

MATHEUS RODRIGO MACHADO

TEORES NATURAIS DE ARSÊNIO PARA SOLOS DE SANTA CATARINA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Prof^ª. Mari Lucia Campos

LAGES, SC

2020

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da Biblioteca Setorial
CAV/UEDESC, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MATHEUS RODRIGO MACHADO**TEORES NATURAIS DE ARSÊNIO PARA SOLOS DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina CAV – UDESC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Dra Mari Lucia Campos

Banca Examinadora

Orientadora: _____

Prof^a. Dr^a. Mari Lucia Campos
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC
Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV

Membro interno: _____

Prof. Dr. Rogério Laus
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC
Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV

Membro externo: _____

Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Centro de Ciências Rurais – CCR

LAGES, 09 de setembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Uma das maiores formas evolutivas do *Homo sapiens*, foi a busca incessante pelo saber, com passar dos anos o empirismo abriu margens para o método científico, item ao qual eu admiro com muita valia para minha pessoa.

Para trilhar este caminho científico, no segundo semestre de 2018, iniciei o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina CAV - UDESC, porém nada disso seria possível sem o apoio dos meus familiares, minha companheira Camila Elis Casaril e toda a direção do CAV, em especial diretor-geral Professor Clóvis Gewehr, diretor de administração Marcos Roberto Rodrigues e ao coordenador do laboratório de instrumentação Rogério Laus, que de forma direta e indireta me ajudaram e auxiliaram no período de trabalho e estudos sem que houvesse prejuízo nas minhas atribuições e qualidade como servidor, técnico universitário de suporte, com ênfase em análises químicas e clínicas no CAV - UDESC.

Registro aqui a minha eterna gratidão ao comitê de orientação, a professora e orientadora Mari Lucia Campos, com sua maestria, conhecimento didático, técnico e psicopedagógico, ao co-orientador 1 professor Ederson Rodrigues Pereira, na sua paciência e dedicação em ensinar as mais variadas técnicas analíticas e ao co-orientador 2, professor David José Miquelluti na sua contribuição em passar adiante o seu conhecimento estatístico.

Agradeço ao técnico Roberto Takayuki Nicihoka, pelo auxílio no desenvolvimento e adaptação no método de análises e quantificação através da espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) através da técnica de geração de hidretos (HG) a vapor frio.

RESUMO

O arsênio, simbolizado pelas letras As, encontrado no 15 grupo na tabela periódica, é o primeiro dos dez elementos químicos de grande preocupação à saúde pública, devido a sua alta toxicidade. Dispõem-se no solo através do material de origem, sendo liberado ao meio ambiente através do intemperismo das rochas e ou ações antrópicas. O conhecimento do teor natural desse elemento, é de suma importância para o cumprimento de leis, corroboração dos Valores de Referência e Qualidade do Solo (VQR), no monitoramento e na remediação de áreas contaminadas, conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 460/2013. O objetivo desta pesquisa foi determinar o teor natural de As para solos do Horizonte A de 31 perfis representativos das principais classes de solos do Estado de Santa Catarina e contribuir para obtenção dos VRQ. Para extração do As foi utilizado o método USEPA 3051 A SW846 e a quantificação por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado através da técnica geração de hidretos a vapor frio (ICP-OES-HG) com o auxílio da pré-redução química das espécies de As(V) para As(III). Os maiores teores de As foram observados para solos derivados do material de origem basalto ($11,59 \text{ mg kg}^{-1}$), e o menor teor nos solos derivados de sedimentos arenosos ($0,82 \text{ mg kg}^{-1}$). O Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico de Campos Novos apresentou teor de As superior ao valor de prevenção estabelecido pela resolução CONAMA nº 460/2013. Houve correlação positiva entre teor de As e óxidos de ferro, teor de argila e carbono orgânico.

PALAVRAS-CHAVE: Elemento-traço, Solos, Teores de Arsênio, Valor de Referência.

ABSTRACT

The chemical element arsenic, symbolized by the letters As, found in the 15 group in the periodic table, is the first of the ten chemical elements of great concern to public health, due to its toxicity. It is disposed in the soil through the source material, being released to the environment through the weathering of rocks and or anthropic actions. Knowledge of the natural content of this element is of paramount importance for compliance with laws, for corroborating the Reference Values of Soil Quality (VRQ), in the inspection by competent environmental agencies, as well as monitoring as to the remediation of contaminated areas, as established the CONAMA Resolution 460/2013. The objective of this research was to determine by means of Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry- Hydride Generation by cold steam (ICP-OES-HG) the natural As content for soils of Horizon "A" of 31 profiles representative of the main classes of soils in the State of Santa Catarina and contribute to obtain the VRQ. To extract As, the USEPA 3051 A SW846 method was used and quantification through ICP-OES-HG, with the aid of the pre-reduction chemistry the species from As (V) to As (III). The highest levels of As were observed for soils derived from material of basalt origin (11.59 mg kg^{-1}), and the lowest level of As in soils derived from sandy sediments (0.82 mg kg^{-1}). The Ferralsols (*Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico*) of city Campos Novos has an As content higher than the prevention value established by the CONAMA resolution number 460/2013. There was a positive correlation between As and iron oxides, clay content and organic carbon.

KEYWORDS: Trace elements, Soils, Arsenic Content, Reference Value.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Posição do elemento químico arsênio na tabela periódica..... | 24 |
| Figura 2 – Mapa com a localização dos 31 perfis amostrais no Estado de Santa Catarina..... | 31 |
| Figura 3– Peneira marca Fobras, modelo 0,297mm..... | 33 |
| Figura 4 – Micro-ondas marca Anton Paar, modelo Multiwave 3000 | 34 |
| Figura 5 – centrífuga marca Fanem®, modelo 206 BL..... | 34 |
| Figura 6 - ICP-OES-HG a vapor frio, marca Perkin Elmer, modelo Optima 8300..... | 35 |
| Figura 7 - Curva e equação de calibração obtida em ICP-OES-HG | 36 |
| Figura 8 – Indicadores dos Teores Médios de As no Estado de SC | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Identificação, classe de solo, material de origem, município de amostragem e coordenadas geográficas (geodésicas decimais) (Continua) | 29 |
| Tabela 1 – Identificação, classe de solo, material de origem, município de amostragem e coordenadas geográficas (geodésicas decimais) (Continua) | 30 |
| Tabela 1 – Identificação, classe de solo, material de origem, município de amostragem e coordenadas geográficas (geodésicas decimais) (Conclusão) | 31 |
| Tabela 2 – Atributos físicos e químicos dos solos avaliados (Continua) | 32 |
| Tabela 3 – Atributos físicos e químicos dos solos avaliados (Conclusão) | 33 |
| Tabela 4 – Condições para abertura de amostras | 35 |
| Tabela 5 - Teor de As recuperado para as amostras SRM 2709A e CRM-Agro E2002a | 38 |
| Tabela 6 – Teores médios de As (mg kg^{-1}) para solos derivados de diferentes materiais de origem | 39 |
| Tabela 7 – Teores médios de As (mg kg^{-1}) para as principais Ordens de solos do Estado de Santa Catarina | 40 |
| Tabela 8 – Teores médios de As para os principais perfis de solos do Estado de SC | 42 |
| Tabela 9 – Correlação de Pearson (r) entre teor de As e atributos do solo. Valores de $p < 0,05$ correlação significativa | 44 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Al: Alumínio

As: arsênio

BCR: Gabinete de Referência Comunitária

CAV: Centro de Ciências Agroveterinárias

cm: centímetro

Cmolc Kg⁻¹:

CO: carbono orgânico através da metodologia walkley black, carbono orgânico total

CTC: Capacidade de Troca de Cátions

Fe: ferro

g: grama

ICP-OES-HG: Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry- Hydride Generation (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente com Geração de Hidreto)

LOD: Limites de detecção

LOQ: Limites de Quantificação

m/v: massa sobre volume

mg kg⁻¹: Miligrama por quilo

Mg: Magnésio Mn: Manganês P: Fósforo

mL: mililitros

mm: milímetros

NIST: National Institute of Standards and technology SC: Santa Catarina

rpm: rotações por minuto

SB: Soma de Bases

UDESC: Universidade do Estado de Santa Catarina WHO: World Health Organization

USEPA: United States Environmental Protection Agency

UV-VIS: Ultra Violeta visível

VI: Valores de investigação

VP: Valores de prevenção

VR: Valores de referência

VRQ:Valores de Referência de Qualidade

$\mu\text{g L}^{-1}$: micrograma por litro

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 20 |
| 1.1 HIPÓTESES | 22 |
| 1.2 OBJETIVOS | 22 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 22 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 22 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 24 |
| 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO As | 24 |
| 2.2 GEOQUÍMICA E COMPORTAMENTO QUÍMICO DO As NO SOLO..... | 25 |
| 2.3 VALORES DE REFERÊNCIA PARA SOLOS DOS ESTADOS BRASILEIROS | 26 |
| 2.4 ESTUDOS SOBRE As NOS SOLOS DO BRASIL | 26 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 3.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO | 33 |
| 3.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS..... | 36 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 38 |
| 4.1 CREDIBILIDADE METODOLÓGICA | 38 |
| 4.2 TEORES NATURAIS DE As NOS SOLOS DE SANTA CATARINA | 38 |
| 5 CONCLUSÃO | 46 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 48 |
| APÊNDICE..... | 53 |

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO - World Health Organization, 2018) o arsênio (As) é um dos dez elementos químicos de grande preocupação à saúde pública, pois, sua forma inorgânica é altamente tóxica. Em contato humano ao longo prazo, esse elemento químico é carcinogênico, mutagênico e genotóxico. Os efeitos agudos da intoxicação pelo As são: vômito, diarreia, seguidos por dormência e formigamento das extremidades, dores musculares e podem levar a morte.

