalizando desnitrificação e a produção de óxido nitroso (N₂O) indicaram que os mesmos podem ser inibidos por metais pesados (BARDGETT et al, 1994;. GUMEALIUS et al, 1996; SAKADEVAN et al, 1999; HOLTAN-HARTWIG et al., 2002).

2.3 Interações entre solos afetados por sais e metais pesados

A mobilidade e biodisponibilidade de metais pesados no meio ambiente dependem não apenas da sua concentração total, mas também da sua associação com a fase sólida (URE e DAVIDSON, 1972). Estas associações são regidas por diferentes processos físico-químicos, tais como: absorção, dessorção, precipitação e dissolução (ALMAS et al, 2006; SKRBIC e DJURISIC-MLADENOVIC, 2010). Atributos do solo como pH, capacidade de troca catiônica, teor de sais, afetam estes processos (AHNSTROM e PARKER, 1999; DU LAING et al, 2002).

Os riscos decorrentes de mobilização de metais pesados dependem, sobretudo, das vias que seguem os metais tóxicos. Estas podem ser subdivididas em vias de solo-planta e de solo-água (MEERS et al., 2010). No primeiro caso, é gerado pela a entrada dos metais na cadeia trófica seguida pela dispersão associada com a fauna local. No segundo caso pela mobilização destes metais através da dissolução, escoamento ou lixiviação pela água, representando um risco de contaminação direta das águas subterrâneas.

Relacionando salinidade do solo e mobilidade dos metais Paalman et al. (1994) sugerem que há dois grandes mecanismos que desempenham um papel neste processo, e tem o potencial para aumentar a mobilidade dos metais: primeiro, pela capacidade de complexação de ânions derivados de sais com metais pesados; segundo, da concorrência de cátions derivados dos sais, com metais pesados pelos sítios de sorção na fase sólida.

Bockheim (2005) enfatiza a íntima relação entre os componentes do sistema solo, podendo os metais pesados ser encontrados em diversas formas, a saber: forma iônica em solução, adsorvidos à fase sólida, podendo ser trocável ou não (ligação iônica ou ligação covalente), formando quelatos insolúveis, oclusos em óxidos de ferro e alumínio, ligados aos microrganismos e incorporados às redes cristalinas dos minerais silicatados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais do estudo

O estudo foi realizado em solos de quatro perímetros irrigados do Ceará: Perímetro irrigado Morada Nova; Perímetro irrigado Baixo-Acaraú; Perímetro irrigado Curu-Pentecoste e Perímetro irrigado Icó-Lima Campos.

3.1.1 Perímetro irrigado Morada Nova: Localização e caracterização da área.

O Perímetro Irrigado Morada Nova está localizado nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, no Estado do Ceará, mais especificamente na micro-região do Baixo Jaguaribe, no sub-vale Banabuiú, a 170 km de Fortaleza, com sua maior área (70%) encravada no município de Morada Nova (Figura 1). A implantação foi iniciada no ano de 1968, e os serviços de administração, operação e manutenção da infra-estrutura de uso comum tiveram início em no ano de 1970. A área do perímetro apresenta as seguintes características: 11025,12 ha de área desapropriada; 6.692,12 ha de área de sequeiro; 4.333,00 ha de área irrigável; 596,00 ha a implantar; 3.737,00 ha implantados e 3.677,00 ha com produtor (ADECE, 2011).

O clima da região onde está localizado o perímetro é do tipo BS W'h', muito quente e semiárido, de acordo com a classificação de Köppen e tropical quente, de seca acentuada, de acordo com Gaussen. A temperatura média é de 27,5° C. No decorrer do dia a temperatura oscila entre uma mínima de 26°, que ocorre nas primeiras horas do dia, entre as 5h00 e 7h00, e uma máxima de 32°, ocorrendo entre as 13h00 as 15h00.

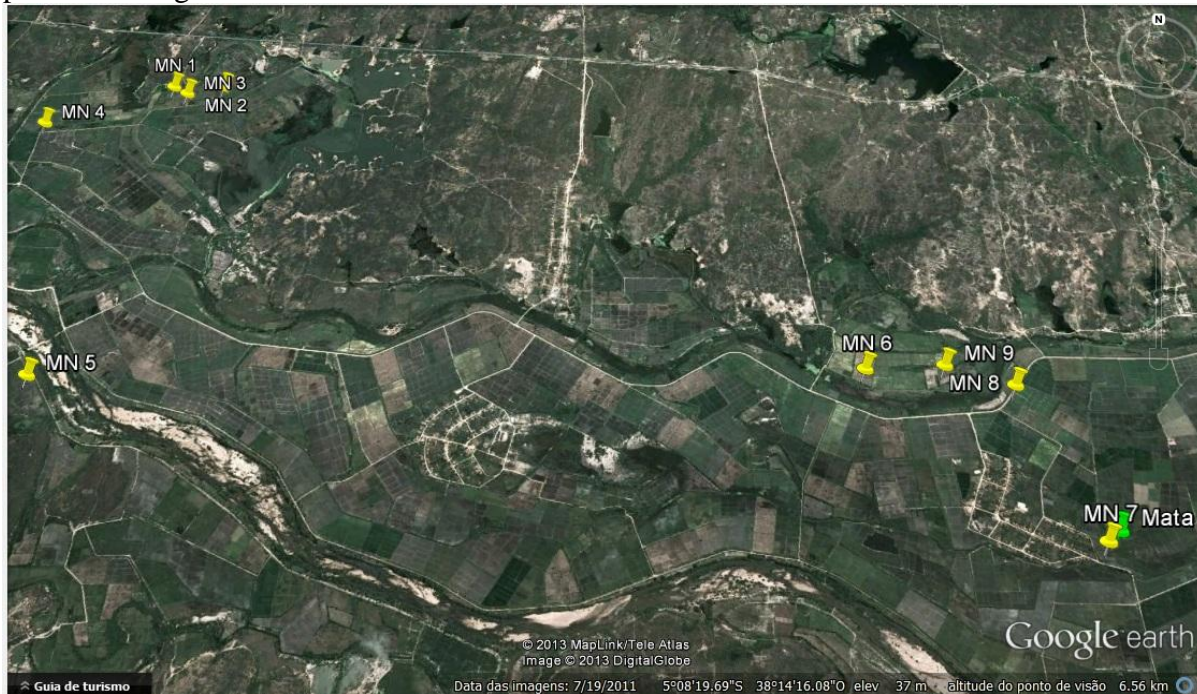
Geralmente, a estação chuvosa tem início em janeiro, indo até junho, concentrando cerca de 80% das precipitações nos meses de março, abril e maio. A média anual situa-se em torno de 660 mm, sendo que essa distribuição das chuvas, através dos anos, tem-se mostrado muito irregular, o que acarreta desvios acentuados, em torno da média.

A insolação média anual é da ordem de 12 horas de sol por dia, e 2.600 horas de sol por ano. A evaporação é bastante elevada, com um mínimo ocorrendo sempre no mês de abril e um máximo em outubro.

Os ventos que sopram, através do vale, atingem velocidades que variam de 3,9 m/s a 5,0 m/s, durante a estação seca do ano, enquanto que na estação chuvosa fica entre 2,8 m/s e 3,5 m/s, com uma média anual em torno de 3,8 m/s. A evaporação é elevada, 2.660,0 mm/ano, com um mínimo sempre em abril e um máximo em outubro. Em toda a extensão do perímetro irrigado o relevo é plano, característico de solos aluviais, margeado por um relevo suavemente ondulado, característico do Município de Morada Nova.

Os solos da classe Neossolo Flúvico, do Perímetro Irrigado Morada Nova, em razão de sua textura diversificada, permitem a exploração de uma extensa gama de culturas. Sua fertilidade natural é, em geral, constante, embora seja necessário prover, em muitos casos, uma adubação orgânica. Alguns solos exigem atenção, justo por apresentarem fenômenos de alcalinização e de salinidade. A Textura dos solos do Perímetro Irrigado Morada Nova é constituída por 22% de solos leves, 41% de solos de textura média e de 37% de solos pesados. O sistema de irrigação utilizado no perímetro irrigado é 100% da área por superfície (gravidade) (DNOCS, 2011).

Figura 1 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Morada Nova.

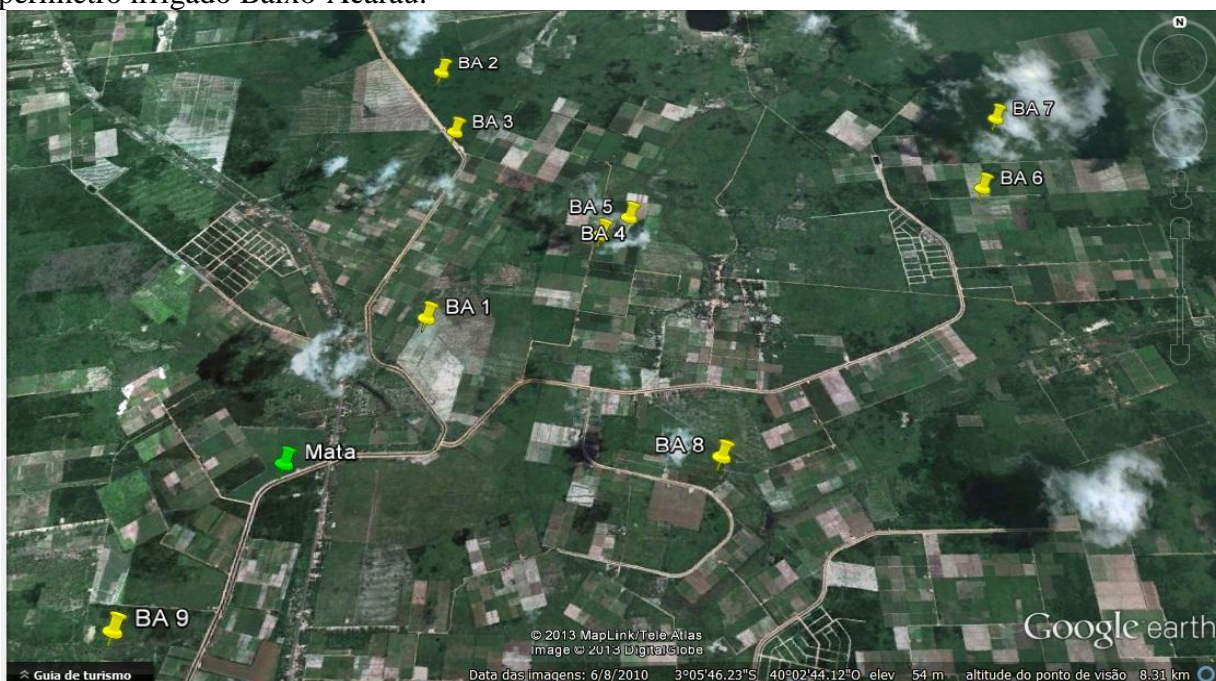


3.1.2 Perímetro irrigado Baixo-Acaraú: Localização e caracterização da área.

Está localizado na região norte do Estado do Ceará, no trecho final da bacia do Rio Acaraú, abrangendo áreas dos municípios de Acaraú, Bela Cruz e Marco (Figura 2). A distância rodoviária do Perímetro Irrigado Baixo-Acaraú a Fortaleza é de 220 km. A implantação foi iniciada em 1983, enquanto os serviços de administração, operação e manutenção da infra-estrutura de uso comum, tiveram início no ano de 2001. A área do perímetro apresenta as seguintes características: 12.407 ha de área desapropriada; 12.407 ha de área irrigável; 3.590,40 ha a implantar; 8.816,61 ha implantados e 8.816,61 ha com produtor (ADECE, 2011).

O clima da região é Aw Tropical Chuvoso com Precipitação média anual de 900 mm; temperatura média anual 28,1°C com máxima e mínima 34,7°C e 22,8°C, respectivamente; insolação 2.650 h/ano; umidade relativa média anual 70%; velocidade média dos ventos 3,0m/s e evaporação média anual 1.600 mm. O relevo é razoavelmente suave, porém, forte declividade longitudinal e os solos são em média profundos, bem drenados, de textura média ou média/leve e muito permeáveis. Os sistemas de irrigação utilizados no perímetro irrigado são: 50% da área por micro-aspersão e 50% da área por gotejamento (DNOCS, 2011).

Figura 2 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú.



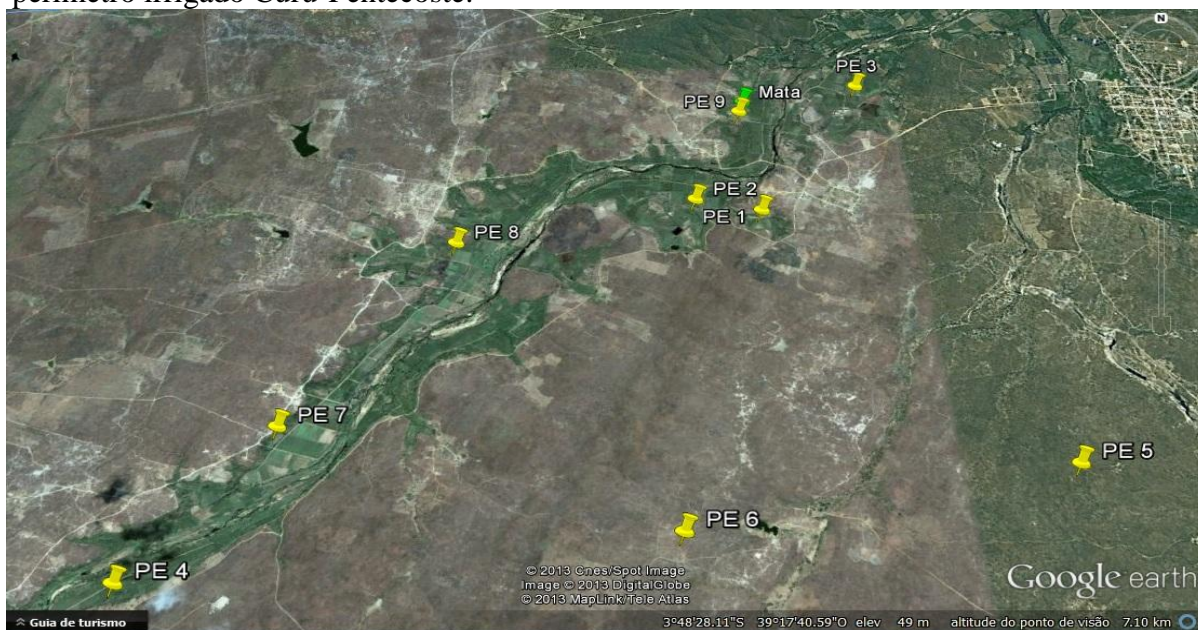
3.1.3 Perímetro irrigado Curu-Pentecoste: Localização e caracterização da área.

O Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste está localizado nos municípios de Pentecoste e São Luiz do Curu (Figura 3), no Estado do Ceará, a 90 km de Fortaleza. A implantação foi iniciada no ano de 1974 e a sua conclusão ocorreu em 1979. Os serviços de administração, operação e manutenção da infra-estrutura de uso comum foram iniciados no ano de 1975. A área do perímetro apresenta as seguintes características: 5.016 ha de área desapropriada; 3.836 ha de área de sequeiro; 1.180 ha de área irrigável; 112 ha a implantar; 1.068 ha implantados e 743 ha com produtor (ADECE, 2011).

A pluviosidade média anual é de 860 mm. As precipitações vão de fevereiro a maio, enquanto a temperatura média anual fica em 26,8° C. As áreas exploradas do perímetro irrigado estão situadas nas baixas aluvionais. O perímetro irrigado apresenta solos classificados como Neossolos Flúvicos de textura entre média e pesada. O sistema de irrigação utilizado no perímetro irrigado é 100% da área por superfície em sulcos (gravidade) (DNOCS, 2011).

Segundo Moraes (2005), os solos encontrados na região do açude Pentecoste são Luvisolos e Planossolos. Os Luvisolos são caracterizados por serem rasos ou moderadamente profundos, com textura arenosa ou média no horizonte A, argilosa ou ocasionalmente média no horizonte B e por apresentar drenagem moderada. Estes oferecem elevados teores de minerais facilmente decomponíveis, os quais constituem fontes de nutrientes para plantas e, até mesmo, como fonte incipiente para os recursos hídricos. Já os Planossolos compreendem solos relativamente rasos, com textura de horizonte A, em geral, apresentando-se arenosa, sobre um B altamente argiloso. Sua fertilidade é limitada pela elevada saturação com sódio, falta de aeração ou excesso de água no período chuvoso e ressecamento na estação seca, o que dificulta a penetração das raízes das plantas.

Figura 3 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Curu-Pentecoste.



3.1.4 Perímetro irrigado Icó-Lima-Campos: Localização e caracterização da área.

O Perímetro Irrigado Icó-Lima Campos, está localizado no Município de Icó, Estado do Ceará, na Planície do Rio Salgado, a 370 km da capital Fortaleza (Figura 4). A implantação foi iniciada no ano de 1969, e os serviços de administração, operação e manutenção da infra-estrutura de uso comum tiveram início no ano de 1973. A área apresenta as seguintes características: 10.583,18 ha de área desapropriada; 6.320,18 ha de área de sequeiro; 4.263 ha de área irrigável; 1.551 ha a implantar; 2.712 ha implantados e 2.541 ha com produtor (ADECE, 2011).

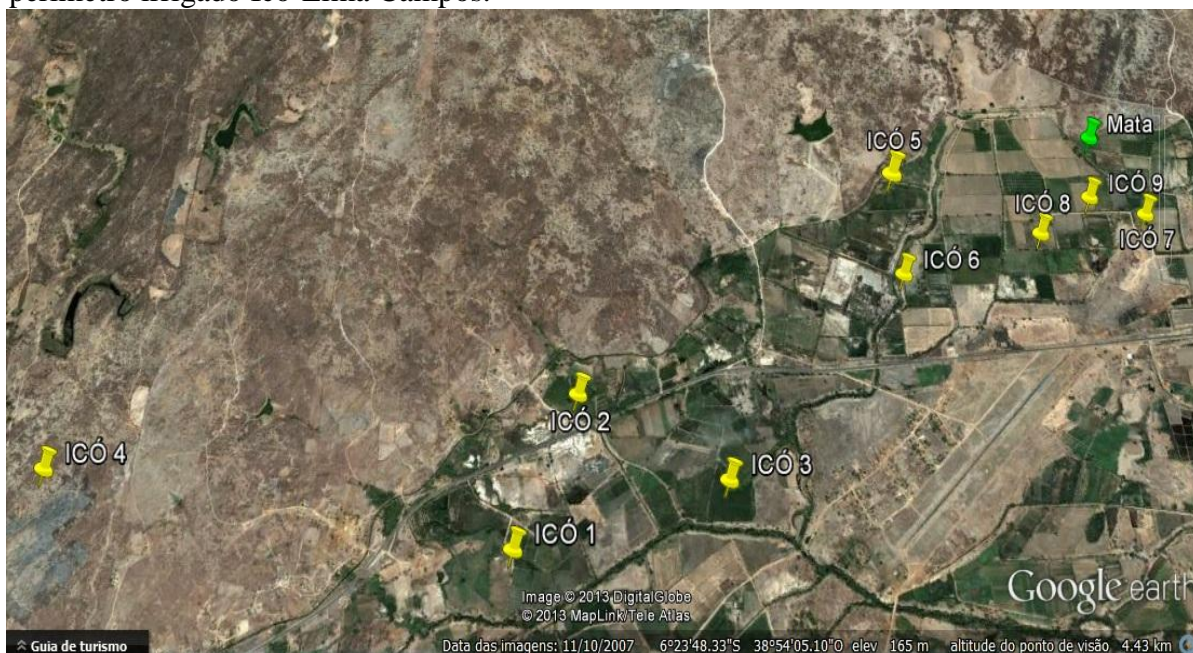
O clima da região é do tipo muito quente e semi-árido, de acordo com a classificação de Koppen. A temperatura média é de 28,5°C. No decorrer do dia a temperatura oscila entre uma mínima de 22,5°C e uma máxima de 38,5°C.

A estação das chuvas, geralmente, tem início em janeiro, indo até junho, com 75% das precipitações concentradas nos meses de março, abril e maio. A precipitação média anual situa-se em 700 mm, com distribuição irregular através dos anos. A insolação média anual é de 2.600 horas e a diária é de 12 horas. A evaporação é bastante elevada, com média de 2.000 mm/ano.

Os solos do Perímetro Irrigado Icó-Lima-Campos foram classificados em dois tipos: Neossolos Flúvicos e halomórficos. Os Neossolos Flúvicos apresentam textura

diversificada, variando desde a textura fina até a textura grossa, estas, por sua vez, perfazem 96% da superfície total do perímetro. Já os solos halomórficos formam apenas 4% da superfície do perímetro, e são considerados solos não recuperáveis. Os sistemas de irrigação utilizados no perímetro irrigado são: 99,57% da área por superfície (gravidade) 0,43% da área por aspersão convencional.

Figura 4 - Vista aérea dos lotes onde foram coletadas as amostras de solo referentes ao perímetro irrigado Icó-Lima Campos.



3.2 Coleta e amostra de solos

De acordo com a topografia da área e influência direta da irrigação, foi estabelecido o perímetro para amostragem dos solos afetados por sais. Em 18 Dezembro de 2012, 20 de Janeiro de 2013, 21 de Janeiro de 2013 e 20 de Fevereiro de 2013, respectivamente foram feitas visitas nas áreas dos Perímetros Irrigados Morada Nova, Baixo-Acaraú, Curu-Pentecoste e Icó-Lima Campos. Coletando-se amostras de solo, seguindo o curso dos rios, onde os solos dos lotes apresentavam visivelmente maiores teores de sais dentro dos perímetros irrigados. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0–10 e 10-20 cm em 10 pontos em cada perímetro, sendo um (1) destes pontos solos de vegetação preservada (totalizando 80 amostras). Tais pontos foram bem espaçados, de forma que obtivesse uma representatividade dos solos dos perímetros.

As amostras, após secas ao ar, foram passadas em peneiras de *nylon* com abertura de 2 mm. Alíquota deste material foi macerada em almofariz de ágata e passado em peneiras

de 0,3 mm de abertura (ABNT n° 50), com malha de aço inoxidável, visando evitar contaminações. Foram coletados aproximadamente 300 kg de solo, sendo 150 na camada de 0-10 e 150 na camada de 10-20 cm em cada perímetro selecionado.

Tabela 3 - Classes de Solos, Localização e Uso das amostras.

