

Esse trabalho teve como objetivo apresentar os impactos ambientais decorrentes da atividade cemiterial tradicional, identificar a adequação das áreas de dois cemitérios públicos urbanos, localizados na cidade de Lages - SC, à prática da atividade cemiterial e investigar o grau de contaminação da água subterrânea e dos solos na área de influência destes cemitérios, considerando os aspectos geológicos e hidrogeológicos locais, e o ordenamento jurídico ambiental brasileiro. Para atingir os objetivos, foi realizada revisão bibliográfica e do ordenamento jurídico, determinadas as características físico-químicas dos solos testemunha e as concentrações dos metais pesados nos solos dos cemitérios, e determinados os parâmetros físico-químicos e as concentrações dos metais pesados nas águas subterrâneas que estão sob influência direta dos cemitérios. As áreas dos dois cemitérios apresentaram condições insatisfatórias para a atividade cemiterial, no que tange à altura do nível freático e à capacidade de retenção de íons catiônicos metálicos pelos solos. As características físico-químicas das águas subterrâneas indicaram que as áreas de sepultamentos recentes são as mais críticas e apresentam indícios de poluição recente. Nas águas subterrâneas, os metais Cd, Cr e Ni apresentaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA no 396/2008 e pela Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde, indicando que pode estar havendo a lixiviação de necrochorume para as águas subterrâneas.

Orientador: Valter Antônio Becegato

Coorientador: Gilmar Conte

Lages, 2018

ANO
2018

CAMILA ANGÉLICA BAUM | IMPACTOS AMBIENTAIS NO SOLO E NA ÁGUA
SUBTERRÂNEA OCACIONADOS POR CEMITÉRIOS PÚBLICOS URBANOS DE
LAGES - SC



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**IMPACTOS AMBIENTAIS NO
SOLO E NA ÁGUA
SUBTERRÂNEA
OCACIONADOS POR
CEMITÉRIOS PÚBLICOS
URBANOS DE LAGES - SC**

CAMILA ANGÉLICA BAUM

Lages, 2018

CAMILA ANGÉLICA BAUM

**IMPACTOS AMBIENTAIS NO SOLO E NA ÁGUA SUBTERRÂNEA
OCASIONADOS POR CEMITÉRIOS PÚBLICOS URBANOS DE LAGES - SC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof^o. Dr. Valter Antônio Becegato
Co-Orientador: Prof^o. Dr. Gilmar Conte

**Lages, SC
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

Baum, Camila Angélica

Impactos ambientais no solo e na água subterrânea ocasionados por cemitérios públicos urbanos de Lages - SC / Camila Angélica Baum. - Lages, 2018.
121 p.

Orientador: Valter Antônio Becegato

Co-orientador: Gilmar Conte

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2018.

1. Cemitério. 2. Contaminação. 3. Metais Pesados.
4. Solo. 5. Água Subterrânea. I. Becegato, Valter Antônio.
II. Conte, Gilmar. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela autora.

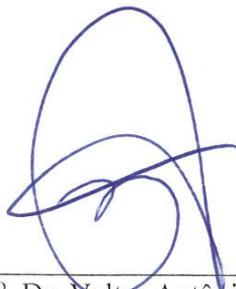
CAMILA ANGÉLICA BAUM

**IMPACTOS AMBIENTAIS NO SOLO E NA ÁGUA SUBTERRÂNEA
OCASIONADOS POR CEMITÉRIOS PÚBLICOS URBANOS DE LAGES - SC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Banca examinadora:

Orientador:



(Prof^o. Dr. Valter Antônio Becegato)
UDESC

Co-orientador:



(Prof^o. Dr. Gilmar Conte)
UDESC

Membros:



(Prof^o. Dr. Alexandre Tadeu Paulino)
UDESC



(Prof^o. Dr. Pedro Boff)
EPAGRI

Lages, 20 de fevereiro de 2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Arcênio e Loreni, e meus irmãos, Júlio e Tiago, pelo apoio e carinho de sempre e por juntos sonharem meus sonhos. Amo vocês!

À Universidade do Estado de Santa Catarina, por oportunizar ensino gratuito e de qualidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina pela concessão de bolsa de estudo durante o curso.

Ao professor Valter Antônio Becegato por sua orientação, ensinamentos, incentivo e amizade durante o curso. A minha gratidão.