Em 2009, o CONAMA homologou a Resolução 420, que dispõe sobre critérios e valores orientadores (referência) de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e em seu artigo 8º estabeleceu que os valores de referência de qualidade (VRQ) do solo, para 20 substâncias inorgânicas (elementos-traço), deveriam ser normatizados pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, em até quatro anos após sua (BRASIL, 2009). Em 2013 foi homologada pelo CONAMA a Resolução 460 de 2013 que no seu artigo oitavo determina que os VRQ deveriam ser estabelecidos pelos estados até 2014, porém, Santa Catarina não cumpriu.

A necessidade de cada estado definir seu VRQ reside nas diferenças em geologia, relevo, clima e por consequência pedológica. A ocorrência natural de elementos-traço, como o As, nos solos se deve ao material de origem e do grau de intemperismo, ou seja, dos processos pedogenéticos (ALLOWAY, 2012; MARRUGO-NEGRETE; PINEDO-HERNÁNDEZ, 2017). O grau de mobilidade (solubilidade), disponibilidade e biodisponibilidade dependem das características físico-químicas do As e de condições específicas dos solos, tais como: pH, potencial redox, CTC, competição com outros elementos nos diferentes equilíbrios químicos, composição e força iônica da solução do solo (QIAO et al., 2019).

Considerando a grande diversidade geológica e pedológica do Estado de Santa Catarina e o avançado desenvolvimento agrícola e industrial, pode-se afirmar que a importância de se determinar os teores naturais de As e estabelecer o VRQ para solos catarinenses não reside apenas na necessidade de atender à legislação federal, mas também no uso desses valores em análise de risco do impacto ambiental de projetos que necessitam de licenças ambientais; criação de um inventário de áreas contaminadas para o estado e construção de planos de

recuperação. Nesse sentido, tem-se por objetivo determinar o teor natural de As para solos do Estado de Santa Catarina e contribuir para obtenção dos valores de referência de qualidade (VRQ).

1.1 HIPÓTESES

Há diferença no teor natural de As, em razão das diferentes formações geológicas dos solos catarinense.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Determinar o teor natural de As para solos do Estado de Santa Catarina e contribuir para obtenção dos VRQ.

1.2.2 Objetivos específicos

Quantificar o teor de As, em ICP-OES-HG, no solo do Horizonte A de 31 perfis representativos das principais classes de solos de Santa Catarina;

Obter o teor de As para solos derivados de diferentes materiais de origem (rochas);

Correlacionar o teor de As com atributos dos solos;

Validar a metodologia para quantificação em ICP-OES-HG, para os teores de As em solos não antropizados.


2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO As

O elemento químico Arsênio simbolizado por “As”, nome provindo do latim *arsenium*, é um semimetal também conhecido como um metalóide sólido sendo sua forma metálica brilhante, cinza-prata e quebradiços. O As está localizado no grupo 15 (anteriormente classificado na família V-A) pertencente ao quarto período da tabela periódica. Enquanto nos blocos s, d e p encontra-se elementos metálicos, no bloco p existe metais típicos como o chumbo, gases inertes como o neônio, não metais reativos e perigosos como o flúor ou estável e manejável como o carbono. O As está localizado no meio da diagonal que divide metais de não-metais, sendo o elemento "mais intermediário" de todos como pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 – Posição do elemento químico arsênio na tabela periódica

Tabela periódica



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|--|
| 1 H hidrogênio [1,0078 - 1,0082] | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He hélio 4,0026 | |
| 3 Li lítio [6,938 - 6,997] | 4 Be berílio 9,0122 | | | | | | | | | | | 5 B boro [10,806 - 10,821] | 6 C carbono [12,009 - 12,012] | 7 N nitrogênio [14,006 - 14,008] | 8 O oxigênio [15,999 - 16,000] | 9 F flúor 18,998 | 10 Ne neônio 20,180 | |
| 11 Na sódio 22,990 | 12 Mg magnésio [24,304 - 24,307] | | | | | | | | | | | 13 Al alumínio 26,982 | 14 Si silício [28,084 - 28,086] | 15 P fósforo 30,974 | 16 S enxofre [32,059 - 32,076] | 17 Cl cloro [35,446 - 35,457] | 18 Ar argônio [39,792 - 39,963] | |
| 19 K potássio 39,098 | 20 Ca cálcio 40,078(4) | 21 Sc escândio 44,956 | 22 Ti titânio 47,867 | 23 V vanádio 50,942 | 24 Cr cromio 51,996 | 25 Mn manganês 54,938 | 26 Fe ferro 55,845(2) | 27 Co cobalto 58,933 | 28 Ni níquel 58,693 | 29 Cu cobre 63,546(3) | 30 Zn zinco 65,38(2) | 31 Ga gálio 69,723 | 32 Ge germânio 72,630(8) | 33 As arsênio 74,922 | 34 Se selênio 78,971(8) | 35 Br bromo [79,901 - 79,907] | 36 Kr criptônio 83,798(2) | |
| 37 Rb rubídio 85,468 | 38 Sr estrôncio 87,62 | 39 Y ítrio 88,906 | 40 Zr zircônio 91,224(2) | 41 Nb nióbio 92,906 | 42 Mo molibdênio 95,95 | 43 Tc tecnécio | 44 Ru rutênio 101,07(2) | 45 Rh ródio 102,91 | 46 Pd paládio 106,42 | 47 Ag prata 107,87 | 48 Cd cádmio 112,41 | 49 In índio 114,82 | 50 Sn estanho 118,71 | 51 Sb antimônio 121,76 | 52 Te telúrio 127,60(3) | 53 I iodo 126,90 | 54 Xe xenônio 131,29 | |
| 55 Cs césio 132,91 | 56 Ba bário 137,33 | 57 a 71 | | | | | | | | | | 81 Tl talho [204,38 - 204,39] | 82 Pb chumbo 207,2 | 83 Bi bismuto 208,98 | 84 Po polônio | 85 At astato | 86 Rn radônio | |
| 87 Fr frâncio | 88 Ra rádio | 89 a 103 | | | | | | | | | | 113 Nh nihônio | 114 Fl fleróvio | 115 Mc moscóvio | 116 Lv livermório | 117 Ts tennesso | 118 Og oganessônio | |
| 57 La lantânio 138,91 | 58 Ce cério 140,12 | 59 Pr praseodímio 140,91 | 60 Nd neodímio 144,24 | 61 Pm promécio | 62 Sm samário 150,36(2) | 63 Eu europio 151,96 | 64 Gd gadolínio 157,25(3) | 65 Tb térbio 158,93 | 66 Dy disprósio 162,50 | 67 Ho hólmio 164,93 | 68 Er érbio 167,26 | 69 Tm tulio 168,93 | 70 Yb itérbio 173,05 | 71 Lu lutécio 174,97 | | | | |
| 89 Ac actínio | 90 Th tório 232,04 | 91 Pa protactínio 231,04 | 92 U urânio 238,03 | 93 Np neptúnio | 94 Pu plutônio | 95 Am américio | 96 Cm cúrio | 97 Bk berquélio | 98 Cf califórnio | 99 Es einstênio | 100 Fm fêrmio | 101 Md mendelévio | 102 No nobélio | 103 Lr laurêncio | | | | |

www.tabelaperiodica.org

Licença de uso Creative Commons BY-NC-SA 4.0 - Use somente para fins educacionais
Caso encontre algum erro favor avisar pelo mail luisbrudna@gmail.com

Versão IUPAC/SBG (pt-br) com 5 algarismos significativos, baseada em DOI:10.1515/pac-2015-0305 e DOI: DOI:10.1515/ci-2018-0409 - Versão de 06 de março de 2020

O As por ser um metalóide, ele faz parte dos elementos químicos que possuem tanto características (propriedades físicas e/ou químicas) de metais e não-metais, é um componente natural da crosta terrestre, onde forma vários compostos venenosos pois a forma inorgânica é altamente tóxica e extremamente solúvel, podendo estar presente em fontes de águas subterrâneas, provinda de solos contaminados ou de fontes naturais (DISEASE & HEALTHY, 2012).

O elemento químico mais perigoso do mundo é o As, tendo o seu maior grau de toxicidade nas formas inorgânicas como: arsina AsH_3 , arsenito As(OH)_3 , arsenato AsO(OH)_3 e os demais As(V) sendo altamente nocivo ao homem e ao meio ambiente, já na forma orgânica metilada como MMA Monometilarsênico e DMA Dimetilarsênico, o As orgânico é menos nocivo. Devido a esses fatores o As é um elemento-traço pois, mesmo estando presente em baixas concentrações, apresenta grande impacto à saúde (ATSDR, 2015).

O índice de intoxicação de As na saúde humana pode levar anos para se desenvolver, dependendo do contato de exposição. Os primeiros sintomas que aparece são lesões na pele, neuropatia periférica, diabetes, doenças cardiovasculares e câncer. Uma das principais formas de intoxicação acontece através do consumo demasiado de frutos do mar ricos em As, sendo estes menos prejudiciais comparado ao As inorgânico uma vez que, na forma orgânica metilada como MMA Monometilarsênico e DMA Dimetilarsênico, é cem vezes menos prejudicial à saúde (WHO, 2018).

A principal forma de contaminação humana, está aos níveis elevados de As inorgânico que ocorre principalmente através do consumo de água, devido a sua alta solubilidade, em alimentos preparados com essa água e culturas alimentares irrigadas (WHO, 2018).

