

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ADRIANO BARBOZA MOURA

**Valores de referência de qualidade (VRQs) de metais pesados para os
principais tipos de solos de Alagoas**

Rio Largo

2018

ADRIANO BARBOZA MOURA

Valores de referência de qualidade (VRQs) de metais pesados para os principais tipos de solos de Alagoas

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção de grau de Doutor em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Rio Largo

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4-661

M929v Moura, Adriano Barboza.

Valores de referência de qualidade (VRQs) de metais pesados para os principais tipos de solos de Alagoas / Adriano Barboza Moura. – 2018. 72 f. : il., tabs.

Orientador: Guilherme Bastos Lyra

Tese (Doutorado em Proteção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Rio Largo, 2018.

Bibliografia: f. 66.72.

1. Solos – Contaminação. 2. Solos – Análise. 3. Metais pesados. 4. Meio ambiente – Proteção. 5. Degradação ambiental. I. Título.

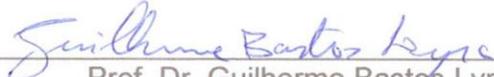
CDU: 631.85

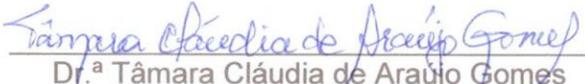
TERMO DE APROVAÇÃO

ADRIANO BARBOZA MOURA
(Matrícula 14140072)

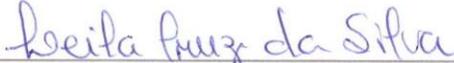
“VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQs) DE METAIS PESADOS PARA OS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLOS DE ALAGOAS”

Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e nove de agosto de 2018, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.


Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Presidente


Dr.^a Tâmara Cláudia de Araújo Gomes
Membro


Prof. Dr. Stócio Malta Ferreira Maia
Membro


Prof.^a Dr.^a Leila Cruz da Silva
Membro

Rio Largo - AL
Agosto-2018

AGRADECIMENTOS

A Deus e as diversas entidades superiores sem quais eu não estaria aqui;

A meu pai Gilson Moura Filho e minha mãe Ivânia Barboza Moura pelo suporte, amor, inspiração e muito mais durante toda a minha vida;

Aos meus irmãos David José Barboza Moura e Vincent Amadeus Barboza Moura pelo apoio durante todos esses anos;

Aos meus companheiros e amigos dos grupos Lost Links, Banhammer, The Sleeping Knights, Game Club e outros pelo apoio, diversão e alegrias nas diversas mídias de entretenimento digital e jogos de tabuleiro presenciais;

A (quase) todos os funcionários e professores da Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de estudo desde a graduação até o doutorado;

A todos amigos da graduação e pós-graduação pelos diversos momentos compartilhados;

A todo pessoal do setor de Solos e Nutrição de plantas, pela ajuda e companheirismo durante toda a etapa da minha vida desde a graduação até o doutorado;

Ao André Moreira de Souza Filho pela oportunidade cuja qual esse trabalho não seria possível e pela amizade;

Ao Manoel, grande companheiro de graduação e mestrado;

Ao meu orientador Guilherme Bastos Lyra, pela orientação e companheirismo durante minha vida acadêmica;

E a todos os outros que eu possa ter esquecido, muito obrigado!

“Portanto, vivam e sejam felizes, filhos diletos do meu coração, e nunca se esqueçam de que, até o dia em que Deus dignar-se a desvelar o futuro para o homem, toda a sabedoria humana estará nestas duas palavras: Esperar e ter esperança.”

O Conde de Monte Cristo, Alexandre Dumas

RESUMO

Os valores de referência de qualidade (VRQs) são valores orientadores que quantificam a concentração natural de elementos químicos em solos sem a influência antrópica, gerando assim instrumentos para diagnóstico da qualidade dos solos. Devido a distribuição de solos no estado de Alagoas, há uma grande variação no teor de substâncias inorgânicas, contudo, como não existe VRQs para os solos do estado, utilizam-se valores desenvolvidos para outros estados da federação, o que pode causar inconsistências. O objetivo desse trabalho foi o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade para os solos do estado de Alagoas, em atendimento ao que determina a Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Foram coletadas 56 amostras para a representatividade das principais classes de solos do estado em áreas sob mínima ação antrópica para a posterior análise de substâncias inorgânicas via método USEPA 3051a, como também análises física e de fertilidade. Os VRQs baseados no percentil 90 para os solos do estado de Alagoas foram os seguintes (mg kg^{-1}): Ag ($< 0,003$), As (0,66), Ba (133,48), Cd (0,21), Co (11,94), Cu (19,06), Cr (42,93), Fe (28.726,61), Hg (0,11), Mn (591,65), Mo (0,32), Ni (17,69), Pb (19,35), Sb (1,58), Se (1,55), V (42,07) e Zn (26,16). Os VRQs estabelecidos para os solos do estado de Alagoas foram inferiores aos valores de prevenção preconizados pela resolução 420/2009 pelo Conama. A análise de componentes principais agrupou os elementos em três componentes, totalizando 75,2% da variância total. O primeiro componente explicou mais de 50,4% da variância total, sendo representado pelos metais Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, V e Zn. O segundo componente explicou 15,5% da variância total, englobando os metais As, Mo e Sb. O terceiro componente por sua vez representou 9,3% e foi composto apenas pelos metais Ba e Cd.

PALAVRAS-CHAVE: Metais pesados, Análise de Componentes Principais, Proteção ambiental.

ABSTRACT

The Quality Reference Values (QRV) are values that quantify the natural concentration of chemical elements in soils without anthropic influence, creating instruments for diagnostics of soil quality. Due to the distribution of soils on Alagoas state, there's a wide variation in regards to inorganic substances concentration, however, since there isn't a QRV determined for the state, values developed for other states are used instead, a fact that can bring inconsistencies. The objective of this work was to establish Quality Reference Values to soils in Alagoas state, in compliance with the Resolution nº 420, of the 28th of December, 2009, from Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. 56 soil samples were collected to represent the main classes of soil of the state in areas under none or minimal anthropogenic action for the subsequent analysis of inorganic substances through the USEPA 3051a method, as well as physical and fertility analysis. The QRVs based on the 90th percentile for the soils of Alagoas state were (mg kg^{-1}): Ag (< 0,003), As (0,66), Ba (133,48), Cd (0,21), Co (11,94), Cu (19,06), Cr (42,93), Fe (28.726,61), Hg (0,11), Mn (591,65), Mo (0,32), Ni (17,69), Pb (19,35), Sb (1,58), Se (1,55), V (42,07) and Zn (26,16). The QRVs established for the soils of Alagoas state were lower than the Precaution Values preconized by Conama. The first component explained more than 50.4% of the total variance, being represented by metals Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, V and Zn. The second component explained 15.5% of the total variance, encompassing the metals As, Mo and Sb. The third component represented 9.3% and was composed only of metals Ba and Cd, thus totaling 75.2% of the total variance.

KEYWORDS: Heavy metals, Principal Component Analysis, Environmental protection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação climática de Thornthwaite do estado de Alagoas (EMBRAPA, 2012).....	25
Figura 2 - Geomorfologia do estado de Alagoas (SEPLAG, 2014).....	27
Figura 3 - Coleta de amostra de solo e limpeza dos utensílios.....	29
Figura 4 - Limpeza dos utensílios e acondicionamentos das amostras de solos.....	30
Figura 5 - Distribuição dos pontos amostrados no estado de Alagoas (Fonte: Google Earth)	31
Figura 6 – Os três componentes principais que influenciam a concentração de metais pesados no solo.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estabelecimento das classes de solos e número de amostras representativas para o estado de Alagoas	26
Tabela 2 - Identificação das amostras de solos por local, coordenadas e altitude para o estado de Alagoas.....	32
Tabela 3 - Recuperação das substâncias inorgânicas no solo de referencial (SRM 2710a - Montana) pelo método USEPA 3051A	36
Tabela 4 - Limite de quantificação das substâncias inorgânicas determinadas	37
Tabela 5 - Atributos químicos e físicos dos principais tipos de solos coletados do estado de Alagoas.....	40
Tabela 6 - Teores naturais de substâncias inorgânicas nos principais tipos de solo do estado de Alagoas.....	46
Tabela 7 - Valores de referência de qualidade (VRQs) para substâncias inorgânicas em solos do estado de Alagoas e valores de prevenção (VP) e investigação (VI) regulamentados pelo CONAMA (2009).....	61
Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os metais pesados no solo de Alagoas	63
Tabela 9 - Eixos fatoriais extraídos para os metais pesados, cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada e comunalidade	64

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	13
2.1. Objetivos Específicos.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Metais Pesados: origem e contaminação	15
3.2 Valores orientadores de qualidade do solo	17
3.3 Determinação dos Valores Orientadores	19
3.3.1 Seleção dos tipos de solo.....	19
3.3.2 Seleção de parâmetros para caracterização dos solos.....	19
3.3.3 Metodologias Analíticas	20
3.3.4 Interpretação de dados e obtenção dos VRQs.....	21
3.4 Análises multivariadas	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Área de Estudo	24
4.2 Coleta das Amostras de solo	28
4.3 Análise granulométrica.....	34
4.4 Análise de fertilidade do solo	34
4.5 Análise de elementos inorgânicos pelo método USEPA 3051A.....	35
4.6 Tratamento estatístico dos dados	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 .Atributos químicos e físicos dos solos.....	38
5.2 – Teores naturais de substâncias inorgânicas dos solos do estado de Alagoas	44
5.2.1 – Prata (Ag).....	44
5.2.2 – Arsênio (As).....	51
5.2.3 – Bário (Ba)	51
5.2.4 – Cádmio (Cd).....	52
5.2.5 – Cobalto (Co).....	52
5.2.6 – Cobre (Cu)	53
5.2.7 – Cromo (Cr)	54
5.2.8 – Ferro (Fe)	55
5.2.9 – Mercúrio (Hg)	55

5.2.10 – Manganês (Mn)	55
5.2.11 – Molibdênio (Mo).....	56
5.2.12 – Níquel (Ni)	56
5.2.13 – Chumbo (Pb).....	57
5.2.14 – Antimônio (Sb).....	58
5.2.15 – Selênio (Se)	58
5.2.16 – Vanádio (V)	59
5.2.17 – Zinco (Zn).....	59
5.3 – Valores de Referência de Qualidade dos estados de Alagoas	60
5.4 – Análise multivariada	62
6. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma vasta extensão territorial e um clima propício para o desenvolvimento de várias culturas vegetais de interesse agrícola. Com o aumento das áreas agricultáveis, diversas áreas, antes sem atividades antrópicas, foram incorporadas ao sistema produtivo, muitas vezes sem um estudo prévio por partes dos órgãos ambientais. A indústria de petróleo e gás brasileira atua na exploração e produção de petróleo em diversas áreas do país, inclusive no estado de Alagoas, e o gerenciamento ambiental desses locais de operação demanda que sejam avaliados, monitorados e analisados diferentes compartimentos naturais. Para esse acompanhamento, faz-se necessário distinguir quais são os níveis naturais de concentração de elementos químicos já presentes no meio ambiente e níveis que eventualmente tenham sido adicionados pela atuação antrópica.

Em uma situação natural, substâncias inorgânicas se distribuem aleatoriamente pelos solos, regidas pelas características físicas e químicas do material de origem. Contudo, esse equilíbrio desaparece com as ações antrópicas que podem adicionar substâncias inorgânicas no solo e, em quantidades elevadas, podem comprometer a qualidade dos ecossistemas (PAYE et al., 2010). Atividades agrícolas como aplicação de herbicidas, pesticidas, fertilizantes minerais e orgânicos são as principais fontes de entrada de substâncias inorgânicas nos solos (CAMPOS et al., 2005; BIONDI, 2010). Com a crescente demanda econômica e social no mundo, há uma necessidade do monitoramento para a avaliação dos impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas sobre os solos. Para tal, ocorre a necessidade do estabelecimento de valores orientadores que identifiquem áreas contaminadas assim sabendo o risco destas para o meio ambiente e saúde humana (CETESB, 2005). Com isso em mente, ocorreu a criação de uma resolução para a orientação e gerenciamento ambiental de substâncias químicas e áreas contaminadas.

A resolução CONAMA de número 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.” Em seu primeiro capítulo estabelece que os valores de referência de qualidade são valores orientadores que quantificam a concentração natural de elementos químicos

em solos sem a influência antrópica. De posse desses valores, gera-se subsídios instrumentais para diagnóstico da qualidade dos solos e águas subterrâneas. Para tal, utiliza-se de classes de solo representativas de uma dada região, fazendo-se uma seleção prévia de acordo com sua geomorfologia, pedologia e geologia local (CONAMA, 2009).

Os solos de Alagoas apresentam uma variabilidade enorme na distribuição de solos, fato que ocorre devido às consequências diretas de fatores de formação, como o clima, material de origem, organismos, relevo e o tempo (EMBRAPA, 2012), culminando com uma grande distribuição de substâncias inorgânicas, independentemente da ação antrópica. No Brasil, poucos estudos para estabelecer esses valores foram concluídos. Na ausência de VRQs para substâncias inorgânicas em solos, estabelecidos para as condições dos estados de Alagoas, utilizam-se valores desenvolvidos para outros estados. Entretanto, deve-se ressaltar que o uso desses valores pode levar a avaliações inadequadas, já que existem diferenças nas condições técnicas e variáveis ambientais de cada região, em especial das condições geológicas e pedológicas.

Com isso em mente, o desenvolvimento de uma tabela própria com VRQs para substâncias inorgânicas em solos, adequada às condições dos estados de Alagoas é essencial para uma maior confiabilidade das avaliações. Nesse sentido, o presente estudo buscou obter os teores naturais de substâncias inorgânicas e verificar a distribuição desses elementos nos solos dos estados de Alagoas, tendo em vista o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQs).

2. OBJETIVO GERAL

Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQs) para os solos dos estados de Alagoas em atendimento ao que determina a Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

2.1. Objetivos Específicos

a) Estabelecer relações que permitam definir valores de referência de qualidade (VRQs) que levem em consideração as faixas normais de concentração dos elementos químicos e físicos em solos do estado de Alagoas;

b) Formar um banco de dados sobre a qualidade de solos no estado de Alagoas, contendo resultados de amostragens, determinações analíticas e os valores de referência de qualidade.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Metais Pesados: origem e contaminação

Nas últimas décadas, o termo “metais pesados” vem sendo usado de maneira cada vez mais crescente nas mais variadas publicações, comumente sendo considerado sinônimo de metais e semimetais associados a contaminação e toxidez de ecossistemas (DUFFUS, 2002). Há uma grande divergência entre autores sobre qual o termo certo a ser utilizado para designar tais substâncias (DUFFUS, 2002; ALLOWAY, 2010) e outros termos, como “elemento traço”, são ainda mais inconsistentes (KABATA PENDIAS, 2011; COSTA, 2013). Esse trabalho irá usar o termo “metais pesados” como grupos de metais e semimetais com potencial poluidor e tóxico, mesmo que alguns dos metais em quantidades menores seja essencial para a manutenção da vida de plantas, assim adequando-se a literatura vigente e legislações.

Metais pesados em solos são derivados do material parental e fontes antropogênicas de contaminação, como a atividade industrial (ALLOWAY, 2010; ALMEIDA JUNIOR, 2014; CHAVES et al., 2008). Em condições naturais a distribuição de metais pesados no solo é bastante generalizada, ocorrendo em baixas concentrações e em formas não prontamente disponíveis para as plantas (ALLOWAY, 2010; KABATA-PENDIAS, 2011; PAYE et al, 2010), contudo a atividade antrópica pode causar distúrbios nas concentrações naturais dos elementos, assim comprometendo a qualidade do ecossistema (ALLEONI et al., 2005). Além disso tudo, há casos onde a concentração natural de metais pesados no solo seja elevada, isso já sem considerar a atividade crescente antrópica (FABRÍCIO NETA, 2012).

Embora sejam caracterizados como metais pesados, eles desempenham funções importantes em diversos organismos, como o ferro, cobre, níquel, zinco e manganês (BIONDI et al., 2011). No momento, 17 elementos (Al, B, Br, Cl, Co, Cu, F, Fe, I, Mn, Mo, Ni, Rb, Si, Ti, V e Zn) comumente considerados como metais pesados são essenciais para a vida das plantas participando dos mais diversos processos, fora outros com funções desconhecidas. Entre as funções, pode-se exemplificar fotossíntese para Cu e Fe, fixação de N para Co, metabolismo e transporte de carboidratos para B, entre outros (KABATA-PENDIAS, 2011).

Dentre os metais pesados, os elementos potencialmente mais tóxicos às plantas e animais superiores são As, Hg, Cd, Pb, Se, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Ni, com destaque aos quatro primeiros elementos por serem os mais nocivos aos animais superiores (ALLEONI et al., 2005), tais elementos são considerados metais biocumulativos, pois acumulam-se nos tecidos vivos ao longo da cadeia trófica, são de difícil remoção e causam efeitos maléficos em baixas concentrações (KAHKHA et al., 2016). Com o aumento das atividades antropogênicas, houve aumento da deposição de metais nos solos, cujas concentrações podem comprometer a qualidade dos ecossistemas (WANG et al., 2013; CHEN et al., 1991; KAHKHA et al., 2017).