Pontos	Classe de solos	Localização		Uso
		Sul	Oeste	
Perímetro Irrigado Morada Nova				
1	Neossolo Flúvico	05° 06` 57.9``	038° 16` 16.1``	Cultivo do Arroz
2	Neossolo Flúvico	05° 06` 58.0``	038° 16` 02.4``	Cultivo do Arroz
3	Neossolo Flúvico	05° 07` 0.4 ``	038° 16` 12.0``	Cultivo da Banana
4	Neossolo Flúvico	05° 07` 11.2``	038° 16` 48.1``	Cultivo do Arroz
5	Neossolo Flúvico	05° 08` 30 ``	038° 11` 57.5 ``	Cultivo do Arroz
6	Neossolo Flúvico	05° 08` 28.3``	038° 13` 17.2``	Cultivo do Arroz
7	Neossolo Flúvico	05° 09` 10.7``	038° 12` 31.0``	Cultivo do Arroz
8	Neossolo Flúvico	05° 08` 32.6``	038° 12` 43.2``	Cultivo da Banana
9	Neossolo Flúvico	05° 08` 27.3``	038° 12` 58.6``	Cultivo do Feijão
SMN	Neossolo Flúvico	05° 09` 08.3``	038° 12` 28.0``	Mata
Perímetro Irrigado Baixo-Acaraú				
1	Neossolo Quatzarenico	03° 04` 58.1``	040° 04` 37.5``	Cultivo de Coco
2	Neossolo Quatzarenico	03° 03` 17.3``	040° 05` 22.3``	Cultivo de Coco
3	Neossolo Quatzarenico	03° 03` 44.4``	040° 04` 34.2``	Cultivo de Banana
4	Neossolo Quatzarenico	03° 04` 27.3``	040° 03` 47``	Cultivo de Coco
5	Neossolo Quatzarenico	03° 04` 20.6``	040° 03` 38.7``	Cultivo de Melancia
6	Neossolo Quatzarenico	03° 03` 40.0 ``	040° 01` 48.3``	Cultivo da Banana
7	Neossolo Quatzarenico	03° 03` 39.5``	040° 01` 38.8``	Cultivo da Graviola
8	Neossolo Quatzarenico	03° 05` 44.4``	040° 03` 14.7``	AB
9	Neossolo Quatzarenico	03° 06` 32.3``	040° 05` 47.7``	Cultivo Banana
SMN	Neossolo Quatzarenico	03° 05` 45.8``	040° 05` 11.9``	Mata
Perímetro Irrigado Curu-Pentecostes				
1	Neossolo Flúvico	03° 48` 10.5``	039° 18` 18.5``	Cultivo da Banana
2	Neossolo Flúvico	03° 48` 06.1``	039° 18` 35.7``	Cultivo Algodão
3	Neossolo Flúvico	03° 47` 22.0``	039° 17` 48.1``	Cultivo Coco
4	Neossolo Flúvico	03° 49` 58.4``	039° 20` 45.7``	Cultivo Banana
5	Neossolo Flúvico	03° 49` 30``	039° 17` 12.5``	Pastagem
6	Neossolo Flúvico	03° 50` 02.6``	039° 21` 09.2 ``	Cultivo Feijão
7	Neossolo Flúvico	03° 49` 18.1``	039° 20` 16.3``	Cultivo Milho
8	Neossolo Flúvico	03° 48` 21.1``	039° 19` 38.2``	Cultivo Feijão
9	Neossolo Flúvico	03° 47` 32.3``	039° 18` 21.9``	Cultivo Coco
SMN	Neossolo Flúvico	03° 47` 28.3``	039° 18` 20.7``	Mata

Perímetro Irrigado Icó-Lima-Campos				
1	Neossolo Flúvico	06° 24' 38.9"	038° 55' 03.5"	Pastagem
2	Neossolo Flúvico	06° 24' 20.4"	038° 54' 55.5"	Cultivo Coco
3	Neossolo Flúvico	06° 24' 17.7"	038° 54' 35"	Pastagem
4	Neossolo Flúvico	06° 25' 46.6"	038° 56' 07.3"	Cultivo Arroz
5	Neossolo Flúvico	06° 23' 50.6"	038° 54' 03.9"	Cultivo de Coco
6	Neossolo Flúvico	06° 24' 04.8"	038° 54' 07.8"	Cultivo de Coco
7	Neossolo Flúvico	06° 23' 56.6"	038° 53' 30.4"	Cultivo de Coco
8	Neossolo Flúvico	06° 23' 59.2"	038° 53' 46.6"	Cultivo Goiaba
9	Neossolo Flúvico	06° 23' 54"	038° 53' 38.2"	Cultivo de feijão
SMN	Neossolo Flúvico	06° 23' 44.9"	038° 53' 36.3"	Mata

AB: Área Abandonada; SMN: Solo da Mata Nativa.

3.3 Atributos analisados

3.3.1 Metais pesados: Teores pseudototais

A digestão das amostras do estudo e da amostra certificada (NIST SRM 2709 San Joaquin soil) baseou-se no método 3050 B (USEPA, 1998). Para este procedimento, utilizou-se 0,5 g da amostra que é digerida em 5 mL de HNO₃ concentrado em tubos de digestão em bloco digestor aberto por 10 minutos a 95 ± 5°C, então as amostras foram resfriadas por 15 minutos e novamente foram adicionados 5 mL de HNO₃. Estas foram conduzidas ao bloco digestor para aquecimento a 95 ± 5°C por mais 2 horas. Após este período as amostras foram resfriadas por 30 minutos e então foram adicionados 1 mL de água destilada e 1,5 mL de H₂O₂ a 30%. Após cessar a efervescência, foi adicionado mais 5 mL de H₂O₂ e as amostras foram levadas novamente ao bloco digestor por mais 2 horas a 95 ± 5°C. Por fim, as amostras foram resfriadas e receberam 10 mL de HCl concentrado e 20 mL de água destilada e foram aquecidas por 15 minutos a 95 ± 5°C. As alíquotas foram resfriadas, filtradas e armazenadas em recipiente plástico.

No método 3050B, utiliza-se ataque por ácido nítrico e água oxigenada, que libera metais ligados à matéria orgânica, aos óxidos e outras frações minerais com exceção da fração silicatada (pseudototal), sendo a sua principal desvantagem o longo tempo para completar a digestão (ABREU et al., 2006).

Foi utilizado o ICP - ACAP 6300 DUO da Thermo Scientific para a determinação dos metais pesados e suas concentrações. As condições de operação do ICP utilizadas na para determinação multielementar estão de acordo com as do fabricante e apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Condições de operação do sistema.

Gás refrigerante (Ar)	8,0 L.min ⁻¹
Gás auxiliar (Ar)	8,0 L.min ⁻¹
Pressão do nebulizador	2,4 bar
Altura de observação vertical	12 mm*
Potência do plasma	1,13 Kw
Velocidade de introdução da amostra	8,0 L.min ⁻¹

* acima da bobina de indução.

As curvas de calibração para determinação dos metais foram preparadas a partir de padrões 1000 mg L⁻¹ (TITRISOL®, Merck) utilizando-se água ultra pura 27 para diluição. As concentrações dos metais nestas soluções foram dependentes da abundância de cada um deles nas amostras analisadas. Todas as curvas de calibração para os metais apresentaram valores de r superiores a 0,999. Os ácidos utilizados nas análises possuíam elevada pureza (Merck PA). Todas as soluções foram preparadas em água ultra pura (Sistema Direct-Q 3 Millipore). Para limpeza e descontaminação das vidrarias, as mesmas foram mantidas em solução de ácido nítrico 5% por 24 horas e enxaguadas com água destilada. A solução de trabalho multielementar foi prepara nas concentrações 1; 5 e 10 ppm em HNO₃ 1%, por diluição da solução estoque. Foi preparado um branco com água deionizada em HNO₃ 1%.

Para análises mais exatas, foi escolhido através de leitura axial e radial o comprimento de onda que permite maior sensibilidade nas leituras e menor interferência causada por outros elementos.

3.3.2 Análises químicas físicas de rotina

As análises químicas e físicas de rotina foram determinadas segundo a metodologia descrita pela Embrapa, (1997).

3.3.2.1 Reação do solo (pH):

Foi medido em água, utilizando eletrodos de vidro em suspensões de solo-água 1:2,5 em volume.

3.3.2.2 Condutividade elétrica (CE):

Foi obtida em extrato solo/água 1:1, utilizando condutivímetro de bancada.

3.3.2.3 Carbono orgânico total:

O carbono orgânico total foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio (K_2Cr_2 0,167 mol/l) em meio sulfúrico (H_2SO_4). O Excesso de dicromato, após a oxidação, foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal $Fe(NH_4)_2(SO_4).6H_2O$ 0,5 mol/l na presença do indicador difenilamina, e posteriormente estimado o teor de matéria orgânica.

3.3.2.4 Potássio (K) e sódio (Na):

Foi feita extração com solução diluída de ácido clorídrico e posterior determinação de K e Na por espectrofotometria de chama. Foi passado o extrato de solo obtido com HCl 0.05N no fotômetro de chama, utilizando o filtro próprio do potássio e sódio respectivamente. Posteriormente foi feita a leitura.

3.3.2.5 Cálcio (Ca) e magnésio (Mg):

Para a determinação do (Ca), foi extraído como solução KCl N e determinação complexiométrica em presença dos indicadores eriochrome e murexida. Em um segundo erlenmeyer foi colocado 2ml de trietanolamina a 50%, 2ml de KOH a 10% e uma pipetada de murexida (aproximadamente 50mg). Em seguida foi titulado com solução de EDTA 0,0125M até viragem de cor rósea para roxa. O cálcio existente é o valor de EDTA gasto. A determinação do (Mg) foi encontrado pela diferença entre os valores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$.

3.3.2.6 Percentagem de Sódio Trocável (PST):

Foi determinado de acordo com a ilustração abaixo:

$$Na / (Ca + Mg + K + Na + (Al+H)) \times 100$$

3.3.2.7 Hidrogênio mais alumínio (H + Al):

Foi colocado 10g de solo em erlenmeyer de 125ml e adicionados 50ml de HCl N. Em seguida a suspensão foi agitada manualmente algumas vezes deixando em repouso durante 30 minutos. Posteriormente, foi filtrado em papel de filtro tipo Whatman N^o 42 de

55cm de diâmetro, adicionando duas porções de 10ml de KCl N. Por fim, adicionando ao filtrado 6 gotas de fenolftaleína a 0,1% e titulado com NaOH até o aparecimento da cor rosa.

3.3.2.8 CTC:

Foi obtida de acordo com a ilustração abaixo:

Ca + Mg + K+ Na + (Al+H) expresso em cmolc/dm^3 .

3.3.2.9 *Análise Física: Análise Granulométrica*

Foi determinada pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986), com dispersão de 20 g de TFSA com hidróxido de sódio 1 mol L^{-1} . As areias foram separadas em peneira de malha 0,053 mm de diâmetro. O silte e a argila foram separados por sedimentação, conforme a Lei de Stoke.

A tabela 5 apresenta as características Físico-Químicas dos solos dos quatro perímetros irrigados.

Tabela 5 - Características Físico-Químicas dos solos dos quatro perímetros irrigados.

Pontos	Prof. (cm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	CO	Areia	Silte	Argila
	cmol/dm ³						g/kg%.....		
Perímetro irrigado Morada Nova											
1	0-10	9,68	4,26	16,81	0,39	0,20	31,33	10,43	55,8	26,4	17,8
	10-20	5,28	1,83	5,33	0,23	-	12,67	6,09	61,7	21,6	16,7
2	0-10	8,04	3,44	16,29	0,45	-	28,23	11,70	39,0	33,2	27,9
	10-20	7,51	3,18	8,63	0,23	-	19,56	5,61	24,4	42,9	32,7
3	0-10	2,58	2,11	0,46	0,43	2,20	7,77	13,81	77,4	13,1	9,5
	10-20	2,09	1,56	0,17	0,19	1,20	5,21	5,55	75,2	13,4	11,4
4	0-10	6,75	3,71	2,46	0,45	-	13,37	11,76	40,7	34,5	24,9
	10-20	5,31	3,06	1,43	0,19	-	10,00	5,31	47,3	33,6	19,1
5	0-10	10,96	4,74	5,17	0,35	-	21,22	15,44	11,2	42,2	46,7
	10-20	11,36	5,33	7,85	0,65	-	25,19	8,20	11,3	39,8	49,0
6	0-10	3,72	1,70	0,16	0,61	1,20	7,39	8,62	60,0	27,3	12,8
	10-20	4,66	1,84	0,33	0,27	-	7,70	6,27	59,8	27,0	13,3
7	0-10	12,27	4,76	4,04	0,27	-	21,34	13,51	22,2	42,6	35,2
	10-20	11,59	4,43	4,71	0,22	-	20,95	8,56	24,3	42,8	33,0
8	0-10	3,25	2,07	0,47	0,15	-	5,94	9,53	52,0	33,6	14,4
	10-20	3,80	2,27	0,91	0,17	-	7,15	4,76	52,7	30,0	17,3
9	0-10	3,92	2,33	0,99	0,31	-	7,55	8,80	61,9	21,8	16,3
	10-20	2,62	1,58	0,56	0,20	-	4,96	3,80	70,3	17,5	12,2
SMN	0-10	5,00	2,45	0,27	0,56	-	10,08	13,63	49,1	33,5	17,4
	10-20	10,2	4,10	1,03	0,24	1,80	17,40	8,92	29,4	46,5	24,1
Perímetro irrigado Baixo-Acaraú											
1	0-10	1,16	1,08	0,31	0,10	-	2,64	4,51	91,7	3,8	4,5
	10-20	1,04	0,36	1,76	0,12	-	3,27	3,72	90,7	3,9	5,4
2	0-10	0,58	0,15	1,22	0,11	2,40	4,46	2,75	90,8	5,0	4,2
	10-20	0,58	0,42	3,62	0,43	1,40	6,44	3,60	82,1	6,9	11,0
3	0-10	1,87	0,73	0,20	0,06	-	2,86	9,44	90,5	4,6	4,9
	10-20	0,65	0,23	0,18	0,04	-	1,10	2,80	93,4	1,2	5,4
4	0-10	2,50	0,97	0,10	0,07	-	3,64	12,79	87,0	6,2	6,8
	10-20	0,42	0,21	0,05	0,04	-	0,72	2,80	91,6	1,9	6,6
5	0-10	1,37	0,44	0,23	0,62	-	2,66	5,73	88,1	5,7	6,3
	10-20	0,65	0,15	0,12	0,16	0,40	1,48	3,05	90,9	2,1	7,0
6	0-10	1,28	0,50	0,13	0,07	-	1,98	7,01	86,9	8,0	5,1
	10-20	1,07	0,12	0,25	0,04	-	1,47	6,40	92,4	2,2	5,4
7	0-10	1,39	0,54	0,27	0,23	0,60	3,03	7,92	88,0	5,6	6,5
	10-20	0,17	0,11	0,09	0,10	1,20	1,66	3,05	85,5	6,0	8,6
8	0-10	1,89	0,74	1,23	0,66	-	4,53	8,22	87,6	6,9	5,5
	10-20	0,43	0,23	0,54	0,30	0,40	1,90	2,25	82,9	7,2	9,9
9	0-10	0,48	1,27	6,27	0,34	2,20	10,56	9,32	81,7	9,0	9,4
	10-20	0,06	0,15	0,80	0,04	2,00	3,05	2,56	82,0	8,4	9,7
SMN	0-10	1,32	0,38	0,27	0,17	1,40	3,53	10,36	91,8	2,2	6,0
	10-20	0,24	0,11	0,06	0,05	1,00	1,45	3,35	93,7	0,3	6,1

Pontos	Prof. (cm)	Ca ²⁺cmol _c /dm ³	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC _t	CO g/kg	Areia	Silte	Argila
Perímetro irrigado Pentecoste											
1	0-10	8,4	3,53	3,92	0,23	-	16,04	33,22	40,2	38,7	21,1
	10-20	3,1	2,20	3,04	0,20	-	8,59	16,76	59,6	24,8	15,6
2	0-10	16,0	7,16	7,39	0,65	0,60	31,77	19,96	8,6	49,3	42,1
	10-20	12,8	5,27	9,38	0,53	-	27,99	11,46	9,8	46,7	43,5
3	0-10	13,6	6,46	4,13	0,22	-	24,40	31,63	19,4	48,7	32,0
	10-20	10,2	4,43	5,53	0,27	-	20,47	8,02	18,8	46,3	34,9
4	0-10	8,2	3,16	9,05	0,09	-	20,50	10,31	67,5	22,1	10,4
	10-20	4,6	1,82	2,51	0,05	-	8,99	7,18	65,4	23,9	10,8
5	0-10	22,5	11,98	63,34	0,41	0,60	98,84	28,58	27,2	57,9	14,9
	10-20	7,7	3,50	18,44	0,18	-	29,78	10,55	18,1	51,1	30,9
6	0-10	11,5	5,03	12,67	0,55	-	29,79	8,44	74,9	17,6	7,5
	10-20	7,4	2,54	7,38	0,41	-	17,73	8,50	78,9	14,2	6,9
7	0-10	8,9	3,57	9,92	0,39	-	22,78	16,22	15,6	56,7	27,8
	10-20	12,7	4,02	10,62	0,39	-	27,75	15,38	14,8	59,7	25,5
8	0-10	23,9	3,63	113,53	0,25	-	141,0	16,76	47,2	35,3	17,6
	10-20	5,3	1,77	38,83	0,17	-	46,11	8,62	44,4	35,0	20,6
9	0-10	17,1	6,63	23,23	0,38	-	47,34	18,87	47,1	34,2	18,7
	10-20	7,0	2,89	7,12	0,24	-	17,26	9,65	11,4	72,4	16,1
SMN	0-10	2,2	0,82	0,10	0,55	2,00	5,63	14,47	77,0	14,1	8,9
	10-20	1,9	0,69	0,12	0,34	1,20	4,27	4,34	77,7	12,7	9,6
Perímetro irrigado Icó-Lima Campos											
1	0-10	7,8	1,22	6,94	0,42	-	16,39	13,44	53,6	31,9	14,5
	10-20	3,0	1,64	7,34	0,12	-	12,10	3,11	71,5	14,7	13,8
2	0-10	5,7	0,67	0,86	0,25	-	7,52	5,86	78,2	14,4	7,4
	10-20	0,7	1,02	3,70	0,21	-	5,59	4,03	78,3	14,1	7,6
3	0-10	1,8	0,96	40,40	1,05	-	44,24	5,31	73,1	19,0	7,9
	10-20	0,7	5,86	9,98	0,45	-	16,95	2,56	74,5	16,8	8,7
4	0-10	6,5	14,42	42,89	0,31	0,60	64,76	15,57	48,6	33,1	18,3
	10-20	4,0	1,09	34,45	0,14	-	39,70	8,49	42,8	35,3	21,9
5	0-10	1,4	1,33	0,22	0,16	-	3,13	3,05	82,7	11,0	6,4
	10-20	0,8	0,63	0,14	0,07	-	1,60	1,22	88,7	6,6	4,7
6	0-10	6,0	3,12	0,42	0,50	1,40	11,43	21,86	41,4	37,4	21,2
	10-20	6,3	1,84	0,61	0,18	0,40	9,35	10,38	54,1	25,2	20,7
7	0-10	2,9	1,31	2,55	0,16	-	6,96	10,50	67,2	21,1	11,7
	10-20	2,4	1,18	2,15	0,07	-	5,82	6,11	70,5	18,0	11,5
8	0-10	1,1	0,95	11,59	0,16	-	13,84	6,90	64,5	20,1	15,4
	10-20	9,7	1,27	2,00	0,09	-	13,10	5,92	65,7	20,6	13,8
9	0-10	2,5	1,36	1,63	0,20	-	5,71	5,98	73,0	17,4	9,6
	10-20	2,8	0,49	5,23	0,06	-	8,55	3,48	72,8	16,3	10,9
SMN	0-10	2,7	1,28	4,94	2,77	1,40	13,12	10,63	55,7	18,5	25,8
	10-20	2,3	5,32	7,68	0,72	0,80	16,79	5,19	55,5	15,4	29,1

SMN: Solo da Mata Nativa; - : valores iguais a 0.

3.4 Análises estatísticas

3.4.1 *Análise de correlações canônica (ACC)*

Para análise de correlações canônicas adotou-se dois grupos: O grupo um (1) variáveis relacionadas com a salinização do solo (pH, CE, PST e CTC) e o grupo (2) variáveis constituídas pelos metais pesados (Al, B, Hg, Mn, Mo, Si, Zr, Cr, Fe, V, Ni, Pb, Ti, Zn, As, Se, Cd, Co e Cu) de acordo com os procedimentos descritos por Dunteman (1984).

A análise de correlação canônica se caracteriza por avaliar relações entre dois complexos, influenciados, no mínimo, por dois caracteres. Desta maneira genérica considera-se que o primeiro complexo é estabelecido por x caracteres e o segundo por y . O número de relações canônicas é igual ou menor número de caracteres que constitui um dos complexos (X ou P) e a sua magnitude sempre decresce com a ordem em que são estimadas. Entretanto, o primeiro coeficiente é sempre maior ou igual, em valor absoluto, a qualquer coeficiente de correlação simples, ou múltipla, entre os caracteres do primeiro e do segundo.

Para a construção do banco de dados foram utilizados os softwares Microsoft Office Access® (2007), Microsoft Office Excel® (2007) e as análises estatísticas no IBM PASW Statistics 18.0 (2010).

3.4.2 *Análise Fatorial por Componentes Principais (AF)*

Foi realizada análise multivariada empregando técnicas de análise fatorial por componentes principais (AF) para o entendimento de como os atributos interagem. Foram considerados os atributos CTCt, PST, pH, CE, Al, B, Hg, Mn, Mo, Si, Zr, Cr, Fe, V, Ni, Pb, Ti, Zn, As, Se, Cd, Co e Cu, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, cujos valores originais foram normalizados para média igual 0 e variância igual a 1, a fim de compor as variáveis utilizadas na AF.

À matriz de correlação dos atributos com os componentes considerar-se-á o nível de significância de 5% de probabilidade para, então, selecionar os atributos tidos como significativos que apresentam alta correlação com o componente principal em que se encontram. Na AF, os fatores com autovalores maiores que 1,0 foram extraídos por componentes principais, e os eixos fatoriais foram rotacionados pelo método Varimax. Estabeleceu-se para este estudo o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas.