2.2 GEOQUÍMICA E COMPORTAMENTO QUÍMICO DO As NO SOLO

O As geralmente ocorre naturalmente em compostos inorgânicos e orgânicos em diversos Estados de oxidação: -3 , 0 , $+3$, $+5$, o seu teor na crosta terrestre é $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$ estando presente em mais de duzentos minerais. Seus teores variam de $0,5$ a 133 mg kg^{-1} através do intemperismo nas rochas, especialmente em minerais primários, derivados do material de origem e minerais secundários formados no intemperismo (óxidos e hidróxidos de Al, Fe e Mn) que dependendo das condições ambientais, são fontes de arsênio disponível (BUNDSCHUH et al., 2012).

O As pode formar ligações com materiais orgânicos presentes no solo, neste caso na sua forma inorgânica, com suas formas móveis mais comuns nas espécies aniônicas AsO_2^- , AsO_4^{3-} , HAsO_4^{2-} e H_2AsO^- (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Quanto às suas formas minerais desse elemento As, a arsenopirita (FeAsS) é a mais representativa, embora 60% dos minerais de As existentes no solo correspondam a arseniato (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001; SMITH et. al., 1999).

2.3 VALORES DE REFERÊNCIA PARA SOLOS DOS ESTADOS BRASILEIROS

Os valores de referência (VR) de metais pesados em solos são obtidos a partir de amostras coletadas em áreas reconhecidamente sem entrada intencional (CASARINI, 2000; CROCK et al., 1992). A Resolução 420/2009 do CONAMA dispõe sobre critérios e valores orientadores nacionais na qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o monitoramento de locais contaminados em decorrência de atividades antrópicas. Os valores orientadores podem ser divididos em: Valor de Referência de Qualidade – VRQ que corresponde a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos, Valor de Prevenção – VP, referente concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que o solo seja capaz de sustentar as suas funções principais e Valor de Investigação – VI, valor de 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.

Em fevereiro de 2012 e posteriormente 30 de dezembro de 2013, algumas alterações foram feitas na Resolução CONAMA Nº 420 de 28 de dezembro de 2009, onde ficaram estabelecidas as classes de qualidades dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas, sendo que: Classe 1 – Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ, Classe 2 – Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP, Classe 3 – Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI, Classe 4 – Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI. Essa resolução recomenda que cada Estado deverá estabelecer valores de referência para cada tipo de substância, ou para cada tipo de solo, estipulando um prazo para que isso aconteça.

2.4 ESTUDOS SOBRE As NOS SOLOS DO BRASIL

No Brasil tem-se poucos estudos sobre o As em escala geográfica, entre eles está o estudo de Menezes et al. (2020) utilizando um modelo preditivo baseado em várias covariáveis ambientais que, representam fatores de formação do solo, com teores de As para solos brasileiros entre 0,14 mg kg⁻¹ a

41,1 mg kg⁻¹ para solos referência e para solos agrícolas 0,28 a 58,3 mg kg⁻¹, tendo uma faixa maior de tolerância devido a interferência do homem, desde aos atributos físicos e químicos.

Em outro estudo, no quesito de teores de As para solos brasileiros, os biomas Cerrado que ocupam 21% do território brasileiro, apresentam teores médios de As de 3,29 mg kg⁻¹ na região leste de Goiás e os menores teores 0,62 mg kg⁻¹ para o nordeste de Minas Geras (CAMPOS et al., 2013).

De acordo com Campos e colaboradores. (2007) os latossolos brasileiros têm um teor médio de 5,2 mg kg⁻¹ de As e Oliveira, (2005) destaca que essa classe de solo é ocupada por mais de 50% do território nacional.

Ainda sobre os latossolos brasileiros, tem-se que estes possuem a capacidade máxima de adsorção de As (CMADS_{As}) 2.013,00 mg kg⁻¹ em média, sendo esse dado obtido de 17 latossolos brasileiros. O Latossolo Amarelo coeso típico (Tomé Açú – PA) apresentam a menor (CMADS_{As}) 753,00 mg kg⁻¹ de As, e o Latossolo Vermelho distroférico típico (Dourados – MS) apresentou a maior capacidade de adsorção 3.449,00 mg kg⁻¹ de As. A capacidade máxima correlacionou-se positivamente com o teor de argila e óxidos de Fe e Al (CAMPOS et al., 2007).

Para o Estado de Santa Catarina, os autores Souza e colaboradores. (2015) encontram os teores de As 6,79 mg kg⁻¹ no Planalto Sul e menor do que 0,48 mg kg⁻¹ para o Litoral do Sul.

No Estado do Espírito Santo, os teores de As de seis classes de solos localizados nas bacias hidrográficas Riacho, Reis Magos e Santa Maria da Vitória estão na média de 7,32 mg kg⁻¹ para os Argissolo, 3,13 mg kg⁻¹ Cambissolo, 6,77 mg kg⁻¹ Gleissolo, 1,38 mg kg⁻¹ Espodossolo, 17,51 mg kg⁻¹, Neossolo e 5,68 mg kg⁻¹ para o Latossolo. O VRQ dos solos no Estado do Espírito Santo obtido para o percentil 90 é de 14,28 mg kg⁻¹ (PAYE et al., 2010).

Nas bacias dos rios Doce e São Francisco do Estado de Minas Gerais, o teor de As encontrado em solo natural variou de 13,25 mg kg⁻¹ ± 82,33 mg kg⁻¹, já nas áreas minerária de Nova Lima o ponto M1 (Córrego de Mina) a teor varia de 489,32 mg kg⁻¹ ± 50,05 mg kg⁻¹ e na área de Santa Bárbara ponto P2 (Carrapatos) é de 1.329,31 mg kg⁻¹ ± 951,41 mg kg⁻¹. Sendo estes teores consideravelmente superiores aos valores estipulados pela legislação em vigor, que é de 150 mg kg⁻¹ (ALVES & RIETZLER, 2015).

Em solos de perímetro urbano, no quesito dos teores de As superiores, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) indica o valor máximo 50 mg kg⁻¹ para solos residenciais. Pereira e Colaboradores., (2009) realizaram uma bateria de análises através da determinação espectrofotométrica de absorção molecular por UV-VIS de As em solos contaminado com rejeito de usina de pelletização, usados para terraplanagem de lotes residenciais na cidade de Santana no Estado do Amapá. Utilizando o método dietilditiocarbamato de prata (SDDC) modificado, os teores médios de As encontrado foi de 682,96 mg kg⁻¹, com a variação de 48,08 mg kg⁻¹ ± 1.713 mg kg⁻¹, sendo que 90% das amostras de solo apresentaram valor acima do valor indicado.

A contaminação de As em uma fábrica de fertilizantes localizado no Estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente no estuário da Lagoa dos Patos, chegou na distância entre 3 a 8 quilômetros da fábrica, causada pelo processo de produção, transporte, armazenamento destes fertilizantes fosfatados, sendo a chuva uma das principais formas de disseminação de As ao solo e meio ambiente com teores de As que variam de $7,5 \text{ mg kg}^{-1} \pm 27,5 \text{ mg kg}^{-1}$. (MIRLEAN; ROISENBERG, 2006)

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os solos desta pesquisa foram coletados nas regiões Oeste, Serra Leste, Encostas Basálticas, Vale do Itajaí, Serra Catarinense e Região Sul.

As amostras de solo são provenientes dos horizontes A de 31 perfis previamente descritos e classificados (Tabela 1 e Figura 2). Os perfis foram descritos por Almeida et al. (2003), Corrêa, (2003), Almeida & Erhart (2009), Paes Sobrinho et al.(2009), Bringhenti et al. (2012), Costa et al., (2013), Lunardi Neto & Almeida (2013), Teske et al. (2013). Os atributos químicos e físicos dos solos encontram-se na Tabela 2. Todos os perfis foram descritos em áreas não sujeitas à contaminação antropogênica com arsênio. As análises foram conduzidas no Departamento de Solos e Recursos Naturais do CAV – UDESC.

Tabela 1 – Identificação, classe de solo, material de origem, município de amostragem e coordenadas geográficas (geodésicas decimais) (Continua)

| Perfil | Classe de Solo | | | Litologia | Localização | Latitude | Longitude |
|---------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| P1 | Nitossolo típico (Nitisol) | Bruno | Distrófico | Basalto | Painel | -27,895 | -50,129 |
| P2 | Nitossolo rúbrico (Nitisol) | Bruno | Distrófico | Basalto | Lebon Régis | -26,947 | -50,706 |
| P3 | Nitossolo típico (Nitisol) | Bruno | Distroférico | Andesito basalto | Água Doce | -26,691 | -51,566 |
| P4 | Nitossolo húmico (Nitisol) | Bruno latossólico | Distrófico rúbrico | Riodacito | Ponte Serrada | -26,856 | -52,042 |
| P5 | Latossolo retrático (Ferralsol) | Vermelho úmbrico | Distrófico | Basalto | Campos Novos | -27,375 | -51,085 |
| P6 | Neossolo típico (Regosol) | Regolítico | Húmico | Fonolito | Lages | -27,779 | -50,232 |
| P9 | Cambissolo típico (Cambisol) | Háplico | Alumínico | Fonolito porfirítico | Palmeira | -27,564 | -50,240 |
| P12 | Argissolo Alítico típico (Acrisol) | Bruno-Acinzentado | | Argilitos e siltitos | Alfredo Wagner | -27,668 | -49,187 |
| P13 | Argissolo típico (Acrisol) | Amarelo | Distrófico | Granito e granulito | Rancho Queimado | -27,697 | -49,047 |

Tabela 2 – Identificação, classe de solo, material de origem, município de amostragem e coordenadas geográficas (geodésicas decimais) (Continua)