As maiores concentrações de metais pesados são encontradas em ambientes urbanos, devido a maior influência antrópica no ambiente e alto grau de industrialização (MANTA et al., 2002; WEI; YANG, 2010; XIA et al, 2011), como também em locais próximas a rodovias (CHRISTOFORIDIS; STAMATIS, 2009; WEI;YANG, 2010; DUONG; LEE, 2011, APEAGYEI et al., 2011, SURYAWANSHI et al., 2016). Entre essas fontes de poluição, temos como exemplos indústria de fundição de minérios, mineração, práticas agrícolas, emissão de veículos, combustão de carvão e deposição atmosférica (ALMEIDA JUNIOR, 2014; CHAVES et al., 2008; ALLOWAY, 2013; ZHANG, 2016). Fundição de minérios não feríferos e combustão de carvão, por exemplo, são algumas das principais fontes de poluição na história da humanidade (NRIAGU, 1996; LIAGHATI et al., 2004).

Em ambientes rurais, o uso constante de insumos, corretivos e defensivos agrícolas são as principais fontes de poluição de metais pesados em solos e águas subterrâneas (ALLOWAY; 2010; CAMPOS et al., 2013, STEFFEN et al., 2011). A emissão mundial de metais pesados no solo é (em mg) de 0 à 20 de As, 3 à 250 de Cd, 3 à 380 de Cr, 5 à 580 de Cu, 130 à 830 de Mn, 0 à 20 de Mo, 200 à 550 de Ni, 420 à 2300 de Pb, 20 à 100 de Se, 30 à 130 de V e 260 à 1100 de Zn (NRIAGU; PACINA, 1989). No caso de fertilizantes fosfatados, Campos et al. (2005) verificaram a presença de metais como Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn em fertilizantes fosfatados, fator esse atribuído aos metais contidos na rocha ou ingredientes utilizados na industrialização do fertilizante. Defensivos agrícolas podem contribuir com a entrada de As, Cu, Zn e Hg no solo (GUILHERME et al., 2005).

3.2 Valores orientadores de qualidade do solo

Valores orientadores são valores pré-estabelecidos em solos em condições naturais usados para a determinação do nível de contaminação de um solo (BIONDI, 2010). Os Estados Unidos e Holanda foram os primeiros países a definirem critérios para a determinação de nível de contaminação de solos e formarem programas nacionais para a avaliação de contaminação e estabelecimento de valores para níveis de intervenção considerando o solo em todos os âmbitos, com seus estudos iniciados em 1989 e 1990, respectivamente (CETESB, 2005). Seguindo esses países pioneiros, outros países como Áustria, Alemanha, China, Espanha, Inglaterra, Suécia e Itália desenvolveram seus próprios valores orientadores de metais pesados em solos. O primeiro estudo sobre efeito de metais pesados na água e no solo partiu da CETESB, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, no Estado de São Paulo (CETESB, 2001), servindo como um marco para futuras pesquisas no ramo.

Vendo a importância e necessidade de desenvolvimentos e estudos para todos os estados da Federação, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução de número 420 de 28 de Dezembro de 2009 que “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.” Nessa são fixadas diretrizes para o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade para cada estado de caráter obrigatório, visto que o uso de valores de referência de outros países e estados da federação podem culminar com avaliações errôneas, já que cada local possui suas próprias características climáticas e peculiaridades regionais (ALMEIDA JUNIOR, 2014; ALLOWAY; 2010; ALLEONI et al., 2005; KABATA-PENDIAS, 2011). De posse desses valores, gera-se subsídios instrumentos para diagnóstico da qualidade dos solos e águas subterrâneas. Para tal, utiliza-se de classes de solo representativas de uma dada região, fazendo-se uma seleção prévia de acordo com sua geomorfologia, pedologia e geologia local (CONAMA, 2009).

A legislação brasileira (CONAMA, 2009) estabelece três valores orientadores para a avaliação da qualidade de um solo: Valor de Referência de Qualidade, Valor de Prevenção e Valor de Investigação.

- Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, determinada com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;
- Valor de Prevenção (VP): é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais;
- Valor de Investigação (VI): é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

De posse desses três valores orientadores, um solo poder ser agrupado em uma das quatro classes de acordo com a concentração de metais pesados detectada:

- Classe 1: Solos com concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao Valor de Referência de Qualidade;
- Classe 2: Solos com concentrações de pelo menos uma substância química maior que o Valor de Referência de Qualidade, porém menor ou igual ao Valores de Prevenção;
- Classe 3: Solos com concentrações de pelo menos uma substância química maior que o Valor de Prevenção, porém menor ou igual ao Valor de Intervenção;
- Classe 4: Solos com concentrações de pelo menos uma substância química maior que o valor de intervenção.

Em solos categorizados como classe 1 e 2, não há necessidade de ação preventiva. Já em solos de classe 3, há uma necessidade de monitoramento e diagnose do solo para uma possível detecção e controle da(s) fonte(s) de poluição. Em solos de classe 4, todavia, já existe uma necessidade de se adotar medidas emergenciais para o gerenciamento e remediação da(s) fonte(s) de poluição.

Poucos estados da federação estabeleceram e/ou desenvolveram estudos para a obtenção de seus próprios Valores de Referência de Qualidade, mesmo com as demandas da resolução nº 420/2009 e novo prazo estabelecido pela resolução nº

460/2013 para dezembro de 2014. Entre os estados brasileiros que estabeleceram VRQs, pode-se citar São Paulo (CETESB, 2005), Pernambuco (BIONDI, 2010), Minas Gerais (CAIRES, 2009), Espírito Santo (PAYE et al., 2010), Mato Grosso e Rondônia (SANTOS; ALLEONI, 2013), Rio Grande do Norte (COSTA, 2013) e Paraíba (ALMEIDA JÚNIOR, 2016).

3.3 Determinação dos Valores Orientadores

Para o estabelecimento dos valores orientadores, a resolução 420 de 28 de Dezembro de 2009 da CONAMA em seu anexo de número 1 dita que os valores de referência de qualidade são estabelecidos a partir da interpretação estatística dos resultados analíticos obtidos em amostras coletadas nos principais tipos de solos do Estado em questão, seguindo certas etapas, entre elas:

3.3.1 Seleção dos tipos de solo

Para a seleção dos tipos de solo a serem estudados, escolhe-se critérios como a origem do solo, relevo e clima, visando assim a obtenção de um conjunto de solos que representem os compartimentos geomorfológicos, pedológicos e geológicos mais representativos do Estado em questão (CONAMA, 2009). É necessário um estudo prévio dos elementos químicos e das condições ambientais prevalentes (ALMEIDA JUNIOR, 2004) e também um detalhamento do objetivo da coleta de antemão para o preparo dos esquemas de amostragem (DE GRUIJTER et al., 2006).

Para isso, o alvo da amostragem é estratificado de acordo com o que se quer obter. Em muitos trabalhos de estabelecimento de valores de referência de qualidade, instrumentos como levantamentos de solo e mapas de solo foram utilizados para estimar a quantidade e distribuição espacial da amostragem (ALMEIDA JUNIOR et al., 2016; BRUS et al., 2009; COSTA et al., 2014).

3.3.2 Seleção de parâmetros para caracterização dos solos

Os parâmetros pedidos pelo CONAMA (2009) para a caracterização dos solos são as características químicas e físicas, como carbono Orgânico, pH em água,

capacidade de troca catiônica, teores de areia, silte e argila e de óxidos de alumínio e manganês.

Cada amostra composta deve ser formada por 10 subamostras na profundidade de 0-20 cm em áreas sem ou com mínima interferência antropogênica. As coordenadas geográficas e altitude de cada local de coleta devem ser catalogadas e o sistema geodésico de referência especificado.

3.3.3 Metodologias Analíticas

Devido a grande variação no teor de metais obtidos por diferentes métodos analíticos, a digestão de amostras é um dos ou talvez o principal fator de incerteza nos resultados analisados (Al-HARAHSEH et al, 2009).

O CONAMA permite o uso os métodos USEPA 3050, USEPA 3051 ou suas atualizações para a obtenção dos teores de metais em solos do Brasil e comparação com os valores de referência de qualidade já estabelecidos, com exceção do Hg que ainda não tem uma metodologia definida (ALMEIDA JUNIOR, 2014).

Os métodos USEPA 3050 e 3050b são considerados mais convencionais devido ao fato deles serem conduzidos em sistema aberto, onde os elementos da fase sólida são extraídos por calor, como uma chapa quente, na presença de ácidos nítrico e clorídrico (SILVA et al., 2014). Todavia, variações na temperatura da fonte de calor, tempos de refluxo, adição de ácidos, riscos de contaminação atmosférica e perdas de volatilização afetam diretamente a recuperação dos elementos (CHEN; MA, 1998; SILVA et al., 2014).

O método USEPA 3051 é um método comumente referido como a alternativa regulatória ao método 3050 (USEPA, 1995). Entre suas vantagens, pode-se citar uma digestão mais rápida, eficiente e menos susceptível a perdas por volatilização por ser conduzida em um ambiente fechado (SILVA et al., 2014). O método 3051A consiste em uma modificação do 3051 para imitar o 3050 com a adição de ácido clorídrico (HCl) para aumentar a taxa de recuperação alumínio, ferro, prata e antimônio (USEPA, 2007).

Silva et al. (2014), ao comparar diferentes métodos USEPA para a extração de teores de metais pesados em solos brasileiros, encontraram uma maior eficiência do método 3051A em comparação ao 3050B na extração de metais mais ambientalmente disponíveis com Zn, Cu, Cd, Pb e Ni, além do método 3051A reduzir

tempo necessário em laboratório, quantidade de ácidos utilizados, menor risco de contaminação e perda de volatilização quando comparado ao 3050B. Já Chen e Ma, (1998), ao compararem diferentes métodos analíticos da USEPA na extração de metais em solos da Flórida, não encontraram diferença significativa nos teores obtidos ao usarem os métodos 3050 e 3051A.

Para a análise química de solo, recomenda-se os métodos propostos pela Embrapa e suas atualizações para a obtenção dos valores de pH em água, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, matéria orgânica, soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e saturação por alumínio. Para as análises físicas, recomenda-se o método do densímetro proposto Bouyoucos, que é baseado no princípio de que a matéria em suspensão confere determinada densidade ao líquido (EMBRAPA, 1997) para a obtenção dos teores de silte, areia e argila.

3.3.4 Interpretação de dados e obtenção dos VRQs

Os valores de referência de qualidade serão estabelecidos com base no percentil 75 ou percentil 90 do universo amostral, retiradas previamente as anomalias, estas avaliadas em estudos específicos e interpretadas estatisticamente. Embora a resolução permita a escolha dos dois percentis, há uma divergência entre autores sobre qual valor de percentil a ser utilizado. Segundo Biondi (2010), o uso do percentil 75 é adequado em avaliações de teores naturais de amostragens aleatórias, onde a variabilidade reside nos dados e precisa de avaliação. Já a escolha do percentil 90 em vez do percentil 75 encontra respaldo quando se observa o ponto de corte usado nos testes estatísticos de hipótese para as caudas (extremidades) de uma distribuição de dados. Nesses testes, adota-se um ponto de corte nem muito alto nem muito baixo, já que os valores caudais (superiores ou inferiores) das distribuições representam eventos raros das distribuições, mas, ao mesmo tempo, pertencem a elas. Nesse sentido, os compêndios de Estatística costumam considerar que apenas os 5% dos dados mais extremos (nível de significância $\alpha = 0,05$) têm chance significativamente baixa (embora não zero) de pertencer ao universo amostrado (DAVIS, 2002; SOKAL; ROHLF, 2011), universo esse que no caso em pauta corresponde à população de *background*. Para os chamados testes bicaudais, esse ponto estatístico de corte é dividido em duas metades, ao passo que para os testes unicaudais, toda a “incerteza” (5%) é alocada em uma das duas extremidades da distribuição, que no caso da

derivação dos VRQs corresponde ao percentil 95. No cenário mundial, valores de percentil que vão de 90 a 97,5 são comumente escolhidos para a derivação de VRQs, não somente para solos, mas também para águas subterrâneas (BATTELLE, 2002; BRIDGE, 2006; CARLON, 2007). Mesmo no Brasil, o estudo mais recente para derivação de VRQs adotou o percentil 90 (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2016).

3.4 Análises multivariadas

Embora sejam parâmetros bem simples de obtenção, técnicas estatísticas univariadas apresentam limitações quando relacionadas a grande diversidade de atributos físicos e químicos nos solos, fatores extremamente importantes para a compreensão da distribuição de metais pesados nos solos (ALMEIDA JUNIOR, 2014). Logo, a definição dos VRQs a partir de dados univariados pode levar a uma interpretação errada dos dados, já que a variabilidade desses teores entre vários tipos diferentes de solo é enorme (FADIGAS et al., 2006).

Em estudos de diversas áreas e também na área de metais pesados, muitos pesquisadores vem utilizando o uso de análises multivariadas para um melhor entendimento e manuseio dos dados. A análise fatorial é uma ferramenta poderosa para identificar relações não tão evidentes em análises mais simples (ZHANG et al., 2002).

Almeida Junior et al. (2016) ao estudarem os valores de referência de qualidade e teores naturais no estado de Pernambuco por meio de uso de técnicas multivariadas, como análise de componentes principais, encontraram três grupos de elementos distintos que sugeriam a origem natural dos metais nos solos estudados; o primeiro composto pelos metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Sb, o segundo grupo composto apenas por Ag e o terceiro, Ba, Co, Fe, Mn e Zn. Lima (2015), ao avaliar os valores de referência de qualidade em solos do estado do Rio de Janeiro e organossolos do Brasil utilizando-se da análise de agrupamento em dendograma para os teores pseudototais de Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Ba, Mn e Fe de 40 amostras de solo, agrupou os metais pesados em três grupos distintos. Quando esses grupos foram validados via validação cruzada da análise discriminante, encontrou que três grupos ofereciam a menor taxa de erro. Utilizando a análise de componentes principais, Costa et al. (2014) realizaram um trabalho sobre o valor de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte e encontraram três grupos distintos: o primeiro grupo

composto por Cr, Sb e V, o segundo composto por Ag, Cd, Ni e Pb e o último por Ba, Co, Cu, Zn e Fe, que representam, provavelmente, os elementos controlados pelo material de origem, metais de origem antrópica e micronutrientes e constituintes da litosfera, respectivamente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

Alagoas é uma das 27 unidades federativas do Brasil, que está situada na região leste do nordeste brasileiro, compreendendo uma área de aproximadamente 27.848,158 km² (0,32% de todo o território nacional) distribuída em 102 municípios e em três mesorregiões: Leste (Litoral+Mata), Agreste e Sertão (IBGE, 2015). Na classificação climática de Thorntwaite. Alagoas se divide em seis tipos climáticos (EMBRAPA, 2012). O superúmido (ArA'a'), encontrado nas áreas mais altas do estado (Quebrangulo, Chã Preta, São José da Laje e Iateguara) possuem temperaturas todos os meses acima de 180 C, pequena ou nenhuma deficiência hídrica e índice de umidade acima de 100. Uma parte do da Zona da Mata Norte e litoral é caracterizada com o tipo climático úmido (B1sA'a'), que vai de Maragogi e Campestre até as redondezas de Pilar e Maceió, apresentando deficiência hídrica moderada no verão e índice hídrico entre 40 e 20.

Os tipos subúmido e subúmido seco são mais predominantes na zona da mata e no litoral. No tipo subúmido (C2sA'a') há uma maior umidade do solo durante todo o ano com uma moderada deficiência hídrica no verão e índice de umidade entre 20 e 0. O subúmido-seco é um tipo já um pouco mais seco e com moderada deficiência hídrica no verão, com índice de umidade variando de 20 a -20. O tipo climático semiárido (DdA'a') ocorre em toda região do Agreste e do Sertão, com exceção dos municípios de Água Branca e Mata Grande, que são caracterizados nos tipos subúmido e subúmido-seco. O tipo climático semiárido tem pouco ou nenhum excesso de água com índice de umidade entre -20 e -40. Já o clima árido, restrito aos municípios de Pão de Açúcar e Piranhas, possui um índice de umidade entre -40 e -60 sem nenhum excesso de água durante todo o ano.