À Prefeitura Municipal de Lages, por autorizar as coletas de campo nas áreas de estudo.

Aos bolsistas Jordana, Emili e Eduardo, e ao Júlio e à Bruna, pelo auxílio nos trabalhos de campo e nas análises laboratoriais. À Pâmela pelo auxílio nas análises laboratoriais. A ajuda de vocês foi imprescindível para a realização desse trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Avaliação de Impacto Ambiental, pelo auxílio nos trabalhos de campo e nas análises laboratoriais, e por compartilharem de suas amizades e conhecimentos diariamente, durante esses dois anos. Com vocês ao meu lado a minha caminhada foi mais leve.

Aos colegas de mestrado, que ao longo do curso se tornaram amigos.

Ao Tiago Barcellos, pelo carinho, incentivo e compreensão com minhas ausências, e pelas contribuições neste trabalho.

A todos que de alguma forma se envolveram com este trabalho e com os quais desejo compartilhar a gratidão e a alegria pela conquista de mais uma etapa.

“Eu sempre que venci, nunca o fiz sozinho. Na verdade, muitos trabalharam para isso e no final todos ganharam.” Ayrton Senna.

RESUMO

A atividade de sepultamento tradicional gera o necrochorume, o que constitui um risco potencial ao meio ambiente e à saúde pública, podendo impactar negativamente no solo e nas águas superficiais e subterrâneas, através da lixiviação de contaminantes. Objetivou-se com esse trabalho apresentar os impactos ambientais decorrentes da atividade cemiterial tradicional, identificar a adequação das áreas de dois cemitérios públicos urbanos, localizados na cidade de Lages, Santa Catarina, à prática da atividade cemiterial e investigar o grau de contaminação da água subterrânea e dos solos na área de influência destes cemitérios, considerando os aspectos geológicos e hidrogeológicos locais, e o ordenamento jurídico ambiental brasileiro. Para atingir os objetivos, inicialmente foi realizada revisão bibliográfica e do ordenamento jurídico, referentes ao assunto em questão. Em seguida, foram coletadas amostras de solo cemiterial e testemunha de ambos os cemitérios, determinados e analisados os parâmetros: Areia, Silte, Argila, Matéria Orgânica, Potencial Hidrogeniônico em água, Capacidade de Troca de Cátions, Al (valor m) e % de Saturação na CTC a pH7.0 (Bases, K, Ca, Mg) dos solos testemunha e as concentrações dos metais pesados nos solos cemiterial e testemunha. Concomitantemente, foram realizadas coletas de água subterrânea, sazonalmente, em poços de monitoramento, e determinados os parâmetros: Potencial Hidrogeniônico, Condutividade Elétrica, Potencial de Oxidação/Redução, Oxigênio Dissolvido, Sólidos Totais Dissolvidos, Demanda Química de Oxigênio, Fenóis Totais, Fósforo Total e Amônia e também as concentrações dos metais pesados. Foram determinadas, em água e solo, as concentrações dos metais: Cádmio, Chumbo, Cromo, Níquel, Zinco e Cobre, por meio de Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua (AR-FC EAA). As áreas dos dois cemitérios apresentaram condições insatisfatórias para a atividade cemiterial, no que tange à altura do nível freático e à capacidade de retenção de íons catiônicos metálicos pelos solos. Os percentuais de argila variam entre 15,40 e 41,40% e os de areia entre 28,75 e 66,85%. Os solos testemunha também apresentaram reduzida CTC (entre 12,27 e 22,73 cmolc/dm³) e elevada saturação por alumínio (Al³⁺) na CTC (entre 66,74 e 90,16 %). Nos solos não foram observadas concentrações dos metais de interesse acima dos Limites de Prevenção estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 420/2009, sendo que as maiores concentrações foram observadas nas áreas com menores cotas topográficas. As características físico-químicas das águas subterrâneas indicaram que as áreas de sepultamentos recentes são as mais críticas e apresentam indícios de poluição recente. Dentre os parâmetros analisados, Fenóis Totais e Amônia (NH₃) apresentaram valores acima dos valores máximos permitidos pela legislação. Os parâmetros Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos, Demanda Química de Oxigênio, e Fósforo Total, que não possuem valores máximos permitidos regulamentados pelo ordenamento jurídico, apresentaram indícios de contaminação pela atividade cemiterial. Os metais Níquel, Cádmio e Cromo apresentaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e pela Portaria n° 2.914/2011, do Ministério da Saúde, em 4,16%, 83,34% e 100% das amostras de água, respectivamente, indicando que pode estar havendo a lixiviação dos metais pesados e outros contaminantes para as águas subterrâneas.