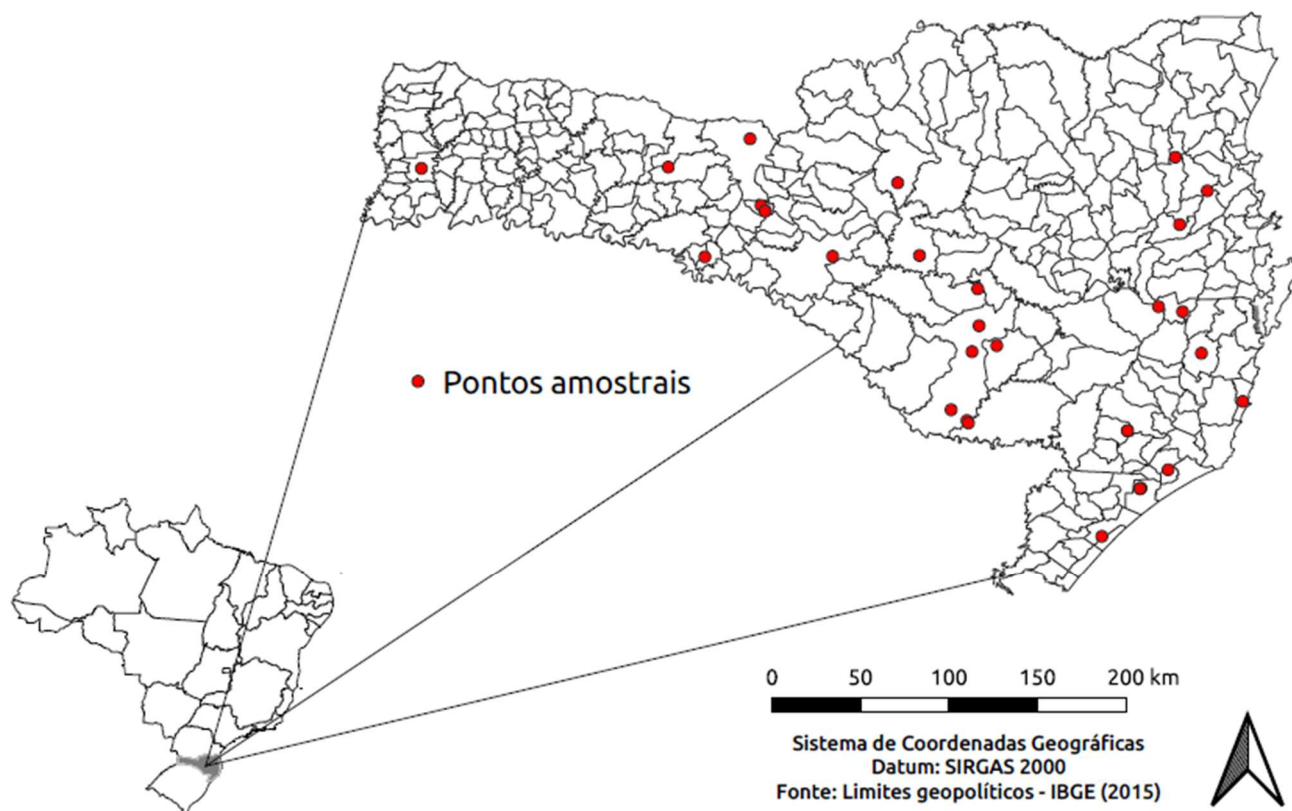
| | | | | | |
|------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|---------|---------|
| P15 | Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (Acrisol) | Siltito e Arenito | Içara | -28,727 | -49,295 |
| P16 | Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (Acrisol) | Arenito e Siltito | Lauro Muller | -28,390 | -49,368 |
| P18 | Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico (Cambisol) | Riodacito | Lages | -27,930 | -50,273 |
| P19 | Cambissolo Húmico Distrófico típico (Cambisol) | Riodacito | Lages | -28,331 | -50,303 |
| P20 | Nitossolo Vermelho Distroférico típico (Nitisol) | Basalto | Lages | -28,345 | -50,294 |
| P23 | Cambissolo Háptico Alítico típico (Cambisol) | Riodacito | Lages | -28,268 | -50,395 |
| P25 | Argissolo Amarelo Distrófico latossólico (Acrisol) | Migmatito | São Bonifácio | -27,939 | -48,937 |
| P26 | Neossolo Regolítico Eutrófico típico (Regosol) | Granito | Sangão | -28,617 | -49,131 |
| P29 | Argissolo Vermelho Distrófico (Acrisol) | Siltito e Arenito | Içara | -28,724 | -49,289 |
| P30 | Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (Acrisol) | Arenito e Siltito | Lauro Muller | -28,390 | -49,368 |
| P33 | Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico (Nitisol) | Basalto | Curitibanos | -27,370 | -50,579 |
| P34 | Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (Acrisol) | Siltito e Arenito | Içara | -28,727 | -49,295 |
| P37 | Argissolo Amarelo Alítico típico | Micaxisto | Botuverá | -27,190 | -49,064 |
| P38 | Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Acrisol) | Metaarenito | Gaspar | -26,994 | -48,903 |
| P39 | Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Acrisol) | Granulito Máfico | Blumenau | -26,798 | -49,089 |
| P43 | Chernossolo Argilúvico Férreo típico | Basalto | Descanso | -26,863 | -53,480 |

Tabela 3 – Identificação, classe de solo, material de origem, município de amostragem e coordenadas geográficas (geodésicas decimais) (Conclusão)

| | | | | | | |
|------------|--------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------|---------|---------|
| P46 | Nitossolo Eutroférico típico | Vermelho | Basalto | Ipira | -27,378 | -51,829 |
| P50 | Nitossolo Eutroférico típico (Cambisol) | Vermelho | Basalto | Luzerna | 27,111 | -51,477 |
| P52 | Nitossolo Vermelho típico (Nitisol) | Eutrófico | Basalto | Luzerna | -27,112 | -51,478 |
| P53 | Nitossolo típico | Háplico Distrófico | Riodacito | Luzerna | 27,079 | -51,502 |
| P54 | Neossolo típico | Quartzarênico | Órtico Sedimentos Arenosos | Imbituba | -28,220 | -48,696 |
| P55 | Neossolo típico | Quartzarênico | Órtico Sedimentos Arenosos | Araranguá | -29,005 | -49,517 |

Fonte: baseado em Almeida et al. (2003), Corrêa, (2003), Almeida & Erhart (2009), Paes Sobrinho et al.(2009), Bringhenti et al. (2012), Costa et al., (2013), Lunardi Neto & Almeida (2013), Teske et al. (2013).

Figura 2 – Mapa com a localização dos 31 perfis amostrais no Estado de Santa Catarina



Fonte: produção do autor baseado em IBGE (2015).

Tabela 4 – Atributos físicos e químicos dos solos avaliados (Continua)

| Classe de solo | | | pH | | T | SB | V | Al | Fe |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------|------|------------------|------------------------|------|--------------------|-------|-------|
| | areia | argila | COT | H ₂ O | | | | | |
| | g.kg ⁻¹ | | | | Cmolc.kg ⁻¹ | % | g.kg ⁻¹ | | |
| Nitossolo Bruno Distrófico típico | 106 | 578 | 33,9 | 5,0 | 15,5 | 2,8 | 18 | 46,1 | 98,2 |
| Nitossolo Bruno Distrófico rúbico | 45 | 641 | 46,5 | 4,2 | 20 | 1,2 | 6 | 40,9 | 103,1 |
| Nitossolo Bruno Distroférico típico | 164 | 446 | 38,0 | 5,1 | 16,6 | 4 | 24 | 56,7 | 164,6 |
| Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico | 102 | 614 | 32,7 | 5,6 | 19 | 11,7 | 62 | 127,0 | 67,8 |
| Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico | 16 | 774 | 22,0 | 4,5 | 15,52 | 1,45 | 9 | 70,8 | 130,8 |
| Neossolo Regolítico Húmico típico | 230 | 540 | 29,6 | 4,8 | 15,3 | 4,3 | 28 | 155,5 | 24,7 |
| Cambissolo Háptico Alumínico típico | 260 | 500 | 20,8 | 4,6 | 12,4 | 1,6 | 12 | 149,0 | 50,3 |
| Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico | 160 | 320 | 30,2 | 4,2 | 21,3 | 2 | 9 | 32,4 | 15,8 |
| Argissolo Amarelo Distrófico Típico | 230 | 330 | 35,3 | 4,4 | 11 | 1,3 | 12 | 44,0 | 25,3 |
| Argissolo Vermelho Distrófico abruptico | 463 | 170 | 14,6 | 6,3 | 6,2 | 5,2 | 83 | 11,6 | 13,7 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico | 718 | 157 | 12,8 | 4,9 | 5,8 | 2,7 | 47 | 5,8 | 11,4 |
| Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico | 60 | 580 | 33,7 | 3,9 | 23,9 | 1,8 | 7 | 99,3 | 41,2 |
| Cambissolo Húmico Distrófico típico | 192 | 600 | 39,1 | 3,9 | 19 | 0,9 | 5 | 108,4 | 44,0 |
| Nitossolo Vermelho Distroférico típico | 148,8 | 590 | 32,4 | 4,8 | 23,6 | 10,0 | 42 | 46,8 | 115,9 |
| Cambissolo Háptico Alítico típico | 99,2 | 570 | 33,0 | 4,5 | 23,4 | 3,7 | 16 | 126,9 | 39,1 |
| Argissolo Amarelo Distrófico latossólico | 290 | 370 | 33,0 | 4,76 | 8,97 | 2,6 | 26 | 92,7 | 23,7 |
| Neossolo Regolítico Eutrófico típico | 650 | 140 | 7,0 | 4,7 | 2,24 | 0,6 | 26 | 2,7 | 11,9 |
| Argissolo Vermelho distrófico | 680 | 180 | 17,0 | 6,26 | 6,21 | 5,1 | 83 | 31,4 | 13,0 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico | 620 | 300 | 20,0 | 4,9 | 5,8 | 2,7 | 44 | 5,6 | 12,3 |
| Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico | 22 | 684 | 38,3 | 4,8 | 18,9 | 4,4 | 23 | 101,8 | 59,9 |
| Argissolo Vermelho Distrófico abruptico | 463 | 170 | 14,6 | 6,3 | 6,2 | 5,2 | 83 | 28,5 | 16,9 |
| Argissolo Amarelo Alítico típico | 530 | 230 | 21,7 | 5,02 | 15,65 | 6,4 | 41 | 6,0 | 12,6 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico | 510 | 380 | 27,0 | 4,25 | 14,5 | 2,7 | 18 | 7,9 | 10,3 |