Para a construção do banco de dados foram utilizados os softwares Microsoft Office Access® (2007), Microsoft Office Excel® (2007) e as análises estatísticas no IBM PASW Statistics 18.0 (2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação dos solos quanto à salinidade

A maioria das amostras nos quatro perímetros irrigados apresentaram características de solos afetados por sais em diferentes graus (Tabela 6). No Perímetro irrigado Morada Nova verificaram-se as três classes de solos afetados por sais: Salinos, Sódicos e Salino-Sódico. No perímetro irrigado Baixo-Acaraú foi observado apenas solos Sódicos degradados. Já para o perímetro irrigado Curu-Pentecoste, aproximadamente 80% das amostras de solos coletadas foram classificadas como Salinos-Sódicos, os outros 20% classificadas como solos sódicos e Sódicos degradados. O perímetro irrigado Icó-Lima Campos apresentou 50% dos solos classificados como Salinos-Sódicos, inclusive o solo da vegetação nativa e 30% de solos Sódicos. Os solos Normais apareceram em todos os perímetros.

Tabela 6 - Classificação dos solos dos quatro perímetros quanto à salinidade.

Pontos	pH (H ₂ O) 1:2,5		CE (1:1) ds/m		PST ^I %		Classificação	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Perímetro irrigado Morada Nova								
1	6.75	7.52	11,45	4,45	53,65	42,05	Salino-Sódico	Salino-Sódico
2	8.2	8.72	7,66	1,53	57,72	44,14	Salino-Sódico	Sódico
3	5.66	6.79	2,95	0,33	5,94	3,30	Solo ácido	Normal
4	7.06	8.20	1,50	0,70	18,42	14,31	Sódico*	Normal
5	7.56	7.86	1,97	0,24	24,38	31,17	Sódico	Sódico
6	6.80	6.91	0,65	0,55	2,18	4,23	Normal	Normal
7	8.5	8.52	1,24	0,90	18,95	22,47	Sódico	Sódico
8	7.62	7.72	4,09	4,14	7,90	12,70	Salino	Salino
9	7.22	7.52	0,64	0,37	13,12	11,25	Normal	Normal
SMN	5.86	5.83	1,58	2,91	2,68	5,95	Normal	Normal
Perímetro irrigado Baixo- Acaraú								
1	7.76	7.05	0,62	2,20	11,86	53,68	Normal	Sódico*
2	3.16	5.03	2,11	2,11	27,39	56,18	Sódico*	Sódico*
3	7.62	7.80	0,49	0,31	6,85	16,67	Normal	Sódico*
4	7.41	7.14	0,44	0,15	2,87	6,68	Normal	Normal
5	7.40	6.86	1,44	2,91	8,65	7,95	Normal	Normal
6	7.37	7.14	0,32	0,24	6,37	16,81	Normal	Sódico*
7	6.84	5.51	0,62	0,28	9,03	5,23	Normal	Normal
8	7.22	5.62	2,13	1,03	27,29	28,44	Sódico*	Sódico*
9	4.90	4.81	6,66	1,03	59,37	26,08	Sódico*	Sódico*
SMN	6.24	6.00	0,40	0,23	7,51	3,89	Normal	Normal
Perímetro irrigado Curu-Pentecostes								
1	7.40	7.34	2,13	1,43	24,45	35,41	Sódico*	Sódico*
2	6.64	7.01	6,87	4,49	23,27	33,52	Salino- sódico	Salino- sódico
3	7.61	7.93	7,66	4,13	16,94	27,02	Salino- sódico	Salino- sódico
4	7.87	8.52	7,13	1,71	44,15	27,94	Salino- sódico	Sódico
5	6.58	7.28	26,41	7,84	64,08	61,93	Salino-sódico	Salino-sódico
6	7.55	7.87	14,26	6,81	42,52	41,64	Salino-sódico	Salino-sódico

7	7.44	7.36	6,43	7,04	43,55	38,28	Salino-sódico	Salino-sódico
8	7.33	8.16	32,58	20,07	80,35	84,22	Salino-sódico	Salino-sódico
9	8.12	8.51	15,32	3,87	49,06	41,28	Salino-sódico	Sódico
SMN	5.5	5.47	0,29	0,25	1,81	2,79	Normal ácido	Normal ácido
Perímetro irrigado Icó-Lima-Campos								
1	8,6	9.37	4,67	2,13	42,31	60,66	Salino-Sódico	Salino-Sódico
2	8.63	8.54	0,88	0,37	40,59	66,14	Sódico	Sódico
3	8.01	8.30	20,25	6,16	91,32	58,87	Salino-Sódico	Salino-Sódico
4	6.79	7.41	19,37	14,79	66,23	86,77	Salino-Sódico	Salino-Sódico
5	8.59	7.94	0,32	0,26	7,09	8,61	Normal	Normal
6	6.70	7.54	0,37	0,35	3,68	6,56	Normal	Normal
7	8,3	9.13	4,00	0,88	36,63	36,92	Salino-Sódico	Sódico
8	8.48	8.93	5,28	0,88	83,72	15,24	Salino-Sódico	Sódico
9	8,6	9.45	1,36	2,15	28,58	61,20	Sódico	Sódico
SMN	6.96	6.20	4,01	4,00	37,64	45,72	Salino-Sódico	Salino-Sódico

CE: Condutividade elétrica; PST: Porcentagem de Sódio trocável; SUP = Camada Superficial (0-10cm); SUB = Camada subsuperficial (10-20cm); Sódico* = Solo Sódico degradado; SMN = Solo da Mata Nativa; 1 = obtida como o Na total e CTC sem corrigir os sais solúveis.

4.2 Teores pseudototais de metais pesados nas amostras de solo

4.2.1 Materiais de referência certificados

Os valores de recuperação de metais pesados para solubilização total das amostras do material de referência certificado (NIST SRM 2709 San Joaquin soil) variaram de 73 a 130 % (Tabela 7), encontrando-se dentro da faixa recomendada para a maioria dos elementos estudados (USEPA, 1996). Portanto, os resultados de recuperação dos analitos na amostra certificada atestam a qualidade das análises. A única exceção foi com relação ao elemento Pb, onde a taxa de recuperação foi de 47 %. Tal fato pode ser atribuído devido o método convencional em bloco digestor aberto, como o USEPA 3050B, é laborioso, além de resultar em possíveis perdas por volatilização, sendo, então, recomendada para tal elemento, a extração em microondas, não só por ser menos poluidora como também resulta em menor perda de elementos por volatilização e secagem da solução extratora. Além disso, proporciona menor tempo de digestão, boa recuperação de muitos dos elementos voláteis, reduz o risco de contaminação externa e requer menor quantidade de ácidos (BETTINELLI et al., 2000).

Tabela 7 - Faixa de concentração e teor médio de metais pesados certificados (NIST SRM 2709 San Joaquin soil) pela US Department of Commerce utilizados nas análises pelo método USEPA (3050 B).

Elementos	Faixa de variação dos valores certificados (NIST)	Valor certificado Médio (NIST)	Teores totais Médios	Valor recuperado Médio (1)
		mg/kg		%
Al	13.000-17.000	15.000	13.369,56	80
B	*	*	29,14	*
Hg	0,79 – 0,92	0,85	0,84	99
Mn	380 – 450	415	420,29	101
Mo	*	*	1,06	*
Si	*	*	318,92	*
Zr	*	*	0,51	*
Cr	46 – 67	56.5	68,50	121
Fe	22.000 – 2.6000	24.000	17.329,30	73
V	43 – 71	57	55,38	97
Ni	59 – 71	65	73,81	113
Pb	8,1 – 10	9,05	4,23	47
Ti	*	*	42,52	*
Zn	69 – 87	78	86,64	111
As	6,4 – 10	8,2	7,52	91
Se	0,69 – 1,9	1,3	1,70	130
Cd	0,33 – 0,66	0,5	0,50	100
Co	8,2 – 13	10,6	12,93	121
Cu	24 – 28	26	20,09	78

(1) % R = (valor recuperado médio/valor certificado médio) x 100; *Valores não fornecidos pelo NIST (2002).

4.2.2 Cobre, Níquel e Cobalto

Os teores dos elementos nos solos dos quatro perímetros estudados situaram-se em uma ampla faixa de variação: 0 - 45,58 mg kg⁻¹ para o Cu, 0 - 51,52 mg kg⁻¹ para o Ni e 0,11- 40,29 mg kg⁻¹ para o Co (Tabela 8). Considerando os resultados nas duas camadas, camada superficial (SUP) 0-10 cm e camada subsuperficial (SUB) 10-20 cm, observou-se pouca variação. Os maiores teores médios observados foram em solos do perímetro irrigado Curu-Pentecoste, 11,05 e 17,39 mg Cu/kg de solo; 30,21 e 31,42 mg Ni/kg; 21,53 e 21,67 mg Co/Kg e Perímetro irrigado Morada Nova 12,75 e 13,86 mg Cu/kg; 25,96 e 28,25 mg Ni/kg; 14,34 e 15,72 mg Co/Kg, para as camadas superficiais e subsuperficiais. Os menores teores no solo concentraram-se no perímetro irrigado Baixo-Acaraú, com teores médios de 3,53 (SUP) e 2,39 (SUB); 1,36 (SUP) e 1,02 (SUB); 0,24 (SUP) e 0,23 (SUB), para o Cu, Ni e Co, respectivamente. Este fato pode ser explicado pela granulometria apresentada em todas as amostras coletas, composta por mais de 90 % por areia.

Com relação aos teores dos solos na mata nativa, em alguns solos, ultrapassaram a média 41,65 (SUP) e 31,17 (SUB) mg Cu/kg, perímetro irrigado Curu-Pentecoste; 51,52 mg

Ni/kg (SUP) perímetro irrigado Morada Nova. Corroborando a ideia que estes elementos estão relacionados com a geologia da área, composta por rochas sedimentares argilo-arenosas.

Teores de Cu abaixo de 60 mg kg^{-1} , Ni abaixo de 30 mg kg^{-1} e Co abaixo de 25 mg kg^{-1} são valores de referência para solos não contaminados e teores de referência e 70 mg kg^{-1} Cu, 200 mg kg^{-1} Ni e 35 mg kg^{-1} Co níveis de investigação agrícola (CETESB, 2009). Os teores de Ni e Cu encontrados nas amostras de solos analisadas estão abaixo dos valores de referência para solos não contaminados. Todavia, em relação ao elemento Co, o ponto (2), $40,36 \text{ mg kg}^{-1}$ e $38,73 \text{ mg kg}^{-1}$, do perímetro irrigado Pentecoste, ultrapassou o nível de investigação (35 mg kg^{-1}) para as camadas superficiais e subsuperficiais (CETESB, 2009). Tal fato pode ser atribuído ao alto teor de argila presente neste ponto, acima de 43%.

Valadares (1975) analisando 227 amostras de 28 perfis de 14 das principais unidades de solos de São Paulo, observou teores de Cu (1 a $228,3 \text{ mg kg}^{-1}$) assim como Campos et al. (2003) observaram teores de Cu em Latossolos variando entre 3 e 238 mg kg^{-1} , onde as maiores concentrações de metais foram observadas nos solos derivados do basalto e rochas máficas, respectivamente.

Valores totais de Ni são reportados por Caridad Cancela (2002), em amostras de solos não contaminadas do Estado de São Paulo variaram de 14,8 a $50,2 \text{ mg kg}^{-1}$.

De igual modo, em estudo de metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo, Andrade et al. (2009) encontraram valores semelhantes de Ni variando 16,5 a 22,6. Já Costa et al. (2012) obtiveram valores abaixo dos teores naturais de Ni na rodovia transamazônica do estado do Pará, com média de $1,77 \text{ mg kg}^{-1}$.

No que concerne ao Co, os teores na litosfera oscilam entre 1,0 e $4,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (GOLDSCHMIDT, 1954; HODGSON, 1963; MASON, 1971). Valadares (1972) apresenta dados onde o cobalto no solo varia de 1 a 40 mg kg^{-1} , estando em torno de 8 mg kg^{-1} o valor médio. Em solos de Pernambuco a pequena quantidade destes metais nos materiais de origem oriundos de rochas metamórficas e sedimentares e sedimentos do Terciário (RIBEIRO et al., 1999).

Semelhantemente, valores de Co ao encontrado no estudo foram observados em solos não poluído da Egípcia, variando entre 13,12 a $23,20 \text{ mg kg}^{-1}$ nos moderadamente poluídos, de 26,5 a $30,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Co/kg, e nos altamente poluídos, de 36,0 a $64,69 \text{ mg kg}^{-1}$ de Co/kg (ZOHNY, 2002).

Tabela 8 - Teores Totais de Cu, Ni e Co nas Camadas Superficiais (0-10 cm) e Subsuperficiais (10-20 cm) em quatro perímetros irrigados do Ceará.

Pontos	Cu		Ni		Co	
mg/kg.....					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Perímetro irrigado Morada Nova						
1	10,64	10,54	21,62	20,71	11,84	11,41
2	16,24	21,59	20,71	32,97	17,03	20,45
3	6,15	6,96	32,97	42,67	7,60	8,73
4	13,54	12,46	42,67	10,97	14,49	14,72
5	24,74	24,98	10,97	14,18	25,74	30,91
6	8,35	10,46	14,18	28,71	9,95	10,34
7	19,14	19,57	28,71	28,29	23,00	23,38
8	7,65	10,87	28,29	47,22	9,61	12,94
9	8,33	7,33	47,22	51,52	9,76	8,63
SMN	10,39	17,55	51,52	17,46	13,87	21,29
Média	12,75	13,86	25,96	28,25	14,34	15,72
Perímetro irrigado Baixo- Acaraú						
1	3,69	1,91	3,45	1,45	0,28	0,32
2	1,91	0,00	1,59	2,66	0,17	0,50
3	0,00	1,93	2,75	0,01	0,30	0,14
4	1,93	4,09	0,19	0,01	0,27	0,17
5	4,09	1,28	0,29	0,22	0,24	0,17
6	1,28	9,75	0,12	1,85	0,22	0,24
7	9,75	1,21	0,62	0,35	0,14	0,13
8	1,21	2,34	1,85	1,70	0,32	0,22
9	2,34	1,45	1,41	0,99	0,19	0,17
SMN	1,45	4,42	1,23	1,73	0,14	0,16
Média	3,53	2,39	1,36	1,02	0,24	0,23
Perímetro irrigado Pentecoste						
1	8,35	5,16	30,22	22,49	20,35	14,97
2	16,09	19,27	47,60	51,20	40,36	38,73
3	15,46	14,96	38,82	40,79	26,71	29,60
4	2,50	6,25	18,08	25,26	11,24	15,03
5	6,24	9,22	26,18	33,15	19,92	22,37
6	15,32	13,60	21,81	19,60	14,23	12,90
7	18,36	16,45	41,38	37,03	28,68	25,97
8	4,66	45,58	21,58	27,86	14,79	18,85
9	12,51	25,97	26,23	25,41	17,48	16,63
SMN	41,65	31,17	6,82	9,20	7,41	8,84
Média	11,05	17,39	30,21	31,42	21,53	21,67
Perímetro irrigado Icó-Lima-Campos						
1	6,67	5,43	10,13	8,85	8,33	7,62
2	3,36	3,63	4,20	4,10	3,47	3,88
3	1,81	2,02	2,34	3,26	2,49	2,92
4	8,02	8,64	10,70	12,52	11,61	13,72
5	10,13	8,26	4,70	3,50	3,31	2,65
6	9,46	7,67	10,38	10,67	8,52	8,02
7	4,54	3,39	5,38	5,82	5,25	5,73
8	4,44	6,49	6,46	7,98	6,08	6,57
9	3,17	3,83	5,54	6,10	5,57	6,14
SMN	4,77	3,15	10,25	10,96	4,35	4,45
Média	5,64	5,25	6,65	6,98	6,07	6,36

4.2.3 Ferro, Manganês e Zinco

O conhecimento dos teores de Fe e Mn nos solos é de suma importância, apesar de esses elementos não serem diretamente citados em legislações ambientais, pois, além de se tratar de micronutrientes essenciais aos vegetais, a presença destes elementos como constituintes principais de rocha faz com que tenham importância no estudo da geoquímica dos solos, inclusive indicando, indiretamente, os teores de outros metais pesados.

Os teores totais de Mn e Fe variaram consideravelmente dentro dos pontos analisados, 0,25 - 1211,68 mg kg⁻¹ para o Mn, 103,74 - 20946,33 mg kg⁻¹ para o Fe, sendo os maiores valores observados destes elementos nos pontos (2 e 7) referente a solos do perímetro irrigado de Pentecoste e ponto (5) referente a solos do perímetro irrigado Morada Nova (Tabela 9). Estes teores são considerados elevados quando comparados com os teores contidos dos solos da vegetação nativa. Este acúmulo resulta da formação de óxidos em maiores teores nesta região de intemperismo mais intenso que as outras regiões do estado e ou da interferência antrópica pela aplicação de adubos e defensivos agrícolas.

Os principais minerais de ferro de origem sedimentar são representados, em sua maioria, pela hematita, goethita, pirita (FeS₂) e outros (WEDEPOHL, 1978). A concentração média de ferro encontrada nos solos é 40000 mg/kg (EPSTEIN, 1972 e BOWEN, 1979). O manganês está presente em vários grupos de minerais (silicatos, óxidos, sulfatos, carbonatos, etc.), sobretudo, em minerais silicáticos formadores de rochas. As concentrações de manganês nos solos em geral variam de 300 a 8.000 mg/kg, com uma média de 700 mg/kg (KABATA - PENDIAS e PENDIAS, 1992).

Burt et al. (2003) comparando teores de Mn em solos com e sem atividade antrópica, constataram não haver diferença no teor deste elemento em função da atividade humana, considerando-se este fato reflexo da relativa abundância e intensa dinâmica deste elemento, que possui diversos estados de oxidação no solo e cuja especiação é dependente do pH e potencial de oxi-redução. Comportamento análogo se aplica ao Fe pela semelhança entre os elementos.

Tabela 9 - Teores Totais de Fe, Zn e Mn nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.

Pontos	Fe		Zn		Mn	
mg/kg.....					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Perímetro irrigado Morada Nova						
1	11209,77	11041,47	90,77	62,86	238,30	296,93
2	14707,17	17354,57	84,44	84,06	407,39	493,67
3	6910,49	8407,84	39,81	38,53	277,97	231,19
4	13807,97	13519,67	52,94	53,61	267,80	329,02
5	18972,57	19794,37	105,04	113,93	858,81	929,32
6	9785,07	10097,37	44,41	64,68	282,56	290,67
7	17547,17	17898,17	81,63	106,28	663,16	617,01
8	9656,30	11963,87	48,25	47,16	220,30	349,68
9	9977,93	8438,30	41,34	35,71	212,70	224,53
SMN	11610,37	16660,57	61,08	82,55	386,35	593,41
Média	12508,27	13168,40	65,40	67,42	381,00	418,00
Perímetro irrigado Baixo- Acaraú						
1	369,77	376,88	30,53	10,94	34,67	37,57
2	8289,62	1320,19	17,35	17,04	0,00	5,10
3	570,60	388,94	44,73	11,93	46,27	13,61
4	864,12	696,60	47,19	14,20	53,05	16,92
5	332,30	274,51	11,35	96,58	21,76	13,15
6	306,56	345,50	21,59	17,44	36,11	31,69
7	1036,44	667,88	7,50	7,18	19,37	4,52
8	476,29	380,45	18,88	8,74	37,87	5,81
9	2964,06	440,98	26,59	9,80	3,92	2,09
SMN	655,32	267,64	14,82	9,54	18,83	7,98
Média	1689,98	543,55	25,08	21,54	28,11	14,49
Perímetro irrigado Pentecoste						
1	18140,43	15234,03	109,57	133,73	282,88	174,96
2	20946,33	21534,13	144,88	150,96	1211,68	1007,88
3	19548,53	20467,13	139,16	177,72	424,59	617,61
4	12410,53	15293,83	60,67	52,26	240,88	302,02
5	16643,73	18908,53	77,65	80,81	424,82	395,40
6	13745,43	13617,13	69,89	59,57	265,08	240,59
7	20432,13	19615,93	96,60	91,48	730,83	633,49
8	13766,23	16248,93	41,73	56,55	300,17	435,77
9	15751,93	15580,03	46,75	44,31	384,32	368,32
SMN	9131,51	10179,63	12,21	25,72	150,82	142,08
Média	16820,59	17388,85	87,43	94,15	473,92	464,00
Perímetro irrigado Icó-Lima-Campos						
1	9707,96	8652,56	20,48	22,99	258,83	216,52
2	5492,36	5907,70	5,46	8,26	115,82	119,65
3	3164,03	4878,89	9,26	12,69	64,62	64,58
4	12445,00	14729,00	13,67	20,14	341,62	408,60
5	5326,39	4531,45	6,59	11,25	70,25	60,99
6	11272,80	10988,00	31,39	23,39	277,72	237,87
7	8055,66	8535,19	21,65	18,04	142,92	175,38
8	8034,73	8776,19	3,88	5,64	353,29	373,48
9	7229,44	7683,93	2,43	11,23	204,45	224,29
SMN	10417,50	13960,80	29,27	22,99	78,52	48,02
Média	7858,71	8298,10	12,76	14,85	203,28	209,04

SUP: Camada superficial; SUB: Camada subsuperficial.

Com relação ao Zn, as amostras de solos apresentaram teores entre (2,43 – 150,96 mg kg⁻¹). Estes valores estão abaixo do valor de prevenção indicado pelo CONAMA (2009) (300 mg kg⁻¹). Apresentando teores médios mais elevados em solos do perímetro irrigado Curu-Pentecoste (87,43(SUP) e 94, 15(SUB) mg kg⁻¹) e os menores teores médios (12,76 e 14,85 mg kg⁻¹) nas camadas de 0-10 e 10-20, respectivamente, referentes a solos do perímetro irrigado Icó-lima Campos. O Zn é, normalmente, encontrado no meio ambiente, em compostos junto com outros elementos, embora seu principal mineral seja a esfalerita (ZnS). As concentrações de Zn nos solos não contaminados variam de 20 a 110 mg kg⁻¹, com uma média de 90 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992).

Valores inferiores e semelhantes de Mn foram reportados por Biondi et al. (2011) estudando teores totais de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco, e observaram que cerca de 70% dos teores encontrados nos horizontes tiveram valores inferiores a 200 mg kg⁻¹ de Mn, apresentando, no entanto, valores situados entre 311,28 e 609,58 mg kg⁻¹, nos Perfis de Nitossolo Vermelho e Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico. No mesmo trabalho foram encontrados valores semelhantes ao presente estudo, em solos da Zona da Mata, foram observados os teores mais elevados de Fe, em horizontes superficiais (21,42 g kg⁻¹).