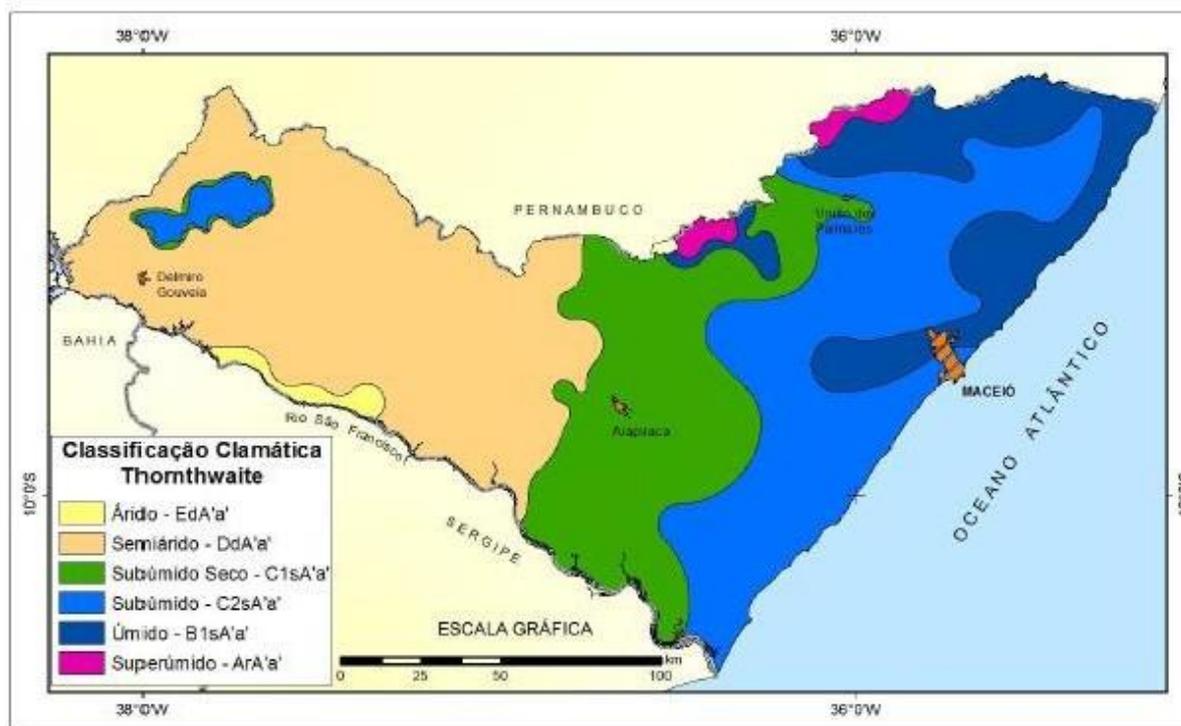


Figura 1 - Classificação climática de Thornthwaite do estado de Alagoas (EMBRAPA, 2012).

Na Figura 2 são mostradas as unidades geomorfológicas do estado de Alagoas. Há uma predominância do Pediplano do São Francisco no Sertão e de Tabuleiros Costeiros na Zona da Mata. Outra unidade que se destaca é a ocorrência de Encostas Orientais referida ao Planalto da Borborema, evidenciando solos em relevo mais movimentados.

A seleção dos solos foi baseada no Zoneamento Agroecológico do estado de Alagoas (2012) na escala de 1:100.000 (EMBRAPA, 2012) usando-se o Levantamento Exploratório-Reconhecimento de solos do estado de Alagoas (JACOMINE et al., 1975) para fins de confirmação. A princípio foi estabelecido um percentual mínimo de 5% das classes de solos para participar da seleção. No entanto, constatou-se que apenas 85,9% com essa seleção estaria representando o estado de Alagoas (Tabela 1). Optou-se por incluir mais quatro classes de solos (Luvisolos, Gleissolos, Neossolos Quartzarênicos e Cambissolos) que elevaria esse percentual para 95,1% dos solos representativos do estado (Tabela 1).

A priori foram estabelecidos um total de 60 amostras para os solos do estado. Todavia, diante da limitação apresentada pelo grandes número de solos antropizados encontrados nas campanhas de amostragem, o número final caiu para 56 amostras

de solos. Para comparação, para o estado de São Paulo (CETESB, 2001) foram coletadas 84 amostras (42 na profundidade de 0-20 cm e 42 na profundidade de 80-100). Paye et al. (2010) coletaram 56 amostras na profundidade de 0-20 para o estado do Espírito Santo. Já para Pernambuco e Paraíba, foram coletadas 70 amostras (35 perfis e duas profundidades) e 92 amostras de solo, respectivamente (BIONDI, 2010 e ALMEIDA JUNIOR, 2016).

As classes dos Argissolos (P) e dos Latossolos (L) foram divididas em função da ocorrência dos tipos de solos na região, sendo divididos em Argissolos Amarelos (PA), Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA), Argissolos Vermelhos (PV), Latossolos Amarelos (LA), Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) e Latossolos Vermelhos (LV) conforme a Tabela 1, de acordo com o primeiro e segundo nível categórico (“ordem” e “subordem”) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Tabela 1 - Estabelecimento das classes de solos e número de amostras representativos para o estado de Alagoas

Solos	Sigla	Área		Amostras
		Km ²	%	
Argissolos	PAC, PA, PVA, PV	10.250,70	36,8	19
Planossolos	SX	4.838,42	17,4	9
Latossolos	LAC, LA, LVA, LV	3.271,89	11,7	8
Neossolos Litólicos	RL	3.233,84	11,6	8
Neossolos Regolíticos	RR	2.350,05	8,4	4
Luvissolos	TC	1.004,36	3,6	2
Gleissolos	GX	807,50	2,9	1
Neossolos Quartzarênicos	RQ	423,85	1,5	3
Cambissolos	CX, CY	339,84	1,2	2
Total		26.520,40	95,1	56
Total do Estado		27.848,16	100,0	

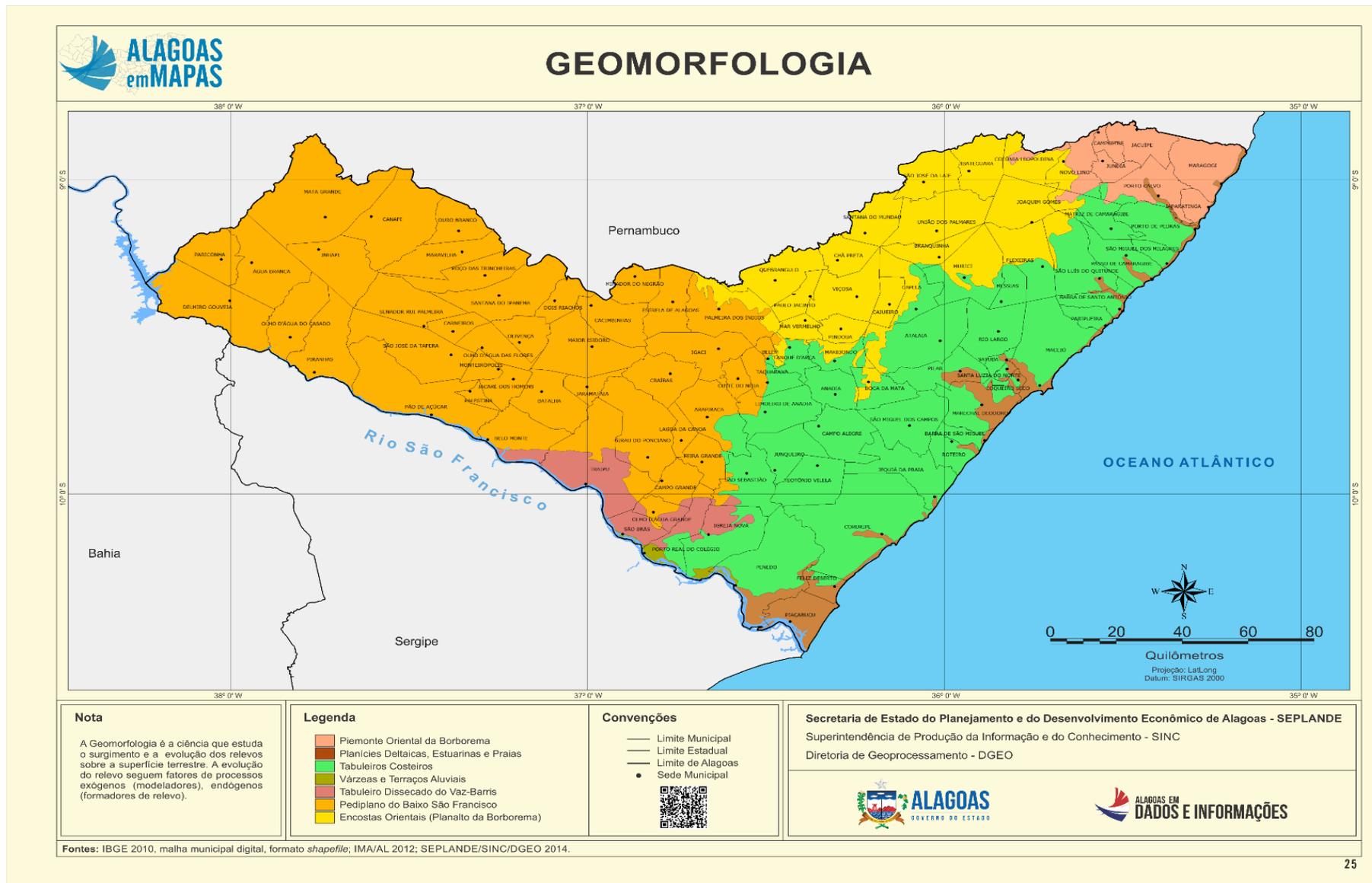


Figura 2 - Geomorfologia do estado de Alagoas (SEPLAG, 2014).

4.2 Coleta das Amostras de solo

Os pontos para coletas de amostras de solos com as respectivas classes de solos foram escolhidos em áreas de mata natural ou na ausência desta, com ação antrópica desprezível. Os pontos de coleta foram escolhidos, como determinado no item 2 do Anexo I da Resolução CONAMA 420/2009, entre locais “sem interferência antropogênica ou com interferência antropogênica desprezível”. Esse pressuposto foi a base de todas as coletas realizadas.

A coleta de amostra de solos foi baseada em dez pontos na área selecionada, a uma profundidade de 0-20 cm, sendo estabelecido um ponto central e a partir dele foi estabelecida a coleta em forma de cruz, mais dois pontos com distância de 5 e 10 m do ponto central. Nesse caso, teriam nove pontos. O último ponto coletado seria ao acaso entre as linhas de coletas. As coletas foram feitas com trado de aço inoxidável holandês e colocadas em balde de polietileno, com auxílio de espátula de polietileno, mantendo-se a mesma proporção de amostra por cada ponto coletado de acordo com a Resolução nº 420 emitida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009).

O trado e a espátula de polietileno foram lavados com água destilada antes e após cada amostra coletada (Figura 3 e Figura 4). A seguir as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos etiquetados com as coordenadas geográficas e altitudes dos locais obtidas com o uso de um aparelho GPS da Garmin Etrex 20 com o Datum SAD 69.



Figura 3 - Coleta de amostra de solo e limpeza dos utensílios em campo.



Figura 4 - Limpeza dos utensílios e acondicionamentos das amostras de solos no laboratório de solos da UFAL/CECA

A distribuição dos pontos de coleta se encontra na Figura 5, juntamente com as suas identificações georreferenciadas na Tabela 2.

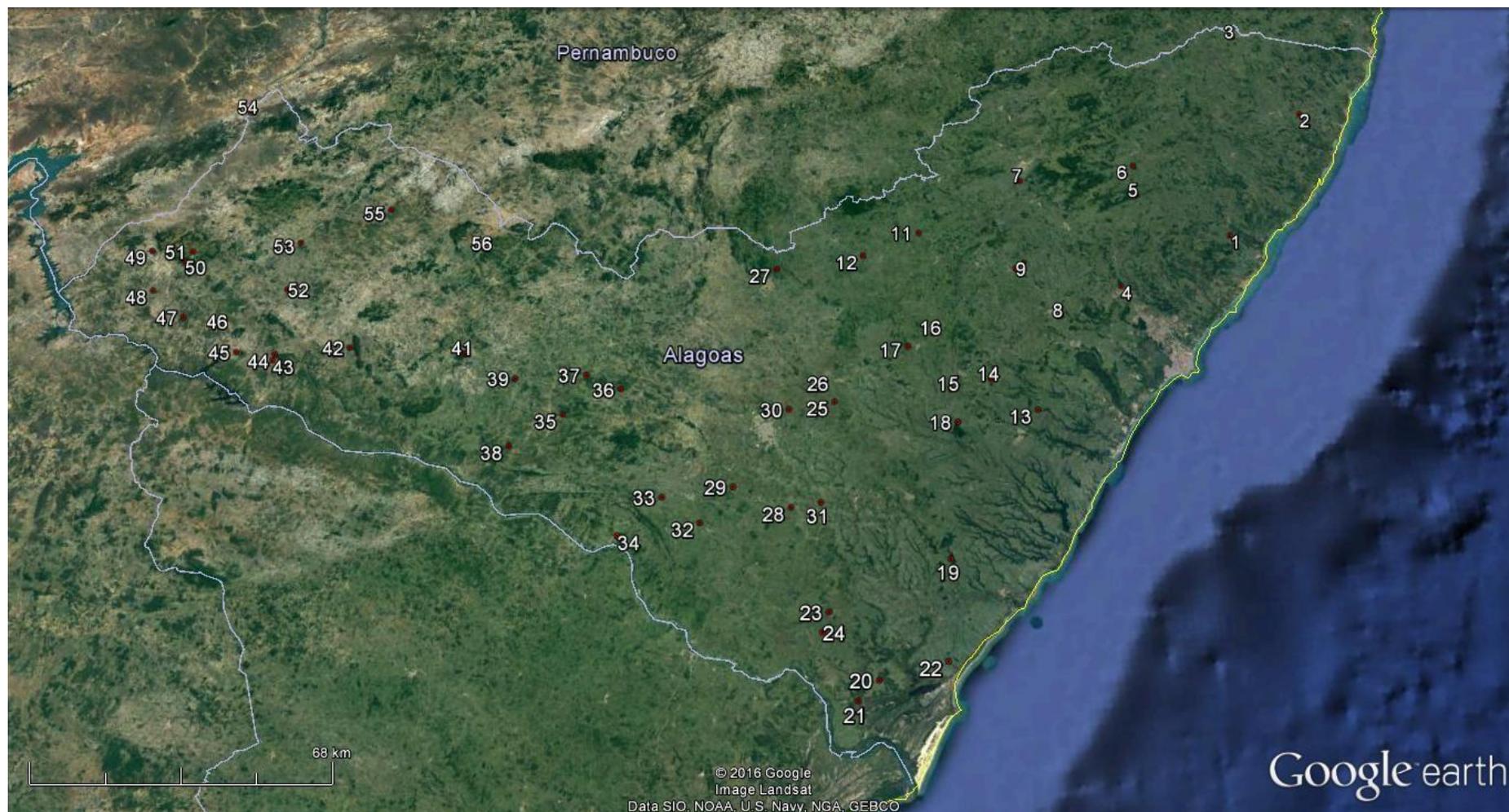


Figura 5 - Distribuição dos pontos amostrados no estado de Alagoas (Fonte: Google Earth)

Tabela 2 - Identificação das amostras de solos por local, coordenadas e altitude para o estado de Alagoas

#	Local	Solo	Data	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
1	São Luiz do Quitunde	PA	01/05/2014	09° 21' 16.1"	35° 34' 00.8"	34
2	Porto Calvo	PA	01/05/2014	09° 03' 31.2"	35° 21' 09.1"	80
3	Jacuípe	PVA	05/05/2014	08° 50' 58.1"	35° 28' 46.1"	125
4	Rio Largo/CECA	LAd	02/05/2014	09° 27' 51,7"	35° 49' 59,6"	136
5	Flexeira	PVA	02/05/2014	09° 14' 49.5"	35° 46' 11.8"	175
6	Joaquim Gomes	PA	02/05/2014	09° 10' 21.3"	35° 45' 58.3"	180
7	União dos Palmares	PVA	02/05/2014	09° 11' 53.1"	36° 02' 02.8"	175
8	Atalaia	LA	16/05/2014	09° 31' 38.9"	35° 58' 44.5"	152
9	Capela	GX	16/05/2014	09° 24' 37.2"	36° 04' 07.1"	120
10	Capela	PVA	16/05/2014	09° 23' 53.9"	36° 02' 55.2"	190
11	Viçosa	PAd	16/05/2014	09° 18' 49.0"	36° 16' 48.4"	485
12	Quebrangulo	NL	16/05/2014	09° 21' 46.0"	36° 24' 41.4"	380
13	São Miguel dos Campos	LAd	17/05/2014	09° 44' 17.5"	36° 03' 19.9"	138
14	São Miguel dos Campos	PAd	17/05/2014	09° 39' 52.6"	36° 09' 04.6"	170
15	Boca da Mata	PVAc	17/05/2014	09° 40' 57.5"	36° 14' 31.7"	159
16	Maribondo	NL	17/05/2014	09° 33' 10.9"	36° 16' 09.8"	185
17	Maribondo	PVA	17/05/2014	09° 34' 47.2"	36° 19' 43.1"	220
18	Anadia/Campo Alegre	PAd	17/05/2014	09° 45' 21.2"	36° 14' 04.2"	163
19	Coruripe	LAd	30/05/2014	10° 02' 58.1"	36° 16' 43.6"	70
20	Penedo/Usina Paísa	LAd	30/05/2014	10° 17' 18.0"	36° 27' 06.3"	60
21	Penedo/Piaçabuçu	RQd	31/05/2014	10° 19' 39.2"	36° 29' 53.2"	20
22	Feliz Deserto	PAd	31/05/2014	10° 15' 31.5"	36° 18' 15.3"	60
23	Igreja Nova	PVA	01/06/2014	10° 08' 42.8"	36° 32' 44.6"	150
24	Penedo	PAd	01/06/2014	10° 11' 08.1"	36° 33' 44.7"	130
25	Limoeiro de Anadia	SX	13/06/2014	09° 41' 46.9"	36° 30' 02.0"	193
26	Taquarana	LV	13/06/2014	09° 40' 02.2"	36° 31' 44.4"	240
27	Palmeira dos Índios	PV	13/06/2014	09° 22' 59.5"	36° 36'	610

7			14		30.9"	
2	São Sebastião	PA	14/06/20	09° 55' 17.5"	36° 36'	227
8			14		40.6"	
2	Lagoa da Canoa	PV	14/06/20	09° 52' 13.8"	36° 44'	258
9			14		01.3"	
3	Arapiraca	LV	14/06/20	09° 42' 28.6"	36° 36'	215
0			14		07.1"	
3	São Sebastião	LVA	15/06/20	09° 54' 53.7"	36° 32'	230
1			14		47.1"	
3	Girau de Ponciano	SX	20/06/20	09° 56' 35.6"	36° 48'	192
2			14		29.6"	
3	Girau de Ponciano	RL	20/06/20	09° 53' 01.9"	36° 53'	137
3			14		15.1"	
3	Traipu	RL	20/06/20	09° 57' 37.0"	36° 59'	49
4			14		10.2"	
3	Batalha	TC	20/06/20	09° 41' 23.8"	37° 05'	194
5			14		49.2"	
3	Jaramantaia	SX	21/06/20	09° 38' 27.2"	36° 58'	192
6			14		09.3"	
3	Major Izidoro	SX	21/06/20	09° 36' 12.0"	37° 02'	231
7			14		35.0"	
3	Belo Monte	RL	21/06/20	09° 45' 08.6"	37° 12'	160
8			14		56.6"	

Tabela 2 - Identificação das amostras de solos por local, coordenadas e altitude para o estado de Alagoas (Cont...)