Palavras-chave: Contaminação. Metais Pesados. Água Subterrânea. Solo.

ABSTRACT

The traditional burial activity generates necroleachate, which constitutes a potential risk to the environment and to the public health, being able to negatively impact the soil and surface water and groundwater, through the leaching of contaminants. The objective of this work was to show the resulting environmental impacts of the traditional cemetery activity, identify the adequacy of the areas of two urban cemeteries, located in the city of Lages, Santa Catarina, to the practice of the cemetery activity and investigate the contamination degree of groundwater and soils in the area of influence of these cemeteries, considering the local geological and hydrogeological aspects, and the Brazilian environmental legal order. To reach the goals, firstly was performed a bibliographic review and of the legal order, referring to the present matter. Thereafter, samples from the cemetery soil and control were collected from both cemeteries, determined and analyzed the parameters: Sand, Silt, Clay, Organic Matter, Hydrogenionic Potential in water, Cation exchange capacity, Al (value m) and % of Saturation in CTC at pH 7.0 (Bases, K, Ca, Mg) of the control soils and concentrations of heavy metals in the cemetery and control soils. Concomitantly, groundwater sampling was carried out, seasonally, out in monitoring wells, and parameters were determined: Hydrogenion Potential, Electrical Conductivity, Oxidation / Reduction Potential, Dissolved Oxygen, Total Dissolved Solids, Chemical Oxygen Demand, Total Phenols, Total Phosphorus and Ammonia and also the concentrations of heavy metals. In water and soil, were determined the concentrations of the metals: cadmium (Cd), lead (Pb), chromium (Cr), nickel (Ni), zinc (Zn) and copper (Cu), through High Resolution Atomic Absorption Spectrometry with Continuous Source (HR-CS EAA). The areas of the both cemeteries presented unsatisfactory conditions for the cemetery activity, concerning to the groundwater level and to the retention capacity of metallic cationic ions in soils. The percentages of clay vary between 15.40 and 41.40% and those of sand between 28.75 and 66.85%. The control soil also showed reduced CTC (between 12.27 and 22.73 cmolc / dm³) and high aluminum saturation (Al³⁺) in CTC (between 66.74 and 90.16%). In the soils were not observed concentrations of metals of interest above the prevention limits established by CONAMA Resolution N^o 420/2009, being that the largest concentrations were observed in the areas with smallest topographic portions. The physicochemical characteristics of groundwater indicated that the recent burial areas are the most critical, and presented signs of recent pollution. Among the analyzed parameters, Total Phenols and Ammonia (NH₃) presented values above the maximum values allowed by the legislation. The parameters Electric Conductivity, Dissolved Total Solids, Chemical Oxygen Demand, and Total Phosphorus, which do not have maximum permitted values regulated by the legal system, showed signs of contamination by the cemetery activity. The metals cadmium, chromium and nickel presented concentrations above the maximum allowable values by CONAMA Resolution No. 396/2008, and by Ordinance No. 2.914/2011, by Ministry of Health, in 4.16%, 83.34% and 100% of the water samples, respectively, indicating that can be occurring the leaching of the heavy metals and other contaminants to the groundwater.

Palavras-chave: Contamination. Heavy metals. Groundwater. Soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 2 - Teores de metais pesados nos solos de dois cemitérios públicos urbanos de Lages - SC

Figura 1 - Localização dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e do Cruz das Almas nas Bacias hidrográficas Ponte Grande e Carahá, no município de Lages-SC.	46
Figura 2 - Cemitério Nossa Senhora da Penha.	46
Figura 3 - Cemitério Cruz das Almas.	47
Figura 4 - Localização dos pontos de coleta de solo no Cemitério Nossa Senhora da Penha e entorno.	48
Figura 5 - Localização dos pontos de coleta de solo no Cemitério Cruz das Almas e entorno.	49
Figura 6 - Espacialização da concentração dos metais cádmio (esquerda) e zinco (direita) no solo do Cemitério Nossa Senhora da Penha.	58
Figura 7 - Espacialização dos metais cobre (esquerda) e níquel (direita) no Cemitério Nossa Senhora da Penha.	59
Figura 8 - Espacialização dos metais chumbo (esquerda) e cromo (direita) no Cemitério Nossa Senhora da Penha.	60
Figura 9 - Espacialização dos metais chumbo (esquerda), cádmio (meio) e zinco (direita) no Cemitério Cruz das Almas.	63
Figura 10 - Espacialização dos metais cobre (esquerda), cromo (meio) e níquel (direita) no Cemitério Cruz das Almas.	63