Marques et al. (2004) relataram que os solos do Cerrado apresentam teores totais de Zn e Mn equivalentes à metade do valor da média mundial. Eles atribuem esse fato ao longo e intenso processo de intemperismo ocorrido nessa região. Singh e Gilkes (1992) deram suporte a essa afirmativa, ao demonstrar que apenas 30% da quantidade total de Mn e 50% das de Zn estão retidas nos óxidos de Fe e, assim, protegidos da lixiviação.

4.2.4 Cromo, Chumbo e Cadmio

Os teores de Cr situaram-se entre 0,99 e 77,98 mg kg⁻¹ para solos dos quatro perímetros irrigados (Tabela 10), apresentando semelhanças entre amostras de solos do perímetro irrigado Morada Nova e Curu-Pentecoste com médias (40,72 e 43,03 mg kg⁻¹) nas camadas superficiais e (44,12 e 45,78 mg kg⁻¹) nas camadas de subsuperfície, respectivamente. No entanto diferindo com os dados dos outros perímetros, com médias (3,71 e 26,97 mg kg⁻¹) nas camadas de superfície e camada de subsuperfície (2,66 e 27,16 mg kg⁻¹) Baixo-Acaraú e Icó-Lima Campos, respectivamente.

Os maiores valores foram encontrados no ponto Cinco (5), do perímetro irrigado Morada Nova (72,35 e 77,98 mg kg⁻¹) na camada superficial e subsuperficial, respectivamente. Estes teores aproximam e ultrapassam o valor de prevenção indicado e adotado pelo CONAMA (75 mg kg⁻¹) (CONAMA, 2009). Tal fato pode ser atribuído ao alto teor de argila presente nesta amostra de solo, aproximadamente 50% (Tabela 5) e elevada sodicidade (24 SUP e 31 SUB) (Tabela 6). Estes resultados corroboram a expectativa de se observarem maiores teores de Cr associados a rochas sedimentos argilosos (KABATA-PENDIAS e MUKHERJEE, 2007).

Teores totais médios de Cr pertencentes a solos dos perímetros irrigados Curu-Pentecoste e Morada Nova foram semelhantes ao encontrado por Paye et al. (2010) em solos das bacias hidrográficas Riacho, Reis Magos e Santa Maria da Vitória no Estado do Espírito Santo, com média de 41,07. Aproximadamente dois terços da área do Estado são ocupados por rochas Cristalinas Pré-Cambrianas, e o restante, por um manto de sedimentos Terciários e Quaternários (EMBRAPA, 1978).

Os teores totais de Pb analisados para as amostras de solos dos quatro perímetros irrigados variaram entre (0,08 e 2,97 mg kg⁻¹) para as camadas 0-10 e 10-20cm (Tabela 10) estão dentro dos parâmetros de qualidade para Solos. Os valores foram considerados muito baixos para todas as amostras de solos, com maiores médias referentes aos solos do perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, 2,29 (SUP) e 2,42 (SUB) mg kg⁻¹ com máxima de: 3,38(SUP) referentes ao perímetro irrigado Icó-lima Campos e 3,38 (SUB). Deve-se salientar que os teores de Pb determinados para a amostra padrão certificada (NIST SRM 2709 San Joaquin soil) está abaixo da faixa de valores certificados, apresentando uma taxa recuperação média de apenas 47%, ficando abaixo dos valores reportados de concentração média de Pb na crosta terrestre e de Pb para solos (16 mg kg⁻¹) e (10 e 30 mg kg⁻¹), respectivamente (DAVIES, 1990).

Pérez et al. (1995) reportaram teores de Pb em diversas classes de solos brasileiros semelhantes e superiores ao do estudo variando entre 0,52 e 36,55 mg kg⁻¹. Em Latossolos, teores entre 24 e 184 mg kg⁻¹ solo foram observados por Curi (1983), Kerr et al. (1993) e Pierangeli et al. (2001). Horizontes superficiais de solo têm grande afinidade para acumular Pb proveniente de deposição atmosférica ou de fontes industriais e agrícolas. O valor de 100 mg kg⁻¹ solo tem sido utilizado como concentração limite para definição de áreas contaminadas, embora, estudos sobre análise de risco de exposição de crianças à Pb em solos

contaminados tenham sugerido um valor limite de 400 mg kg^{-1} (KABATAPENDIAS & PENDIAS, 1992).

Os teores de Cd foram semelhantes nas amostras de solos dos quatro perímetros do Ceará, amplitude variando de $(0,01-1,13 \text{ mg kg}^{-1})$ (Tabela 10) nas camadas superficiais e subsuperficiais. As maiores médias foram observadas em solos do perímetro Curu-Pentecoste ($0,22 \text{ mg kg}^{-1}$) seguida por Morada Nova ($0,16 \text{ mg kg}^{-1}$) e Baixo-Acaraú e Icó-Lima Campos ($0,10 \text{ mg kg}^{-1}$) para as camadas superficiais; enquanto que para as camadas subsuperficiais, o Baixo-Acaraú possui a maior média seguida por Pentecoste, Morada Nova e Icó-Lima com teores médios de $0,24; 0,23; 0,17$ e $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

As concentrações de cádmio nos solos em geral variam de $0,3$ a 1 mg/kg , com uma média de $0,7 \text{ mg/kg}$ (KABATAPENDIAS & PENDIAS 1992). É encontrado no meio ambiente formando compostos ou substituindo outros elementos em minerais, especialmente o zinco (WEDEPOHL, 1978).

As maiores concentrações de Cd foram observadas no Perímetro irrigado Baixo-Acaraú ($0,69$ e $1,13 \text{ mg kg}^{-1}$ (SUB)) pontos 2 e 6, respectivamente. No entanto, no mesmo perímetro, no ponto (SMN), observaram-se teores de $0,10$ e $0,24 \text{ mg kg}^{-1}$ na camada superficial e subsuperficial, respectivamente. Logo, esses teores parecem estar associados a uma maior atividade antrópica, com solos de referência sob cultivos agrícolas e mais próximos aos centros urbanos, portanto, com maiores possibilidades de entradas de Cd via fertilizantes e deposição atmosférica.

Estes valores ($0,69$ e $1,13 \text{ mg kg}^{-1}$ (SUB)) estão próximos do limite de prevenção indicado pelo CONAMA ($1,3 \text{ mg kg}^{-1}$), devendo ser monitorado, e se assemelham com os encontrados por Campos et al. (2003) que analisando 19 Latossolos brasileiros encontraram em média, teores de $0,69 \text{ mg kg}^{-1}$ e superam o valor médio encontrado por Caires (2009) em solos de Minas Gerais ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$).

Tabela 10 - Teores Totais de Cr, Pb e Cd nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.

Pontos	Cr		Pb		Cd	
mg/kg.....					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Perímetro irrigado Morada Nova						
1	35,17	34,08	1,32	1,35	0,12	0,13
2	52,34	66,39	1,72	1,98	0,20	0,26
3	18,10	24,24	0,97	0,96	0,07	0,08
4	45,44	45,91	1,54	1,43	0,18	0,17
5	72,35	77,98	2,52	2,56	0,30	0,35
6	27,98	29,26	1,13	1,12	0,11	0,16
7	60,90	61,19	2,14	2,23	0,24	0,23
8	26,56	36,53	0,97	1,01	0,13	0,11
9	27,62	21,99	0,88	0,84	0,07	0,08
SMN	35,19	57,07	1,39	1,96	0,14	0,19
Média	40,72	44,17	1,47	1,5	0,16	0,17
Perímetro irrigado Baixo- Acaraú						
1	8,33	3,67	0,46	0,77	0,24	0,07
2	3,40	5,81	0,55	1,63	0,06	0,69
3	8,36	0,99	0,41	0,21	0,25	0,01
4	1,81	1,59	0,48	0,31	0,11	0,04
5	1,81	1,16	0,53	0,50	0,01	0,10
6	1,07	1,55	0,29	0,42	0,02	1,13
7	2,48	3,53	0,23	0,08	0,03	0,01
8	1,74	4,27	0,92	0,56	0,19	0,03
9	4,38	1,41	0,44	0,30	0,00	0,10
SMN	1,84	2,20	0,27	0,31	0,12	0,01
Média	3,71	2,66	0,48	0,53	0,10	0,24
Perímetro irrigado Curu-Pentecoste						
1	44,63	33,79	2,20	1,81	0,34	0,17
2	62,64	68,42	3,22	3,38	0,30	0,38
3	58,56	62,28	2,81	2,97	0,26	0,31
4	24,34	32,74	1,75	2,47	0,15	0,11
5	37,87	49,44	2,52	3,03	0,22	0,31
6	33,26	32,86	1,84	1,69	0,17	0,13
7	57,85	53,82	3,28	2,74	0,26	0,32
8	29,99	40,88	1,36	2,08	0,11	0,20
9	38,41	37,83	1,60	1,63	0,14	0,14
SMN	17,13	21,69	1,06	1,12	0,00	0,14
Média	43,06	45,78	2,29	2,42	0,22	0,23
Perímetro irrigado Icó-Lima Campos						
1	16,62	13,50	2,34	2,14	0,12	0,11
2	25,44	25,25	1,42	1,47	0,11	0,08
3	21,27	24,08	0,88	1,22	0,08	0,03
4	33,29	37,94	2,25	2,46	0,08	0,26
5	26,69	24,44	1,47	1,35	0,06	0,03
6	34,44	33,15	3,38	3,29	0,03	0,13
7	28,13	28,14	2,08	2,16	0,16	0,19
8	27,34	29,72	1,96	2,24	0,26	0,11
9	29,53	28,19	1,86	1,96	0,07	0,08
SMN	36,80	41,05	1,87	2,12	0,03	0,48
Média	26,97	27,16	1,96	2,03	0,10	0,11

SUP: Camada superficial; SUB: Camada subsuperficial.

4.2.5 Alumínio, Silício e Vanádio

Os teores totais de Al variaram consideravelmente entre as amostras de solos dos quatro perímetros irrigados estudados (791,97 a 24791,83 mg kg⁻¹) nas camadas superficiais e subsuperficiais (Tabela 11). Foram verificadas semelhanças entre os solos dos perímetros Morada Novas e Pentecoste, diferindo dos solos de Icó e Baixo-Acaraú, que obtiveram os menores teores. Com teores máximos variando entre 23265,73; 22599,88; 12102,83 e 1574,28 mg kg⁻¹ na camada de superfície, 24791,83; 24654,78; 14741,73 e 3011,58 mg kg⁻¹ na camada de subsuperfície, Perímetro irrigado Morada Nova, Curu-Pentecoste, Icó-Lima Campos e Baixo-Acaraú, respectivamente. Caires (2009) encontrou valores semelhantes e menores para o Al, onde, os Argilossolos e Cambissolos apresentavam teores variando de 200 a 1000 mg kg⁻¹; enquanto que nos Latossolos, a faixa variou de 4000 a 18000 mg kg⁻¹.

O Si apresentou, em geral, similaridade entre os perímetros Morada Nova e Baixo-Acaraú, com quase 80% das amostras de solo na casa de 600 a 800 mg kg⁻¹(Tabela11). O Perímetro irrigado Curu-Pentecoste apresentou os maiores teores, com média de (1.061,25 mg kg⁻¹) na camada de superfície e (1.035,61 mg kg⁻¹) na camada de subsuperfície; enquanto que o Perímetro de Icó-Lima Campos foi o que apresentou os menores teores na casa de (322 mg kg⁻¹) na camada superficial e (338 mg kg⁻¹) na camada de subsuperfície. Segundo Drever (1997) os teores de silício são essencialmente derivados do intemperismo de silicatos e aluminossilicatos da rocha e solos de uma área. Os baixos teores de Si encontrados pode estar relacionado com o método de digestão empregado (USEPA 3050B) onde o mesmo não digere completamente a amostra de solo, por não utilizar o ácido fluorídrico (HF), desta forma, não há o ataque na sílica.

Os teores de V variaram entre os solos dos perímetros estudados (0,01-79,74 mg kg⁻¹) levando-se em consideração as duas camadas (0-10 e 10-20) (Tabela 11), com médias de (26,64), (0,97), (52,87) e (12,62) mg kg⁻¹ na camada de superfície e (29,15), (0,58), (55,48) e (13,37) mg kg⁻¹ na camada de subsuperfície, para Morada Nova, Baixo-Acaraú, Curu-Pentecostes e Icó-Lima Campos, respectivamente. Os maiores teores encontrados foram (75,70 mg kg⁻¹ (SUP) e 79,74 mg kg⁻¹ (SUB)), (67,41 mg kg⁻¹ (SUP) e 72,02 mg kg⁻¹ (SUB)) e (69,38 mg kg⁻¹ (SUP) e 64,55 mg kg⁻¹ (SUB)) referentes aos pontos 2, 3 e 7, respectivamente, pertencentes a solos do perímetro irrigado de Pentecoste, estando dentro da

faixa para solos não contaminados, variando de 50 a 110 mg/kg, com concentração média de 90 mg/kg (KABATAPENDIAS & PENDIAS 1992).

Baixos teores de V foram verificados nas amostras de solos do perímetro irrigado Baixo-acaraú e Icó-Lima Campos, provavelmente devido à textura arenosa e pelo baixo conteúdo de sulfetos associados a estes solos oriundos de rochas sedimentares. Wedepohl (1978) enfatiza que o V não possui minerais comuns e ocorre, principalmente, em depósitos de sulfetos, associado a Pb, Zn, Cu e Mn.

Tabela 11 - Teores Totais de Al, Si e V nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.

Pontos	Al		Si		V	
mg/kg.....					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Perímetro irrigado Morada Nova						
1	11553,03	10157,33	677,95	736,51	27,09	26,14
2	15353,93	19084,73	724,48	720,63	37,10	45,65
3	5250,20	6760,39	759,79	607,31	13,76	18,65
4	13681,43	13392,43	685,90	675,92	33,94	34,03
5	23265,73	24791,83	756,91	635,12	50,58	55,47
6	7585,23	8231,10	713,34	670,89	19,38	20,52
7	19401,33	19729,53	718,37	602,21	44,49	46,04
8	7495,78	10155,93	540,88	518,34	20,12	26,69
9	7832,15	6003,23	566,41	573,76	19,87	16,43
SMN	9134,39	15586,03	627,07	536,49	25,83	41,47
Média	9472,95	10484,14	682,67	637,86	29,59	32,18
Perímetro irrigado Baixo- Acaraú						
1	1183,71	1341,91	771,69	720,63	0,00	0,00
2	791,97	3011,58	629,02	829,82	0,00	0,23
3	1219,17	1013,68	651,93	461,90	0,31	0,25
4	1368,11	1223,76	631,33	545,55	2,19	1,75
5	1574,28	1284,13	697,03	579,69	0,10	0,11
6	926,41	1093,68	642,27	645,17	0,00	0,00
7	1569,71	1509,74	627,33	644,96	2,25	1,20
8	1027,66	1468,00	641,37	642,81	0,45	0,64
9	1497,32	1445,73	601,36	640,06	3,46	1,04
SMN	1039,69	881,58	778,14	638,60	0,57	0,00
Média	1239,81	1488,02	654,82	634,51	0,97	0,58
Perímetro irrigado Pentecoste						
1	13465,58	10034,88	1080,75	1027,74	60,31	48,21
2	22599,88	24654,78	1293,25	1145,27	75,70	79,74
3	18476,28	19801,58	1176,01	1206,00	67,41	72,02
4	6983,25	9133,96	930,30	1063,54	33,96	44,31
5	14147,08	17566,48	1258,01	1168,38	47,09	58,14
6	8783,00	7889,57	959,74	785,70	40,27	41,16
7	17735,08	16501,88	1119,48	1108,80	69,38	64,55
8	8459,89	11084,78	964,99	1036,78	36,20	47,17
9	10421,58	9902,27	768,68	778,26	45,55	44,01
SMN	4897,09	6137,75	691,82	823,68	17,67	20,81
Média	13452,41	14063,36	1061,25	1035,61	52,87	55,48
Perímetro irrigado Icó-Lima Campos						
1	10290,83	8782,17	301,37	305,18	18,30	17,08
2	5091,74	5037,64	171,79	188,35	8,20	8,75
3	2770,00	4442,59	154,78	242,45	4,42	7,40
4	12102,83	14741,73	241,54	152,23	25,79	30,60
5	4080,10	3437,35	218,26	252,95	6,80	5,03

6	11831,93	11223,23	613,44	699,86	19,69	18,84
7	7594,77	7784,56	448,32	556,00	10,43	10,76
8	6909,84	7430,40	483,05	314,89	10,99	11,69
9	5812,47	5735,85	269,22	331,40	8,93	10,15
SMN	8518,68	11528,83	145,32	518,29	20,03	20,67
Média	7387,17	7623,95	322,42	338,15	12,62	13,37

SUP: Camada superficial; SUB: Camada subsuperficial.

Nas rochas ígneas o V substitui o Fe e o Al de minerais férricos e ferromagnesianos, sendo por isso mais abundante em rochas ígneas máficas (em torno de 200 mg/kg), menos abundante nas ultramáficas e intermediárias (cerca de 50 mg/kg) e raro nas ácidas (25 mg/kg). Em rochas sedimentares como o folhelho o seu teor médio é de 130 mg/kg, contudo em arenitos e carbonatos não atingem valores maiores de 20 mg/kg (TULKENIA & WEDEPOHL, 1961).

4.2.6 Boro, Molibdênio e Titânio

Os teores de B, independente das amostras de solos, variaram dentro dos quatro perímetros irrigados estudados (0,14-53,96 mg kg⁻¹) para as camadas superficiais e subsuperficiais (Tabela 12).

Os maiores teores de B foram encontrados em solos dos perímetros Curú-Pentecoste e Morada Nova com médias de (18,54 (SUP) - 17,20 (SUB) mg kg⁻¹) e (14,31(SUP) - 15,00 (SUB) mg kg⁻¹), respectivamente. Teores elevados de B foram observados em solos da camada superficial do perímetro irrigado Curu-Pentecoste (53,96 e 40,93 mg kg⁻¹), referentes a amostras de solos do pontos 5 e 3, respectivamente. Este fato pode ser atribuído pela maior concentração de matéria orgânica nesses solos (Tabela 5). Tais dados reforçam os obtidos por Silva & Ferreyra (1998) em solos do estado do Ceará, no qual os teores totais de B variaram entre (8,3 e 52,2 mg kg⁻¹), com média geral de (16,0 mg kg⁻¹).

O teor de B total nos solos varia amplamente e, na sua maioria, encontra-se na faixa de 4 a 98 mg kg⁻¹, com média em torno de 30 mg kg⁻¹ (JACKSON, 1970), embora tenham sido verificados teores muito baixos, de 1 a 2 mg kg⁻¹, em alguns Podzólicos da Bielorrússia (AUBERT & PINTA, 1977) e valores tão altos como 1.000 mg kg⁻¹, no litoral sul do Peru (FOX, 1968). As grandes variações do B total nos solos são determinadas, em parte, pelo material de origem e, nos diversos tipos de solos, refletem principalmente as diferenças entre diversas regiões geográficas e zonas climáticas (MALAVOLTA, 1980).

Na maioria dos solos brasileiros, os teores de B total encontram-se na faixa de 30 a 60 mg kg⁻¹. Tem sido reportados teores de B total entre 10 e 34,2 mg kg⁻¹ nos horizontes superficiais de solos do município de Piracicaba (CASAGRANDE, 1978) e de 19 a 150 mg

kg⁻¹, nos horizontes Ap ou A1, de sete grandes grupos de solos do estado de São Paulo (BRASIL SOBRINHO, 1965).

O Mo, nas amostras de solos analisadas, apresentou nos solos dos quatro perímetros irrigados do Ceará a seguinte variação: 0,01-1,05 mg kg⁻¹ para as camadas de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 12).

Teores médios de 0,53 mg kg⁻¹ (SUP) - 0,40 mg kg⁻¹ (SUB); 0,12 mg kg⁻¹ (SUP) - 0,12 mg kg⁻¹ (SUB); 0,21 mg kg⁻¹(SUP) - 0,16 mg kg⁻¹(SUB) e 0,39 mg kg⁻¹(SUP) -0,29 mg kg⁻¹(SUB), respectivamente no Perímetro Irrigado Morada Nova, Baixo-Acaraú, Curú-Pentecostes e Icó-lima Campo. Essas médias são consideradas baixas com relação aos valores reportados na literatura, descartando a contaminação deste elemento nas áreas. As concentrações de Mo nos solos não contaminados variam de 0,7 a 4 mg kg⁻¹, com uma média de 3 mg kg⁻¹ (KABATA PENDIAS & PENDIAS 1992). Os maiores teores foram observados em solos da mata nativa do perímetro irrigado Icó-Lima Campos, com teores: 0,80 mg kg⁻¹(SUP) e 1,05 mg kg⁻¹(SUB) dando indício que este elemento está relacionado com a geologia da área, sendo descartada a interferência antrópica. Valores superiores aos do solo estudados foram relatados em solos do Estado do Paraná, com valores médios de 1,68 mg kg⁻¹ de Mo (MINEROPAR 2005).

De acordo com Stevenson e Cole (1999) o B e o Mo são mais concentrados nos granitos. Os solos estudados são formados a partir de rochas sedimentares, o que, pode explicar os baixos teores encontrados. Solos originados diretamente sobre rochas básicas apresentam-se mais ricos em metais pesados do que aqueles formados sobre rochas ácidas ou sedimentares Tiller (1989).

Os teores de Ti variaram consideravelmente entre os solos dos perímetros irrigados do Ceará (6,68 e 893,14 mg kg⁻¹) para as camadas superficiais e subsuperficiais (Tabela 12). Com maiores médias observadas em solos do perímetro irrigado Curú-Pentecoste 709,70(SUP) e 702,62(SUB) mg kg⁻¹ e menores teores médios, praticamente inexpressivos, relacionados ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú, variando entre 11,89 (SUP) e 15,15 (SUB) mg kg⁻¹. Todos os solos apresentaram teores abaixo da faixa indicada para solos não contaminados. Segundo Kabata Pendias e Pendias (1992) as concentrações encontradas nos solos não contaminados variam de 1.000 a 10.000 mg kg⁻¹, com concentração média de 5.000 mg kg⁻¹.

Tabela 12 - Teores Totais de B, Mo e Ti nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) para solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.