Tabela 5 – Atributos físicos e químicos dos solos avaliados (Conclusão)

| Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico | 580 | 240 | 24,9 | 4,31 | 15,07 | 5,3 | 35 | 7,1 | 14,5 |
|---------------------------------------------|-----|-----|-------|------|-------|------|----|------|-------|
| Chernossolo Argilúvico Férrico típico | 220 | 420 | 29,99 | 5,64 | 20,18 | 18,0 | 90 | 34,1 | 85,5 |
| Nitossolo Vermelho Eutrófico típico | 170 | 370 | 51,4 | 5,9 | 19,2 | 15,3 | 79 | 31,3 | 134,4 |
| Nitossolo Háptico Distrófico típico | 70 | 670 | 46,5 | 4,73 | 15,2 | 7,06 | 46 | 24,1 | 108,0 |
| Nitossolo Vermelho Eutrófico típico | 210 | 420 | 27,9 | 5,4 | 11,9 | 8,1 | 68 | 11,0 | 117,4 |
| Nitossolo Háptico Distrófico típico | 140 | 280 | 32,8 | 5,5 | 23,1 | 19,1 | 83 | 32,7 | 98,6 |
| Neossolo Quartzarênico Órtico típico | 943 | 36 | 4 | 6,2 | - | 1,3 | - | 3,1 | 1,6 |
| Neossolo Quartzarênico Órtico típico | 919 | 58 | 7,4 | 4,4 | - | 1,8 | - | 4,7 | 0,4 |

CO = Carbono orgânico obtido através da metodologia walkley black, carbono orgânico total; T = CTC a pH 7,0; SB = Soma de bases; V = Saturação por base; Al e Fe por ataque sulfúrico.

Fonte: baseado em Almeida et al. (2003), Corrêa, (2003), Almeida & Erhart (2009), Paes Sobrinho et al.(2009), Bringhenti et al. (2012), Costa et al., (2013), Lunardi Neto & Almeida (2013), Teske et al. (2013).

3.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

Para quantificação do teor de As, as amostras de solo coletadas foram submetidas a secagem ao ar, foram destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm. Em seguida trituradas e homogeneizadas em almofariz de ágata até a formação de um pó fino de 0,297 mm.

Figura 3 – Peneira marca Fobras, modelo 0,297mm



Fonte: produção do autor, 2020.

O método USEPA 3051A SW-846 foi usado como meio de extração, foram pesados 1,5 g de solo e acrescentados 5 mL de HCl 37% PA Merck®. As amostras ficaram em contato com o ácido por 12 horas. O micro-ondas utilizado foi um Anton PAAR Multiwave 3000® figura 3, com Rotor modelo MF50 e tubos de teflon. As condições de abertura (extração) podem ser visualizadas na Tabela 3.

Figura 4 – Micro-ondas marca Anton Paar, modelo Multiwave 3000



Fonte: produção do autor, 2020.

Após a digestão, as mostras foram transferidas para tubos *falcon* de 50 mL, colocados em centrífuga marca Fanem®, modelo 206 BL figura 4, para a obtenção da separação da fase sólida e líquida, por um período de 3 minutos e rotação 3000 rpm.

Figura 5 – centrífuga marca Fanem®, modelo 206 BL



Fonte: produção do autor, 2020.

Como forma de controle e validação do método, foram utilizadas amostra certificada NIST SEM 2709a (*San Joaquin soil*) e amostra de referência EMBRAPA CRM-Agro E2002a (MR-06/2013), sendo colocadas em todas as baterias de extração e quantificação das amostras.

Tabela 6 – Condições para abertura de amostras

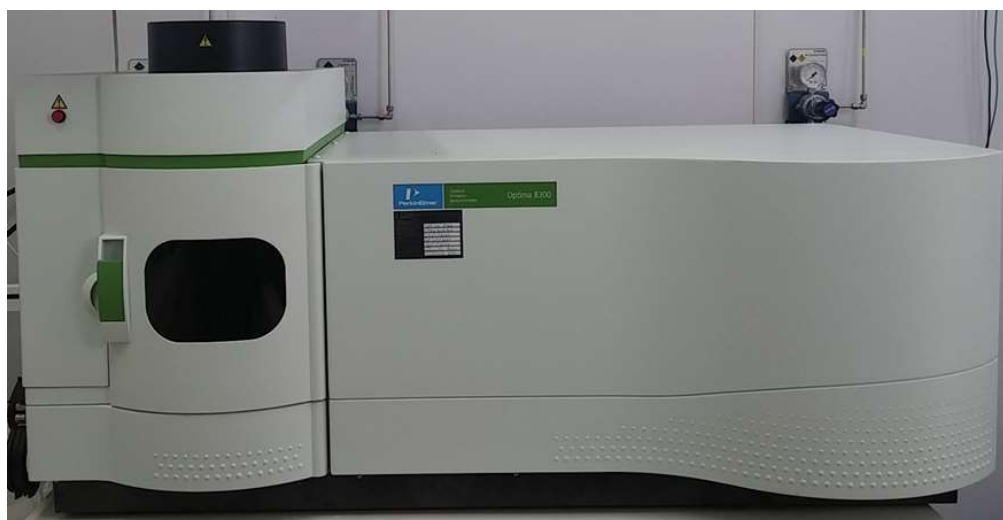
| Força | Rampa | Espera | Exaustor |
|-------|-------|--------|----------|
| 500 | 02:30 | 10:00 | 1 |
| 800 | 02:30 | 05:00 | 1 |
| Zero | 00:00 | 10:00 | 3 |

Fonte: produção do autor, 2020.

Para obtenção das análises de detecção e quantificação de As, foi realizado uma etapa de pré-redução química do As(V) para As(III) através do método BCR - Gabinete de Referência Comunitária (VAREJÃO e colaboradores, 2009). Para tanto, foi adicionado em todas as amostras, inclusive nas soluções padrão usadas para a curva de calibração e amostras em branco, a solução de iodeto de potássio (KI 5% m/v) e ácido ascórbico (5% m/v) suficientes para atingir 0,2% v/v (cerca de 0,45 mL) na solução de leitura de 10 mL.

Após a adição dos agentes redutores as amostras ficaram em repouso por 12 horas. O teor de As foi quantificado através do equipamento analítico Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry- Hydride Generation (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente com Geração de Hidreto) ICP-OES-HG a vapor frio, modelo Optima 8300 da marca Perkin Elmer.

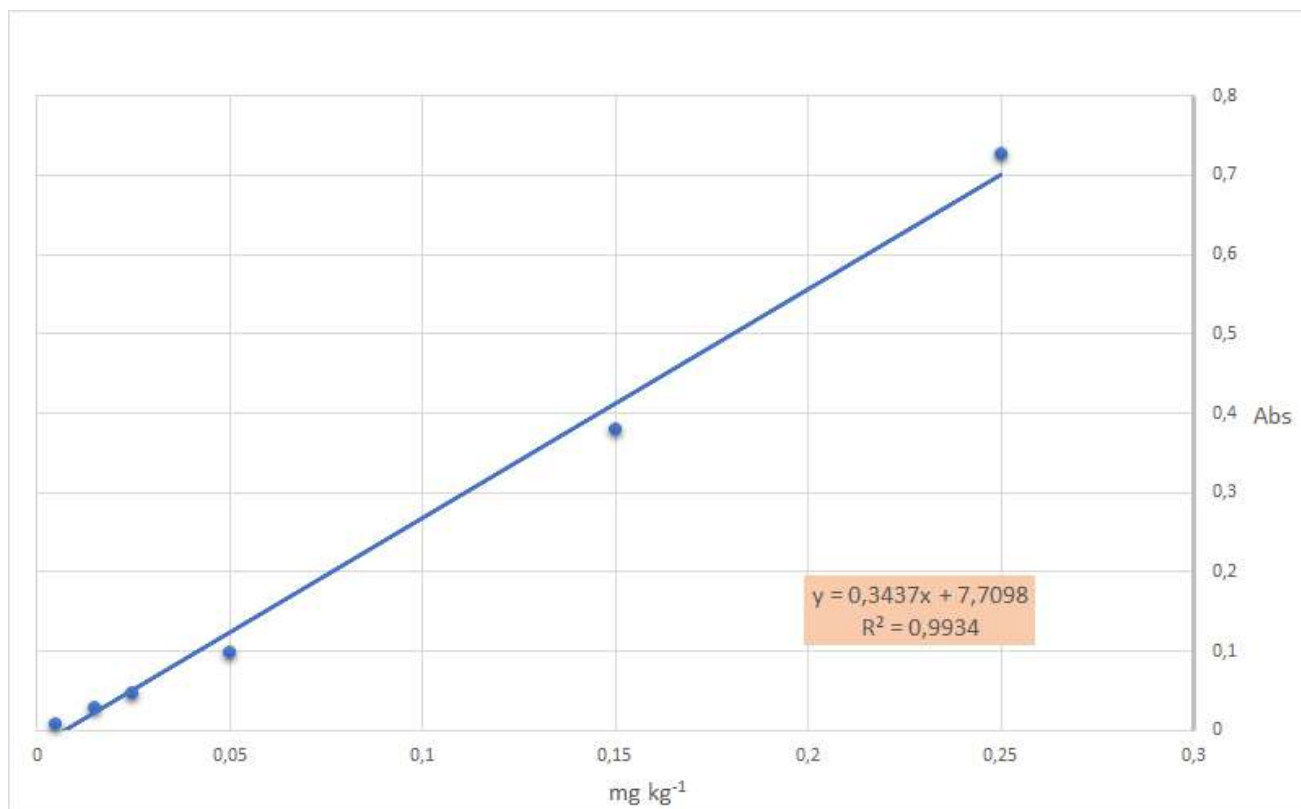
Figura 6 – ICP-OES-HG a vapor frio, marca Perkin Elmer, modelo Optima 8300



Fonte produção do autor, 2020.