Capítulo 3 - Avaliação da qualidade da água subterrânea na área de influência direta dos cemitérios públicos urbanos de Lages - SC

Figura 1 - Localização do Cemitério Nossa Senhora da Penha e do Cemitério Cruz das Almas nas Bacias Hidrográficas Ponte Grande e Carahá, no município de Lages-SC.	78
Figura 2 - Localização dos poços de monitoramento no Cemitério Nossa Senhora da Penha.	81
Figura 3 - Localização dos poços de monitoramento no Cemitério Cruz das Almas.	81
Figura 4 - Coleta de água subterrânea utilizando amostrador descartável (bailer).	82
Figura 5 - a) Sonda Multiparâmetro Portátil; b) Fotocolorímetro Multiparâmetro.	83
Figura 6 - Precipitação pluviométrica mensal durante o período estudado e média mensal histórica.	86
Figura 7 - Valores de Oxigênio Dissolvido nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.	87
Figura 8 - Valores de pH nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.	89
Figura 9 - Valores do Potencial de Oxidação/Redução nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.	90
Figura 10 - Valores da Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.	91
Figura 11 - Valores dos Sólidos Totais Dissolvidos nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.	92
Figura 12 - Valores de Demanda Química de Oxigênio nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.	93

LISTA DE ILUSTRAÇÕES (Continuação)

Figura 13 - Valores de Fenóis Totais nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.....	95
Figura 14 - Valores de Amônia (NH ₃) nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.....	96
Figura 15 - Valores de Fósforo Total nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.....	97

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2 - Teores de metais pesados nos solos de dois cemitérios públicos urbanos de Lages - SC

Tabela 1 - Metodologias utilizadas para a determinação dos parâmetros químicos.	50
Tabela 2 - Informações utilizadas para preparação das soluções padrões e determinação dos metais, por Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua. ..	51
Tabela 3 - Granulometria das amostras de solo testemunha dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas, em média.	53
Tabela 4 - Características químicas das amostras de solo testemunha dos cemitério Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas, em média.....	54
Tabela 5 - Comparação entre as concentrações médias, obtidas por característica, ao nível de significância de 5%.....	55
Tabela 6 - Concentrações totais (mg/kg) de cobre, cromo, chumbo, níquel, zinco e cádmio nos solos do Cemitério Nossa Senhora da Penha.	56
Tabela 7 - Resultados estatísticos das amostras de solo do Cemitério Nossa Senhora da Penha.	57
Tabela 8 - Concentrações totais (mg/kg) de cobre, cromo, chumbo, níquel, zinco e cádmio no Cemitério Cruz da Almas.	61
Tabela 9 - Resultados estatísticos das amostras de solo do Cemitério Cruz da Almas	61
Tabela 10 - Comparação entre as concentrações médias obtidas de cada um dos metais estudados, por cemitério, a um nível de significância de 5%.....	64

Capítulo 3 - Avaliação da qualidade da água subterrânea na área de influência direta dos cemitérios públicos urbanos de Lages - SC

Tabela 1 - Informações utilizadas para preparação das soluções padrões e determinação dos metais, por Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua. ..	84
Tabela 2 - Estatística descritiva do Oxigênio Dissolvido (mg/L).	87
Tabela 3 - Estatística descritiva do pH.	89
Tabela 4 - Estatística descritiva do Potencial de Oxidação/Redução (mV).	90
Tabela 5 - Estatística descritiva da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	91
Tabela 6 - Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L).	92
Tabela 7 - Estatística descritiva da Demanda Química de Oxigênio (mg/L de O_2).	94
Tabela 8 - Estatística descritiva dos Fenóis Totais (mg/L).	95
Tabela 9 - Estatística descritiva da Amônia - NH_3 (mg/L).....	96
Tabela 10 - Comparação entre as concentrações médias de cada um dos parâmetros por estação ao nível de significância de 5%.	98
Tabela 11 - Concentrações totais (mg/L) de cromo e cádmio nas águas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.	99
Tabela 12 - Estatística descritiva dos metais cádmio e cromo.	100