Pontos	B		Mo		Ti	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Perímetro irrigado Morada Nova						
1	10,89	9,79	0,02	0,07	313,78	297,62
2	16,87	19,08	0,00	0,00	407,18	509,58
3	5,02	6,95	0,28	0,10	176,72	217,58
4	13,05	12,63	0,02	0,04	385,65	401,60
5	21,88	22,10	0,60	0,03	555,93	569,84
6	6,41	9,66	0,14	0,05	273,96	282,88
7	18,65	19,27	0,05	0,00	495,03	479,90
8	6,66	8,82	0,19	0,06	261,09	338,90
9	6,61	6,10	0,07	0,15	267,28	228,13
SMN	8,29	13,89	0,32	0,44	310,05	456,77
Média	14,31	15,00	0,53	0,40	221,26	243,31
Perímetro irrigado Baixo- Acaraú						
1	0,99	1,25	0,18	0,61	13,77	20,50
2	5,92	1,25	0,61	0,23	6,68	16,96
3	0,96	0,94	0,04	0,00	12,80	10,67
4	2,05	1,20	0,23	0,00	9,33	9,46
5	1,89	1,11	0,32	0,05	15,19	16,22
6	0,33	0,88	0,00	0,03	9,47	10,63
7	3,31	0,87	0,12	0,18	12,63	16,40
8	2,44	0,41	0,00	0,00	17,54	18,74
9	1,95	0,14	0,04	0,00	9,59	16,75
SMN	1,03	0,43	0,05	0,00	14,61	14,72
Média	2,20	0,90	0,12	0,12	11,89	15,15
Perímetro irrigado Pentecoste						
1	13,23	31,34	0,66	0,22	886,55	679,21
2	31,34	21,72	0,12	0,19	854,39	917,26
3	40,93	18,73	0,20	0,03	893,14	892,06
4	21,72	28,29	0,00	0,53	397,87	507,89
5	53,96	13,48	0,37	0,02	587,02	706,94
6	18,73	6,46	0,20	0,17	697,74	500,60
7	4,11	15,72	0,36	0,26	870,58	818,69
8	28,29	10,91	0,00	0,00	539,36	668,81
9	11,38	8,18	0,00	0,00	660,68	632,12
SMN	13,48	2,26	0,00	0,00	356,76	408,16
Média	18,54	17,20	0,21	0,16	709,70	702,62
Perímetro irrigado Icó-Lima Campos						
1	15,35	10,68	0,13	0,08	112,65	90,09
2	5,60	4,39	0,08	0,11	37,48	63,58
3	2,43	3,35	0,97	0,13	37,59	11,52
4	14,14	16,38	0,51	0,26	236,33	309,28
5	3,19	2,15	0,27	0,46	8,44	9,33
6	10,10	9,23	0,65	0,17	154,41	120,73
7	5,66	6,16	0,19	0,27	131,10	144,36
8	6,61	6,76	0,39	0,22	37,44	69,71
9	4,29	4,32	0,31	0,91	102,23	123,56
SMN	7,46	11,89	0,80	1,05	9,59	13,22
Média	7,49	7,05	0,39	0,29	95,30	104,68

SUP: Camada superficial; SUB: Camada subsuperficial.

Os minerais primários que contém o titânio geralmente são difíceis de serem intemperizados. Assim os ganhos encontrados em alguns elementos podem estar relacionados à própria composição do material de origem e a outros processos como a biociclagem ou a adição de materiais externos, como a calagem. O Ti pode ocorrer em diferentes fases minerais, em materiais geogênicos ou pedogênicos. Pode também substituir o Fe em oxihidróxidos de Fe e ser conservado na fração argila do solo (STILES et al., 2003). Entretanto alguns estudos demonstram que o Ti pode ser móvel nas diferentes camadas no solo. Cornu et al (1999) consideram que ocorrem perdas de Ti com os processos de lixiviação e translocação em condições tropicais.

4.2.7 Selênio e Zircônio

Os teores totais de Se das amostras de solos dos quatro perímetros irrigados estudados variaram entre (0,01 e 4,47 mg kg⁻¹) para camadas superficiais e subsuperficiais (Tabela 13). De maneira geral, os maiores teores de Se foram observados em solos do perímetro irrigado Morada Nova, com médias de 2,93 e 2,75 mg kg⁻¹, camadas superficiais e subsuperficiais, respectivamente. Os maiores valores de Se também foram observados em solos do perímetro irrigado Morada Nova, referentes ao ponto cinco (5) com teores 4,66 mg kg⁻¹(SUP) e 4,77 mg kg⁻¹(SUB) e podem estar relacionados com os altos teores de Al pertencentes a este solo, 23265,73 mg kg⁻¹(SUP) e 24791,83 mg kg⁻¹(SUB). Esses resultados corroboram com os obtidos por Abreu et al. (2001) que estudando Se em solos do serrado, concluíram que esse elemento está associado a óxidos de Al.

Segundo ATSDR (2003) este elemento ocorre raramente em rochas e solos, é comum ser encontrado combinado com outras substâncias. A abundância de Se na crosta da terra é desigualmente distribuída na faixa de 0,05 a 0,5 mg kg⁻¹ (KABATA PENDIAS e MUKHERJEE, 2007). As principais fontes de Se adicionado ao ambiente incluem a queima de combustíveis fósseis (principalmente carvão) e de mineração e refino de Cu e outros metais (PISSQ, 1987).

Teores semelhantes aos encontrado no estudo foram observados em solos de áreas rurais do Reino Unido, em um levantamento das concentrações dos principais contaminantes dos solos, com concentrações médias de Se de 1,3 mg kg⁻¹ na Inglaterra e 3,13 mg kg⁻¹ na Escócia e 3,3 mg kg⁻¹ País de Gales (AGÊNCIA DO MEIO AMBIENTE, 2007).

A taxa de recuperação dos valores de Zr nos quatro perímetros irrigados do CE apresentou uma variação entre (0,01 e 0,41 mg kg⁻¹) para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Tabela 13) estando bem abaixo dos valores médios para solos. As concentrações encontradas nos solos não contaminados variam de 120 a 140 mg kg⁻¹, com concentração média de 130 mg kg⁻¹ (KABATA PENDIAS & PENDIAS 1992).

Os maior teor total encontrado (0,41 mg kg⁻¹ SUB) refere-se a solo de mata nativa do perímetro irrigado Icó-Lima Campos. Os maiores teores médios de Zr foram observados em solos do perímetro irrigado Icó-Lima campos, 0,13 mg kg⁻¹ nas camadas superficiais e subsuperficiais, estando bem abaixo dos valores médios para solos. Portanto, os teores encontrados de Zr estão relacionados com o material de origem, oriundos de rochas sedimentares. Este elemento ocorre em cerca de 35 minerais, principalmente, óxidos e silicatos, sendo seu principal mineral o zircão - ZrSiO₄ (WEDEPOHL 1978).

O baixo teor verificado neste estudo pode ser explicado pelo fato do zircão ser praticamente insolúvel e, portanto, durante o intemperismo ele apresenta a tendência de concentrar-se em lateritas, bauxitas e argilas. Outro fator que pode ter interferido é o fato da abertura das amostras ter sido pelo método (USEPA 3050 B) uma vez que os minerais formados são muito estáveis

As reservas brasileiras de minério de Zr referem-se às mineralizações primárias, aluviões mineralizados e areias com minerais pesados. O litoral brasileiro abriga a ocorrência de zirconita associada a depósitos de areias ilmenomonazíticas, com predominância de ilmenita. As ocorrências conhecidas estão localizadas no Ceará, Maranhão, Piauí, Paraíba, São Paulo, Rio Grande do Norte, Paraná e Santa Catarina (MME, 2009).

Tabela 13 - Teores Totais de Se e Zr nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.

Pontos	Se		Zr	
	mg kg ⁻¹			
	0-10	10-20	0-10	10-20
Perímetro irrigado Morada Nova				
1	2,17	1,87	0,01	<0,01
2	3,52	3,61	0,03	0,06
3	1,50	1,51	0,01	<0,01
4	3,13	2,90	0,02	0,03
5	4,63	4,77	0,04	0,07
6	2,12	1,76	<0,01	<0,01
7	4,35	4,08	<0,01	0,02
8	2,38	2,65	<0,01	0,02
9	2,57	1,58	<0,01	<0,01
SMN	2,48	4,79	<0,01	0,02
Média	2,93	2,75	<0,01	0,02
Perímetro irrigado Baixo-Acarau				
1	0,76	0,38	0,03	0,04
2	<0,01	0,81	<0,01	0,05
3	0,57	0,08	0,06	0,04
4	0,07	0,32	0,05	0,06
5	0,68	0,35	0,06	0,06
6	0,05	0,47	0,03	0,04
7	0,61	0,76	0,13	0,11
8	<0,01	1,04	0,02	0,03
9	0,50	0,35	0,07	0,03
SMN	0,19	0,74	0,01	0,00
Média	0,36	0,51	0,05	0,05
Perímetro irrigado Pentecoste				
1	1,46	0,74	<0,01	<0,01
2	2,37	2,62	<0,01	<0,01
3	2,18	2,25	<0,01	<0,01
4	0,87	0,80	<0,01	<0,01
5	1,31	1,98	<0,01	<0,01
6	1,78	1,73	<0,01	<0,01
7	2,66	2,29	<0,01	<0,01
8	2,00	1,75	<0,01	<0,01
9	1,52	1,57	<0,01	<0,01
SMN	0,85	1,43	<0,01	<0,01
Média	1,79	1,75	<0,01	<0,01
Perímetro irrigado Icó-Lima Campos				
1	0,63	0,55	0,09	0,12
2	0,31	0,31	0,05	0,05
3	<0,01	0,12	0,05	0,08
4	0,95	0,00	0,21	0,32
5	0,47	0,00	0,18	0,13
6	0,83	0,95	0,20	0,14
7	0,27	0,86	0,10	0,15
8	0,89	0,47	0,15	0,12
9	1,09	0,26	0,13	0,09
SMN	1,34	0,83	0,20	0,41
Média	0,60	0,45	0,13	0,13

SUP: Camada superficial; SUB: Camada subsuperficial.

4.2.8 Mercúrio e Arsênio

Os teores de Hg e As ficaram abaixo do limite de detecção (LD) do método para todas as 80 amostras de solos referentes aos quatro perímetros (Tabela 14). Tal fato pode ser explicado pela pobreza no material do material de origem nesses solos oriundos de rochas sedimentares e pela baixa tecnologia usada na agricultura.

O As ocorre no meio ambiente em minerais distribuídos em vários grupos. Os principais minerais são: arsenopirita - FeAsS e realgar - AsS (WEDEPOHL, 1978). As concentrações de As nos solos não contaminados variam de 5 a 12 mg kg⁻¹, com uma média de 8 mg kg⁻¹ (KABATA PENDIAS & PENDIAS, 1992).

Os teores de Mercúrio em solos é muito baixa na gama de 0,02-0,06 mg kg⁻¹, embora seja susceptível de ser mais concentrado em sedimentos argilosos e no carvão (KABATA-PENDIAS E MUKHERJEE, 2007). Em solos do Reino Unido encontraram concentrações de Hg total na faixa 0,07-1,22 mg kg⁻¹ para solos rurais, com um valor médio de 0,13 mg kg⁻¹ (AGÊNCIA DO MEIO AMBIENTE, 2007).

Os teores geralmente encontrados de Hg e As em solos contaminados, principalmente por atividades agropecuárias, são baixos. Porém, tomando-se uma perspectiva em longo prazo podem ser encontrados teores elevados provenientes de um acúmulo ao longo de anos de utilização desse compartimento ambiental. Aumentos nos teores naturais de metais pesados podem ocorrer em áreas próximas de complexos industriais, urbanos e, também, nas áreas rurais de agricultura altamente tecnificada. É constatado em tais áreas aumento nos teores de Hg, As, entre outros (NILSSON, 1991; ALLOWAY, 1990).

Tabela 14 - Teores Totais de Hg e As nas camadas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (10-20 cm) dos solos de quatro perímetros irrigados do Ceará.

Pontos	Hg		As	
mg/Kg.....			
	SUP	SUB	SUP	SUB
Perímetro irrigado Morada Nova				
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SMN	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Média	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Perímetro irrigado Baixo-Acaraú				
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SMN	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Média	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Perímetro irrigado Pentecoste				
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SMN	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Média	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Perímetro irrigado Icó-Lima Campos				
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SMN	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Média	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

SMN: Solo Mata Nativa; < : Menor que o limite de detecção do aparelho.

4.3 Análise de correlação canônica

As variáveis Hg e As apresentaram teores totais abaixo do LD (Limite de detecção do aparelho) para todas as amostras e, por isso, não foram incluídas nas análises multivariadas, assim como o Zr, para solos do perímetro irrigado Curu-Pentecoste.

4.3.1 Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Morada Nova

As tabelas 15 e 16 são apresentadas as correlações e pares canônicos entre as características que definem os solos afetados por sais e teores de metais pesados. Observa-se que para o primeiro par as correlações canônicas foram altamente significativas (1% de probabilidade) pelo teste de qui-quadrado (0,97) e (0,98) tabelas 15 e 16, respectivamente. O conjunto (I) explica o conjunto (II), no primeiro par canônico. Dentre as variáveis relacionadas com os sais, o atributo do solo que contribui explica mais a concentração de metais pesados foi a CTC ($R=0,93$) e em seguida a PST ($R=0,67$). À medida que os valores do conjunto (I) aumentam, aumenta também a concentração de Zn, Al, V, Cu, Cr, Fe e Mn no solo; em contrapartida, no que concerne os teores Ni, Mo e Si foi verificado pouco ou nenhum efeito ($R < 0,5$).

A retenção do Zn é mais dependente de interações eletrostáticas na CTC do solo. O Zn em solos ácidos forma ligações eletrostáticas com minerais de argila e matéria orgânica, o que lhe confere solubilidade, no entanto, em solos com valores de pH mais elevado ocorre sua adsorção por óxidos e aluminossilicatos além de complexação pela matéria orgânica, o que faz com que sua solubilidade diminua (ROSS, 1994; McBRIDE, 1994).

Com relação ao Cu, a correlação existente com a CTC e pH, pode ser atribuída à afinidade que o mesmo possui com os coloides do solo, todos os minerais do solo, os óxidos de Fe, Mn e Al, a argila e o húmus são capazes de adsorver de forma específica íons de Cu da solução, sendo que as maiores quantidades são encontradas em óxidos de Fe e Mn, hidróxidos de Fe e Al e argilas, as quais aumentam com a elevação do pH. O Cu, quando em elevada concentração no solo, pode precipitar com os ânions sulfeto, carbonatos e hidróxidos, principalmente em pH acima de 6,0. Além disso, várias substâncias orgânicas formam complexos com o Cu (KABATA-PENDIAS, 2001).

O Cr é bastante imóvel no solo, pois apresenta tendência em formar compostos coordenados, complexos e quelatos, conferindo-lhe elevada estabilidade. Minerais de argila adsorvem fortemente o Cr quando o pH é menor que 4,0, sendo que acima desse valor a precipitação passa a ser o fator principal de imobilização deste metal, predominando a valores

de pH acima de 5,0 (ALCÂNTARA et al., 2000). Em condições ácidas o Cr é fortemente complexado à matéria orgânica e adsorvido a óxidos, já em pH mais elevado este íon substitui o Fe nas redes cristalinas dos minerais ou forma precipitados insolúveis como o $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (MCBRIDE, 1994).

A alta correlação entre o V no solo e a CTC é explicado porque o mesmo substitui o ferro ou pode ser adsorvido pelo óxido de ferro. Embora o V tenda a ser mais enriquecido no horizonte A, pode ser encontrado uniformemente distribuído ao longo do perfil do solo. Em alguns casos o horizonte B contém grande quantidade de argilas e óxidos de ferro ocasionando maior acúmulo deste elemento (ADRIANO, 1986).

Tabela 15 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Morada Nova.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
Correlações Canônicas ⁽¹⁾					
CI	pH	0,54	-0,15	-0,60	-0,56
	CE	0,20	0,71	0,53	-0,42
	PST	0,67	0,68	-0,14	-0,25
	CTC	0,93	0,30	0,23	-0,02
CII	Cu	0,90	-0,24	-0,19	0,24
	Ni	-0,49	-0,03	-0,20	0,03
	Fe	0,89	-0,32	-0,13	0,13
	Zn	0,94	0,00	0,17	0,16
	Mn	0,78	-0,42	-0,01	0,42
	Cr	0,90	-0,25	-0,18	0,19
	Zr	0,69	0,03	-0,41	0,19
	V	0,91	-0,25	-0,15	0,16
	Al	0,93	-0,25	-0,16	0,15
		R - Canônico	0,97**	0,81ns	0,70ns
	Qui-quadrado	62,01	26,39	13,63	5,51
	GL	36,00	24,00	14,00	6,00

GL: Graus de liberdade; **,*, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Na tabela 16 pode-se observar que o B, Ti, Pb, Cd, Co e Se são influenciados pela CTC (R=0,82), pH (R=0,67) e PST (R=0,61) sendo estes os que mais contribuem para os teores de metais. A CE se mostrou inexpressiva (R=0,01).

Tabela 16 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Morada Nova.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
		Correlações Canônicas ⁽¹⁾			
CI	pH	0,67	0,66	-0,29	0,18
	CE	0,01	0,24	0,23	-0,94
	PST	0,61	0,45	0,46	-0,46
	CTC	0,82	-0,09	0,21	-0,52
CII	Pb	0,91	-0,36	-0,03	0,04
	Cd	0,89	-0,21	-0,08	0,25
	Se	0,81	-0,37	-0,38	-0,05
	Si	0,32	0,03	0,84	-0,04
	B	0,97	-0,12	-0,06	0,03
	Mo	-0,23	-0,70	-0,03	-0,11
	Ti	0,91	-0,18	-0,21	0,10
	Co	0,48	-0,35	-0,19	0,15
R - Canônico		0,98**	0,79ns	0,52ns	0,41ns
Qui-quadrado		58,23	18,79	6,30	2,34
GL		32,00	21,00	12,00	5,00

GL: Graus de liberdade; **, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

A correlação entre a CTC e pH com o B (Tabela 16) pode estar relacionado com o teor de carbono orgânico e teor de argila nos solos do perímetro irrigado Morada Nova. A matéria orgânica é a principal fonte de B no solo e a calagem adequada, aumentando a atividade microbológica, tendendo a aumentar a sua disponibilidade (MALAVOLTA, 1980). Outros fatores químicos, físicos e mineralógicos, também afetam a disponibilidade de B nos solos. Assim, maiores teores de argila (GUPTA, 1968), de óxidos de Fe e Al (HATCHER et al., 1967), principalmente os óxidos hidratados de Al (MALCOLM et al., 1972), contribuem na adsorção do B, reduzindo sua disponibilidade.

A alta relação entre o Ti com CTC e pH pode ser atribuída ao caráter anfótero que possuem os óxidos de titânio (TiOH), pois quando em solução aquosa tende a se polarizar e adquirir carga elétrica, porém a natureza desta carga é influenciada pelo pH. Da mesma forma, os óxidos metálicos hidratados que apresentam hidroxilas em sua superfície, quando em meio ácidos, apresentam cargas positivas, e quando em meio básico, apresentam cargas

negativas. Portanto quando analisamos a estrutura de TiOH, a carga elétrica que irá se formar em sua superfície será influenciada pelas reações de protonação e desprotonação que acontecem nos grupos hidroxila (ISMAIL et al., 2008).

Estudos de interação simultânea de Pb e Zn no solo mostram que em valores mais elevados de pH (5,5 – 7,2) o Pb tem mais afinidade pelos óxidos em relação ao Zn, e em valores baixos de pH (4,2 – 4,9) o Pb possui uma maior preferência à adsorção no complexo de troca em relação ao Ni, Zn e Co (NAIDU et al., 1997).

Para o Se, a CTC e o pH foram os atributos que mostraram ser mais eficientes do (conjunto I) para explicar sua relação no solo. Os fatores que controlam as formas e a interação do Se nos solos são o potencial redox e o pH (KABATA-PENDIAS & MUKHERJEE, 2007) juntamente com óxidos/hidróxidos (principalmente de Fe, Al e Mn), argila, matéria orgânica (WANG & CHEN, 2003). A pequena quantidade, ou mesmo ausência, de argilominerais 2:1 em solos altamente intemperizados dos trópicos, e altos teores de caulinita e os óxidos de Fe e Al, embora tenham, geralmente, baixa superfície específica, têm papel importante no processo de adsorção de íons nesses solos, particularmente nos horizontes mais profundos, onde o teor de matéria orgânica é baixo (ALLEONI et al., 2009).

De forma similar ao Se os atributos CTC e pH foram os que melhor explicaram os teores de Cd no solo. Reforçando dados presentes na literatura. Os atributos do solo matéria orgânica, CTC podem apresentar alta correlação com a adsorção de cádmio (PETRUZZELLI et al., 1985). Superfície específica e pH (GRAY et al. 1999).

4.3.2 Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Baixo-Acaraú

Nas tabelas 17 e 18 são apresentados valores de análise de correlação canônica para as características que definem os solos afetados por sais e a concentração de metais pesados de amostras de solos do perímetro irrigado Baixo-Acaraú (tabelas 17 e 18). A correlação canônica do primeiro e segundo pares canônicos foi altamente significativa ($P = 1\%$ e 5%) respectivamente (0,97 e 0,93) e que os grupos considerados não são independentes (tabela 16). O Fe ($R=-0,60$) e Al ($R=-0,50$) associam-se ao pH (0,79) e CTC (-0,79), isto é, diminuem com a elevação do pH e aumentam com o aumento da CTC. O segundo par de fatores canônicos, o pH (-0,56) se relaciona de forma diretamente proporcional com Mn ($R=-0,68$). No segundo grupo de pares canônicos (Tabela 18) apenas o primeiro par canônico foi

significativo, no entanto, entre as características houve baixa correlação canônica indicando que os atributos do solo pH, CE, PST e CTC apresentaram baixa intensidade de correlação com os metais em questão. Diferente do perímetro irrigados Morada Nova, que é um perímetro mais antigo e mais afetado por sais.