A curva de calibração foi realizada com o padrão primário de 1.000 mg kg^{-1} certificado pela NIST (marca MERCK), utilizando-se água ultrapura para diluição de 0, 0,005, 0,015, 0,025, 0,050, 0,150 e $0,250 \text{ mg kg}^{-1}$, sendo aplicada a curva de calibração linear com intercepto calculado, pode ser observada detalhadamente.

Figura 7 – Curva e equação de calibração obtida em ICP-OES-HG



Fonte: produção do autor, 2020.

Todas as amostras foram digeridas em duplicatas e realizadas as leituras em triplicata de cada amostra no equipamento analítico ICP-OES-HG. As leituras do teor de As nas amostras em branco foram utilizadas no cálculo dos limites de detecção (LOD) e limites de quantificação (LOQ).

$LOD = 3 \times \text{Desvio Padrão (amostras em branco)} / \text{inclinação da reta da curva de calibração.}$

$LOQ = 3,3 \times LOD.$

O LOD foi de $0,015 \text{ mg kg}^{-1}$ e o LDQ foi de $0,050 \text{ mg kg}^{-1}$.

As condições de leitura para as amostras de solos no equipamento analítico ICO - OES - HG, encontram-se detalhadamente no apêndice.

3.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS

As análises estatísticas foram conduzidas, utilizando-se um modelo de lineamento inteiramente casualizado, separado para cada componente (Solos, Classes, Material de

Origem). As comparações entre Solos, Classes, Material de Origem foram testadas através dos testes F e Scott-Knott. Para atender as pressuposições teóricas dos testes, aplicou-se a transformação logarítmica das variáveis teor de arsênio, conforme sugerido pela análise descritiva dos dados, no entanto, os resultados foram apresentados na escala original. Todas as análises foram conduzidas usando o software R (R CORE TEAM 2016). Os teores de As encontrados também foram submetidos a análise de correlação utilizando as variáveis: teor de argila, relação silte/argila, carbono orgânico, soma de bases (SB) e valor de saturação de bases (V%), teores de Fe e Al por ataque sulfúrico. Para todos os testes efetuados foi considerado o nível mínimo de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CREDIBILIDADE METODOLÓGICA

As amostras certificadas NIST SRM 2709A e CRM-Agro E2002a (MR-06/2013), foram extraídas em duplicatas e analisadas em triplicatas, na sua quantificação obtém-se o teor de recuperação, validando a metodologia aplicada.

O percentual de recuperação das amostras certificadas ficou acima de 90%.

Tabela 7 – Teor de As recuperado para as amostras SRM 2709A e CRM-Agro E2002a

| Amostra | Teor Recuperado | Teor certificado | Recuperação |
|-----------------|--------------------------------|------------------|-------------|
| | -----mg kg ⁻¹ ----- | | % |
| SRM 2709A | 9,85 | 10,5±0,3 | 93,81 |
| CRM-Agro E2002a | 53,38 | 59,3 ±7,2 | 90,02 |

Fonte: produção do autor, 2020.

4.2 TEORES NATURAIS DE As NOS SOLOS DE SANTA CATARINA

Houve diferença estatística entre solos derivados de diferentes materiais de origem para teores de As. Solos derivados de basalto apresentaram em média os maiores teores de As 11,59 mg kg⁻¹, sendo que, o menor teor foi obtido para solos derivados de sedimentos arenosos 0,82 mg kg⁻¹ (Tabela 6). Os maiores teores em solos derivados de rochas efusivas máficas estão relacionados a presença de maiores teores de arsênio, quando comparadas aos outros materiais de origem dos solos avaliados neste estudo.

Alleoni e colaboradores. (2005) utilizaram a classificação de geoquímica dos elementos em calcófilos, siderófilos e litófilos determinada por Goldschmidt em 1937 para explicar os diferentes teores de elementos-traço nas rochas. O arsênio é classificado como calcófilo, e encontra-se mais concentrado em basaltos e em andesitos, sendo empobrecidos nos granitos com pouco cálcio (GOLDSCHIMIDT, 1937). O As³⁺ pode substituir o Fe³⁺ em muitos minerais formadores de rochas (REIMANN et al., 2009).

Segundo Mandal e Suzuki (2002) os teores de arsênio em basalto (magmática básica) variam entre 0,18 e 113 mg kg⁻¹ e em granito (magmática ácida) entre 0,18 e 15 mg kg⁻¹.

A sequência decrescente de teores observada para as Ordens de solos foi: Latossolos > Nitossolo > Chernossolos = Cambissolo = Argissolo > Neossolos (tabela 7). As três primeiras ordens agrupam solos derivados, principalmente, de rochas magmáticas básicas e intermediárias.

Tabela 8 – Teores médios de As (mg kg^{-1}) para solos derivados de diferentes materiais de origem

| Material de Origem | Teor de As mg kg^{-1} |
|---------------------------|------------------------------------------|
| Basalto | 11,59 a |
| Siltito e arenito | 10,12 a |
| Argilito e siltito | 8,08 a |
| Migmatito | 7,79 a |
| Riodacito | 7,72 a |
| Andesito basalto | 7,50 a |
| Meta arenito | 5,84 a |
| Siltito e arenito | 5,36 a |
| Fonolito | 5,06 a |
| Fonolito porfirítico | 3,73 b |
| Micaxisto | 2,84 b |
| Granito e granulito | 2,77 b |
| Arenito e siltito | 2,18 b |
| Granulito máfico | 2,10 b |
| Granito | 1,42 b |
| Sedimentos arenosos | 0,82 b |

Fonte: produção do autor, 2020.

O solo Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico derivado de basalto (Formação Serra Geral) localizado na cidade de Campos Novos (Tabela 8) apresentou o maior teor de As $26,59 \text{ mg kg}^{-1}$ dos 31 solos avaliados. Enquanto, o perfil Neossolo Quartzarênico Órtico típico localizado na cidade de Imbituba, com o material de origem oriundo de sedimentos arenosos apresentou o menor teor de As $0,56 \text{ mg kg}^{-1}$.

Tabela 9 – Teores médios de As (mg kg^{-1}) para as principais Ordens de solos do Estado de Santa Catarina.

| Ordem | Teor de As |
|-------------|---------------------|
| | mg kg^{-1} |
| Latossolo | 26,59 a |
| Nitossolo | 10,92 b |
| Chernossolo | 6,96 c |
| Cambissolo | 4,95 c |
| Argissolo | 4,67 c |
| Neossolo | 1,64 d |

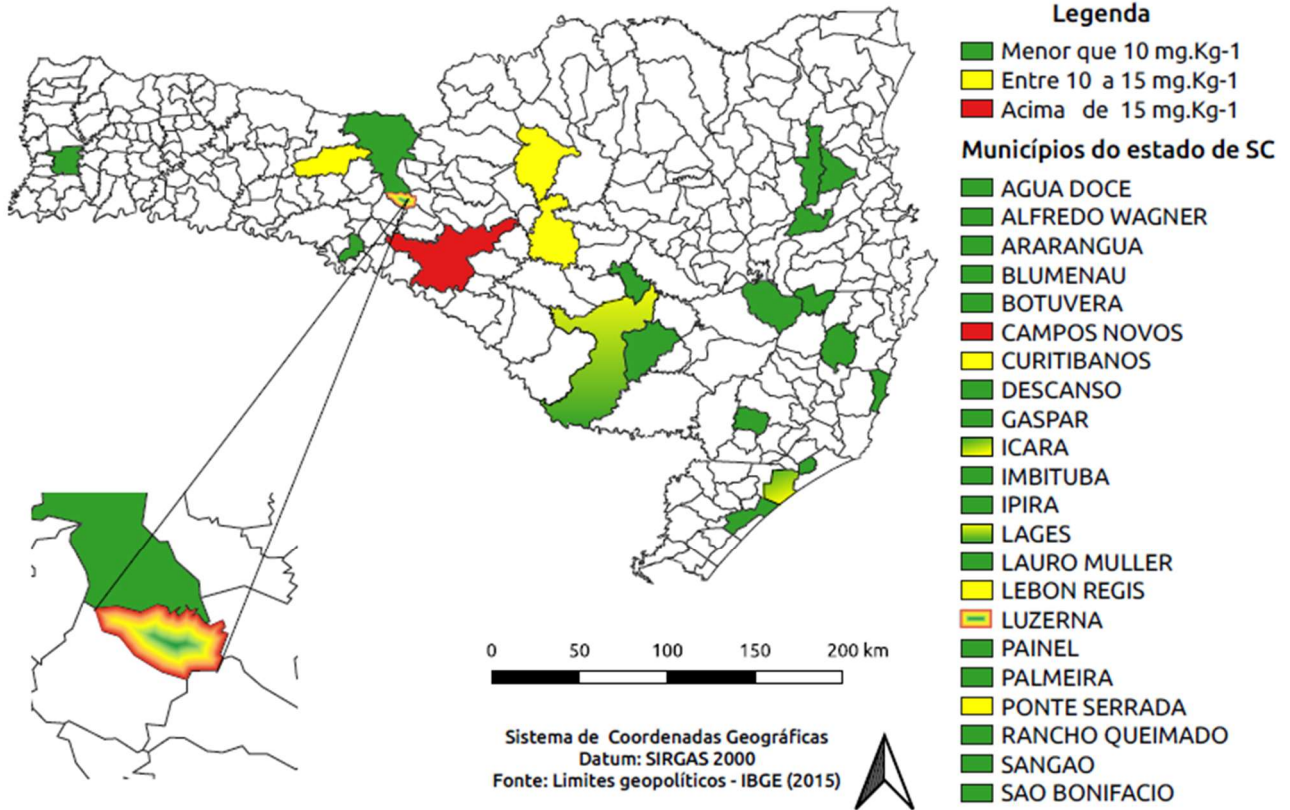
Fonte: produção do autor, 2020.