Apêndices

Tabela A1 - Coordenadas dos pontos de coleta de solo no Cemitério Nossa Senhora da Penha e entorno, e profundidade da amostra coletada.	113
--	-----

LISTA DE TABELAS (Continuação)

Tabela A2 - Coordenadas dos pontos de coleta de solo, no Cemitério Cruz das Almas e entorno, e profundidade da amostra coletada.....	113
Tabela B1 - Granulometria das amostras de solo testemunha do Cemitério Nossa Senhora da Penha e do Cemitério Cruz das Almas.....	114
Tabela B2 - Características química das amostras de solo testemunha do Cemitério Nossa Senhora da Penha e do Cemitério Cruz das Almas.....	114
Tabela C1 - Descrição dos poços monitorados no Cemitério Nossa Senhora da Penha e no Cemitério Cruz das Almas.	115
Tabela D1 - Resultados das análises físico-químicas, por poço, em cada estação, no Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC (Continua).	116
Tabela D1 - Resultados das análises físico-químicas, por poço, em cada estação, no Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC (Conclusão).	117
Tabela D2 - Resultados das análises físico-químicas, por poço, em cada estação, no Cemitério Cruz das Almas, Lages – SC.....	118
Tabela E1 - Resultados das análises dos metais pesados, por poço, em cada estação, no Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC.....	119
Tabela E2 - Resultados das análises dos metais pesados, em cada estação, no Cemitério Cruz das Almas, Lages – SC.	120

Anexos

Tabela 1.1 - Precipitação pluviométrica mensal, no município de Lages, no período de novembro de 2016 a outubro de 2017.....	121
Tabela 1.2 - Precipitação pluviométrica nos 10 dias antecedentes ao dia de coleta de água subterrânea.	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Introdução Geral

CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNSP	Cemitério Nossa Senhora da Penha
CCA	Cemitério Cruz das Almas
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
SAG	Sistema Aquífero Guarani

Capítulo 1 - A atividade cemiterial nos municípios brasileiros: impactos ambientais, ordenamento jurídico e perspectivas futuras

CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
FATMA	Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
NH ₄	Amônio
NO ₃	Nitrato
SAG	Sistema Aquífero Guarani
WHO	World Health Organization

Capítulo 2 - Teores de metais pesados nos solos de dois cemitérios públicos urbanos de Lages - SC

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEII	Área Especial de Interesse Institucional
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
CCA	Cemitério Cruz das Almas
Cd	Cádmio
Cfb	Clima Temperado Húmido com Verão Temperado
CNSP	Cemitério Nossa Senhora da Penha
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CV	Coeficiente de Variação
Cu	Cobre
Eh	Potencial de Redução
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FATMA	Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
FIRJAN	Federação das Indústrias do Rio de Janeiro
AR-FC EAA	Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua
H+Al	Acidez Potencial

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (Continuação)

HCl	Ácido Clorídrico
HNO ₃	Ácido Nítrico
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
IAH	International Association of Hydrologists
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	Potássio
LANAR	Laboratório de Rotina para Análise de Água e Resíduos
LD	Limite de Detecção
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
NBR	Norma Técnica
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
pH H ₂ O	Potencial Hidrogeniônico do Solo em Água
PPI	Instituto da Potassa e Fosfato
ROLAS	Rede Oficial de Laboratório de Análise de Solos
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SC	Santa Catarina
SEPA	Scottish Environment Protection Agency
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
USEPA	United States Environmental Protection Agency
Zn	Zinco

Capítulo 3 - Avaliação da qualidade da água subterrânea na área de influência direta dos cemitérios públicos urbanos de Lages - SC

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	American Public Health Association
Cd	Cádmio
CNSP	Cemitério Nossa Senhora da Penha
CCA	Cemitério Cruz das Almas
Cu	Cobre
CV	Coeficiente de Variação
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CE	Condutividade Elétrica
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cr	Cromo
DQO	Demanda Química de Oxigênio
AR-FC EAA	Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua
HNO ₃	Ácido Nítrico
HPO ₄ ²⁻	Hidrogenofosfato
H ₂ PO ₄ ⁻	Diidrogenofosfato
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LANAR	Laboratório de Rotina para Análise de Água e Resíduos
LD	Limite de Detecção

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (Continuação)