Tabela 17 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
Correlações Canônicas ⁽¹⁾					
CI	pH	0,79	-0,56	0,24	0,10
	CE	-0,49	0,35	0,54	0,58
	PST	-0,73	-0,09	-0,01	0,68
	CTC	-0,79	-0,01	0,56	0,23
CII	Cu	0,24	-0,07	-0,06	-0,30
	Ni	-0,40	-0,32	-0,04	0,23
	Fe	-0,60	0,48	0,01	-0,43
	Zn	0,37	0,33	0,58	0,48
	Mn	0,44	-0,68	0,42	-0,11
	Cr	-0,30	-0,28	0,14	0,12
	Zr	0,10	0,02	0,31	0,00
	V	-0,30	0,09	0,68	-0,24
	Al	-0,50	-0,27	-0,05	0,60
		R - Canônico	0,97**	0,93*	0,76ns
	Qui-quadrado	70,39	35,85	11,49	1,25
	GL	36,00	24,00	14,00	6,00

GL: Graus de liberdade; **,*, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

A baixa CTC condicionada pela mineralogia oxídica (óxidos de Fe e Al) ou silicática 1:1 (caulinita) comum nos ambientes tropicais, quando associada a condições de baixo pH favorecem a lixiviação e a disponibilidade dos metais pesados nos solos. Por outro lado, o aumento do pH no solo eleva os níveis da CTC, e favorece a formação de complexos e quelatos com a matéria orgânica, fato que reduz a disponibilidade dos metais pesados às plantas e diminui sua mobilidade no solo (SILVEIRA et al., 2003).

Os cátions metálicos podem estar adsorvidos às superfícies das argilas por forças eletrostáticas (trocaíveis, não específicas) as forças que ligam esses íons são de baixa intensidade, favorecendo sua reversão para formas solúveis nos solos (LACKOVIC et al., 2003). Condições de pH acima de seis (6) favorecem a dissociação do H⁺ de grupos OH da

matéria orgânica e dos óxidos de Fe e Al, aumentando a adsorção dos metais e posterior precipitação reduzindo a sua biodisponibilidade (OLIVEIRA et al., 2002).

A relação estabelecida entre pH e o Mn (Tabela 17), evidenciada pelo segundo par de fatores canônicos pode ser atribuída ao fato do Mn no solo ocorrer em três estados de oxidação distintos: Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+} . O íon divalente apresenta-se adsorvido no complexo de troca e na solução do solo, o trivalente na forma de óxido, altamente reativo, e o tetravalente existe com óxido insolúvel. A predominância de uma destas formas depende das características físico-químicas dos solos. O pH tem papel decisivo na ocorrência das diversas formas do Mn no solo, onde Mn^{4+} só ocorre em valores de pH maiores que oito (8); a forma trivalente é encontrada em solos de pH próxima a neutralidade e a forma divalente encontrada em solos de pH ácido (TISDALE e NELSON, 1970). Desta forma, a atividade deste elemento aumenta com a diminuição do pH.

Apesar do primeiro par de fatores canônico ser significativo ($P \leq 5\%$), as suas correlações foram consideradas baixas ($R < 0,5$) (tabela 18), sendo inexpressivas para a explicação da interação existe entre o conjunto um (I) (pH, CE, PST, CTC) e conjunto II (Pb, Cd, Se, Si, B, Mo, Ti e Co) nestes solos. Todavia, alguns trabalhos presentes na literatura utilizam correlações canônicas a partir de três (3) para a explicação dos dados. Neste estudo, estão sendo avaliadas correlações canônicas maiores ou iguais a ($\leq 0,5$). Uma possível explicação para baixa interação entre os grupos pode estar relacionada com os baixos teores de CO e argila referentes ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú, indicando a influência destes atributos físico-químicos com alguns metais pesados no solo.

Nas amostras de solo do perímetro irrigado Baixo-Acaraú, predominam a fração areia, representando cerca de 90% da fração mineral do solo (Tabela 5), tal fato pode explicar a baixa interação entre as variáveis dos conjuntos I e II neste perímetro (Tabela 18). Estes resultados concordam com que em condições de acidez aumenta o potencial de lixiviação das formas solúveis dos compostos metálicos, principalmente em áreas com predominância de textura arenosa, material este com baixa capacidade de adsorção e pouco afetados por sais (FERNANDEZ et al., 2007).

Tabela 18 - Relações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Baixo-Acaraú.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
		Correlações Canônicas ⁽¹⁾			
C1	pH	0,20	-0,69	0,66	0,21
	CE	-0,17	0,21	-0,58	0,77
	PST	-0,40	-0,20	-0,86	0,25
	CTC	0,24	0,08	-0,84	0,47
C2	Pb	-0,19	-0,42	-0,86	0,12
	Cd	-0,02	-0,42	-0,27	-0,50
	Se	-0,18	-0,02	-0,12	-0,29
	Si	0,23	-0,27	-0,61	-0,57
	B	0,16	0,47	-0,42	0,20
	Mo	-0,23	0,04	-0,47	-0,21
	Ti	-0,48	-0,32	-0,10	-0,14
	Co	0,01	-0,73	-0,67	0,02
	R - Canônico	0,89*	0,79n.s	0,68n.s	0,38n.s
	Qui-quadrado	41,96	21,88	9,72	1,95
	GL	32,00	21,00	12,00	5,00

GL: Graus de liberdade; ***, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

4.3.3 Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Curu-Pentecoste

Não foram constatadas diferenças significativas entre os atributos do solo relacionadas com a salinização (CI) e concentração de metais pesados (CII) nos solos do perímetro irrigado Curu-Pentecostes (Tabelas 19 e 20).

Estes resultados sugerem que nestes solos, esses fatores são independentes, o qual pode ser devido à falta de heterogeneidade dos solos das partes mais baixas ou, também, pelo conteúdo de metais pesados deste perímetro estarem relacionados, principalmente, pela geologia da área (Material de origem), uma vez que nesse perímetro os teores destes metais foram superiores aos metais dos outros perímetros estudados.

Tabela 19 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Curu-Pentecostes.

		Pares canônicos			
Conjunto	Variáveis	1	2	3	4
		Correlações Canônicas ⁽¹⁾			
CI	pH	0,96	0,25	-0,15	-0,03
	CE	0,34	-0,79	-0,04	0,52
	PST	0,54	-0,58	-0,54	0,27
	CTC	0,27	-0,92	0,09	0,25
CII	Cu	-0,43	0,34	-0,35	0,64
	Ni	0,28	-0,02	0,01	-0,56
	Fe	0,32	-0,03	-0,09	-0,59
	Zn	0,12	0,17	0,23	-0,63
	Mn	0,02	-0,15	0,05	-0,40
	Zr	0,21	0,05	0,03	-0,52
	V	0,30	0,07	0,00	-0,63
	Al	0,06	-0,09	0,03	-0,58
R - Canônico		0,94n.s	0,69n.s	0,55n.s	0,47n.s
Qui-quadrado		41,57	15,62	7,62	3,11
GL		32,00	21,00	12,00	5,00

GL: Graus de liberdade; **,*, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Tabela 20 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Curu-Pentecostes.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
Correlações Canônicas ⁽¹⁾					
C1	pH	-0,30	0,55	0,51	0,59
	CE	0,75	-0,22	0,53	0,33
	PST	0,23	-0,34	0,68	0,61
	CTC	0,82	-0,24	0,23	0,46
C2	Pb	-0,20	0,03	-0,16	0,94
	Cd	-0,19	-0,11	-0,23	0,85
	Se	0,12	-0,06	0,00	0,65
	Si	0,10	-0,11	-0,10	0,91
	B	0,57	0,18	-0,09	0,44
	Mo	-0,09	0,37	-0,33	0,34
	Ti	-0,12	0,31	-0,09	0,78
	Co	-0,02	0,08	-0,35	0,81
	R - Canônico	0,92n.s	0,63n.s	0,50n.s	0,25n.s
	Qui-quadrado	34,55	10,67	4,35	0,83
	GL	32,00	21,00	12,00	5,00

GL: Graus de liberdade; ns: não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

4.3.4 Análise de correlação canônica referente a solos do perímetro irrigado Icó-Lima Campos

De acordo com o teste do qui-quadrado foram observadas interações significativas entre os conjuntos I e II, apenas no primeiro par de correlações canônicas dos grupos estudados ($R = 0,95$, $P \leq 1\%$ e $R=0,92$, $P \leq 5\%$) (Tabelas 21 e 22). A PST ($R=0,84$) e pH ($R=0,52$) foram os atributos que mais influenciaram de forma inversamente proporcional nos conteúdos de Cr ($R= 0,51$), Cu ($R=0,5$) e Zn ($R=0,5$) os outros elementos não foram influenciados ($R < 5$) (Tabela 21). Por outro lado, a CTC ($R=0,82$) e CE ($R=0,75$) influenciaram apenas no conteúdo de B no solo de forma diretamente proporcional (Tabela 22).

Tabela 21 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes ao perímetro irrigado Icó-Lima Campos.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
C1	Correlações Canônicas ⁽¹⁾				
	pH	-0,52	-0,85	-0,04	-0,07
	CE	-0,46	0,65	-0,12	0,59
	PST	-0,84	0,44	-0,32	-0,04
	CTC	-0,42	0,71	0,19	0,54
C2	Cu	0,50	0,04	0,60	0,49
	Ni	0,17	0,59	0,64	-0,23
	Fe	0,15	0,68	0,55	-0,33
	Zn	0,50	0,42	0,09	-0,22
	Mn	-0,35	0,15	0,71	0,10
	Cr	0,51	0,65	0,13	-0,21
	Zr	0,34	0,71	0,14	-0,25
	V	0,03	0,75	0,56	-0,10
	Al	0,12	0,65	0,59	-0,17
	R - Canônico	0,95**	0,88n.s	0,74n.s	0,52n.s
	Qui-quadrado	59,69	31,07	13,17	3,77
	GL	36,00	24,00	14,00	6,00

GL: Graus de liberdade; **,*, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Os problemas de sais induzidos ou provocados pela ação antrópica, nas amostras do perímetro irrigado Icó-Lima Campos podem estar relacionados com o manejo inadequado da irrigação, o que explicaria a elevada PST e a formação de solos Sódicos e Salinos-Sódicos em alguns pontos desta área. A redução dos teores de (Cr, Zn e Cu), com o aumento da PST, pode ter contribuído para a lixiviação destes metais com o aumento do sódio trocável, devido à competição destes cátions pelos sítios de (SPARKS, 1995). ZANELLO et al. (2009) estudando a influência do chorume na concentração de metais pesados no solo, verificaram que os baixos teores de metais pesados no solo foi em consequência dos elevados teores de cátions trocáveis, como o Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} saturando as cargas negativas das argilas e da matéria orgânica, o que dificulta a adsorção dos metais pesados. Para os resultados do estudo, também deve ter contribuído o processo de salinização das amostras, seja de maneira natural (áreas de baixo relevo) e pela ação do homem (implantação de sistema de irrigação).

Tabela 22 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos grupos I e Grupo II referentes ao perímetro irrigado Icó-Lima Campos.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
Correlações Canônicas ⁽¹⁾					
C1	pH	-0,30	0,55	0,51	0,59
	CE	0,75	-0,22	0,53	0,33
	PST	0,23	-0,34	0,68	0,61
	CTC	0,82	-0,24	0,23	0,46
C2	Pb	-0,20	0,03	-0,16	0,94
	Cd	-0,19	-0,11	-0,23	0,85
	Se	0,12	-0,06	0,00	0,65
	Si	0,10	-0,11	-0,10	0,91
	B	0,57	0,18	-0,09	0,44
	Mo	-0,09	0,37	-0,33	0,34
	Ti	-0,12	0,31	-0,09	0,78
	Co	-0,02	0,08	-0,35	0,81
	R - Canônico	0,92*	0,63n.s	0,50n.s	0,25n.s
	Qui-quadrado	34,55	10,67	4,35	0,83
	GL	32,00	21,00	12,00	5,00

GL: Graus de liberdade; **, *, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

A relação estabelecida entre a CTC e CE com os teores de B no solo pode ser atribuída à influência da matéria orgânica sobre a CTC e a salinidade sobre o teor de M.O. Uma vez que em solos com altos teores de sais, sobretudo o sódio, elevam o pH do solo e por hidrólise diminuem o conteúdo de M.O podendo transferir-se para as camadas superficiais por capilaridade.

4.3.5 Análise de correlação canônica para as amostras dos solos dos quatro perímetros irrigados

Correlações canônicas para as amostras de solos dos quatro perímetros irrigados do Ceará (80 pontos analisados) características que definem os solos afetados por sais (conjunto I) e a concentração de metais pesados (Conjunto II) (Tabelas 23 e 24). Apenas o primeiro par foi altamente significativo ($R = 0,72$, $P \leq 1\%$), pelo teste do qui-quadrado (Tabela 23). Os atributos do solo CTC ($R = 0,64$) e PST ($R = 0,57$) foram as variáveis mais importantes conjunto I, que explicam os teores de metais pesados do conjunto II (Al, Cr, Fe, Mn, V);

semelhantermente foi verificado nos quatro perímetros irrigados quando analisados individualmente, independentemente da predominância da fração mineral dos solos, dando indício que estas relações se estabelecem tanto pelo material de origem, como pela afinidade química que estes metais possuem com a CTC e PST. Os outros pares (2, 3 e 4) não tiveram importância ($R < 0,5$).

A CTC foi a variável que mais influenciou, variando de acordo com a textura do solo. Este atributo está intimamente ligado às concentrações dos íons trocáveis presentes na solução do solo e aos sítios de troca nas interfaces coloidais do sistema. Uma elevada CTC proporciona uma maior retenção do metal no solo (RAIJ, 1969). A matéria orgânica, embora represente em média 5% dos componentes sólidos, é responsável por cerca de 30% a 65% da CTC dos solos minerais, e mais de 50% da CTC de solos arenosos e orgânicos (SEGUNDO MATOS, 1996).

Tabela 23 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes aos 80 pontos do estudo.

Conjunto	Variáveis	Pares canônicos			
		1	2	3	4
C1		Correlações Canônicas ⁽¹⁾			
	pH	0,51	-0,30	-0,54	-0,60
	CE	0,40	0,90	-0,04	-0,16
	PST	0,57	0,54	-0,55	0,28
C2	CTC	0,64	0,72	0,23	-0,16
	Cu	0,21	0,09	0,33	-0,40
	Ni	0,26	0,18	0,55	-0,63
	Fe	0,72	0,26	0,37	-0,38
	Zn	0,35	0,06	0,61	-0,43
	Mn	0,68	-0,02	0,51	-0,40
	Cr	0,76	-0,08	0,27	-0,46
	Zr	0,14	-0,11	-0,56	0,40
	V	0,64	0,30	0,41	-0,47
	Al	0,77	-0,03	0,43	-0,29
	R - Canônico	0,72**	0,46ns	0,41ns	0,34ns
	Qui-quadrado	91,13	38,87	22,05	8,88
	GL	36,00	24,00	14,00	6,00

GL: Graus de liberdade; **, *, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

O pH exerce forte influência na dinâmica dos íons metálicos catiônicos (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cr^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} e Cd^{2+}), sendo estes mais móveis em condições de pH baixo, principalmente em solos com elevado grau de intemperização, onde os grupos funcionais de superfície dos componentes coloidais são, na sua maioria, dependentes de pH, especialmente os oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (RIEUWERTS et al., 2006). Formas mal cristalizadas de Fe e Al apresentam alta superfície específica e elevada carga superficial dependente de pH, favorecendo a retenção desses metais (FONTES et al., 2001). A Tabela 24 indica que houve correlações canônicas significativas ($R = 0,71$; $P \leq 1\%$) e ($R = 0,60$; $P \leq 1\%$), para o primeiro e segundo pares canônicos, respectivamente, pelo teste do qui-quadrado. Assim, os dois pares canônicos são de interesse do estudo.

Tabela 24 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos I e II referentes aos 80 pontos do estudo.

Conjunto	Pares canônicos				
	Variáveis	1	2	3	4
CI		Correlações Canônicas ⁽¹⁾			
	pH	0,50	-0,72	0,04	0,48
	CE	0,58	0,09	-0,75	-0,31
	PST	0,43	-0,51	-0,38	-0,64
CII	CTC	0,81	0,24	-0,46	-0,28
	Pb	0,75	-0,26	0,18	-0,24
	Cd	0,20	-0,06	0,28	-0,58
	Se	0,55	0,36	0,45	0,27
	Si	0,26	0,63	-0,14	-0,16
	B	0,90	0,33	-0,19	-0,18
	Mo	-0,04	-0,18	-0,14	-0,65
	Ti	0,67	0,22	-0,18	0,06
Co	0,77	0,18	0,12	0,01	
	R - Canônico	0,71**	0,60**	0,52n.s	0,31n.s
	Qui-quadrado	112,96	62,63	29,93	7,48
	GL	32	21	12	5

GL: Graus de liberdade; **,*, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas $\geq 0,5$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Pelos coeficientes do primeiro par canônico ficou evidenciada a relação entre caracteres que definem os solos afetados por sais (conjunto I) CTC ($R=0,81$) e CE ($R=0,58$), com metais B ($R=0,90$), Co ($R=0,77$), Pb ($R=0,75$), Ti ($R=0,67$) e Se ($R=0,55$) caracteres do (Conjunto II); são determinantes no incremento destes elementos no solos. Na medida em que atributos CTC e CE aumentam elevam os teores de B, Co, Pb, Se.

Pelos coeficientes do segundo par canônico (Tabela 24), verifica-se dependência significativa entre os dois grupos de variáveis analisadas e que suas relações são explicadas. Estabeleceu-se relação entre o atributo do conjunto I pH ($R=-0,72$) com o metal do conjunto II Si ($R=0,63$), sendo esta relação inversamente proporcional. Fato explicado por Alcarde (1992) onde o mesmo afirma que os silicatos comportam-se de maneira similar aos carbonatos no solo e são capazes de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos.

O B (0,90) foi o elemento que obteve a maior relação com os atributos relacionados com a salinização (CTC, CE e pH). Os teores de B aumentam gradualmente e chega a um máximo em pH variando de 7-9, dependendo do tipo de solo e mineral. A medida que o intervalo de pH decai, cai sua adsorção gradualmente até chegar a um valor mínimo (DEBUSSETTI et al., 1995).

Com relação ao Pb ($R= 0,75$) suas interações com os colóides dos solos são predominantemente específicas e menos dependentes das cargas superficiais (PIERANGELI et al., 2001). A adsorção específica envolve a troca de metais com ligantes presentes na superfície dos colóides, que formam ligações covalentes e são a causa pelo qual alguns solos adsorverem metais acima da sua capacidade prevista com base na CTC (ABD-ELFATAH & WADA, 1981).

A explicação para interação do Ti com os atributos do conjunto I pode estar baseada no seu caráter anfótero. A fração argila e matéria orgânica humificada do solo apresentam tanto cargas positivas quanto negativas, normalmente, com predomínio das últimas. Nos minerais de argila silicatados do tipo 2:1 as cargas originam-se em maior parte por substituição isomórfica de íons na rede cristalina. Desta forma, estas cargas são permanentes, assim, os cátions podem ser adsorvidos eletrostaticamente em qualquer valor de pH do solo (SODRÉ et al., 2001).

Naidu et al. (1998) parte de um princípio semelhante, afirmando que complexos de esfera interna ocorrem mais comumente em minerais de argila com cargas dependentes de pH, como a hematita, goethita, gibbsita e caulinita e complexos de esfera externa em minerais de argila com carga permanente, como as esmectitas e vermiculita. Kabata Pendias & Pendias, (2001) compartilham a ideia de que solos de reação ácida favorecem a disponibilidade e ação tóxica de metais pesados. Isto é, em condições ácidas, o fenômeno de adsorção é mais importante no controle da biodisponibilidade de metais, enquanto que reações de solubilidade ou precipitação e complexação têm maior influência em condições neutras ou alcalinas dos solos.

Desta forma, valores elevados de CTC total nos solos, confere grande potencial na retenção de cátions, inclusive metais pesados (SODRÉ et al., 2001), portanto maior capacidade de adsorção e retenção de metais pesados (SHUMAN, 1982).

Conclui-se que nem todos os metais se comportaram da mesma maneira, quando um aumento da salinidade. Estabeleceram-se relações entre a concentração de sais solúveis ($CE = 0,58$) com os seguintes metais: B, Co, Pb, Ti e Se. Tal fato pode partir das seguintes fundamentações: capacidade de complexação de sais ânions com os metais pesados; e pela concorrência de sais cátions, derivados de cargas positivas, com os metais, também de cargas positivas, pelos sítios de sorção sobre a fase sólida (PAALMAN et al., 1994).

4.4 Análise fatorial por componentes principais

Para garantir que as variáveis possuíssem correlações mínimas suficientes para justificar o seu uso na matriz de dados na Análise Fatorial (AF), foi utilizada a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) para as 21 variáveis estudadas, entre atributos químicos do solo (pH, CE e PST e CTC_i) e os teores de As, Mn, Al, Hg, Ar, Fe, Cr, Zn, Pb, Ni, Cu, Mo, Co, V, Se, B e Ti, nas amostras de solos de cada perímetro de forma individual e dos quatro perímetros em conjunto.

4.4.1 Análise fatorial referente a solos do Perímetro irrigado Morada Nova

O Eixo fatorial (F1) permitiu estimar a influência, sobretudo, de 15 variáveis (Co, Cu, Fe, Cr, V, Al, Ti, Pb, Cd, Se, Mn, B, Zn, Zr e CTC). Os resultados indicam (Tabela 25) que o teor de metais pesados pode variar, principalmente, em função da CTC e que estes elementos se relacionam fortemente entre si (R maior que 0,65). O segundo eixo fatorial (F2) indica que as variáveis CE, PST e CTC se relacionam principalmente entre elas e pouco com as demais variáveis (teores de metais pesados). O eixo fatorial (F3) explica a influência do pH nos teores de Mo no solo e que eles se relacionam de forma inversamente proporcional. O eixo fatorial (F4) indica que o Si não interage com nenhuma variável analisada. A variância acumulada dos quatro fatores obtidos (F1 a F4) conseguiu explicar cerca de 92 % da variabilidade total dos dados.

Tabela 25 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Morada Nova com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.