Campos e colaboradores. (2007) estudaram 17 Latossolos do Brasil, obtendo teores de As de $31,7 \text{ mg kg}^{-1}$ para Latossolo Vermelho Distroférrico típico derivado de rochas magmáticas básicas e intermediárias da Formação Serra Geral e $4,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para Latossolo Amarelo coeso típico derivados de Sedimentos terciário. O teor de arsênio em Neossolo Quartzarênico órtico típico coletado no Cerrado derivado de arenito da Formação Aerado apresentou $0,28 \text{ mg kg}^{-1}$ (CAMPOS et al., 2013).

Teores de As em Latossolos superiores ao observado no presente estudo foram reportados por Marques (2000) de 38 mg kg^{-1} (Latossolos sob vegetação do Cerrado) e por Curi & Franzmeier (1987) de 36 mg kg^{-1} em Latossolos Ferríferos, do Estado de Minas Gerais. Já Caires. (2009) reportou teores médios de As para Latossolos de Estado de Minas Gerais $9,17 \text{ mg kg}^{-1}$.

Os teores naturais de As conforme apresentados na Figura 6, os solos Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico (Campos Novos) e Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico (Luzerna) foram superiores ao valor orientador de prevenção 15 mg kg^{-1} da Resolução CONAMA 420/2009 reforçando a necessidade de estudos científicos que gerem valores orientadores para solos dos diferentes Estados Brasileiros.

Figura 8 – Indicadores dos Teores Médios de As no Estado de SC



Fonte: produção do autor baseado em IBGE (2015).

Tabela 10 – Teores médios de As para os principais perfis de solos do Estado de SC

| Classe de Solo | Localização | Teor de As |
|----------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|
| | | mg kg ⁻¹ |
| Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico | Campos Novos | 26,59 a |
| Nitossolo Vermelho Eutroférico típico | Luzerna | 17,63 a |
| Nitossolo Vermelho Distroférico típico (Nitisol) | Lages | 14,16 a |
| Argissolo Vermelho Distrófico (Acrisol) | Içara | 13,57 a |
| Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico (Nitisol) | Ponte Serrada | 13,19 a |
| Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico (Nitisol) | Curitibanos | 12,45 a |
| Nitossolo Háplico Distrófico típico | Luzerna | 12,38 a |
| Nitossolo Bruno Distrófico rúbico (Nitisol) | Lebon Régis | 10,96 a |
| Cambissolo Háplico Alítico típico (Cambisol) | Lages | 10,96 a |
| Nitossolo Vermelho Eutroférico típico | Ipira | 9,42 a |
| Cambissolo Húmico Distrófico típico (Cambisol) | Lages | 9,38 a |
| Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico (Acrisol) | Alfredo Wagner | 8,08 a |
| Argissolo Amarelo Distrófico latossólico (Acrisol) | São Bonifácio | 7,79 a |
| Nitossolo Vermelho Eutrófico típico (Nitisol) | Luzerna | 7,73 a |
| Nitossolo Bruno Distrófico típico (Nitisol) | Painel | 7,72 a |
| Nitossolo Bruno Distroférico típico (Nitisol) | Água Doce | 7,50 a |
| Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (Acrisol) | Içara | 7,49 a |
| Chernossolo Argilúvico Férrico típico | Descanso | 6,97 a |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Acrisol) | Gaspar | 5,84 a |
| Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (Acrisol) | Içara | 5,36 a |
| Neossolo Regolítico Húmico típico (Regosol) | Lages | 5,06 a |
| Cambissolo Háplico Alumínico típico (Cambisol) | Palmeira | 3,73 b |
| Argissolo Amarelo Alítico típico (Acrisol) | Botuverá | 2,84 b |
| Argissolo Amarelo Distrófico típico (Acrisol) | Rancho | |
| Argissolo Amarelo Distrófico típico (Acrisol) | Queimado | 2,77 b |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (Acrisol) | Lauro Müller | 2,71 b |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Acrisol) | Blumenau | 2,10 b |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico (Acrisol) | Lauro Müller | 1,73 b |
| Neossolo Regolítico Eutrófico típico (Regosol) | Sangão | 1,42 b |
| Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico (Cambisol) | Lages | 1,14 b |
| Neossolo Quartzarênico Órtico típico | Araranguá | 1,12 b |
| Neossolo Quartzarênico Órtico típico | Imbituba | 0,56 b |

Fonte: produção do autor, 2020.

Souza e colaboradores. (2016) também avaliaram o teor de As no solo do Estado de Santa Catarina em três regiões, sendo, Planalto Sul (Lages e Paineira) solos derivados de basáltico e riolito, Metropolitana, (Alfredo Wagner, Rancho Queimado e Águas Mornas) solos derivados de argilitos e Siltitos, Granito e Granulito e Migmatito e Litoral Sul (Imbituba, Içara, Araranguá e Lauro Muller) material de origem sedimentos Arenosos, Siltito e Arenito, Para solos do Planalto Sul teor de As variou de $5,52 \text{ mg kg}^{-1}$ a $9,36 \text{ mg kg}^{-1}$, da região Metropolitana $4,60 \text{ mg kg}^{-1}$ a $7,27 \text{ mg kg}^{-1}$ e Litoral Sul teores inferiores a $0,48 \text{ mg kg}^{-1}$. Estes teores obtidos por esses autores representam aproximadamente 42% do teor obtido no presente estudo. Souza e colaboradores. (2016) utilizaram o mesmo banco de solos avaliados nesse trabalho, porém, com o método diferente de extração em forno de micro-ondas, conforme a orientação do protocolo da USEPA 3051A, assim como a quantificação realizada em espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica, e não em espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado, através da técnica de geração de hidretos a vapor frio, que pode assim explicar a diferença dos teores de As.

A variabilidade do teor de As encontrado para solos do Brasil, apresentados a seguir, reforçam a importância de cada estado determinar os valores naturais de As e o cumprimento da resolução CONAMA. Biondi. (2010) determinou teor de As para solo do Estado de Pernambuco em condições naturais, sem ação antrópica. Em média, os teores de As obtidos nos horizontes superficiais foram de $0,43 \text{ mg.kg}^{-1}$ para solos da região Zona da Mata, $0,36 \text{ mg kg}^{-1}$ para região do Agreste e $0,52 \text{ mg kg}^{-1}$ para o Sertão. Para Filho. (2016) apresenta os teores de As encontrado no Estado do Ceará entre $0,35 \text{ mg kg}^{-1}$ e $0,47 \text{ mg kg}^{-1}$ em superfície e $0,53 \text{ mg kg}^{-1}$ a $0,57 \text{ mg kg}^{-1}$ em subsuperfície. Valores semelhantes aos teores de As no solos do Estado de Pernambuco foram obtidos por Biondi (2010). Na comparação de Argissolos e Cambissolos no Estado de Minas Geral, Caires. (2009) encontrou, os Argissolos com $35,53 \text{ mg kg}^{-1}$ apresentam os teores significativos ($p < 0,01$) maiores de As quando comparados aos Cambissolos com $3,31 \text{ mg kg}^{-1}$ e Latossolos a $9,17 \text{ mg kg}^{-1}$. O autor obteve o VRQ para MG para percentil 75 de $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$ e o para o percentil 90 de $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

Houve correlação positiva entre arsênio e teor de argila e óxidos de ferro (Tabela 9) estando de acordo com a literatura, pois, o arsenato, formado de As em solos óxicos, ou seja solos com grandes quantidades de óxidos, sofre forte adsorção entre os óxidos de Fe e em menor quantidade na adsorção entre os argilossilicatos (MCBRIDE, 1994, KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001, MANDAL & SUZUKI, 2020; KABATA-PENDIAS & MUKHERJEE, 2007). Sobre a capacidade de adsorção de arsenato Campos e colaboradores. (2007), estudaram 17 Latossolos, observando a capacidade de adsorção e a correlação significativa positiva com o óxido de ferro, Fe_2O_3 , óxido de alumínio Al_2O_3 e óxido de silício SiO_2 em superfície específica (SE) de hematita e no teor de argila. A correlação positiva com óxidos foi comprovada, uma vez que, à semelhança do fosfato, o arsenato é altamente adsorvido a óxidos, especialmente em condições de solos ácidos (MCBRIDE, 1994). Além da adsorção em óxidos, ocorre também adsorção na matéria orgânica. É uma adsorção fraca, quando comparado aos óxidos e

minerais de argila, mas conforme o estudo de (MCBRIDE, 1994) existe uma correlação positiva e significativa entre teor de As e teor de CO dos solos (Tabela 9).