#	Local	Solo	Data	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
3	Monteirópolis	RR	23/07/20	09° 36'	37° 12'	164
9			14	06.1"	01.7"	
4	Olho d'água das Flores	RL	23/07/20	09° 32'	37° 18'	362
0			14	18.9"	42.0"	
4	Santana do Ipanema	PV	23/07/20	09° 32'	37° 18'	352
1			14	19.9"	39.1"	
4	Senador Rui Palmeira	SX	23/07/20	09° 30'	37° 34'	229
2			14	27.6"	08.9"	
4	Piranhas	SX	24/07/20	09° 31'	37° 44'	236
3			14	32.1"	25.7"	
4	Piranhas	RL	24/07/20	09° 30'	37° 44'	292
4			14	45.8"	07.0"	
4	Olho d'água do Casado	RQ	24/07/20	09° 30'	37° 49'	288
5			14	03.6"	21.2"	
4	Olho d'água do Casado	RR	24/07/20	09° 26'	37° 51'	249
6			14	27.2"	42.1"	
4	Delmiro Gouveia	SX	25/07/20	09° 24'	37° 56'	268
7			14	40.9"	45.5"	
4	Delmiro Gouveia	RL	25/07/20	09° 20'	38° 01'	289
8			14	34.8"	11.0"	
4	Pariconha	RR	25/07/20	09° 14'	38° 01'	427
9			14	50.2"	41.3"	
5	Água Branca	CX	19/08/20	09° 16'	37° 57'	388
0			14	36.0"	08.5"	
5	Povoado de Piau/Piranhas	RR	20/08/20	09° 15'	37° 56'	244
1			14	19.4"	04.4"	
5	Piranhas/Sentido Inhapi	SX	20/08/20	09° 21'	37° 42'	281
2			14	42.2"	50.6"	
5	Inhapi	TC	20/08/20	09° 15'	37° 41'	294
3			14	05.3"	16.1"	
5	Mata Grande/Inajá	RQ	20/08/20	08° 54'	37° 49'	377
4			14	53.1"	13.8"	
5	Canapi/Ouro Branco	SX	21/08/20	09° 11'	37° 28'	317
5			14	05.2"	59.4"	
5	Poço das Trincheiras	CX	21/08/20	09° 17'	37° 16'	327
6			14	40.8"	05.8"	

As amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Federal de Alagoas, em função da região e postas para secar em estufa de ventilação forçada à temperatura de 30 °C. Em seguida foram passadas em peneira de 2,00 mm de abertura de malha (ABNT 10) para a obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), quarteadas manualmente para a obtenção das alíquotas e acondicionadas em sacos plásticos, para posterior envio das amostras para determinações físicas e químicas.

As amostras de solos foram encaminhadas para os seguintes laboratórios para caracterização física e química de solos:

Análise física – Laboratório de Solos – UFAL;

Análise química do solo – Agroanálise – Cuiabá – MT;

Análise de elementos totais – ataque sulfúrico - Agroanálise – Cuiabá – MT; e

Análise de elementos inorgânicos – Laboratório de Química do Solo – UFRPE.

As determinações analíticas foram realizadas segundo o que preconiza a Resolução N° 420/2009 no qual esse agrupamento foi organizado da seguinte maneira:

- Grupo I, "*parâmetros para caracterização do solo*": carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, pH em água, capacidade de troca catiônica (CTC), teores de argila, silte, areia e teores dos óxidos de alumínio, ferro e manganês. Metodologias analíticas segundo Embrapa (1997) e Embrapa (1999); e

- Grupo II, "*substâncias inorgânicas*" (parâmetros geoquímicos): Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, N, Ni, Pb, Sb, Se, V e Zn. Metodologia analítica de acordo com a USEPA 3051A (USEPA, 2007).

O Grupo I reúne parâmetros de suporte interpretativo, os quais darão subsídios para o entendimento dos processos pedológicos atuando nas classes de solo citadas, contribuindo para o entendimento de suas semelhanças e diferenças. O Grupo II reúne os elementos químicos para os quais serão definidos os VRQs, além de também fornecerem indicações sobre os processos pedológicos.

4.3 Análise granulométrica

Para a análise granulométrica, foi utilizado o método do densímetro proposto Bouyoucos, que é baseado no princípio de que a matéria em suspensão confere determinada densidade ao líquido (EMBRAPA, 1997).

4.4 Análise de fertilidade do solo

Para a análise de fertilidade de solo, foram utilizados os métodos propostos pela Embrapa (2009) para a obtenção dos valores de pH em água, P, K, Ca, Mg, Al, H, Matéria Orgânica, Soma de Bases, Capacidade de Troca de Cátions, Saturação por Bases e Saturação por Alumínio. Os teores de P, K e Na foram determinados com o extrator Mehlich-1, via colorimetria para o P e fotometria por emissão de chama para K e Na. Os teores de Ca e Mg trocáveis foram determinados com KCl 1 mol L⁻¹ via espectrometria de absorção atômica. Os teores de H+Al foram determinados via titulação com hidróxido de sódio 0,025 mol L⁻¹ em uma solução extratora de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹. Para a determinação do Al trocável, foi feita a titulação do extrato de KCl 1 mol L⁻¹ com hidróxido de sódio 0,025 mol L⁻¹. A matéria orgânica foi calculada via método colorimétrico com uma solução de dicromato de sódio em ácido sulfúrico. Com esses resultados obtidos, foram calculados posteriormente os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions total (T), saturação por bases (V%) e

saturação por Al (m). As análises foram feitas segundo os procedimentos descritos pelas Embrapa (1997) e Embrapa (1999).

4.5 Análise de elementos inorgânicos pelo método USEPA 3051A

Foram utilizados 10 cm³ de TFSA (terra fina seca ao ar) para o preparo das alíquotas, que foram pulverizadas e/ou maceradas em almofariz de ágata e posteriormente passadas em peneira de 0,3 mm de abertura de malha (ABNT 50), com malha de aço inoxidável, a fim de evitar contaminações.

Para determinação dos teores dos metais Ag, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V e Zn das amostras de solo foi adotado o método 3051A (USEPA, 2007). A digestão foi realizada em sistema fechado, forno de micro-ondas (Mars Xpress), por 8'40" na rampa de temperatura, tempo necessário para atingir 175 °C, mantendo-se esta temperatura por mais 4'30".

Para esse procedimento, foi transferido um grama das amostras pulverizadas para tubos de teflon, onde foram adicionados 9 mL de ácido nítrico 65% (v/v) e 3 mL de ácido clorídrico 37% (v/v), sendo todos de alto grau de pureza analítica (Merck PA). Os extratos foram filtrados em papel de filtro quantitativo – faixa azul, filtração lenta (Macherey Nagel®). As vidrarias foram mantidas em solução de ácido nítrico 5% por 24 horas e enxaguadas com água destilada para a limpeza e descontaminação

O controle de qualidade da metodologia utilizada para análise dos metais na amostra de solo foi realizado através de valores certificados dos metais - SRM 2710a *Montana soil*, certificados pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) pelo método USEPA 3051A (Tabela 3). Também foram realizadas soluções multielementares de referência (*spikes*) com concentrações conhecidas dos metais analisados (Ag, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb e Zn).

Tabela 3 - Recuperação das substâncias inorgânicas no solo de referencial (SRM 2710a - Montana) pelo método USEPA 3051A

Met al	Valor Determinado	Valor NIST ¹ Certifica do	Recuperação (determinado) ₂	Recuperaç ão por lixiviado ³	Recuperação ⁴ (determinado)b ase lixiviado ⁴
	-----mg kg ⁻¹ -----			-----%-----	
	--				
Cd	11,01	12,3 ± 0,3	95	86	90
Ni	4,75	8 ± 1	60	69	87
Co	3,85	5,99 ± 0,14	64	64	10 0
Sb	10,01	52,5±1,6	19	18	95
Zn	3510	4180 ± 0,015	84	90	94
Cu	2917	3420 ± 0,05	86	95	91
Pb	4492,5	5520 ± 0.003	82	93	89
Cr	10	23 ± 6	43	41	95
Mn	1384,5	2140 ± 0,006	65	77	85
Ba	429	792 ± 36	55	65	85
Mo	3,45	ND	-	nd	Nd
Fe	31230	43200 ± 0,08	73	79	93
Ag	nd	ND	-	91	Nd
As	1501	1540±100	10 2	92	90
Hg	1,6	1,40 ± 0,08	11 4	10 4	91
Se	nd	ND	-	nd	Nd
V	54,7	112,5	54	55	98

¹ NIST: National Institute of Standards and Technology.

² % Recuperação (determinado) = (valor determinado/valor certificado) x 100.

³ % Recuperação por lixiviado = (mediana lixiviado (NIST)/valor certificado) x 100

⁴ % Recuperação (determinado) base lixiviado = (recuperação determinado/recuperação por lixiviado) x 100

ND = Valores certificados não determinados pelo NIST (2002)

nd = Não detectado.

Todas as curvas de calibração foram preparadas a partir de soluções-estoque de 1000 mg L⁻¹ (TITRISOL®, Merck), utilizando água ultra pura para diluição, com curvas de calibração cujos valores de “r” foram superiores a 0,99.

A determinação dos metais foi efetuada por espectrometria de emissão ótica com plasma induzido (ICP-OES), marca Perkin Elmer, modelo Optima 7000, com modo de observação dupla (axial e radial) e detector de estado sólido, com sistema de introdução via amostrador automático AS 90 plus. Na Tabela 4 são apresentados os limites de quantificação para as substâncias inorgânicas em estudo. De acordo com Conama (2009) para interpretação estatística, todos elementos cujos valores

forem inferiores ao limite de quantificação terá o valor de LQ/2 considerados para a matriz de dados

De um modo geral, a taxa de recuperação do solo certificado com base no lixiviado apresentou valores de 85 a 100%, valores satisfatórios para todos os metais pesados, com os menores valores encontrados para Mn e Ba (85%).

Tabela 4 - Limite de quantificação das substâncias inorgânicas determinadas

Meta	LQ
I	mg/kg
Ag	0,0002
As	0,004
Ba	0,0 3
Cd	0,0002
Co	0,0007
Cu	0,003
Cr	0,0007
Fe	0,0006
Hg	0,003
Mn	0,00009
Mo	0,006
Ni	0,001
Pb	0,004
Sb	0,0 1
Se	0,004
V	---
Zn	0,0006

4.6 Tratamento estatístico dos dados

Para as análises dos resultados, foi utilizada estatística descritiva para a obtenção das médias, medianas, valores mínimos e máximos, desvio-padrão e coeficiente de variação.

Para os cálculos de Percentil, foi utilizada a interpolação linear do valor correspondente a definição proposta por Mendenhall e Sincich (2015) onde:

$$k = \frac{p(n+1)}{100}$$

Sendo k a posição ocupada pelo p-ésimo percentil de n valores ordenados.

Para a análise multivariada, os dados foram primeiramente submetidos à matriz de correlação de Pearson com o objetivo de selecionar as características que melhor representam os solos do estado de Alagoas (Tabela 9), segundo o critério de Hair Jr. et al (2009), que preconiza a escolha das variáveis que apresentem um número substancial de correlações acima de 0,30 para então prosseguir com o teste de adequação KMO e esfericidade de Barlett para testar a adequação dos dados à análise de componentes principais, onde apenas aqueles autovalores com valores iguais ou superiores à 1,0 tiveram os componentes principais extraídos e os eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. Todos os procedimentos estatísticos foram efetuados no programa Excel (2016) e Genes (2016), visto sua boa integração com o aplicativo da Microsoft (CRUZ, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 .Atributos químicos e físicos dos solos

Os resultados dos atributos químicos e físicos dos solos se encontram na Tabela 5.

Entre os atributos do solo que mais influenciam o teor de metais pesados, pode-se citar o pH, matéria orgânica, argila, óxidos de Fe, Al e Mn (ALLEONI et al., 2005). Correlações entre os atributos químicos e físicos com os metais pesados estão na Tabela 7.

O pH do solo ficou em uma faixa de 4,4 a 7,3, com uma média de 5,6. Para a CTC, os valores variaram de 3,16 a 19,99 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ com uma média de 8,12 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. A matéria orgânica do solo (MO) variou de 6,8 a 57,7 g dm^{-3} com um valor médio de 28,24 g dm^{-3} . Esses valores foram coerentes os seus respectivos solos, material de origem e influenciados pela matéria orgânica, já que derivavam de ambientes sob mata, com bom aporte desse material. O teor de matéria orgânica mostrou correlação positiva com Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn, evidenciando a importância da matéria orgânica no teor desses elementos no solo. Metais como Mn, Fe, Zn, Cu, Pb, Cd e Ni são mais adsorvidos na presença de matéria orgânica (KABATA-PENDIAS, 2011).

As análises de granulometria ficaram na faixa de 400 a 950 g kg⁻¹ de areia ($\bar{X} = 675,4 \pm 117,78$), 10 a 260 g kg⁻¹ de silte ($\bar{X} = 144,5 \pm 68,06$) e 40 a 460 g kg⁻¹ de argila ($\bar{X} = 180,2 \pm 98,37$), abrangendo várias classes texturais de solos, sendo o resultado bastante representativo dos solos da região. Os teores totais dos elementos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅ e MnO) determinados pelo ataque sulfúrico foram variáveis entre solos e influenciados pelo material de origem (Tabela 5). Os teores de SiO₂ variaram de 44,2 a 341,9 g kg⁻¹ com valor médio de 115,9 g kg⁻¹. Com relação aos teores totais de Al₂O₃, os valores variaram de 12,1 a 228,9 g kg⁻¹, com média de 74,7 g kg⁻¹, o que leva a uma relação ki (SiO₂/Al₂O₃ * 1,7) com o valor de 2,617 para os solos do estado. Quanto menor a relação ki, maior o grau de intemperização do solo é devido ao baixo valor de sílica e maior valor de alumina, o que indica um solo onde já houve uma remoção parcial ou total de sílica e conseqüentemente concentração de alumínio (BAPTISTA et al., 1998), mostrando que para Alagoas, os solos são mais jovens.

Os teores de Fe₂O₃ variaram 12,0 a 61,4 g kg⁻¹ (valor médio de 29,5 g kg⁻¹) em função das classes de solos e material de origem. Para o óxido de ferro, ocorreram correlações significativas para o Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, V e Zn, fato esse similar ao que ocorreu para o Fe e metais pesados na análise de componentes principais (Tópico 5.4). Para o dióxido de silício, ocorreram correlações positivas para As, Fe, Mo e Sb; já para o óxido de alumínio, ocorreram correlações positivas para As, Fe, Mo, Sb e Se. Não ocorreram correlações significativas para os óxidos de manganês. De acordo com Kabata-Pendias (2011), os óxidos/hidróxidos mais importantes para o comportamento de metais pesados nos solos são os de Fe e Mn, com os óxidos de alumínio podendo, em certos tipos de solo, reter mais metais pesados que os de ferro. Friedrich et al. (2011) comenta que os óxidos de Fe e Mn controlam a distribuição e especiação de metais pesados em solos e ambientes aquosos.