N.A.	Nível d'Água
NBR	Norma Técnica
NH ₃	Amônia
Ni	Níquel
NO ₃ ⁻	Íon Nitrato
OMS	Organización Mundial de la Salud
O ₂	Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
ORP	Potencial de Oxidação/Redução
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PO ₄ ³⁻	Fosfato
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SC	Santa Catarina
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
VMP	Valores Máximos Permitidos
WHO	World Health Organization
ZRD	Zona de Recarga Direta
Zn	Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	23
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	25
1.1.1 Objetivo geral	25
1.1.2 Objetivos específicos	25
1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA	25
CAPÍTULO 1 - A ATIVIDADE CEMITERIAL NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS: IMPACTOS AMBIENTAIS, ORDENAMENTO JURÍDICO E PERSPECTIVAS FUTURAS	27
INTRODUÇÃO	28
2 HISTÓRICO SOBRE SEPULTAMENTOS E CEMITÉRIOS	29
3 PLANEJAMENTO URBANO E OS CEMITÉRIOS	30
4 REFLEXOS AMBIENTAIS DA ATIVIDADE CEMITERIAL	31
5 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE CEMITÉRIOS	33
6 PERSPECTIVAS FUTURAS	35
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37
CAPÍTULO 2 – TEORES DE METAIS PESADOS NOS SOLOS DE DOIS CEMITÉRIOS PÚBLICOS URBANOS DE LAGES - SC	41
INTRODUÇÃO	43
2 ÁREA DE ESTUDO	45
2.1 GEOLOGIA LOCAL	47
3 METODOLOGIA	48
3.1 PROCEDIMENTOS DE COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLOS	48
3.2 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO	49
3.3 DETERMINAÇÃO DOS METAIS PESADOS NO SOLO	50
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	52
4.2 METAIS PESADOS NO SOLO	55
4.2.1 Cemitério Nossa Senhora da Penha (CNSP)	55
4.2.2 Cemitério Cruz das Almas (CCA)	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	65
CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DOS CEMITÉRIOS PÚBLICOS URBANOS DE LAGES - SC	73
INTRODUÇÃO	75
2 ÁREA DE ESTUDO	77
2.1 GEOLOGIA LOCAL	79
3 METODOLOGIA	80
3.1 MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO	80
3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA	80

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA.....	82
3.4 DETERMINAÇÃO DOS METAIS PESADOS NA ÁGUA.....	83
3.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	85
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
4.1 COMPORTAMENTO PLUVIOMÉTRICO.....	85
4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	87
4.2.1 Oxigênio Dissolvido.....	87
4.2.2 Potencial Hidrogeniônico.....	88
4.2.3 Potencial de Oxidação/Redução.....	89
4.2.4 Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos.....	90
4.2.5 Demanda Química de Oxigênio.....	93
4.2.6 Fenóis Totais.....	94
4.2.7 Amônia.....	95
4.2.8 Fósforo Total.....	96
4.3 METAIS PESADOS NA ÁGUA.....	99
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
REFERENCIAS.....	102

CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS.....	109
REFERÊNCIAS GERAIS.....	111

APÊNCICES.....	113
APÊNDICE A - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SOLO.....	113
APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO TESTEMUNHA.....	114
APÊNDICE C - CARACTERIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.....	115
APÊNDICE D - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA.....	116
APÊNDICE E - RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS METAIS PESADOS DA ÁGUA.....	119

ANEXOS.....	121
ANEXO 1 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	121

INTRODUÇÃO GERAL

A necessidade de controle ambiental de atividades antrópicas potencialmente poluidoras tem recebido suporte tanto na identificação das fontes, quanto na elaboração de legislações que instituam regras para o estabelecimento e funcionamento de empreendimentos com potencial poluidor. Fiedler et al. (2012) afirmam que os cemitérios podem ser vistos como uma espécie particular de aterro, e desde a década de 1950 tem sido estudados devido aos riscos que podem gerar ao meio ambiente.

A decomposição dos corpos, dos caixões e de seus adereços, dos tecidos utilizados para vestir o corpo, da cama do caixão e de produtos e substâncias introduzidas no corpo humano ao longo da vida, gera o necrochorume (FIEDLER et al., 2012; JONKER & OLIVIER, 2012), o qual é um líquido potencialmente poluidor, sendo primordial a consideração dos aspectos ambientais na escolha do local para a instalação de cemitérios.