Variável	Eixo fatorial ⁽¹⁾			
	1	2	3	4
	Cargas fatoriais ⁽²⁾			
Cu	0,98	0,06	0,07	0,12
Ni	-0,44	-0,23	0,15	-0,59
Fe	0,98	0,07	0,09	0,03
Zn	0,86	0,38	-0,01	0,13
Mn	0,94	-0,05	-0,15	0,10
Cr	0,98	0,08	0,10	0,09
Zr	0,78	0,08	0,23	0,09
V	0,98	0,10	0,10	0,07
Al	0,97	0,10	0,11	0,13
Pb	0,96	0,08	-0,03	0,19
Cd	0,95	0,01	0,09	0,20
Se	0,95	0,05	-0,07	-0,07
Si	0,09	0,13	0,04	0,93
B	0,94	0,13	0,17	0,18
Mo	0,16	-0,14	-0,89	0,04
Ti	0,97	0,06	0,11	0,07
Co	0,99	0,03	0,01	0,03
pH	0,45	-0,01	0,78	0,06
CE	-0,16	0,96	-0,05	0,01
PST	0,31	0,76	0,42	0,25
CTC	0,66	0,68	0,09	0,18
Autovalores	14,34	2,39	1,55	1,01
Variância total (%)	68,30	11,38	7,55	4,81
Variância acumulada (%)	68,30	79,69	87,24	92,05

(1)Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. (2) Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

No estabelecimento de valores de referência para metais pesados em solos do estado do Espírito Santo, Paye et al. (2012) verificaram que o teor de metais pesados, em especial de Cu e Ni, pode variar, principalmente, em função da textura e do CO dos solos nos horizontes superficiais. Fadigas et, al. (2002) estudando diversas classes de solos brasileiros, demonstraram que as variáveis conteúdo de argila, silte, Mn e Fe foram as que apresentaram melhor correlação com os teores de metais pesados para os solos estudados. Os intervalos de concentração de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, e Zn podem ser considerados como os teores que os solos de cada grupo têm, em condições naturais, e dão uma indicação para avaliar preliminarmente áreas suspeitas de poluição.

Lamy et al. (2006), estudando migração de metais pesados em Luvisolos irrigados com água de esgoto, observaram que houve interações entre metais (Zn, Pb, Cu e Cd) no solos, o que favoreceu a migração destes para horizontes subsuperficiais dos perfis dos solos estudados. Já Alleoni et al. (2005) encontraram altas correlações positivas para o Cu e Cd com os óxidos de Fe e Al em horizontes B de Latossolos, indicando assim a baixa mobilidade dos metais nestes solos.

A relação do Fe, V e Mn ressalta a associação de outros metais pesados com esses elementos em solos. Tem sido relatada a adsorção de Co, Ni, Zn e Cu e outros metais pesados, em óxidos de Fe e/ou Mn (FONTES et al., 1985; MCKENZIE, 1989).

Maiz et al. (2000), utilizando a ferramenta da análise fatorial para descrever a estrutura das relações entre variáveis de metais pesados, comprovou relação entre o Fe e o teor total de metais como Ni e Cr. A relação encontrada entre o Fe e Cr corrobora com a relação encontrada nesse estudo, diferindo, no entanto, para o elemento Ni, onde não foi observado relação com o Fe.

A interação observada entre o pH e o Mo é explicada porque em condições de pH extremamente baixo, o Mo existente na solução do solo encontra-se predominantemente em forma não dissociada de ácido molíbdico (H_2MoO_4). Com o aumento do pH, o H_2MoO_4 se dissocia em ($HMoO_4^-$) e, posteriormente, a molibdato (MoO_4^{2-}), o qual se torna a forma predominante em solos de pH neutro e alcalino. O Mo é facilmente liberado dos minerais primários pela intemperização. Ele permanece relativamente móvel como molibdatos potencialmente solúveis. Entretanto, esses molibdatos são adsorvidos nas superfícies de minerais primários e da fração coloidal, fazendo com que a disponibilidade do Mo no solo seja dependente do pH.

A baixa relação do Si com os outros metais pode ser atribuída ao avançado grau de intemperismo em que se encontram os solos de regiões tropicais ou pelo fato da extração do silício ter sido efetuada pelo método USEPA (3050B) onde não há o ataque completo da sílica.

4.4.2 Análise fatorial referente ao Perímetro irrigado Baixo-Acaraú

Nas amostras de solos do perímetro irrigado baixo-Acaraú, de textura predominantemente arenosa, o primeiro eixo fatorial (F1) atesta que o comportamento das variáveis estudadas assemelha-se ao do perímetro irrigado Morada Nova (Tabela 26). O eixo

fatorial (F2) exalta a relação entre atributos do solo relacionados com a salinidade (CTC, CE e PST) não sendo verificada relação destes com os metais. Já os eixos fatoriais 3, 4 e 5 apresentam correlações positiva entre si (Co, Pb e Cd); (Mo e Zr) e (Ti e Se), respectivamente.

A alta correlação, entre os metais, evidenciada pelo primeiro fator indica a possível afinidade geoquímica entre estes metais. Indicando a ocorrência associada destes elementos no material de origem.

Tabela 26 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Baixo-Acaraú com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.

Variável	Eixo fatorial ⁽¹⁾				
	1	2	3	4	5
	Cargas fatoriais ⁽²⁾				
Cu	0,94	-0,10	0,02	-0,02	0,13
Ni	0,65	0,35	0,01	0,53	0,20
Fe	0,98	0,09	0,02	0,12	0,11
Zn	0,82	-0,02	0,03	-0,03	0,02
Mn	0,96	-0,04	0,05	0,04	-0,04
Cr	0,99	0,05	0,02	0,00	0,05
Zr	-0,40	-0,20	0,07	-0,71	-0,13
V	0,99	0,04	0,04	0,04	0,08
Al	0,99	0,02	0,00	-0,04	0,02
Pb	-0,06	0,37	-0,82	-0,16	-0,13
Cd	-0,22	-0,16	-0,75	0,03	0,18
Se	-0,12	-0,02	-0,08	-0,06	-0,80
Si	0,26	0,11	-0,64	0,01	-0,52
B	0,61	0,33	0,00	-0,45	0,44
Mo	0,38	0,22	-0,26	-0,72	0,01
Ti	-0,28	0,03	-0,20	-0,08	-0,79
Co	-0,04	0,17	-0,92	0,03	-0,15
pH	0,08	-0,64	-0,13	0,44	0,01
CE	0,04	0,89	0,01	0,01	0,01
PST	-0,23	0,81	-0,39	-0,15	-0,08
CTC	0,21	0,91	-0,22	0,17	0,05
Autovalores	7,989035	4,100686	2,335857	1,753580	1,340914
Variância total (%)	38,04302	19,52708	11,12313	8,35038	6,38531
Variância acumulada (%)	38,0430	57,5701	68,6932	77,0436	83,4289

(1) Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. (2) Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

A caulinita e os óxidos de Fe e Al são componentes importantes na retenção de metais pesados. Esses minerais secundários são constituintes importantes em solos tropicais e responsáveis pela baixa mobilidade e biodisponibilidade de metais pesados (AMARAL SOBRINHO et al., 1998). Os metais pesados podem ser adsorvidos eletrostaticamente na superfície da caulinita e de óxidos (adsorção não-específica) ou especificamente formando ligações covalentes ou parcialmente covalentes com os oxigênios da estrutura mineral (SPARK et al., 1995).

Estreitas correlações foram estabelecidas entre os teores de Co, Cd e Pb, este fato pode estar relacionado com a influência antrópica na área. Uma vez, que o Co está mais relacionado com as frações minerais do solo; por sua vez, o Cd e Pb tendem a predominar nas frações orgânicas e residuais (ALLOWAY, 1990) e o Zn segue a mesma tendência (ARAÚJO & NASCIMENTO, 2005).

As correlações estabelecidas entre os metais nos Neossolos quartzarênicos do perímetro irrigado Baixo-Acaraú se assemelharam e diferiram das relações encontradas por Fadigas et al. (2006) em solos da classe Argissolo: Al e Fe; As e Ba; Cd e Fe; Co com Zn, Ni e Mn. E para solos da classe Cambissolos: As e Cd; Fe e As com Cu, Cr e Ni; Cd com Cr, Ni e Mn e Fe e Ni.

A relação entre o Se (-80) e Ti (-79), o pH dos solos estudados (a maioria acima de 7) deve ter contribuído para a baixa quantidade de cargas negativas, aumentando assim o efeito das cargas positivas dos óxidos de Ti com o ânion selenato.

4.4.3 Análise fatorial referente ao Perímetro irrigado Curu-Pentecoste

A análise fatorial dos dados, com método de extração por componentes principais, foi possível extrair (4) fatores com autovalor acima de (1), além de explicarem juntos 88,4% da variação dos dados (Tabela 27). Considerando cargas fatoriais representativas aquelas em que o valor em módulo seja maior ou igual a 0,65, observa-se que todas as variáveis, com exceção do Mo, apresentaram boa representatividade. Elementos como o Ni, Fe, Zn, Mn, Cr, V, Al, Pb, Cd, Se, Si, Ti, e Co tiveram maior peso no fator 1. Já as variáveis relacionadas à salinidade (CE, PST e CTC) tiveram peso maior no fator 2, o Cu e B no fator 3 e somente o pH no fator 4. Vale ressaltar que nenhuma das variáveis relacionadas à salinidade do solo teve alta correlação com os teores de metais, o que é um indício que para este perímetro não haja nenhuma interferência entre salinidade e presença de metais no solo.

Tabela 27 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Curu-Pentecoste com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.

Variável	Eixo fatorial ⁽¹⁾			
	1	2	3	4
	Cargas fatoriais ⁽²⁾			
Cu	-0,09286	-0,165381	-0,747562	-0,317890
Ni	0,98239	0,028198	0,066989	0,110113
Fe	0,96382	0,026442	0,134075	0,185458
Zn	0,82405	-0,180037	0,320796	-0,003042
Mn	0,88619	0,066585	-0,106598	-0,180509
Cr	0,99084	-0,033269	0,004775	0,072101
V	0,97233	-0,054613	0,141524	0,156508
Al	0,98279	-0,003849	0,083547	-0,095588
Pb	0,91975	-0,047668	0,210218	0,055862
Cd	0,89517	-0,071108	0,140036	0,068438
Se	0,83073	0,198236	-0,349041	-0,024574
Si	0,77893	0,164091	0,482282	-0,101336
B	0,15787	0,370612	0,767527	-0,295398
Mo	0,19017	-0,275936	0,667360	0,211899
Ti	0,91147	-0,080295	0,076694	0,168585
Co	0,97993	0,017285	0,025999	-0,092925
pH	0,12349	0,121643	0,047300	0,922836
CE	-0,05860	0,976823	0,057347	0,015046
PST	0,02960	0,841183	-0,059087	0,422287
CTC	-0,00535	0,951666	0,147965	-0,094565
Autovalores	11,32020	3,06346	1,92362	1,37327
Variância total (%)	56,60101	15,31732	9,61811	6,86636
Variância acumulada (%)	56,60101	71,91833	81,53645	88,40281

(1) Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. (2) Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

4.4.4 Análise fatorial referente ao Perímetro irrigado Icó-Lima Campos

Os resultados da Tabela 28 indicam, para o Eixo Fatorial (F1), que os teores de metais pesados, em especial, Co, Al, B, V, Ni, Fe Pb, Ti e Mn se relacionaram fortemente entre si, com altas cargas fatoriais e não se relacionam com CE e PST, CTC e pH (Baixas cargas fatoriais). Os eixos fatoriais 2, 3 e 4 ressaltam a relação direta entre atributos do solo relacionados com a salinização (CE, CTC e PST); inversamente o pH com Zr e Cr e entre o Cd e Cu, respectivamente. Os 4 fatores explicam aproximadamente 81% da variabilidade dos dados.

Tabela 28 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados das amostras de solo do perímetro irrigado Icó-Lima Campos com as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.

Variável	Eixo fatorial ⁽¹⁾			
	1	2	3	4
	Cargas fatoriais ⁽²⁾			
Cu	0,53	-0,17	0,13	-0,65
Ni	0,86	-0,07	0,41	0,04
Fe	0,85	-0,03	0,46	0,21
Zn	0,47	-0,24	0,50	-0,09
Mn	0,82	0,12	-0,30	0,02
Cr	0,31	-0,07	0,73	0,13
Zr	0,46	0,01	0,72	0,26
V	0,87	0,16	0,40	0,02
Al	0,92	-0,01	0,34	0,10
Pb	0,83	-0,45	0,17	-0,05
Cd	0,28	-0,01	0,29	0,82
Se	0,30	-0,41	0,36	0,11
Si	0,34	-0,66	0,14	0,30
B	0,89	0,16	0,20	0,10
Mo	-0,21	0,23	0,72	0,18
Ti	0,83	0,29	-0,11	-0,08
Co	0,96	0,22	-0,03	-0,07
pH	-0,30	-0,13	-0,88	0,09
CE	0,18	0,92	0,18	0,01
PST	0,04	0,79	-0,17	0,48
CTC	0,37	0,84	0,22	-0,05
Autovalores	9,509644	3,376276	2,704550	1,399902
Variância total (%)	45,28402	16,07751	12,87881	6,66620
Variância acumulada (%)	45,28402	61,36153	74,24034	80,90654

(1) Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. (2) Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

A obtenção dos fatores (1) corrobora com as associações propostas por Goldschmidt (1958), onde o mesmo ressalta que vários elementos metálicos apresentam afinidades com o Fe, Mn, Ti e V, ou, ainda, afinidades geoquímicas entre os elementos.

A maioria dos pontos analisados dentro do perímetro irrigado Icó- Lima Campos foi classificado como Salino-Sódicos e Sódicos e apresentaram elevado pH. Amaral Sobrinho et al. (1999), estudando a lixiviação de Pb, Zn, Cd e Ni em Argissolo Vermelho Amarelo tratado com resíduos siderúrgicos, verificaram que o pH elevado do resíduo siderúrgico resultou na menor mobilização e interação entre Zn, Ni e Cd, resultando em baixo risco de contaminação de aquíferos.

O aumento do pH provocado pela calagem do solo teve pouca ou nenhuma influência na eluviação do crômio (ALCÂNTARA e CAMARGO, 2001), o qual também pode ter acontecido com o Zr, por formar óxidos estáveis.

4.4.5 Análise fatorial para as amostras de solos dos quatro perímetros irrigados estudados

A análise fatorial dos dados, com método de extração por componentes principais, permitiu extrair (5) fatores com autovalor acima de (1), além de explicarem juntos 85% da variação dos dados (Tabela 29). Elementos como o Cu, Ni, Fe, Zn, Mn, Cr, V, Al, Pb, Se, Ti e Co tiveram maior peso no fator 1. Já os atributos relacionados com a salinidade (CE, PST e CTC) tiveram peso maior no fator 2, o Mo e Zr, como baixa intensidade de relação, no fator 3 e somente o Co no fator 4 e o Si e Zr de forma inversamente proporcional no fator 5. Vale salientar que nenhuma das variáveis relacionadas à salinidade do solo teve alta correlação com os teores de metais quando se analisou os solos dos perímetros individualmente, o qual se confirmou quando se analisou os perímetros em conjunto, dando é um indício que não haja nenhuma interferência entre salinidade e presença de metais no solo.

Como já foi discutido neste estudo, o Fe, Al, Mn, Ti, V, Cr, Co, Argila, pH, CTC e CO governam a relação existente entre os metais e são responsáveis por grande retenção dos mesmos nos solos. O Cu, Zn, Cd e Pb são fortemente ligados à matéria orgânica, e uma ordem comumente encontrado na literatura de retenção dos metais é de Cu>Pb>Zn para os ácidos fúlvicos (pH 5) e de Cu>Pb>Cd>Zn para os ácidos húmicos (pH 4 a 6) (ROSS, 1994).

Determinando teores naturais de metais pesados em solos do estado de Minas Gerais, como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade em Latossolos Fadigas et al. (2006) encontraram correlações para os metais entre: Cu e Mn; Cd e Co; Cd e Fe; Co e Mn; Co e Zn; Fe e Mn; Fe e Zn e Mn e Ni, sugerindo que os metais menos móveis nos solos são: Cd, Co, Cu, Ni e Zn e que estes estão associados aos elementos Fe Mn.

Tabela 29 - Eixos fatoriais para atributos do solo relacionados com a salinidade e teores de metais pesados para as amostras de solos dos quatro perímetros irrigados do CE com suas respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e variância acumulada.

Variável	Eixo fatorial ⁽¹⁾				
	1	2	3	4	5
	Cargas fatoriais ⁽²⁾				
Cu	0,695018	0,046253	0,460725	-0,147174	-0,142286
Ni	0,709172	0,041883	0,207200	-0,096895	0,295195
Fe	0,932954	0,235511	-0,039213	0,045365	0,136550
Zn	0,744784	0,001111	-0,016752	-0,033545	0,547683
Mn	0,893521	0,086566	0,022458	0,107875	0,185061
Cr	0,954252	0,102884	-0,069440	0,164863	0,028820
Zr	-0,082173	0,042923	-0,569291	0,124393	-0,678867
V	0,887386	0,219861	0,006855	0,042092	0,354608
Al	0,955483	0,121763	-0,089806	0,114553	0,100979
Pb	0,771865	0,171876	-0,357657	0,247060	0,058776
Cd	0,466474	-0,022002	-0,123723	0,449368	0,627120
Se	0,833002	-0,065295	0,246359	0,047839	0,043747
Si	0,396386	0,110001	0,189181	-0,220416	0,804060
B	0,597999	0,476725	0,016542	-0,012523	0,346722
Mo	0,109096	0,072426	-0,867156	-0,135037	-0,177771
Ti	0,778662	0,221787	0,091679	-0,002044	0,484026
Co	0,903153	0,157539	0,015765	0,061064	0,347593
pH	0,196316	0,055227	0,083913	0,911576	-0,118955
CE	0,116027	0,959717	0,005720	-0,055514	0,052209
PST	0,040665	0,790084	-0,181394	0,317473	-0,105081
CTC	0,286518	0,890057	0,011634	-0,032763	0,086332
Autovalores	11,03707	2,66892	1,98103	1,16345	1,06016
Variância total (%)	52,55747	12,70916	9,43348	5,54022	5,04836
Variância acumulada (%)	52,55747	65,26662	74,70011	80,24033	85,28869

(1) Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. (2) Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

O pH apresenta uma grande influência na adsorção desses metais e, de modo geral, quanto maior o pH maior é a adsorção do tipo covalente no solo. O aumento do pH resulta no aumento da CTC pela desprotonação dos grupamentos ácidos da matéria orgânica e dos grupamentos OH das bordas dos argilominerais, na formação de hidróxidos, carbonatos e fosfatos insolúveis com os metais pesados e na complexação mais efetiva pela matéria orgânica (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001). A adsorção covalente, segundo ALLOWAY (1995), está diretamente relacionada com a presença de óxidos de Fe e Al, capacidade de hidrólise do metal em estado catiônico, e a adsorção máxima ocorrem em valor de pH no qual a espécie hidrolisada tem maior participação.

5 CONCLUSÃO

1. Os teores de metais pesados e elementos nos solos dos quatro perímetros seguiram a seguinte ordem decrescente: Fe, Al, Si, Ti, Mn, Zn, Cr, V, Ni, Cu, Co, B, Pb, Se, Cd, Mo, Zr, sendo esta ordem, no geral, independente das camadas superficiais e subsuperficiais consideradas.
2. Os valores de referência de qualidade para metais pesados e elementos obtidos neste estudo, de modo geral, foram considerados baixos, quando comparados com os valores estipulados por órgãos ambientais (CONAMA e CETESB). Inclusive, para todas as amostras de solo, os teores de As e Hg, ficaram abaixo de limite de detecção do aparelho (0,01).
3. Os atributos do solo relacionadas com a salinização CTC, pH, PST e CE contribuíram para explicar os teores de metais pesados nos solos dos quatro perímetros irrigados, quando analisados em conjunto; todavia, não foram capaz de explicar quando analisados de forma individual. Os atributos relacionados com a salinidade seguiram a ordem de importância: CTC > pH > PST > CE.
4. De forma geral, foram verificadas correlações entre os elementos metálicos analisados neste estudo com o Fe, Mn, Al, Ti e V, ou, ainda, afinidades geoquímicas entre os elementos, nos solos dos quatro perímetros irrigados do Ceará.

REFERÊNCIAS

ABD-ELFATTAH, A.; WADA, K. Adsorption of lead, copper, zinc, cobalt and cadmium by soils that differ in cation exchange materials. **The Journal of Soil Science**, v.32, p.271-183, 1981.

ABREU, C.A.; ABREU, M.F. & BERTON, R.S. Análise química de solo para metais pesados. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. v.2, p.645-692.

ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B. van & SANTOS, W.R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais em solos. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:463-468, 1995.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. MICRONUTRIENTES. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. Cap. 6, p.646- 724.

ABREU, L.B, CARVALHO, G.S, CURI, N, Guilherme, L.R.G & Marques, J.J.G.S, Sorção de selênio em solos do bioma cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 35: 1995-2003, 2011. Acesso em 2 Maio de 2013.

ADRIANO, D.C. Trace Elements in the terrestrial environment. New York, **Springer Veriag**, 532, 1986.

Agencia de desenvolvimento do estado do Ceará (ADECE). **Perímetros públicos do estado do Ceará**, 2011.

AGUIAR, M de J. N; VIANA, T. V. de A; AGUIAR, J. V. de; JUNIOR, R. R C.; AQUINO, F. C. de; JUNIOR, J. H. C. B. Dados climatológicos: Estação de Fortaleza, 2003 [recurso eletrônico] – Fortaleza – CE: **Embrapa Agroindustrial Tropical**, 2004.-(Documentos 86 / Embrapa agroindustrial Tropical, ISSN 1677-1915).

AHNSTROM, Z.S., PARKER, D.R. Development and assessment of a sequential extraction procedure for the fractionation of soil cadmium. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 63, 1650–1658, 1999.

ALCÂNTARA, M. A; CAMARGO, O. A. Isotermas de adsorção de Freundlich para o Cromio (III) em latossolos. **Scientia agrícola**, V. 58, N. 3, P576-572, 2001.

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1992. (Boletim Técnico,6)

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C. & SOARES, M.R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F. Química e mineralogia do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2009. v.2. p.381-447.

ALLOWAY, B. J. & AYRES, D. C. 1994. Chemical Principles of Environmental Pollution. **Blackie Academic & Professional**, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras. 291p.

ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. 2. Ed. London: **Blackie**, 1995. 368p.

ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. New York. **John Wiley & Sons**, 1990. 339p.

ALMÁS, A.R., LOMBNAES, P., SOGN, T.A., MULDER, J. Speciation of Cd and Zn in contaminated soils assessed by DGT-DIFS, and WHAM/Model VI in relation to uptake by spinach and ryegrass. **Chemosphere** 62, 1647–1655, 2006.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; COSTA, L.M. & OLIVEIRA, C. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:345-353, 1998.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B. et al. Lixiviação de Pb, Zn, Cd e Ni em Solo Podzólico Vermelho Amarelo Tratado com Resíduos Siderúrgicos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.6, p.65-75, 1999.