Tabela 5 - Atributos químicos e físicos dos principais tipos de solos coletados do estado de Alagoas

Argissolos (19)													
	pH	SB	CTC	M O	Areia	Silte	Argila	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	5,2	2,54	7,73	29,64	661,1	116,8	222,1	144,3	103,9	28,2	6,1	0,51	0,110
Menor	4,4	0,51	3,59	10,70	400,0	20,0	40,0	54,4	26,3	12,0	1,8	0,10	0,013
Maior	6,5	6,60	14,82	52,70	900,0	220,0	460,0	341,9	228,9	58,9	12,5	2,29	0,493
Desvio-Padrão	0,584	1,625	2,736	11,098	146,245	70,558	106,593	82,17	56,59	12,55	3,77	0,478	0,143
CV(%)	11,3	64,0	35,4	37,4	22,1	60,4	48,0	56,9	54,5	44,5	61,8	93,7	130,0
Planossolos (9)													
	pH	SB	CTC	M O	Areia	Silte	Argila	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	6,1	5,44	8,57	27,09	714,4	168,9	116,7	76,5	40,4	32,5	5,6	0,75	0,270
Menor	5,6	2,52	5,06	15,70	630,0	100,0	60,0	51,0	19,6	22,9	1,2	0,13	0,083
Maior	6,6	9,05	12,65	44,50	840,0	250,0	160,0	108,9	85,5	51,0	9,0	1,90	0,592
Desvio-Padrão	0,339	2,078	2,533	9,683	66,353	51,099	28,723	20,15	20,91	8,64	3,10	0,626	0,174
CV(%)	5,6	38,2	29,6	35,7	9,3	30,3	24,6	26,3	51,8	26,6	55,4	83,5	64,4
Latossolos (8)													
	pH	SB	CTC	M O	Areia	Silte	Argila	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	5,3	3,10	8,15	32,99	593,8	116,3	290,0	170,6	120,9	28,5	6,3	0,38	0,160
Menor	4,5	1,23	6,87	24,80	500,0	80,0	160,0	64,0	45,6	15,9	1,0	0,19	0,029
Maior	6,4	7,03	10,06	43,30	690,0	180,0	380,0	301,0	184,3	45,8	10,0	0,79	0,416
Desvio-Padrão	0,772	1,99	1,326	6,478	62,321	34,200	65,027	74,59	47,7	12,2	3,27	0,188	0,16

Padrão		8							3	0			8
CV(%)	14,6	64,5	16,3	19,6	10,5	29,4	22,4	43,7	39,5	42,8	51,9	49,5	105,0

Tabela 5 - Atributos químicos e físicos dos principais tipos de solos coletados do estado de Alagoas (Cont...)

Neossolos Litólicos (8)													
	pH	SB	CTC	MO	Areia	Silte	Argila	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	6,1	5,37	8,90	31,44	692,5	167,5	140,0	86,1	53,5	35,1	4,4	0,99	0,370
Menor	5,6	1,84	4,14	9,20	610,0	110,0	50,0	47,6	23,0	20,6	1,3	0,20	0,016
Maior	6,6	9,56	12,66	42,20	840,0	230,0	220,0	117,4	99,6	61,4	11,1	3,44	1,459
Desvio-Padrão	0,389	2,489	2,838	12,298	70,051	33,274	49,857	25,95	29,27	14,85	2,99	1,058	0,453
CV(%)	6,4	46,4	31,9	39,1	10,1	19,9	35,6	30,1	54,7	42,3	68,0	106,9	122,4
Neossolos Regolíticos (4)													
	pH	SB	CTC	MO	Areia	Silte	Argila	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	5,8	3,22	5,84	16,78	717,5	202,5	80,0	73,6	39,4	25,4	3,2	0,73	0,160
Menor	5,4	2,04	4,85	11,20	630,0	160,0	50,0	54,4	12,1	22,2	1,6	0,19	0,045
Maior	6,2	5,28	7,78	23,40	770,0	260,0	110,0	110,6	54,1	33,3	4,7	1,36	0,243
Desvio-Padrão	0,330	1,443	1,320	5,037	60,759	43,493	34,641	25,51	18,73	5,30	1,27	0,510	0,088
CV(%)	5,7	44,8	22,6	30,0	8,5	21,5	43,3	34,7	47,5	20,9	39,7	69,9	55,0
Neossolos Quartzarênicos (3)													
	pH	SB	CTC	M O	Areia	Silte	Argila	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	4,8	0,79	4,29	14,73	876,7	36,7	86,7	63,5	23,8	22,7	1,5	0,21	0,040
Menor	4,4	0,63	3,16	6,80	760,0	10,0	40,0	44,2	18,7	15,7	1,1	0,11	0,022
Maior	5,1	0,98	6,28	28,70	950,0	80,0	160,0	74,8	31,0	29,7	1,9	0,29	0,054

Tabela 5 - Atributos químicos e físicos dos principais tipos de solos coletados do estado de Alagoas (Cont...)

Desvio- Padrão	0,379	0,177	1,729	12,133	102,144	37,859	64,291	16,77	6,43	7,00	0,4 0	0,093	0,01 7
CV(%)	7,8	22,4	40,3	82,4	11,7	103,2	74,2	26,4	27,0	30,8	26, 7	44,3	42,5

Tabela 5 - Atributos químicos e físicos dos principais tipos de solos coletados do estado de Alagoas (Cont...)

Neossolos Quartzarênicos (3)													
	pH	SB	CTC	MO	Areia	Silte	Argil a	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	4,8	0,79	4,29	14,73	876,7	36,7	86,7	110,5	44,0	30,2	3,6	1,12	0,450
Menor	4,4	0,63	3,16	6,80	760,0	10,0	40,0	85,0	33,4	25,4	2,9	0,92	0,445
Maior	5,1	0,98	6,28	28,70	950,0	80,0	160,0	136,0	54,6	34,9	4,3	1,31	0,464
Desvio-Padrão	0,379	0,177	1,729	12,133	102,144	37,859	64,291	36,06	14,99	6,72	0,99	0,276	0,013
CV(%)	7,8	22,4	40,3	82,4	11,7	103,2	74,2	32,6	34,1	22,3	27,5	24,6	2,9
Luvissolos (2)													
	pH	SB	CTC	MO	Areia	Silte	Argil a	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	7,3	16,68	19,38	44,15	550,0	235,0	215,0	110,5	44,0	30,2	3,6	1,12	0,450
Menor	7,3	15,87	18,77	39,90	540,0	230,0	200,0	85,0	33,4	25,4	2,9	0,92	0,445
Maior	7,3	17,49	19,99	48,40	560,0	240,0	230,0	136,0	54,6	34,9	4,3	1,31	0,464
Desvio-Padrão	0,000	1,146	0,863	6,010	14,142	7,071	21,213	36,06	14,99	6,72	0,99	0,276	0,013
CV(%)	0,0	6,9	4,5	13,6	2,6	3,0	9,9	32,6	34,1	22,3	27,5	24,6	2,9
Cambissolos (2)													
	pH	SB	CTC	MO	Areia	Silte	Argil a	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	6,0	3,53	6,28	20,95	675,0	215,0	110,0	91,2	29,0	27,2	6,5	0,67	0,240
Menor	5,8	3,31	6,24	20,60	610,0	190,0	70,0	78,6	28,8	21,3	2,3	0,34	0,195
Maior	6,1	3,74	6,31	21,30	740,0	240,0	150,0	103,8	29,2	33,1	10,6	0,99	0,288

Tabela 5 - Atributos químicos e físicos dos principais tipos de solos coletados do estado de Alagoas (Cont...)

Desvio- Padrão	0,212	0,30 4	0,049	0,495	91,924	35,35 5	56,56 9	17,8 2	0,28	8,34	5,8 7	0,46 0	0,06 6
CV(%)	3,6	8,6	0,8	2, 4	13,6	16,4	51,4	19,5	1,0	30,7	90, 3	68,7	27,5

Tabela 5 - Atributos químicos e físicos dos principais tipos de solos coletados do estado de Alagoas (Cont...)

Gleissolos (1)													
	pH	SB	CTC	MO	Areia	Silte	Argil a	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	5,8	3,46	6,83	17,90	590,0	260,0	150,0	--	--	--	--	--	--
Menor	5,8	3,46	6,83	17,90	590,0	260,0	150,0	--	--	--	--	--	--
Maior	5,8	3,46	6,83	17,90	590,0	260,0	150,0	--	--	--	--	--	--
Desvio- Padrão	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
CV(%)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Todos os Solos (56)													
	pH	SB	CTC	MO	Areia	Silte	Argil a	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
	Água	--cmolc dm ⁻³ --		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----								
Média	5,6	4,00	8,12	28,24	675,4	144,5	180,2	115, 9	74,7	29,5	5,2	0,63	0,20 0
Menor	4,4	0,51	3,16	6,80	400,0	10,0	40,0	44,2	12,1	12,0	1,0	0,10	0,01 3
Maior	7,3	17,4 9	19,9 9	52,70	950,0	260,0	460,0	341, 9	228, 9	61,4	12, 5	3,44	1,45 9
Desvio- Padrão	0,732	3,29 6	3,31 2	11,144	117,78 2	68,06 2	98,37 8	67,9 9	52,8 3	11,3 1	3,3 5	0,59 9	0,23 3
CV(%)	13,1	82,4	40,8	39,5	17,4	47,1	54,6	58,7	70,7	38,3	64, 4	95,1	116, 5

5.2 – Teores naturais de substâncias inorgânicas dos solos do estado de Alagoas

Os valores para os teores naturais de metais pesados nos solos do estado de Alagoas se encontram na Tabela 6, assim como o coeficiente de correlação de Pearson entre os metais pesados e atributos químicos e físicos na Tabela 7. Os teores encontrados, de uma maneira geral, foram inferiores aos encontrados nos solos de outros países e estados do Brasil, valores esses que provavelmente refletem os materiais de origem e características físicas e químicas das regiões estudadas (ALLOWAY, 1990; KABATA-PENDIAS, 2011). Segundo Fadigas et al. (2002), a ocorrência natural de metais pesados em solos depende de seu material de origem, processos de formação, composição e granulometria.

A abundância natural das substâncias inorgânicas seguiu a ordem decrescente de: Fe > Mn > Ba > Cr > V > Zn > Pb > Ni > Cu > Co > Se > Sb > As > Hg > Cd > Mo > Ag. A distribuição foi similar às encontradas por Biondi (2010) nos solos de Pernambuco, Paye et al. (2010) (Mn > Cr > Zn > Pb > Co > Ni > Cu > Mo) para os solos do Espírito Santo e Almeida Júnior et al. (2016) (Fe > Mn > Ba > Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Sb > Cd > Ag > Mo) nos solos da Paraíba.

5.2.1 – Prata (Ag)

Os teores naturais de prata nos solos situaram-se abaixo do limite de detecção do método ($<0,0015 \text{ g kg}^{-1}$), devido à escassez desses elementos na natureza, similar ao que ocorreu com Fabricio Neta (2012) que também não encontrou teores de Ag acima do limite de detecção nos solos de Fernando de Noronha. Almeida Junior (2014), ao avaliar o teor de metais pesados em solos do estado da Paraíba, teve 92% de suas amostras com valores abaixo do limite de detecção do método. Esses valores foram menores que os encontrados por Costa et al. (2014) que encontraram um teor médio de $0,58 \text{ mg kg}^{-1}$ para os solos do Rio Grande do Norte, associando isso ao fato da existência de elevados teores de Mn e Fe nos solos desse estado. Esse valor ($<0,0015 \text{ g kg}^{-1}$) ficou abaixo do mencionado por Kabata-Pendias (2011) de $0,13 \text{ mg kg}^{-1}$ para diferentes solos do mundo de, valor esse que pode ser justificado pelo fato de que essa se apresenta primariamente como sulfetos associados ao Fe, Pb e Mn (KABATA-

PENDIAS, 2011), que no geral tiveram valores baixos nos solos de Alagoas (Tabela 6).

Tabela 6 - Teores naturais de substâncias inorgânicas nos principais tipos de solo do estado de Alagoas

Argissolos (19)																	
	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Mn	Ba	Mo	Fe	Sb	Ag	As	Hg	Se	V
-----mg kg ⁻¹ -----																	
Média	0,06	4,21	2,09	9,97	5,30	10,89	20,55	152,44	43,45	0,12	14758,8 2	0,71	0,0015	0,40	0,14	0,65	19,69
Menor	0,0001	0,10	0,0004	0,0003	0,40	1,15	2,29	8,3 0	2,05	0,003	1378,61	0,00 5	0,0015	0,02 1	0,02 3	0,15 1	1,434
Maior	0,1985	15,60	10,747 5	37,646 5	27,95	26,00	76,49	871,00	134,25	0,800	36734,6 1	3,39 3	0,0015	0,99 3	1,70 0	1,63 6	75,63 4
Desvio- Padrão	0,068	4,602	3,511	9,670	7,755	7,332	16,639	247,609	38,811	0,253	9720,31 8	1,13 6	---	0,29 6	0,37 8	0,32 9	16,63 9
CV(%)	113,3	109,3	168,0	97,0	146,3	67,3	81,0	162,4	89,3	210,8	65,9	160, 0	---	74,0	270, 0	50,6	84,5
Planossolos (9)																	
	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Mn	Ba	Mo	Fe	Sb	Ag	As	Hg	Se	V
-----mg kg ⁻¹ -----																	
Média	0,12	13,53	6,41	13,91	9,41	7,95	29,35	289,49	81,82	0,003	15462,3 8	0,08	0,0015	0,13	0,40	0,44	28,49
Menor	0,0001	1,65	0,7975	3,2465	2,10	2,90	6,34	60,50	27,40	0,003	5479,61	0,00 5	0,0015	0,01 2	0,02 3	0,00 2	5,484
Maior	0,3985	19,70	11,847 5	26,996 5	18,70	15,00	42,79	729,00	157,45	0,003	26364,6 1	0,64 3	0,0015	0,42 4	3,30 8	1,58 6	41,93 4
Desvio- Padrão	0,127	5,575	3,193	7,124	5,663	3,775	10,812	202,728	42,331	0,000	6849,26 6	0,21 3	---	0,12 1	1,09 2	0,63 7	10,81 2
CV(%)	105,8	41,2	49,8	51,2	60,2	47,5	36,8	70, 0	51,7	0,0	44,3	266, 3	---	93,1	273	144, 8	38,0
Latosolos (8)																	
	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Mn	Ba	Mo	Fe	Sb	Ag	As	Hg	Se	V
-----mg kg ⁻¹ -----																	
Média	0,02	5,92	3,02	11,15	5,99	9,94	25,36	194	17,9	0,14	14361,2 9	0,56	0,0015	0,47	0,06	0,80	24,5
Menor	0,0001	0,35	0,0004	0,0003	0,15	0,75	1,59	3,3 0	0,50	0,003	493,06	0,00 5	0,0015	0,07 2	0,03 1	0,40 0	0,734
Maior	0,0485	12,70	12,147 5	22,696 5	20,30	19,05	64,84	606,00	35,40	0,750	23969,6 1	3,74 3	0,0015	0,95 9	0,12 4	1,87 4	63,98 4
Desvio- Padrão	0,025	4,603	4,685	7,841	6,820	5,855	18,552	258,656	10,587	0,275	7683,87 7	1,31 0	---	0,29 4	0,03 4	0,46 3	18,55 2
CV(%)	125,0	77,8	155,1	70,3	113,9	58,9	73,2	133,3	59,1	196,4	53,5	233, 9	---	62,6	56,7	57,9	75,7

Tabela 6 - Teores naturais de substâncias inorgânicas nos principais tipos de solo do estado de Alagoas (Cont...)

Neossolos Litólicos (8)																	
	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Mn	Ba	Mo	Fe	Sb	Ag	As	Hg	Se	V
-----mg kg ⁻¹ -----																	
Média	0,10	12,74	7,11	21,65	11,07	20,26	27,84	354,60	79,24	0,003	17483,54	0,01	0,0015	0,16	0,04	0,82	26,98
Menor	0,0001	0,85	0,7475	2,2465	0,85	4,95	4,44	72,35	16,05	0,003	4706,11	0,005	0,0015	0,013	0,019	0,002	3,584
Maior	0,1985	38,55	14,8475	51,4965	31,20	93,55	74,09	755,00	137,75	0,003	29114,61	0,005	0,0015	0,402	0,096	1,572	73,234
Desvio-Padrão	0,0750	12,1890	5,1070	14,3520	9,5730	29,9630	20,9030	203,2110	42,4340	---	8193,4760	0,0000	---	0,1420	0,0230	0,6280	20,9030
CV(%)	75,00	95,70	71,80	66,30	86,50	147,90	75,10	57,30	53,60	---	46,90	0,00	---	88,80	57,50	76,60	77,50
Neossolos Regolíticos (4)																	
	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Mn	Ba	Mo	Fe	Sb	Ag	As	Hg	Se	V
-----mg kg ⁻¹ -----																	
Média	0,01	3,06	1,74	5,16	1,93	9,42	9,59	109,13	31,15	0,003	5896,73	0,01	0,0015	0,07	0,03	0,66	8,73
Menor	0,0001	1,45	0,3475	2,8965	1,35	5,75	5,84	63,60	20,40	0,003	3518,11	0,005	0,0015	0,031	0,024	0,002	4,984
Maior	0,0485	5,35	3,3475	10,3965	3,35	15,00	14,84	200,25	44,10	0,003	7179,61	0,005	0,0015	0,115	0,034	2,628	13,984
Desvio-Padrão	0,024	1,840	1,291	3,512	0,956	4,385	4,146	63,848	9,930	---	1624,029	---	---	0,039	0,004	1,310	4,146
CV(%)	240,0	60,1	74,2	68,1	49,5	46,5	43,2	58,5	31,9	---	27,5	---	---	55,7	13,3	198,5	47,5
Neossolos Quartzarênicos (3)																	
	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Mn	Ba	Mo	Fe	Sb	Ag	As	Hg	Se	V
-----mg kg ⁻¹ -----																	
Média	0,05	0,63	0,13	0,52	0,48	5,20	5,70	7,68	6,72	0,003	1252,44	0,01	0,0015	0,06	0,02	0,21	4,84
Menor	0,0001	0,25	0,0004	0,0003	0,30	1,65	1,00	3,05	1,00	0,003	140,60	0,005	0,0015	0,039	0,020	0,002	0,140
Maior	0,1500	0,95	0,2475	1,5000	0,75	9,45	11,49	13,15	10,45	0,003	1869,11	0,005	0,0015	0,100	0,029	0,619	10,634
Desvio-Padrão	0,087	0,355	0,124	0,853	0,236	3,947	5,333	5,100	5,028	---	964,794	---	---	0,035	0,005	0,356	5,333
CV(%)	174,0	56,3	95,4	164,0	49,2	75,9	93,6	66,4	74,8	---	77,0	---	---	58,3	25,0	169,5	110,2

Tabela 6 - Teores naturais de substâncias inorgânicas nos principais tipos de solo do estado de Alagoas (Cont...)