O necrochorume possui diversos componentes, variando de acordo com a região, com a religião e costumes de cada indivíduo, com a época do sepultamento, além de outras variáveis. No entanto, cabe ressaltar que os aspectos geológicos e hidrogeológicos das áreas em que esses empreendimentos são instalados são fatores determinantes na contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Silva & Malagutti Filho (2008) ressaltam a importância da análise desses aspectos, uma vez que o solo funciona como filtro na retenção dos metais, dos microrganismos e das demais substâncias resultantes desse processo de decomposição (FLORIANI, 2013).

No Brasil, o primeiro estudo que comprovou contaminação ambiental decorrente da atividade cemiterial, foi conduzido por Alberto Pacheco, em 1991, e desde então foram desenvolvidos diversos estudos relativos à avaliação do impacto no meio ambiente e na saúde pública decorrentes da referida atividade (PACHECO, 2000). Esses estudos culminaram na regulamentação da atividade cemiterial no Brasil, através da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 335/2003, a qual institui o licenciamento ambiental em cemitérios horizontais e verticais (BRASIL, 2003).

Considerando a necessidade de revisão da Resolução CONAMA nº 335/2003, em 2006 a mesma foi alterada parcialmente pela Resolução CONAMA nº 368, e mais tarde novamente alterada pela Resolução CONAMA nº 402/2008. No entanto, apesar da evolução do ordenamento jurídico, não há regulamentação federal para os cemitérios que já estavam em atividade em abril de 2003, de forma que estes permanecem na condição de fonte poluidora,

cabendo aos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente o estabelecimento de critérios para a adequação dos mesmos (BRASIL, 2008).

Na área urbana da cidade de Lages, localizada no Planalto Catarinense, estão em funcionamento dois cemitérios públicos: o Cemitério Nossa Senhora da Penha (CNSP), implantado em 1941 e o Cemitério Cruz das Almas (CCA), que teve suas atividades iniciadas no ano de 1889. O principal critério para escolha da área foi pelo fato dos mesmos se localizarem em área “fora” da cidade, conforme relata Andrade (2011), em estudo que menciona o estabelecimento do CCA. Este fato coloca em dúvida as condições ambientais e de sanidade pública em que se encontram esses empreendimentos, visto que não houveram estudos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos que comprovassem que as áreas são adequadas para a atividade cemiterial.

Ainda há um cemitério particular na área urbana de Lages, o Cemitério Parque da Saúde, inaugurado em 1991. O mesmo conta com um complexo sistema de drenagem existente sob os jazigos, que impede que estes virem poços e que venham a contaminar o aquífero freático, e com uma estação de tratamento de efluentes que recebe a água captada dos drenos.

No que tange aos aspectos geológicos na área urbana de Lages é possível encontrar três diferentes formações geológicas aflorantes: Botucatu, Serra Geral e Serra do Rio do Rastro (CPRM, 2014). Essa diversificação de formações geológicas é devida a ação de processos endógenos que deram origem ao Domo de Lages, e que caso não houvessem ocorrido, esta área seria ainda totalmente recoberta pela Formação Serra Geral (SCHEIBE, 1986). Em Santa Catarina as mais extensas áreas aflorantes dos arenitos da Formação Botucatu, que abriga o Sistema Aquífero Guarani (SAG), estão localizadas na região de Lages. Essas áreas são consideradas zonas de recarga direta do SAG, e conseqüentemente apresentam elevada vulnerabilidade a contaminação (ALMEIDA & SILVA, 2011).

Diante desta peculiaridade geológica na região de Lages e do exposto, relacionado ao potencial poluidor dos cemitérios preexistentes ao estabelecimento da legislação regulamentadora da atividade, objetivou-se com esse estudo avaliar os impactos ambientais no solo e na água subterrânea na área de influência direta dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas, utilizando como base o ordenamento jurídico brasileiro. A avaliação dos impactos ambientais provocados pela atividade cemiterial serve de subsídio para desenvolvimento de propostas para minimizar os danos causados ao meio ambiente, além de elucidar aos governantes o potencial contaminante da referida atividade.