Tabela 11 – Correlação de Pearson (r) entre teor de As e atributos do solo. Valores de $p < 0,05$ correlação significativa.

| | Silte | Argila | CO | pH H ₂ O | Valor T | SB | V | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ |
|---|-------|-------------|-------------|---------------------|---------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|
| r | 0,32 | 0,61 | 0,46 | 0,04 | 0,34 | 0,29 | 0,05 | 0,23 | 0,60 |
| p | 0,08 | 0,00 | 0,01 | 0,82 | 0,08 | 0,12 | 0,80 | 0,21 | 0,00 |

CO = carbono orgânico através da metodologia walkley black, carbono orgânico total; Valor T = CTC a pH 7,0; SB = Soma de bases; V= saturação por bases; Al₂O₃ e Fe₂O₃ obtidos pelo ataque sulfúrico.

Fonte: produção do autor, 2020.

5 CONCLUSÃO

Os solos do Estado de Santa Catarina analisados, apresentaram uma variação nos teores de As entre $0,56 \text{ mg kg}^{-1}$ e $26,59 \text{ mg kg}^{-1}$ sendo, os solos derivados de basalto com o maior teor de As e o solo derivado de sedimentos arenosos, com o menor teor de As $0,82 \text{ mg kg}^{-1}$.

O Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico de Campos Novos apresentou o teor de $26,59 \text{ mg kg}^{-1}$ e o Nitossolo Vermelho Eutroférico típico da cidade de Luzerna $17,63 \text{ mg kg}^{-1}$ sendo, esses teores de As superiores ao valor de prevenção estabelecido pela Resolução CONAMA nº 460/2013.

Houve correlação positiva entre As e óxidos de ferro, teor de argila e carbono orgânico para os solos do Estado de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Arsenic is a naturally occurring element that is widely distributed in the Earth's crust.** 2015. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/sites/toxzine/arsenic_toxzine.html#health_effects>. Acesso em: jun.2020.

ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. P.; CAMARGO, O. A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4. p. 1-42, 2005.

ALMEIDA, J. A. DE; CARARO, D. C.; UBERTI, A. A. A. Genesis of the sombric horizon in ultisols (red argisols) in southern Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 405–416, abr. 2009.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRON, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 985–1002, 2003.

ALVES R. H.; RIETZLER A. C. Efeitos Tóxicos de Arsênio em *Eisenia Andrei* em Exposição a Solos do Entorno de Minerações de Ouro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 682-691, 2015.

MANDAL, B. K.; SUZUKI, K. T. Arsenic round the world: a review. **Talanta**, v. 58, n. 1, p. 201-235, 2002.

BIONDI, C. M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco.** 2010. 40p. Tese (doutorado) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil, 2010.

BRINGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A. DE; HOFER, A. Mineralogia e gênese de Argissolos das Serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1057–1072, 2012.

BUNDSCHUH, J.; LITTER, M.I; PARVEZ, F.; ROMÁN-ROSS, G; NICOLLI, H. B., JEAN, J.S.; LIU, C. W.; LOPES, D., ARMIENTA, M.A.; GUILHERME, L.R.G., CUEVAS, A.G.; CORNEJO, L.;

CUMBAL,L.;TOUJAGUEZ,R . One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. **Science of the Total Environment**, v. 429, p. 2–35, 2012.

CAIRES, S. M. D. E. **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. 1 – 270 p. Tese (Doutorado), Brasil, 2009.

CAMPOS, M. L.; GUILHERME, L. R. G.; LOPES, R. S.; ANTUNES, A. S.; MARQUES, J. J G. S.M.; CURI, N. Teor e capacidade máxima de adsorção de arsênio em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.6, p. 1311-1318, 2007.

CAMPOS, M. L.; GUILHERME, L. R. G.; LOPES, R. S.; MARQUES, J. J G. S. M.; CURI, N.; ARAUJO, A. S. A.; MIQULLUTI, D. J.; LOPES, C.; SPIAZZI, F. R. Teores de arsênio e cádmio em solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 281–286, 2013.

CASARINI, D. C. P. Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. In: **Seminário Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas**, 2, São Paulo. Anais. São Paulo: CETESB, 2000.

CECATTO, C. A.; ALBERTO, C. **Modelagem das perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial**. 2014. 159 p. Tese (Doutorado) Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Brasil, 2018.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001.

CORRÊA, J. **Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do estado de Santa Catarina**. Lages. 2003. 141p. Dissertação (Mestrado Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Brasil, 2003.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.; ALMEIDA, J.; LUCIANO, A.; VIEIRA, R. Pedotransfer functions to estimate retention and availability of water in soils of the state of Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 889–910, 2013.

CROCK, J. G.; SEVERSON, R. C.; GOUGH, L. P. Determining baselines and variability of elements in plants and soils near the Kenai National Wildlife Refuge Alaska. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 63, n. 3/4, p. 253-271, 1992.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Science Soc. Am. J.*, v. 51, p. 153-158, 1987.

DE MENEZES, M. D.; BISPO, F. H. A.; FARIA, W. M.; GONÇALVES, M. G. M.; CURI, N.; GUIHLERME, L, R, G. Modeling arsenic content in Brazilian soils: What is relevant? **Science of the Total Environment**, p. 58, 2020.

DISEASE, P.; HEALTHY, T. Exposure to arsenic : **A major public health concern**. p. 3–8, 2012.

FILHO, 2016. **Teores de metais pesados de alguns solos do Estado do Ceará**. v. 8, n. 3, p. 6–10, 2016.

GOLDSCHMIDT, V.M. The principles of distribution of chemical elements in the minerals and rocks. *J. Chem. Soc.*, 1937:655-673, 1937. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1937/jr/jr9370000655#!divAbstract>>. Acesso em: jun.2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Health impacts of chemicals arsenic**. 2018. Disponível em:<<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>>. Acesso em: jun.2020.

VAREJÃO, E. V. V.; BELLATO, C. R.; MELLO, J W V.; FONTES, M. P. F. Otimização das condições de pré-redução do As (v) em extratos do método BCR para quantificação de as por HG-AAS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. p. 875–883, 2009.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plant**. 3 ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 1992.

LUNARDI NETO, A.; ALMEIDA, J. A. DE; Mineralogia das frações silte e argila em Argissolos com horizontes subsuperficiais escurecidos em Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 3, p. 282–293, 2013.

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

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

MELLO, J.W.V. et al. Arsenic speciation in arsenic-rich Brazilian soils from gold mining sites under anaerobic incubation. **Environmental Science and Pollution Research**, v.14, p.388–396, 2007.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A. The effect of emissions of fertilizer production on the environment contamination by cadmium and arsenic in southern Brazil. **Environmental Pollution**, v. 143, n. 2, p. 335–340, 2006.

PAES SOBRINHO, J. B.; ALMEIDA, J. A.; ERHART, J. Mineralogia, propriedades químicas e classificação de solos das Serras do Leste Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 1, p. 9–24, 2009.

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

PEREIRA, S. DE F. P.; OLIVEIRA, G. R. F.; OLIVEIRA, J. S.; SILVA, J. S.; SOUZA JUNIOR, P. M.; Determinação espectrofotométrica do arsênio em solo da cidade de Santana-AP usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) modificado. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 953–960, 2009.

REIMANN, C.; MATSCHULLAT, J.; BIRKE, M.; SALMINEN, R. Arsenic distribution in the environment: The effects of scale. **Applied Geochemistry**, v. 24, p. 1147–1167, 2009.

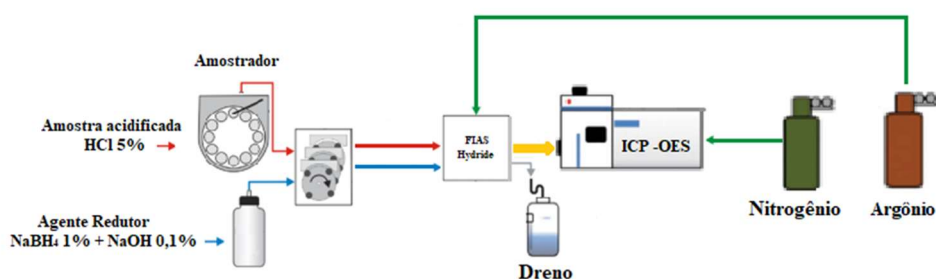
SILVA, J. e DIU, C. Natural variation of arsenic fractions in soils of the Brazilian Amazon. **Science of The Total Environment**. v. 687, p. 1219-1231, out., 2019.

Souza, L. C. **Teores naturais de Arsênio, Bário, Cádmiio e Níquel para solos do estado de Santa Catarina**. 2015. 79 p. Tese (Doutorado) Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina. Brasil, 2015.

TESKE, R.; ALMEIDA, J. A.; HOFFER, A.; NETO, A. L. Caracterização química, física e morfológica de solos derivados de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 2, p. 175–186, 2013.

APÊNDICE

Fluxograma mostrando todo o processo de análise das amostras de solos digeridas baseadas no método USEPA 3051A SW-846, no equipamento analítico Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry- Hydride Generation (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente com Geração de Hidreto) ICP-OES-HG a vapor frio, modelo Optima 8300 da marca Perkin Elmer.



Condições de leitura para as de solos em ICP-OES- HG

| INSTRUMENTO ICP-OES | CONDIÇÃO OPERACIONAL |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Potência de radiofrequência (W) | 1400 |
| Plano de visão | Axial |
| Plasma (L min ⁻¹) | 15 |
| Nebulizador (L min ⁻¹) | 0,5 |
| Gás auxiliar (L min ⁻¹) | 0,3 |
| Tempo de integração (s) | 2 - 5 |
| Retardamento da leitura (s) | 40 |
| Vasão da bomba peristáltica (mL min ⁻¹) | 1,5 |
| Repetição das leituras | 3 |
| Comprimentos de onda utilizados (nm) | 193,696 |
| Gerador de hidretos (HG) | CONDIÇÃO OPERACIONAL |
| Redutor | NaBH ₄ 0,5% + NaOH 0,05% (m/v) |
| Fluxo do redutor (mL min ⁻¹) | 1,5 |
| Fluxo da amostra (mL min ⁻¹) | 1,5 |