	Todos os Solos																
	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cr	Mn	Ba	Mo	Fe	Sb	Ag	As	Hg	Se	V
	-----mg kg ⁻¹ -----																
Média	0,08	7,66	3,96	12,37	6,95	11,40	22,86	228,41	54,37	0,06	14252,4 1	0,33	0,001 5	0,26	0,14	0,59	22,00
Menor	0,0001	0,10	0,0004	0,0003	0,15	0,75	1,00	3,05	0,50	0,003	140,60	0,005	0,001 5	0,01 2	0,01 9	0,002	0,140
Maior	0,4485	38,55	15,1975	51,646 5	34,9	93,55	76,49	1139,5 0	157,4 5	0,800	36734,6 1	3,743	0,001 5	0,99 3	3,30 8	2,628	75,634
Desvio- Padrão	0,106	8,197	4,512	11,339	8,15 7	12,634	16,728	258,96 0	45,26 6	0,185	8792,92 6	0,868	---	0,26 3	0,48 7	0,566	16,728
CV(%)	132,5	107,0	113,9	91,7	117, 4	110,8	73,2	113,4	83,3	308,3	61,7	263,0	---	101, 2	347, 9	95,9	76,0

Tabela 7 – Coeficiente de correlação de Pearson entre os metais pesados e atributos químicos e físicos

	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	V	Zn
pH	-	-0.46*	0.51*	0.42*	0.73*	0.54*	0.50*	0.45*	0.05 ^{ns}	0.68*	-0.36*	0.63*	0.20 ^{ns}	-0.27*	-0.08 ^{ns}	0.50*	0.50*
P	-	-0.18 ^{ns}	0.37*	0.30*	0.42*	0.09 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.31*	0.42*	-0.19 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.39*	-0.21 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.31*
K	-	-0.33*	0.55*	0.39*	0.78*	0.56*	0.69*	0.63*	0.18 ^{ns}	0.62*	-0.27*	0.69*	0.38*	-0.18 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.69*	0.54*
Na	-	-0.14 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.00 ^{ns}
Ca	-	-0.25 ^{ns}	0.50*	0.55*	0.67*	0.57*	0.40*	0.43*	0.14 ^{ns}	0.69*	-0.20 ^{ns}	0.65*	0.20 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	0.40*	0.59*
Mg	-	-0.28*	0.50*	0.42*	0.69*	0.46*	0.53*	0.44*	0.06 ^{ns}	0.58*	-0.23 ^{ns}	0.61*	0.18 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.53*	0.44*
Al	-	0.55*	-0.37*	-0.20 ^{ns}	-0.56*	-0.39*	-0.35*	-0.31*	0.03 ^{ns}	-0.52*	0.42*	-0.42*	-0.10 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.35*	-0.34*
H+Al	-	0.48*	-0.11 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.34*	-0.22 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-0.30*	0.42*	-0.24 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.39*	0.15 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.08 ^{ns}
Sb	-	-0.26 ^{ns}	0.54*	0.57*	0.75*	0.60*	0.51*	0.50*	0.14 ^{ns}	0.73*	-0.22 ^{ns}	0.71*	0.23 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	0.51*	0.61*
CTC	-	0.02 ^{ns}	0.48*	0.49*	0.56*	0.47*	0.42*	0.49*	0.21 ^{ns}	0.55*	0.02 ^{ns}	0.57*	0.24 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.42*	0.57*
V(%)	-	-0.46*	0.49*	0.39*	0.72*	0.52*	0.47*	0.42*	0.05 ^{ns}	0.66*	-0.38*	0.63*	0.20 ^{ns}	-0.31*	-0.06 ^{ns}	0.47*	0.48*
m	-	0.48*	-0.39*	-0.18 ^{ns}	-0.56*	-0.40*	-0.39*	-0.36*	0.00 ^{ns}	-0.53*	0.37*	-0.45*	-0.12 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.39*	-0.38*
Mat.org	-	0.20 ^{ns}	0.34*	0.28*	0.33*	0.31*	0.30*	0.45*	0.21 ^{ns}	0.35*	0.22 ^{ns}	0.37*	0.27*	0.23 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.30*	0.48*
Areia	-	-0.25 ^{ns}	-0.28*	-0.16 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.31*	-0.29*	-0.50*	-0.14 ^{ns}	-0.33*	-0.24 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.39*	-0.26 ^{ns}	-0.29*	-0.43*
Silte	-	-0.27*	0.52*	0.30*	0.39*	0.24 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.388	-0.21 ^{ns}	0.37*	0.11 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.36*
Argila	--	0.48*	-0.02 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.43*	0.15 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.43*	0.05 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.54*	0.28*	0.22 ^{ns}	0.27*
SiO ₂		0.42*	-0.09 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.34*	0.15 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.51*	-0.06 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.61*	0.25 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.15 ^{ns}
Al ₂ O ₃		0.50*	-0.14 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.31*	0.08 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.48*	-0.09 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.59*	0.35*	0.09 ^{ns}	0.14 ^{ns}
Fe ₂ O ₃		-0.30*	0.14 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.33*	0.42*	0.36*	0.40*	-0.02 ^{ns}	0.27*	-0.11 ^{ns}	0.33*	0.09 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.36*	0.32*
TiO ₂		-0.10 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.00 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.06 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}
P ₂ O ₅		-0.12 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.04 ^{ns}
MnO		-0.12 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.05 ^{ns}

5.2.2 – Arsênio (As)

O valor médio obtido para os teores de arsênio foi de 0,26 mg kg⁻¹ para os solos do estado de Alagoas, com valores mínimo e máximo de 0,012 e 0,993 mg kg⁻¹, respectivamente. A classe de solo com maior teor médio encontrado para os solos desse estudo foi a dos latossolos, com um valor de 0,47 mg kg⁻¹. Nogueira et al. (2013), ao caracterizarem e estabelecerem o teor desse elemento no estado de São Paulo, encontraram os maiores valores de arsênio em latossolos, argissolos e gleissolos, principalmente em latossolos vermelhos e argissolos vermelhos. Ladeira et al. (2002) comenta que a elevada adsorção de arsênio em solos vermelhos está associada ao maior teor de óxidos de alumínio e ferro, como também pela elevada área específica.

Biondi (2010), ao caracterizar o teor de elemento inorgânicos em solos de Pernambuco, encontrou um teor médio de 0,44 mg kg⁻¹ para As, teor superior ao encontrado nesse trabalho. Já Paye et al. (2010) encontraram um teor médio de As de 6,80 mg kg⁻¹ em solos do Espírito Santo, também superior ao obtido nesse trabalho. O teor médio para o estado de Alagoas foi menor que o encontrado por Kabata-Pendias (2011), ao compilar valores de diferentes solos do mundo, com valor de 6,83 mg kg⁻¹. O mesmo autor encontrou um teor médio que variou de 4,4 mg kg⁻¹ em Podzóis (Espodossolos) e 9,3 mg kg⁻¹ em solos Háplicos, mostrando que os menores teores se encontram em solos mais arenosos e os maiores em solos com maior teor de matéria orgânica.

5.2.3 – Bário (Ba)

O valor médio obtido para os teores de bário para os solos do estado de Alagoas foi de 54,37 mg kg⁻¹, com um valor mínimo e máximo de 0,50 e 157,45 mg kg⁻¹, respectivamente. Os Cambissolos apresentaram os maiores valores de bário detectados (137,80 mg kg⁻¹) seguidos logo pelos Luvisolos (122,05 mg kg⁻¹). Os menores teores médios foram constatados nos Neossolos Quartzarênicos (6,72 mg kg⁻¹).

Biondi (2010) encontrou um teor médio de Ba de 99,07 mg kg⁻¹ para os solos do estado de Pernambuco. Almeida Junior et al. (2016) encontraram um valor de

60,85 mg kg⁻¹ para os solos da Paraíba, enquanto COSTA et al. (2014) e Lima (2015) encontraram para as regiões do Rio Grande do Norte e Rio de Janeiro teores médios de Bário de 43,99 mg kg⁻¹ e 76,0 mg kg⁻¹, respectivamente. O teor médio para o estado de Alagoas foi menor que o encontrado por Kabata-Pendias (2011), que foi de 460 mg kg⁻¹, para solos de diferentes regiões do mundo. O bário é pouco móvel em solos sob intemperismo devido à fácil precipitação em sulfatos e carbonatos, além de adsorver-se fortemente com argila, o que corroborou com os valores obtidos nesse trabalho, mostrando que solos menos intemperizados (Cambissolos e Luvisolos) tiveram os maiores valores de Ba (Kabata-Pendias, 2011).

5.2.4 – Cádmiio (Cd)

A média dos teores naturais de cádmio obtida no estado de Alagoas foi de 0,08 mg kg⁻¹, com um valor máximo de 0,4485 mg kg⁻¹ e mínimo abaixo do limite de detecção. Os Luvisolos foram os tipos de solo com maior valor detectado, com uma média de 0,37 mg kg⁻¹. Esse tipo de solo tem seu material de origem composto por saprolitos de micaxistos com veios de quartzito ou de gnaisses (JACOMINE et al., 1975), o que provavelmente influenciou nos teores de Cd encontrados nesse trabalho.

Biondi (2011) encontrou um teor médio de 0,62 mg kg⁻¹ de Cd para os solos do estado de Pernambuco. Paye et al (2010), em solos do Espírito Santo, encontrou um teor de Cd abaixo do limite de detecção, fato esse que foi atribuído à baixa concentração desse elemento na crosta terrestre, pH e material de origem. Preston et al. (2014), nos solos do estado do Rio Grande do Norte, obtiveram um teor médio de 0,07 mg kg⁻¹ de Cd, enquanto que Almeida Junior et al. (2016), em solos da Paraíba, obtiveram valores de 0,06 mg kg⁻¹. O teor médio para os estados de Alagoas foi menor que o encontrado por Kabata-Pendias (2011), para solos do mundo, que foi de 0,41 mg kg⁻¹, afirmando a principal contribuição do teor de Cd no solo é o seu material de origem.

5.2.5 – Cobalto (Co)

O valor médio dos teores naturais de Co para os solos de Alagoas foi de 3,96 mg kg⁻¹, com um valor máximo de 15,1975 mg kg⁻¹ e mínimo abaixo do limite de

detecção. Os solos com os maiores valores de cobalto detectados são os Luvisolos, com um teor médio de $13,8 \text{ mg kg}^{-1}$. Já os menores valores foram encontrados nos Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Regolíticos, com valores médios de $0,13$ e $1,74 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

Biondi (2010) encontrou um teor médio de Co para os solos do estado de Pernambuco menor que o obtido nesse ($3,54 \text{ mg kg}^{-1}$). Já os valores obtidos por Paye et al. (2010), Preston et al. (2014), Lima (2015) e Almeida Junior et al. (2016) para os estados de Espírito Santo, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro e Paraíba, respectivamente, foram superiores no geral aos obtidos nesse trabalho.

O teor médio para os estados de Alagoas foi menor que o encontrado por Kabata-Pendias (2011), ao analisar diversas amostras de solos a nível mundial, que foi de $11,3 \text{ mg kg}^{-1}$, que comenta que o material de origem e a presença de óxidos de Fe e Mn regem a concentração de cobalto no solo, embora isso não tenha ocorrido nesse trabalho em virtude das correlações não significativas.

5.2.6 – Cobre (Cu)

O teor médio de cobre encontrado para os solos do estado foi de $6,95 \text{ mg kg}^{-1}$, com um valor mínimo e máximo de $0,15$ e $34,9 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Os Luvisolos tiveram o maior valor médio de cobre detectado ($24,33 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto que os solos de textura mais arenosas, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Regolíticos, tiveram valores médios de $0,48$ e $1,93 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

Em comparação aos outros estados da federação, Alagoas teve um teor médio de Cu inferior ao relatado por Biondi (2010), para o estado de Pernambuco, Preston et al. (2014), para o estado do Rio Grande do Norte, Lima (2015), para o estado de Rio de Janeiro e Almeida Junior et al. (2016), para o estado da Paraíba, que obtiveram valores de $7,15$; $9,40$; $13,00$ e $10,25 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, e superiores aos teores relatados por Paye et al. (2010) para o estado do Espírito Santo, que obtiveram valores de $4,98 \text{ mg kg}^{-1}$.

O teor médio para para os solos do estado foi menor que que o encontrado por Kabata-Pendias (2011), para diferentes solos estudados a nível mundial, que foi de $38,9 \text{ mg kg}^{-1}$. Ele comenta que os maiores teores de cobre são regidos pela textura do solo, com solos mais argilosos possuindo os maiores teores de cobre, embora

nesse trabalho não tenha ocorrido uma correlação significativa entre o cobre e a argila (Tabela 7). Ocorreu correlação positiva significativa entre o teor de cobre e matéria orgânica nesse trabalho, um padrão encontrado também em solos de Pernambuco (BIONDI, 2010) e solos do Rio Grande do Norte (PRESTON, 2013), mostrando a alta afinidade entre esses elementos, justificando o fato dos luvisolos apresentarem o maior teor desse elemento, visto que esses apresentaram os maiores teores de matéria orgânica dos solos do estado.

5.2.7 – Cromo (Cr)

A média dos teores naturais de cromo encontrada para os solos do estado foi de 22,86 mg kg⁻¹, com valor mínimo e máximo de 1,00 e 76,49 mg kg⁻¹, respectivamente. Os Luvisolos tiveram a maior média detectada entre os solos estudados, com um valor de 47,19 mg kg⁻¹, enquanto que os Neossolos Quartzarênicos, apresentaram a menor média de 5,70 mg kg⁻¹. Almeida Junior (2014) encontrou também em um luvisolo o maior teor de Cr em seu trabalho nos solos da Paraíba.

Fadigas et al. (2002), ao caracterizar diversos solos brasileiros em situações naturais, encontraram uma média de 36 mg kg⁻¹ para Cr, valor esse superior ao obtido nesse trabalho. Em relação aos outros estados da federação, os teores naturais de Cr para o estado de Alagoas foram inferiores aos relatados por Biondi (2010) (27,14 mg kg⁻¹), Paye et al. (2010) (40,34 mg kg⁻¹), Lima (2015) (43 mg kg⁻¹) e Almeida Junior et al (2016) (28,14 mg kg⁻¹) para os estados de Pernambuco, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Paraíba, respectivamente.

O teor médio determinado para os solos de Alagoas foi menor que o encontrado para solos de diferentes países e regiões do globo, que foi de 59,5 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS, 2011). Esse autor comenta que o material de origem rege o teor de Cr no solo, que é derivado principalmente de rochas máficas e sedimentos argilosos. Costa (2013) observou em seu trabalho com solos do Rio Grande do Norte que os maiores valores de Cr foram encontrados em solos mais argilosos sob sedimentos calcários juntamente com Fe e Mn.

5.2.8 – Ferro (Fe)

O teor médio de ferro nos solos do estado de Alagoas foi de 14.252,41 mg kg⁻¹, com um valor mínimo e máximo de 140,60 a 36.734,61 mg kg⁻¹, respectivamente. Os Luvisolos tiveram o maior teor médio de ferro entre os solos estudados, com um valor de 26.169,61 mg kg⁻¹. Por outro lado, os Neossolos Quartzarênicos obtiveram o menor teor médio de 1.252,44 mg kg⁻¹.

Em relação aos outros estados, Alagoas teve um teor médio inferior aos relatados por Biondi (2010), Lima (2015) e Almeida Junior et al. (2016) para solos de Pernambuco, Rio de Janeiro e Paraíba, respectivamente. O ferro, juntamente com o manganês, são os elementos inorgânicos que geralmente aparecem em maiores teores nos solos (Fadigas et al., 2012), aliado ao fato da presença desses elementos na rocha indicar indiretamente o teor de outros metais pesados (Biondi, 2010) o que corroborou com a distribuição dos teores naturais nesse trabalho.

5.2.9 – Mercúrio (Hg)

O teor médio de mercúrio encontrado nos solos do estado de Alagoas foi de 0,14 mg kg⁻¹, com um valor mínimo de 0,019 mg kg⁻¹ e máximo de 3,308 mg kg⁻¹. Os Planossolos obtiveram o maior teor médio de Hg entre os solos estudados, com um valor de 0,40 mg kg⁻¹. Os menores teores médios foram encontrados nos solos Neossolos Regolíticos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos, Cambissolos e Gleissolos, com teores médios entre 0,02 e 0,04 mg kg⁻¹.

Biondi (2010) encontrou um teor médio de 0,09 mg kg⁻¹ para os solos de Pernambuco, valor inferior aos obtidos para os solos dos estados de Alagoas. Os valores médios determinados a nível mundial, para os solos (0,07 mg kg⁻¹) foram inferiores aos obtidos para os solos de Alagoas (KABATA-PENDIAS, 2011).

5.2.10 – Manganês (Mn)

O teor médio de manganês nos solos do estado de Alagoas foi de 228,41 mg kg⁻¹, com um valor mínimo e máximo de 3,05 e 1.139,50 mg kg⁻¹, respectivamente. Os Luvisolos foram os tipos de solo com maior teor médio

encontrado, com um valor de 850,50 mg kg⁻¹. Por outro lado, os Neossolos Quartzarênicos apresentaram os menores teores de Mn, um valor médio de 7,68 mg kg⁻¹.