ANDRADE, M. G; MELO, V. F; SOUZA, L. C. P; GABARDO, J, B.R. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. ii - formas e disponibilidade para plantas. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1889-1897, 2009.

ARAÚJO, C.T. & NASCIMENTO, C.W.A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **R Bras. Ci. Solo**, 29:977-985, 2005.

BAATH, E., 1989. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). **Water, Air, and Soil Pollution** 47, 335–379p.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E. & SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:325-30, 2001

BARDGETT, R.D.; SPEIR, T.W., ROSS, D.J., YEATES, G.W., KETTLES, H.A., 1994. Impact of pasture contamination by copper chromium and arsenic timber preservative on soil microbial properties and nematodes. **Biology and Fertility of Soils** 18, 71–79p.

BERNSTEIN, L., 1981. Effect of salinity and soil water regime on crop yields. In: Yaron, D. (Ed.), Salinity in Irrigation and Water Resources. Marcel Dekker, New York, p. 47-64.

BETTINELLI, M.; BEONE, G.M.; SPEZIA, S.; BAFFI, C. Determination of heavy metals in soils and sediments by microwaveassisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis. **Analytica Chimica Acta**, v.424, p.289-296, 2000.

BIGGAR, J.W.; FIREMAN, M. Boron adsorption and release by soils. **Soil Science Society of America Proceedings** , v.24, n.2, p.115-120, 1960.

- BINGHAM, F. T.; PAGE, A.L.; COLEMAN, N.T.; FLACH, K. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.35, n.4, p.546-550, 1971.
- BIONDI, C. M. et al. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.1057-1066, 2011.
- BOCKHEIM, J. G. Soil endemism and its relation to soil formation theory. **Geoderma**, Amsterdam, v.129, p.109-124, 2005.
- BOSSIO, D., CRITCHLEY, W., GEHEB, K., VAN LYNDEN, G., MATI, B., 2007. Conserving Soil - Protecting Water. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture: Water for Food, Water for Life. **Stylus Publishing**, LLC, Sterling, VA, pp. 551e584.
- BRADY, N.C., WEIL, R.R., 2002. The Nature and Properties of Soils. Pearson Education Ltd, New Jersey. C. Produção de duas cultivares de bananeiras submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.39, p.362-368, 2008.
- CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES J. J.; CURI, N. Baseline Concentration of Heavy Metals in Brazilian Latosols. *Comm. Soil Sci. and Plant. Anal.* vol .34, p.547–557, 2003.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. & CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, **Instituto Agrônômico de Campinas/Fundação IAC**, 1997. 45-71p.
- CARIDAD CANCELA, R. **Contenido de macro-micronutrientes, metales pesados y otros elementos en suelos naturales de São Paulo (Brasil) y Galicia (España)**. 2002. 573p. Tesis (Doctorado) - Universidad de A Coruña, A Coruña, España.
- CAVALCANTE, I. H. L.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; BECKMANN, M. Z.; CAMPOS, M. C. C.; GONDIN, S. C. Crescimento e produção de duas cultivares de algodão irrigadas com águas salinizadas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.108-111, 2005.
- CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. 2005. Decisão da Diretoria nº 195/2005. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do estado de São Paulo**. 4p
- CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 420, de 28 de dezembro de 2009. “Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.”, Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84. Disponível:<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2009>(Acessado em Julho de 2013).

CORNU, S; LUCAS, Y; LEBON, E; AMBROSI, J. P; LUIZAO, F; ROUILLER, J; BONNAY, M; NEAL, C. Evidence of titanium mobility in soil profile Manaus, central Amazonia. **Geoderma** 91,1999.

COSTA, M.M.R.; FERNANDES, A.R.; SABINO, L.L.L.; SOUZA, L.S.; LIRA, R.P.C.; TEORES NATURAIS DE COBRE E NÍQUEL E CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS DE SOLOS DA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA. Anais do 10º Seminário Anual de Iniciação Científica da UFRA, 26 a 29 de setembro de 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Grupos de Coordenação Executiva das Operações Agrícolas (GOA)**. Situação em 30/04/1991. Fortaleza, 1991.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Perímetro irrigado baixo-acaraú. Fortaleza 2012. Disponível em:**
http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/baixo_acarau.html.
 Acesso em 2 de outubro de 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Perímetro irrigado morada nova. Fortaleza 2013. Disponível em:**
http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/morada_nova.html

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Perímetro irrigado Curu-Pentecoste. Fortaleza 2012. Disponível em:**
http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/curu_pentecoste.html.
 Acesso em 2 de outubro de 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Perímetro irrigado Icó-Lima Campos. Fortaleza 2012. Disponível em**
http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/ico_lima_campos.html.

Drever, J.I., 1997. The Geochemistry of Natural Waters. Prentice Hall, **Upper Saddle River**, NJ. 436pp.

DU LAING, G., BOGAERT, N., TACK, F.M.G., VERLOO, M.G., HENDRICKX, F. Heavy metal contents (Cd, Cu, Zn) in spiders (*Pirata piraticus*) living in intertidal sediments of the river Scheldt estuary (Belgium) as affected by substrate characteristics. **Sci. Total Environ.** 289, 71–81, 2002.

DU LAING, G., VANTHUYNE, D.R.J., VANDECASTEELE, B., TACK, F.M.G., VERLOO, M.G. Influence of hydrological regime on pore water metal concentrations in a contaminated sediment-derived soil. **Environmental Pollution.** p147.

DUNTEMAN, G.H. 1984. **Introduction to multivariate analysis.** Beverly Hills, London.

ELRASHIDI, M.A.; O'CONNOR, G.A. Boron sorption and desorption in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.27-31, 1982.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solo. Rio de Janeiro, **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, 1978. 461p. (Boletim Técnico, 45)

ENVIRONMENT AGENCY, 2007. *UK Soil and Herbage Pollutant Survey. Report No. 7: Environmental concentrations of heavy metals in UK soil and herbage*. Bristol: Environment Agency.

FADIGAS, F.S.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C. & FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 10:699-705, 2006.

FAO, 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Papers No. 29, Rev. 1, FAO, Rome, 143p.

FAO, 1995. Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects. Irrigation and Drainage Papers No. 53, FAO, Rome, 75p.

FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/> intro.htm. Acesso em 25 de setembro de 2012.

FERNANDEZ, R. O.; CERVERA, J. V. G.; VANDERLINDEN, K.; BOJOLLO, R. C.; FERNÁNDEZ, P. G. Temporal and spatial monitoring of the pH and heavy metals in a soil polluted by mine spill. Post cleaning effects. *Water Air Soil Pollution*, Amsterdam, v.178, p.229–243, 2007.

FERGUSON, J. E. **The Heavy elements**: Chemistry, environmental impact and healthy effects. Glasgow: Pergamon Press, 614p, 1990.

FLOREA, A.M., BUSSELBERG, D. Toxic effects of metals: modulation of intracellular calcium homeostasis, **Kem. Ind.** 36 (2005) 1–4p.

FONTES, M.R.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Concreções ferruginosas de alguns solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.113-117, 1985.

GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. The influence of composting and maturation processes on the heavy-metals extractability from some organic wastes. **Biological wastes** 31: 291-301p, 1990.

GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Parte 1: Physical and mineralogical methods. Madison, **Soil Science Society of America**, 1986. p.383-412.

GILLER, K.E., WITTER, E., MCGRATH, S.P., 1998. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soil: a review. **Soil Biology & Biochemistry** 30, 1389–1414p.

GIRI, A.K., BANERJEE, R., TALUKDER, G., SHARMA, A., 1980. Mutagenic effects of certain common metal toxicants on mammalian systems. Proc. **Indian Acad. Sci.** (Anim. Sci.) 89, 311–331p.

GOES, E. S. O. O problema da salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e ação de pesquisa, com vistas ao seu equacionamento. In: Reunião Sobre Salinidade em Áreas Irrigadas. Fortaleza, **Anais...: SUDENE/DNOCS**. 1978, p.1-34.

GOLDSCHMIDT, V.M. **Geochemistry**. London, Oxford University Press, 1958. 425p.

GOLDSCHMIDT, V.M. **Geochemistry**. Oxford University Clarendon Press, 1954. 730p.

GRAY, C.W.; McLAREN, R.G.; ROBERTS, A.H.C. & CONDRON, L.M. Solubility, sorption and desorption of native and added cadmium in relation to properties of soils in New Zealand. Eur. J. Soil Sci., 50:127-137, 1999.

GUMEALIUS, L., SMITH, E.H., DALHAMMAR, G., 1996. Potencial biomarker for denitrification of wastewater: effects of process variables and cadmium toxicity. **Water Research** 30, 3025–3031p.

GUPTA, R.K., ABROL, I.P., 1990. Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. In: Lal, R., Stewart, B.A. (Ed.), **Advances in Soil Science**. Soil Degradation, Vol. 11. Springer, New York, pp. 223-288.

GUPTA, V.C. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.32, n.1, p.45-48, 1968.

HARRIS, R.F., 1980. Effect of water potential on microbial growth and activity. Special Edition 9. In: Parr, J.F., Gardner, W.R. (Eds.), **Water Potential Relations in Soil**

HATCHER, J.T.; BOWER, C.A.; CLARK, M. Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. **Soil Science**, v.104, n.6, p.422-426, 1967.

HE, Z. L.; YANG, X. E.; STOFFELLA, P. J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.19, n. 2-3, p.125–140, 2005.

HINGSTON, F.J. Reactions between boron and clays. **Australian Journal of Soil Research** , v.2, n.1, p.83-95, 1964

HODGSON, J.F., 1963. Chemistry of the micronutrients elements in soil. IN: Advances in Agronomy. Norman, A.G., ed. **Academic Press Inc.**, 15 :119-159.

HOLTAN-HARTWIG, L., BECHMANN, M., RISNES-HOYAS, T., LINJORDET, R., REIER BAKKEN, L., 2002. Heavy metals tolerance of soil denitrifying communities: N₂O dynamics. **Soil Biology & Biochemistry** 34, 1181–1190p.

HUNTER, A.H. **Laboratory analysis of vegetal tissues samples**. Raleigh, North Carolina University, 1975. 5p.

ISELL, R., 2002. **The Australian Soil Classification**. CSIRO, Australia, pp. 1e144.

J. M. A. S. VALADARES., 1975. Cobre em solos do Estado de São Paulo. **Revista científica do instituto agrônomo do Estado de São Paulo**. V- 34, N- 4, 1-8.

JOHNSON, D.L., LEWIS, L.A., 1995. Land Degradation: Creation and Destruction. Blackwell, Cambridge, p. 335.

KABATA- PENDIAS, A. Agricultural problems related excessive trace metal contents of soils. In: SOLOMONS, S. W.; TRADER, P. **Trace metals: problems and solutions**. (S.1): Springer, 1995. p3-18.

KABATA-PENDIAS, A. & MUKHERJEE, A.B. Trace elements form soil to human. New York, **Springer**, 2007. 550p.

KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants – 3^a ed. **Boca Raton**, Florida: CRC Press, 2001. 315p.

KEREN, R., 2000. Salinity. In: Sumner, M.E. (Ed.), **Handbook of Soil Science**. CRC Press, Boca Raton. 3e25p.

KNUDSEN, D.; PETERSON, G.A. & PRATT, P.F. Lithium, sodium and potassium. In: PAGE, A.L., ed. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Madison, **American Society of Agronomy**, 1986. Part 2. p. 225-246.

KORT, N.E.; SKOPP, J.; FULLER, W.H.; NIEBLA, E.E. & ALESII, B.A. Trace element movement in soils. Influence of soil physical and chemical properties. *Soil Sci.*, 122:350-359, 1976.

LAKE, D.L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J.N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.2, p.91-130.

LAMY, I.; OORT, F.; DERÉ, C.; BAIZE, D. Use of major and trace-element correlations to assess metal migration in sandy Luvisols irrigated with wastewater. **European Journal of Soil Science**, Paris, v.57, p.731–740, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Rima Artes e Textos, São Carlos. 531p, 2000.

LEWANDOWSKI, I., SCHMIDT, U., LONDO, M., FAAIJ, A., 2006. The economic value of the phytoremediation function e assessed by the example of cadmium remediation by willow (*Salix ssp.*). **Agricultural Systems** 89, 68 e 89p.

MACÊDO, J. A B. 2002. **Introdução à Química Ambiental**- Juiz de Fora - MG. 1ed. 487p.

MAIZ, I.; ARAMBARRI, I.; GARCIA, R. et al. Evaluation of heavy metal availability in polluted soils by two sequential extraction procedures using factor analysis. **Environmental Pollution**, Barking, v.110, p.3-9, 2000.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1980. 215p.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos. São Paulo: **ProduQuímica**, 1994. 153p.

MALCOLM, M.; PAGE, A.L.; BINGHAM, F.T. Adsorption interactions of monosilicic and boron acid on hydrous oxides of iron and aluminum. **Soil Science Society of America Proceedings** , v.36, n.3, p.510-514, 1972.

MARQUES J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v.121, p.31-43, 2004.

MASON, B.H., 1971. Princípios de Geoquímica. Trad. Rui Ribeiro Franco. Editora da Univ. de São Paulo. **Ed. Polígono**. São Paulo. 403 p.

MATOS, A. T.; FONTES, M. P. F.; JORDÃO, C. P.; COSTA, L. M. R. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em latossolo vermelho-amarelo. **Bras. Cienc. Solo**, 20, 379, 1996.

MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; BARROS, A. D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, p.242-247, 2008.

MEERS, S. VAN SLYCKEN, K. ADRIAENSEN, A. RUTTENS, J. VANGRONSVELD, G. DU LAING, N. WITTERS, T. THEWYS, F.M.G. The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for phytoattenuation of heavy metals on moderately contaminated soils: a field experiment. **Chemosphere**, 78 (2010), p35–41.

McBRIDE, M. B. Environmental chemistry of soils. New York: **Oxford University Press**, 406p.1994.

McKENZIE, R.M. Manganese oxides and hydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Eds.). **Minerals in soil environment**. Madison: SSSA, 1989. p. 439-465. (Book Series, 1)

MEDEIROS, J. F.; CARMO, G. A.; GONDIM, A. R. O.; GHEYI, H. R.; TAVARES, J. MEERS, E., VAN SLYCKEN, S., ADRIAENSEN, K., RUTTENS, A., VANGRONSVELD, J., DU LAING, G., WITTERS, N., THEWYS, T., TACK, F.M.G. The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for 'phytoattenuation' of heavy metals on moderately contaminated soils: a field experiment. **Chemosphere** 78, 35–41, 2002.

MELLO, F. de A.F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C. do; et al. **Fertilidade do solo**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

MILANEZ, B. Co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: Problemas e desafios. **IX ENGEMA - ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE**, Curitiba, 2007.

MORAES, L.L. **Análise dos aspectos ambientais do açude Pereira de Miranda, município de Pentecoste, Estado do Ceará**. 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

NAIDU, R.; BOLAN, N.S. & TILLER, K.G. Ionic-strenght and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge soils. **Eur. J. Soil Sci.**, 45:419-429, 1994.

NAIDU, R.; SUMMER, M.E. & HARTER, R.D. Sorption of heavy metals in strongly weathered soils. **Environ. Geochem. Health**, 20:5-9, 1998.

NELSON, P.N., BALDOCK, J.A., OADES, J.M., 1998. Changes in dispersible clay content, organic carbon content, and electrolyte composition following incubation of sodic soil. **Australian Journal of Soil Research** 36, 883e897p.

NELSON, P.N., BARZEGAR, A.R., OADES, J.M., 1997. Sodicity and clay type: influence on decomposition of added organic matter. **Soil Science Society of America Journal** 61, 1052e1057p.

NIEUWENHUIZE, J.; POLEY-VOS, C.H.; AKKER, A.H. van den; DELFT, W. van. Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. **Analyst**, v.116, p.347-351, 1991.

OADES, J.M., 1988. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry** 5, 35e70p.

OLSON, R.U.; BERGER, K.C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content, and other factors. **Soil Science Society of America Proceedings** , v.11, n.5, p.216-220, 1946.

PAALMAN, M.A.A., VAN DER WEIJDEN, C.H., LOCH, J.P.G. Sorption of cadmium on suspended matter under estuarine conditions: competition and complexation with major seawater ions. **Water Air Soil Pollut.**73, 49–60, 1994.

PANNELL, D.J., EWING, M.A., 2006. Managing secondary dryland salinity: options and challenges. **Agricultural Water Management** 80, 41e56p. LASAT, M.M., 2002. Phytoextraction of toxic metal: a review of biological mechanisms. **J. Environ. Qual.** 31, 109–120.

PAYÊ, H.S; VARGAS, J.W.; MELLO, S.B. Métodos de Análise Multivariada no Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade para Elementos-Traço em Solos. **R. Bras. Ci. Solo**, 36:1031-1041, 2012

PETRUZZELLI, G.; GUIDI, G. & LUBRANO, L. Ionic strength effect on heavy metal adsorption by soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 16:971-86, 1985.

PETTA, R. A.; MEYER, M.; COSTA, F. H.; DUARTE, C.R. Avaliação de background geoquímico para monitoramento ambiental em áreas de exploração de petróleo (macau-rn). **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005.**

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; OLIVEIRA, L.R.; LIMA, J.M. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.279-288, 2001.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo. Livraria Nobel, 1996.

RAIJ, B. V. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, 28, 85, 1969.

RAZO, I., CARRIZALES, L., CASTRO, J., DIAZ-BARRIGA, F., MONROY, M., 2004. Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico. **Water, Air, Soil Pollution** 152, 129–152.

REED, D.W. Combating poor water quality with water purification systems. In: Reed, D.W.(ed.). *Water, media and Nutrition for Greenhouse Crops*. Illinois: USA, Ball. Publishing, 1996, p. 51-67.

RENGASAMY, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany** 57, 1017e1023p.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000, 117p. Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 48, revisado.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USSL, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

RIETZ, D.N., HAYNES, R.J., 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology & Biochemistry** 35, 845e854. RHOADES, j. D.;

KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. Estudos FAO irrigação e Drenagem, 48.

RIEUWERTS J. S.; ASHNORE, M. R.; FARAGO, M. E.; THORNTON, I. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. **Science of the total Environment**, v.366, p.64–875, 2006.

ROSS, S.J.; FRANZMEIER, D.P.; ROTH, C.B. Mineralogy and chemistry of manganese oxides in some Indiana soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.40, n.1, p.137-143, 1976.

SAKADEVAN, K., ZHENG, H., BAVOR, H.J., 1999. Impact of heavy metals on denitrification in surface wetland sediments receiving wastewater. **Water Science and Technology** 40, 349–355p.

SANTI, A. M. M. & SEVÁ FILHO, A. O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações In: II ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, Campinas, ANPPAS p. 1-18, 2004.

SCHALSCHA, E.B.; BINGHAM, F.T.; CALINDO, G.C.; GALVAN, H.P. Boron adsorption by volcanic ash soils in southern Chile. **Soil Science**, v.116, n.2, p.70-76, 1973.

SHARMA, R.K., AGRAWAL, M., 2005. Biological effects of heavy metals: an overview. **J. Environ. Biol.** 26, 301–313p.

SIEGEL, F. R. **Environmental geochemistry of potentially toxic metals**. Springer – Verlag, Berlin, Germany. 218p, 2002.

SILVA, F. R. & F. F. FERREYRA, F. R. H. Boro total e solúvel e suas relações com alguns atributos dos solos do estado do Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:595-602, 1998.

SINGH, B.; GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soil of Southwestern. **Australian Journal of Soil Science**, v.43, p.77-98, 1992.

SKRBIC, B., DJURISIC-MLADENOVIC, N. Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide. **Chemosphere**, 80, 1360–1369, 2010.

SPARK, K.M.; WELLS, J.D. & JOHNSON, B.B. Characterizing trace metal adsorption on kaolinite. **Eur. J. Soil Sci.**, 46:633- 640, 1995.

STILES, C. A; MORA, C. I; DRIESE, S. G. Pedogenic processes and domain boundaries in a Vertisol climosequence: evidence from titanium and zirconium distribution and morphology. **Geoderma**, v. 116, p. 279– 299, 2003.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3rd Edition. Editora Artmed, Porto Alegre. 719p, 2004.

THORNE, W., 1970. Agricultural production in irrigated areas. In: Dregne, H.E. (Ed.), *Arid Lands in Transition*. **American Society for Advancement in Science**, Washington, DC, 524p.

TISDALE, S. L. e NELSON, W. L. Fertility end fertilizers. **Macmillan Publ. Co.**, 2ed. U.S.A. New York, NY. 1970.

TRIPATHI, S., KUMARI, S., CHAKRABORTY, A., GUPTA, A., CHAKRABARTI, K., BANDYAPADHYAY, B.K., 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. **Biology and Fertility of Soils** 42, 273e277p.

TULKENIA ,K.K ; WEDEPOHL,K.H (1961). Distribution of the elements in Some Major units of the earth's crust. **Bull. Geological Society Am**; N.Y.,72; p. 175-192.

TYLER, G., TYLER, G., 1981. Heavy metals in soil biology and biochemistry. In: Paul, E.A., Ladd, J.N. (Eds.), **Soil Biochemistry**. Marcel Dekker, New York, pp. 371–414.

URE, A.M., Davidson, C.M. Chemical speciation in the environment. Blackie,
VALADARES, J.M.A.S., 1972. Microelementos. Em: MONIZ, A.C. - Elementos de Pedologia. Editora da Universidade de São Paulo. **Ed. Polígono**. São Paulo. p. 199-207.

USEPA. **Method 3050 B**. 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf>. Acesso em: 10 Mai. 2013.

VICINI, Lorena. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215 p. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VON HOYNINGEN HUENE, B., 1994. **Subirrigation of maize using saline-sodic water**. Ph.D. thesis, McGill University, Montreal, Canada.

WANG, M.C. & CHEN, H.M. Forms and distribution of selenium at different depths and among particle size fractions of three Taiwan soils. **Chemosphere**, 52:585-593, 2003.

YUAN, B.C., Li, Z.Z., LIU, H., GAO, M., ZHANG, Y.Y., 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under and conditions. **Applied Soil Ecology** 35, 319e328.

ZANELLO, S.; MELO, V. F. Mineralogia e teores de cromo, níquel, cobre, zinco e chumbo nos solos no entorno do aterro sanitário da Caximba em Curitiba-PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.1, p.051-060, Jan./Feb. 2009.

ZOHNY, E. A. Cobalt in alluvial Egyptian soils as affected by industrial activities, *J. Environ. Sci.*, Beijing, v.14, p. 34- 38, 2002.