O teor médio de Mn para os solos do estado de Alagoas foi maior que o encontrado por Paye et al. (2010) e menor que o encontrado Almeida Junior et al. (2016), que encontraram valores de 131,69 e 268,33 mg kg⁻¹, respectivamente. O teor médio encontrado nesse trabalho foi menor que o obtido por Kabata-Pendias (2011) que, trabalhando com solos a nível mundial, foi de 488 mg kg⁻¹. Esse autor encontrou os maiores valores de Mn em solos argilosos e calcíticos, com valores variando de 100 a 3.900 mg kg⁻¹ para Cambissolos, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo.

5.2.11 – Molibdênio (Mo)

O teor médio de molibdênio para os solos do estado de Alagoas foi de 0,06 mg kg⁻¹, com valor máximo de 0,8 mg kg⁻¹ e mínimo abaixo do limite de detecção do método utilizado. Os Latossolos tiveram os maiores valores detectados seguidos pelos Argissolos, com valores de 0,14 e 0,12 mg kg⁻¹, respectivamente. Não foi detectado molibdênio nos outros tipos de solos estudados nesse trabalho.

O teor médio de Mo nos solos do estado foi superior ao relatado por Almeida Junior et al. (2016) de 0,01 mg kg⁻¹ para solos do estado da Paraíba e inferior ao obtido por Paye et al. (2010) de 1,44 mg kg⁻¹ em solos do estado do Espírito Santo.

O teor médio de Mo para os solos do estado de Alagoas foi menor que o encontrado por Kabata-Pendias (2011), para solos a nível mundial, que foi de 1,1 mg kg⁻¹, com seu teor proveniente na maioria dos casos pelo seu material de origem. Molibdênio tem alta afinidade a matéria orgânica e hidróxidos de Ferro, o que faz seu valor ser mais alto na serapilheira. O molibdênio também costuma aparecer em mais quantidade em regiões áridas e semiáridas (KABATA-PENDIAS, 2011).

5.2.12 – Níquel (Ni)

O teor médio de níquel para os solos do estado de Alagoas foi de 7,66 mg kg⁻¹, com um valor mínimo e máximo de 0,10 e 38,55 mg kg⁻¹,

respectivamente. Os Luvisolos tiveram o maior teor médio de níquel detectado, com um valor médio de $25,55 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto que os Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos, apresentaram os menores teores médios de $3,06$ e $0,63 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

O teor médio para os solos do estado foi menor do que os preconizados por Kabata-Pendias (2011), com valor médio de $29,0 \text{ mg kg}^{-1}$, com seu teor proveniente do material de origem, processos de formação do solo e atividades antropomórficas, com um grande acúmulo em Cambissolos e Calcisolos. Para esse trabalho, todavia, os luvisolos apresentaram os maiores teores, algo similar ao ocorrido com os solos da Paraíba (ALMEIDA JUNIOR, 2014).

O teor médio de Ni para os solos do estado de Alagoas foi inferior aos obtidos por Preston et al. (2014) em solos do Rio Grande do Norte ($14,01 \text{ mg kg}^{-1}$), Lima (2015) em solos do Rio de Janeiro ($12,0 \text{ mg kg}^{-1}$) e Almeida Junior et al. (2016) em solos da Paraíba ($12,72 \text{ mg kg}^{-1}$) e superior aos relatados por Biondi (2010) em solos de Pernambuco ($6,0 \text{ mg kg}^{-1}$) e Paye et al. (2010) em solos do Espírito Santo ($6,44 \text{ mg kg}^{-1}$).

5.2.13 – Chumbo (Pb)

O teor de chumbo para os solos do estado de Alagoas variou de $0,75$ a $93,55 \text{ mg kg}^{-1}$, com um valor médio de $11,40 \text{ mg kg}^{-1}$. Os Neossolos Litólicos apresentaram o maior teor médio de chumbo detectado, seguidos pelos Cambissolos, com valores de $20,26$ e $19,70 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Por outro lado, os Neossolos Quartzarênicos apresentaram os menores teores médios de $5,20 \text{ mg kg}^{-1}$.

Em relação aos solos dos outros estados da federação, o teor médio de Pb de Alagoas foi inferior ao relatado por Lima (2015) em solos do Rio de Janeiro ($16,0 \text{ mg kg}^{-1}$) e superior aos relatados por Preston et al. (2014) em solos do Rio Grande do Norte ($10,99 \text{ mg kg}^{-1}$), Biondi (2010) em solos de Pernambuco ($11,18 \text{ mg kg}^{-1}$), Paye et al. (2010) em solos do Espírito Santo ($5,39 \text{ mg kg}^{-1}$) e Almeida Junior et al. (2016) em solos da Paraíba ($8,11 \text{ mg kg}^{-1}$).

Os solos estudados dos estados de Alagoas apresentaram teores médios de Pb inferiores aos encontrados por Kabata-Pendias (2011), trabalhando com solos a

nível global, com valor médio de $27,0 \text{ mg kg}^{-1}$, afirmando que suas maiores concentrações ocorrem em Cambissolos e solos Háplicos.

5.2.14 – Antimônio (Sb)

O teor médio de antimônio encontrado para os solos do estado de Alagoas foi de $0,33 \text{ mg kg}^{-1}$, com um valor máximo de $3,743 \text{ mg kg}^{-1}$ e mínimo abaixo do valor de detecção. Os Argissolos tiveram o maior valor médio detectado, seguidos pelos Latossolos e Planossolos com valores de $0,71$, $0,56$ e $0,08 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Não foi encontrado antimônio nos outros tipos de solos estudados.

O teor médio de Sb para os solos do estado de Alagoas foi superior aos encontrados por Preston et al. (2014) no estado do Rio Grande do Norte ($0,10 \text{ mg kg}^{-1}$) e inferior aos determinados por Almeida Junior et al. (2016) no estado da Paraíba ($0,42 \text{ mg kg}^{-1}$) e Kabata-Pendias (2011) em solos a nível mundial ($0,67 \text{ mg kg}^{-1}$).

5.2.15 – Selênio (Se)

O teor médio de selênio para os solos do estado de Alagoas foi de $0,59 \text{ mg kg}^{-1}$, com um valor máximo de $2,628 \text{ mg kg}^{-1}$ e mínimo abaixo do limite de detecção do método utilizado. Os Neossolos Litólicos tiveram o maior teor médio detectado, seguido pelos Latossolos e Argissolos, com valores de $0,82$, $0,80$ e $0,65 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Não foi constatada a presença de Selênio em amostras analisadas de Cambissolos. A presença de selênio no solo é regida pelo material de origem e sua distribuição reflete os fatores de formação do solo e deposição atmosférica. Ferralsolos, solos mais orgânicos e salinos costumam apresentar um teor mais elevado de Se (KABATA-PENDIAS, 2011).

Os teores médios de Selênio foram maiores que o encontrado por Kabata-Pendias (2011), que foi de $0,44 \text{ mg kg}^{-1}$, para solos a nível mundial, sendo atribuída a sua principal fonte advinda do material de origem e fatores de formação de solo.

5.2.16 – Vanádio (V)

O teor médio de vanádio para os solos do estado de Alagoas foi de 22,00 mg kg⁻¹, variando de 0,14 a 75,63 mg kg⁻¹. Os Luvisolos tiveram o maior teor médio detectado, seguido pelos Planossolos, com valores de 46,33 e 28,49 mg kg⁻¹ respectivamente. Os menores teores médios de V foram encontrados nos solos Neossolos Regolíticos (8,73 mg kg⁻¹), Gleissolos (8,13 mg kg⁻¹) e Neossolos Quartzarênicos (4,84 mg kg⁻¹).

Os solos do estado de Alagoas tiveram teores superiores aos relatados por Preston et al. (2014), que encontraram um teor médio de 19,44 mg kg⁻¹ para os solos do estado do Rio Grande do Norte. No entanto esses valores médios encontrados estiveram bem abaixo do que os preconizados a nível mundial, de 129 mg kg⁻¹ (KABATAS-PENDIAS, 2011), salientando que seus teores estão intimamente ligados ao material de origem.

5.2.17 – Zinco (Zn)

O teor médio de zinco nos solos do estado de Alagoas foi de 12,37 mg kg⁻¹, com valor máximo de 51,6465 mg kg⁻¹ e mínimo não detectado pelo método utilizado. Os Luvisolos tiveram o maior teor de Zn médio encontrado no trabalho, com um valor de 32,82 mg kg⁻¹. Por outro lado, os Neossolos Quartzarênicos apresentaram os menores teores médios de Zn, com valor de 0,52 mg kg⁻¹.

O teor médio de Zn encontrado nos solos de Alagoas foi inferior aos demais trabalhos em diversos solos do Brasil, Biondi et al. (2010), Paye et al. (2010), Preston et al. (2014), Lima (2015) e Almeida Junior (2016), que encontraram valores de 22,52; 21,02; 17,98; 28,00 e 16,97 mg kg⁻¹, respectivamente. Os teores médios de Zn encontrados para o estado de Alagoas estão bem abaixo do preconizado por Kabata-Pendias (2011), que foi de 70 mg kg⁻¹, que afirmou que a concentração de Zn em um solo é regida pelo seu material de origem, processos de formação e teor de matéria orgânica, o que corroborou com os dados obtidos nesse trabalho, já que os luvisolos apresentaram o maior teor de matéria orgânica e ocorreu correlação positiva entre Zn e matéria orgânica.

5.3 – Valores de Referência de Qualidade dos estados de Alagoas

Os valores de referência de qualidade obtidos para o estado de Alagoas se encontram na Tabela 8, obtidos a partir do percentil 90 juntamente com os valores de prevenção e investigação regulamentados pelo CONAMA (2009).

De uma maneira geral, nenhum dos VRQs estabelecidos para os solos do estado de Alagoas foram superiores aos valores de prevenção preconizados pela resolução 420/2009 pelo CONAMA (2009).

Os VRQs estabelecidos nesse trabalho foram inferiores aos VRQs estabelecidos pelo estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2014) para Ag ($0,05 \text{ mg kg}^{-1}$), Cd ($0,05 \text{ mg kg}^{-1}$), Co (40 mg kg^{-1}), Cu (50 mg kg^{-1}), Mo ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e Zn (35 mg kg^{-1}) e superiores para Ba (84 mg kg^{-1}), Cr (35 mg kg^{-1}), Ni (9 mg kg^{-1}), Pb (13 mg kg^{-1}), Sb ($0,2 \text{ mg kg}^{-1}$), Se ($0,4 \text{ mg kg}^{-1}$) e V (24 mg kg^{-1}). O VRQ de mercúrio foi similar nos dois estados, com valor de $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ para Alagoas e $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ para Pernambuco.

Quando comparado à Paraíba (PARAÍBA, 2014), os VRQs estabelecidos nesse trabalho foram inferiores em relação à Ag ($0,53 \text{ mg kg}^{-1}$), Co ($13,14 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu ($20,82 \text{ mg kg}^{-1}$), Cr ($48,35 \text{ mg kg}^{-1}$), Mo ($0,43 \text{ mg kg}^{-1}$) e Zn ($33,65 \text{ mg kg}^{-1}$) e superiores aos valores de Ba ($117,41 \text{ mg kg}^{-1}$), Cd ($0,08 \text{ mg kg}^{-1}$), Fe ($14.310 \text{ mg kg}^{-1}$), Mn ($268,33 \text{ mg kg}^{-1}$), Ni ($14,44 \text{ mg kg}^{-1}$), Pb ($14,82 \text{ mg kg}^{-1}$) e Sb ($0,61 \text{ mg kg}^{-1}$).

Em relação aos VRQs estabelecidos pelo estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2011), os VRQs encontrados nesse estudo foram inferiores aos elementos Ag ($<0,45 \text{ mg kg}^{-1}$), As (8 mg kg^{-1}), Cd ($<0,45 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu (49 mg kg^{-1}), Cr (75 mg kg^{-1}), Mo ($<0,9 \text{ mg kg}^{-1}$), Ni ($21,5 \text{ mg kg}^{-1}$), Pb ($19,5 \text{ mg kg}^{-1}$), V (129 mg kg^{-1}) e Zn ($46,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e superiores ao Ba (93 mg kg^{-1}), Co (6 mg kg^{-1}), Hg ($0,05 \text{ mg kg}^{-1}$), Sb ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e Se ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$).

Tabela 8 - Valores de referência de qualidade (VRQs) para substâncias inorgânicas em solos do estado de Alagoas e valores de prevenção (VP) e investigação (VI) regulamentados pelo CONAMA (2009)

Metais	P (90)	V P	VI
-----mg kg ⁻¹ -----			
Ag	< 0,003	0,25	25
As	0,66	---	---
Ba	133,48	150	30 0
Cd	0,21	1, 3	3
Co	11,94	25	35
Cu	19,06	60	20 0
Cr	42,93	75	15 0
Fe	28.726, 61	---	---
Hg	0,11	0, 5	12
Mn	591,65	---	---
Mo	0,32	30	50
Ni	17,69	30	70
Pb	19,35	72	18 0
Sb	1,58	2	5
Se	1,55	5	---
V	42,07	---	---
Zn	26,16	300	45 0

P (90) = VRQs estabelecido a partir do percentil 90

Para o estado do Espírito Santo (Paye et al., 2011), os VRQs de Alagoas foram inferiores aos elementos As (6,8 mg kg⁻¹) e Mo (1,43 mg kg⁻¹) e superiores aos elementos Co (8,64 mg kg⁻¹), Cu (5,57 mg kg⁻¹), Cr (41,07 mg kg⁻¹), Mn (131,69 mg kg⁻¹), Ni (6,65 mg kg⁻¹), Pb (8,79 mg kg⁻¹) e Zn (22,61 mg kg⁻¹).

Para o estado de São Paulo (2014), os VRQs de Alagoas foram inferiores aos elementos Ag (0,25 mg kg⁻¹), As (3,5 mg kg⁻¹), Cd (<0,5 mg kg⁻¹), Co (13 mg kg⁻¹), Cu (35 mg kg⁻¹), Mo (<4 mg kg⁻¹), Sb (<0,5 mg kg⁻¹) e Zn (60 mg kg⁻¹) e superiores aos valores estabelecidos de Ba (75 mg kg⁻¹), Cr (40 mg kg⁻¹), Ni (13 mg kg⁻¹), Pb (17 mg kg⁻¹) e Se (0,25 mg kg⁻¹).

Quando comparados aos teores naturais de solos em outros países, os VRQs do estado de Alagoas, no geral, foram inferiores aos teores relatados em solos chineses, americanos (CHEN et al., 1991) e solos mundiais (ALLOWAY, 2010). De forma geral, os VRQs encontrados estão abaixo ou nas faixas mencionadas por Kabata-Pendias (2011).

5.4 – Análise multivariada

Ocorreram correlações significativas à 5% de probabilidade de erro para quase todas as variáveis, com exceção de Ag, Hg e Se que não contribuíram para a variação geral. Sendo assim, a matriz de dados foi composta por 14 variáveis e 56 amostras de solos, gerando 14 componentes para a análise de componente principal. A medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem teve um valor de 0,779, mostrando uma boa adequação dos dados. O teste de esfericidade de Barlett foi altamente significativo (696,787), evidenciando que os dados estavam aptos para a análise de componentes principais. Todavia, apenas os componentes cujos autovalores foram superiores a 1 foram considerados, segundo metodologia proposta por Kaiser (LEDESMA E VALERO-MORA, 2007), sendo então usados três componentes principais que representam 75,2% do total da variância (Tabela 10 e Figura 6).

O primeiro componente explicou mais de 50,4% da variância total, sendo representado pelos metais Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, V e Zn. Preston et al. (2014), ao estabelecer VRQs para os metais pesados em solos do Rio Grande do Norte, agruparam V e Cr no mesmo fator, argumentando que a organização provavelmente representa os elementos controlados pelo material de origem, fato esse também corroborado por Kabata-Pendias (2011). Almeida Junior et al. (2016), ao estabelecerem os VRQs de metais pesados para os solos da Paraíba, agruparam Cd, Cr, Cu, Ni e Pb no primeiro grupo. O segundo componente explicou 15,5% da variância total, englobando os metais As, Mo e Sb. O terceiro componente por sua vez representou 9,3% e foi composto apenas pelos metais Ba e Cd, similar ao que ocorreu com Almeida Junior et al. (2016) e Preston et al. (2014), que também colocaram Ba no terceiro componente.

Tabela 9 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os metais pesados no solo de Alagoas

	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	V	Zn
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-0.26 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.27*	-0.15 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	0.57*	-0.21 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.32*	0.11 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.08 ^{ns}
Ba	-	-0.26 ^{ns}	-	0.80*	0.57*	0.46*	0.42*	0.55*	0.16 ^{ns}	0.53*	-0.16 ^{ns}	0.60*	0.28*	-0.01 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	0.42*	0.53*
Cd	-	-0.14 ^{ns}	0.80*	-	0.49	0.43*	0.31*	0.45*	0.19 ^{ns}	0.53*	-0.07 ^{ns}	0.53*	0.25 ^{ns}	0.00 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.31*	0.47*
Co	-	-0.27*	0.57*	0.49*	-	0.85*	0.81*	0.76*	0.19 ^{ns}	0.88*	-0.28*	0.89*	0.36*	-0.16 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.81*	0.81*
Cu	-	-0.15 ^{ns}	0.46*	0.43*	0.85*	-	0.76*	0.79*	0.02 ^{ns}	0.79*	-0.17 ^{ns}	0.85*	0.27*	-0.03 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.76*	0.78*
Cr	-	-0.07 ^{ns}	0.42*	0.31*	0.81*	0.76*	-	0.79*	0.07 ^{ns}	0.62*	-0.13 ^{ns}	0.81*	0.21 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1.00*	0.60*
Fe	-	0.01 ^{ns}	0.55*	0.45*	0.76*	0.79*	0.79*	-	0.23 ^{ns}	0.76*	0.03 ^{ns}	0.69*	0.44*	0.25 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.79*	0.78*
Hg	-	0.18 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.23 ^{ns}	-	0.24 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.15 ^{ns}
Mn	-	-0.17 ^{ns}	0.53*	0.53*	0.88*	0.79*	0.62*	0.76*	0.24 ^{ns}	-	-0.24 ^{ns}	0.73*	0.39*	-0.07 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.62*	0.82*
Mo	-	0.57*	-0.16 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.28*	-0.17 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	-	-0.20 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.74*	0.00 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.01 ^{ns}
Ni	-	-0.21 ^{ns}	0.60*	0.53*	0.89*	0.85*	0.81*	0.69*	0.12 ^{ns}	0.73*	-0.20 ^{ns}	-	0.24 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.81*	0.77*
Pb	-	0.02 ^{ns}	0.28*	0.25 ^{ns}	0.36*	0.27*	0.21 ^{ns}	0.44*	0.09 ^{ns}	0.39*	0.07 ^{ns}	0.24 ^{ns}	-	0.13 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.57*
Sb	-	0.32*	-0.01 ^{ns}	0.00 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.74*	-0.15 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-	0.06 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.14 ^{ns}
Se	-	0.11 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.15 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.06 ^{ns}	-	0.18 ^{ns}	0.24 ^{ns}
V	--	-0.07 ^{ns}	0.42*	0.31*	0.81*	0.76*	1.00*	0.79*	0.07 ^{ns}	0.62*	-0.13 ^{ns}	0.81*	0.21 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-	0.60*
Zn		-0.08 ^{ns}	0.53*	0.47*	0.81*	0.78*	0.60*	0.78*	0.15 ^{ns}	0.82*	-0.01 ^{ns}	0.77*	0.57*	0.14 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.60*	-

** : significativo a 5%; ns: não significativo

Tabela 10 - Eixos fatoriais extraídos para os metais pesados, cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada e comunalidade

Variável	Eixo Fatorial			Comunalidade
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	
As	-0.0473	0.7074	-0.2146	0.4708
Ba	0.1910	-0.1291	0.9020	0.7248
Cd	0.2834	-0.0904	0.8237	0.7062
Co	0.8990	-0.2199	0.2748	0.9370
Cu	0.9165	-0.0781	0.1439	0.8550
Cr	0.8962	-0.0595	0.0024	0.8871
Fe	0.8402	0.2057	0.3254	0.9059
Mn	0.7918	-0.1255	0.4111	0.8890
Mo	-0.1141	0.9094	-0.0121	0.7130
Ni	0.8773	-0.1865	0.2225	0.9200
Pb	0.3110	0.2291	0.4593	0.5104
Sb	-0.0205	0.8448	0.1524	0.7256
Zn	0.8077	0.1214	0.4052	0.8816
Autovalor	6.5208	2.2333	1.3226	
Variância total	50.1601	17.1791	10.1736	
Variância Acumulada	50.1601	67.3391	77.5127	

*Valores em negrito significativos a 5% de probabilidade de erro

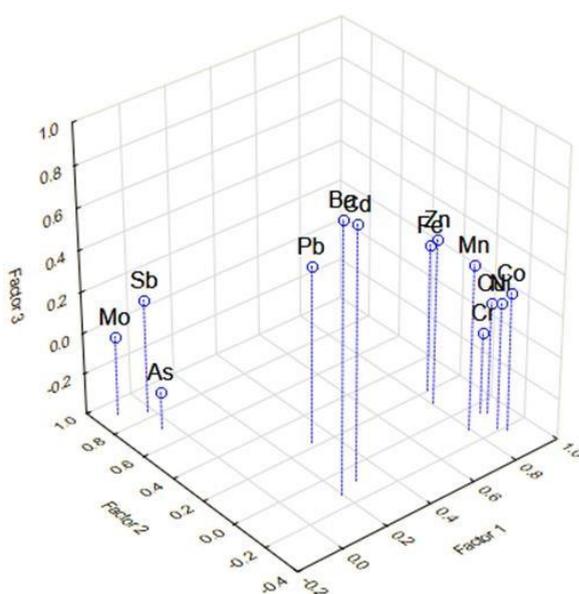


Figura 6 – Os três componentes principais que influenciam a concentração de metais pesados no solo.

6. CONCLUSÕES

Os VRQs estabelecidos para os solos do estado de Alagoas foram inferiores aos valores de prevenção preconizados pela resolução 420/2009 pelo Conama (2009).

Os VRQs baseados no percentil 90 para os solos do estado de Alagoas foram os seguintes (mg kg⁻¹): Ag (< 0,003), As (0,66), Ba (133,48), Cd (0,21), Co (11,94), Cu (19,06), Cr (42,93), Fe (28.726,61), Hg (0,11), Mn (591,65), Mo (0,32), Ni (17,69), Pb (19,35), Sb (1,58), Se (1,55), V (42,07) e Zn (26,16).

O primeiro componente explicou mais de 50,4% da variância total, sendo representado pelos metais Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, V e Zn. O segundo componente explicou 15,5% da variância total, englobando os metais As, Mo e Sb. O terceiro componente por sua vez representou 9,3% e foi composto apenas pelos metais Ba e Cd, totalizando assim 75,2% da variância total.

REFERÊNCIAS

ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P.; CAMARGO, O.A. Metais pesados: Da cosmogênese aos solos brasileiros. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M. & SILVA, A.P., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4. p.1- 42.

ALLEONI, L.R.F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Sci. Agron**, v. 27, p. 729-737, 2005.

AL-HARAHSEH, M., KINGMAN, S., SOMERFIELD, C., ABABNEH, F. Microwave-assisted total digestion of sulphide ores for multi-element analysis. **Analytica Chimica Acta**, 2009, v. 638, 101–105.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: Springer, 2010. 614p.

ALLOWAY, B. J. Source of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In: ALLOWAY, B. J. **Heavy Metals in Soils**. Springer, Dordrecht, 2013. 613 p.

ALMEIDA JUNIOR, A. B. **Teores naturais e valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do estado da Paraíba**. 2014. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE)

ALMEIDA JUNIOR, A. B. de; NASCIMENTO, C. W. A. do, BIONDI, C. M.; SOUZA, A. P. de; BARROS, F. M. R. Background and Reference Values of Metals in Soils From Paraíba State, Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.40:e0150122, 2016.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013

ALVAREZ V., V.H. **Caracterização química de solos**. Viçosa: UFV/Departamento de Solos, 1985. 86p. (Mimeografado).

APEAGYEI, E.; BANK, M. S.; SPENGLER, J. D. Distribution of Heavy Metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 2310-2323, 2011.

BAPTISTA, G. M. G.; NETTO, J. S. M.; MENESES, P. R. Determinação da Relação Sílica - Alumina a partir dos Dados do Sensor AVIRIS (JPL/NASA), para Discretização Espacial do Grau de Intemperismo de Solos Tropicais. In. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos, Brasil. **Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 1345-1355.

- BATELLE. **Guidance for Environmental Background Analysis**, Volume I: Soil. Columbus: Battelle Memorial Institute and US Naval Facilities Engineering Command, 2002. 169p.
- BRIDGE. **Final Proposal for a Methodology to Set up Groundwater Threshold Values in Europe (Report D18)**. European Commission, Sixth Framework Programme. 2006. 63p.
- BIONDI, C.M. **Teores Naturais de Metais Pesados nos Solos de Referência do Estado de Pernambuco**. 2010. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE).
- BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A do; FABRICIO NETA, A. de B; RIBEIRO, M.R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira Ciência do solo**, v. 35, p. 1057-1066, 2011a.
- BRUS, D. J.; LAMÉ, F. P. J.; NIEUWENHUIS, R. H. National baseline survey of soil quality in the Netherlands. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 2043-2052, 2009.
- CAMPOS, M.L.; SILVA, F.N.; FURTINI NETO, A.E.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; ANTUNES, A.S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.4, p.361-367, 2005.
- CAMPOS, M.L.; GUILHERME, L.R. G.; MARQUES, J.J.G. de S. M.; CURTI, N; ARAÚJO, A. S. A.; MIQUELLUTI, D. J; LOPES, C.; SPIAZZ, F. R. Teores de arsênio e cádmio em solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.281-286, 2013.
- CARLON, C. (Editor). **Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe: A Review and Evaluation of National Procedures Towards Harmonisation**. European Commission, Joint Research Centre, ISPRA, EUR 22805-EN. 2007. 306p.
- CAIRES, S. M DE. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade**. 2009. 321 f. Tese (Doutorado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas- Universidade Federal de Viçosa).
- CHAVES, L. H. G.; SOUZA, R. S. de; TITO, G. A. Adsorção de zinco em argissolos do estado da Paraíba: efeito do pH. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 4, p. 511-516, 2008.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - **DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E**, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.

CHEN, J.; WEI, F.; ZHENG, C.; WU, Y.; ADRIAN, D.C. Background concentrations of elements in soils of China. **Water Air Soil Poll.**, v.57-58, p.699-712, 1991.

CHEN, M. & MA, L. Q. Comparison of four USEPA digestion methods for trace metal analysis using certified and Florida Soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 27, n° 6, p.1294-1300, 1998.

CHRISTOFORIDIS, A.; STAMATIS, N. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. **Geoderma**, v. 151, p. 257-563, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Nº 420**, de 28 de dezembro de 2009.

COSTA, W.P.L.B. da. **Metais pesados em solos do Rio Grande do Norte: Valores de Referência de Qualidade e relações geopedológicas**. 2013. 121f. Tese (Doutorado em Agronomia- Ciência do solo- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE).

COSTA, W. P. L. B.; NASCIMENTO, C.W.A. do; BIONDI, C.M.; SOUZA JUNIOR, V.S. de; SILVA, W.R.; FERREIRA, H.A. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.38, p.1028-1037, 2014.

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

DAVIS, J.C. **Statistics and Data Analysis in Geology**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 2002. 638p.

De GRUIJTER, J.J., BRUS, D.J., BIERKENS, M.F.P., KNOTTERS, M. **Sampling for Natural Resource Monitoring**. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2006. 327 p.

DUFFUS, J.H. "Heavy Metals" – A meaningless term? (IUPAC© Technical Report) **Pure Appl. Chem.**, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

DUONG, T. T. T.; LEE, B. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 554-562, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos;1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Análises de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA/Informação Tecnológica, 1999. 627p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **ZAAL – Zoneamento Agroecológico do estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos UEP Recife, 2012. CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA/CNPS, 2013. 353p.

EXCEL (2016). [Software]. Microsoft, Redmond, Washington, EUA.

FABRÍCIO NETA, A.B. **Teores naturais de metais pesados em solos da Ilha de Fernando de Noronha**. 2012. 51f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE).

FADIGAS, F.S.; AMARAL-SOBRINHO, N.M.S.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos Brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, p. 151-159, 2002.

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. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, p.699-705, 2006.

FRIERDICH, A. J.; HASENMUELLER, E. A.; CATALANO, J. G. Composition and structure of nanocrystalline Fe and Mn oxide cave deposits: implications for trace mobility in karst systems. **Chemical Geology**, v. 284, p. 82-86, 2011.

GENES (2016). [Software]. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Biologia Geral, Viçosa, Minas Gerais, Brasil..

GOOGLE EARTH (2016). (Versão 7.15) [Software]. Google Inc., Mountain View, California, USA.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANE, D. Q.; CAMPOS, M. L. Elementos-traço em solos, sedimentos e águas In: VIDALTORRADO, P. et al. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.345-390, 2005.

HAIR JUNIOR., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6. Ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estados – Alagoas, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=al>>. Acessado em 10 de set, 2016.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; PESSOA, S.C.P.; SILVEIRA, C.O. da. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Alagoas**. Recife: Embrapa/Sudene, 1975a. 532p.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in Soils and plants**. New York: Taylor and Francis Group, 2011. 505p.

KAHKHA, M. R. R.; BAGHERI, S.; NOORI, R.; PIRI, J.; JAVAN, S. Examining total concentration and sequential extraction of heavy metals in agricultural soil and wheat. **Pol. J. Environ. Stud.** v. 26, n. 5, p. 2021-2028, 2017.

LADEIRA, A. C. Q.; CIMINELLI, V. S. T.; NEPOMUCENO, A. L. Seleção de solos para a imobilização de arsênio. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto , v. 55,n. 3, p. 215-221, 2002.

LEDESMA D. R., VALERO-MORA P. Determining the number of factors to retain in EFA: an easy-to-use computer program for carrying out **Parallel Anaylisis. Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 12, n. 2, 2007.

LIMA, E.S.A. **Valores de Referência de Qualidade de Metais em Solos do Estado de Rio de Janeiro e Organossolos no Brasil**. 2015. 125f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia e Inovação em Agropecuária - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ).

LIAGHATI, T., PREDI, M., COX, M. Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia. **Environ. Int.** v. 29, 935e948, 2004.

MANTA, D. S.; ANGELONE, M.; BELLANCA, A.; NERI, R.; SPROVIERI, M. Heavy metals in urban soils : a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. **The Science of the Total Environment**, v. 300, p. 229-243, 2002.

MENDENHALL, W.M.; SINCICH, T.L. **Statistics for Engineering and the Sciences**. 6.ed. New York; CRC Press: Taylor & Francis Group, 2015. 1147p.

MINAS GERAIS (Estado). Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, Ano CXIX, n.140, p.18.

NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. **Nature**, v. 333, p. 134-139, 1989.

NRIAGU, J. O. A history of global pollution. **Science, New series**, v. 272, n. 5259, p. 223-224, 1996.

NOGUEIRA, T. A. R.; ALLEONI, L. R. F.; He, Z.; VILLANUEVA, F. C. A.; POGGERE G. C.; ABREU JUNIOR C. H. Teores naturais e valor de referência de qualidade para selênio em solos do estado de São Paulo. In: **XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013**. Anais. Florianópolis. CD-ROM.

PAYE, H. de S.; MELLO, J.W.V de; ABRAHÃO, W.A.P.; FERNANDES FILHO, E.I.; DIAS, L.C.P.; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B. de; FRANÇA, M.M. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p.2041-2051, 2010.

PARAÍBA (Estado). Deliberação 3602. Estabelece os Valores Orientadores de Qualidade do Solo do Estado da Paraíba quanto à presença de Metais Pesados. **Diário Oficial do Estado da Paraíba**, João Pessoa, PB, n.15713, 18 de Dez., 2014., p.15-16.

PERNAMBUCO (Estado). Instrução Normativa CPRH Nº 007/2014. Estabelece os valores de referência de qualidade do solo (VRQ) do Estado de Pernambuco quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**, Recife, PE, Ano XCI, n. 244, 31 de Dez., 2014., p.13.

SÃO PAULO (Estado). Decisão da Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP, vol. 134, n.136, seção I, p.53.

SANTOS, S. N. dos; ALLEONI, L. R. do F. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, p.5737-5748, 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO, GESTÃO E PATRIMÔNIO DE ALAGOAS – SEPLAG. **Alagoas em dados e informações: Geomorfologia**. Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/dataset/d8f3ac16-6441-4f45-8c69-a2fc5a4ff8a6/resource/7c003e40-db57-48fb-bc07c3faaecb7624/download/25geomorfologia.png>> Acessado em 10 de Set de 2016.

SILVA, Y. J. A. B da; NASCIMENTO, C. W. A do; BIONDI, C. M. Comparison of USEPA digestion methods to heavy metals in soil samples. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.186, p. 47-53, 2014.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. 4.ed. W.H. New York: Freeman and Company, 2011. 937p.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **TECNO-LÓGICA**, v.15, n. 1, p. 15-21, 2011.

SURYAWANSHI, P. V.; RAJARAM, B. S.; BHANARKAR, A. D.; CHALAPATI RAO, C. V. Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India. **Atmosfera**, v. 29, n. 3, p. 221-234, 2016.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Washington: Office of Solid Waste, U.S. Environmental Protection Agency.2007. p.1-30.

WANG, Y.; WANG, P.; BAI, Y.; TIAN, Z.; LI, J.; SHAO, X.; MUSTAVICH, L. F.; LI. B. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin Region, China. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 7, p. 30-40, 2013.

WEI, B.; YANG, L. A review of heavy metals contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. **Microchemical Journal**, v. 94, p. 99-107, 2010.

XIA, X.; CHEN, X.; LIU, R.; LIU, H. Heavy Metals in urban soils with various types of land use in Beijing, China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, p. 2043-2050, 2011.

ZHANG, P. X.; DENG, WEI.; YANG, X. M. The background concentration of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 21, p. 167-174, 2002.

ZHANG, C., NIE, S., LIANG, J., ZENG, G., WU, H., HUA, S., LIU, J., YUAN, Y., XIAO, H., DENG, L. Effects of heavy metals and soil physicochemical properties on wetland soil microbial biomass and bacterial community structure. **Sci. Total Environ.** 557e558, 785e790, 201