O esclarecimento do potencial contaminante dos cemitérios estudados é de grande importância uma vez que a capacidade de sepultamentos de ambos os empreendimentos, que são os principais cemitérios públicos da cidade, está praticamente esgotada (MICHEL, 2011); logo uma nova alternativa para o sepultamento de corpos terá que ser disponibilizada pelo Município.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral verificar o grau de contaminação do solo e da água subterrânea na área de influência dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas, localizados na área urbana do município de Lages, Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos específicos

- i) Realizar revisão bibliográfica acerca do potencial contaminante dos cemitérios e da geologia da área de estudo, visando a compreensão da dinâmica geológica local e potencialidades de contaminação inerentes;
- ii) Verificar se as áreas em que estão localizados os cemitérios Cruz das Almas e Nossa Senhora da Penha são ambientalmente adequadas para a realização da atividade cemiterial.
- iii) Identificar e quantificar as características físico-químicas das águas subterrâneas que estão sob influência dos cemitérios Cruz das Almas e Nossa Senhora da Penha e compará-las com o que estabelece o ordenamento jurídico ambiental brasileiro;
- iv) Identificar e quantificar a concentração de metais pesados nas águas subterrâneas e nos solos que estão sob influência dos cemitérios Cruz das Almas e Nossa Senhora da Penha e compará-las com o preconizado pelo ordenamento jurídico ambiental brasileiro; e

1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA

Essa dissertação está estruturada em três capítulos. No primeiro, utilizando-se revisão bibliográfica, são apresentados os principais aspectos inerentes à atividade cemiterial nos municípios brasileiros: apontamento históricos sobre a atividade de sepultamentos; impactos ambientais provocados por essa atividade; ordenamento jurídico que baliza a atividade de tais empreendimentos e as perspectivas futuras relacionadas a forma de destinação final dos corpos.

No segundo e terceiro capítulos são apresentadas a descrição metodológica, resultados e conclusões das avaliações dos impactos ambientais provocados pelo sepultamento de corpos nos Cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cemitério Cruz das Almas, no solo e na água subterrânea. As avaliações consistiram na caracterização físico-química dos solos e verificação dos teores de metais pesados nos mesmos, e na determinação dos parâmetros físico-químicos e teores de metais pesados na água subterrânea, e posterior comparação com o que estabelece o ordenamento jurídico brasileiro. Por fim são apresentadas as considerações finais gerais do estudo, que respondem às indagações apontadas nos objetivos da dissertação, concluindo o estudo, segundo o entendimento dos resultados dos capítulos anteriores e sugerindo futuros trabalhos nessa área.

CAPÍTULO 1 - A ATIVIDADE CEMITERIAL NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS: IMPACTOS AMBIENTAIS, ORDENAMENTO JURÍDICO E PERSPECTIVAS FUTURAS

RESUMO

A atividade de sepultamentos de corpos é muito antiga e passou por momentos distintos até chegar a situação atual. Por volta da década de 50, iniciaram-se os primeiros estudos para verificar a possível contaminação ambiental decorrente da atividade cemiterial, a qual era realizada sem maiores cuidados em relação ao ambiente, tampouco haviam legislações que balizassem tal atividade. No Brasil, em 2003, após vários estudos comprovarem a contaminação ambiental decorrente de atividade cemiterial, foi criada a Resolução CONAMA nº 335/2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios e questões envolvendo aspectos construtivos e regulamentação da atividade, e, desde então, as questões que envolvem o estabelecimento de cemitérios no Brasil se tornaram mais complexas. Esse manuscrito tem como objetivo apresentar os impactos ambientais decorrentes da atividade cemiterial tradicional e as questões jurídicas que a envolvem, além de apontar tendências futuras para a destinação dos corpos. A discussão de novas alternativas para a destinação dos corpos é muito importante, haja visto que o assunto envolve questões dogmáticas, e a mudança do pensar em relação a prática do sepultamento é o caminho para o alcance de alternativas sustentáveis, sem deixar de ser um rito religioso.

Palavras-chave: Contaminação. Políticas Públicas. Cemitérios. Resolução CONAMA nº 335/2003.

CAPTHER 1 - THE CEMITERIAL ACTIVITY IN BRAZILIAN MUNICIPALITIES: ENVIRONMENTAL IMPACTS, LEGAL ORDINANCE AND FUTURE PERSPECTIVES

ABSTRACT

The activity of body burials is very ancient and went through different moments until reaching the present situation. Around the decade of 1950, the first studies were initiated to verify the possible environmental contamination resulting from the cemetery activity, which was carried out carelessly in relation to the environment, nor was there legislation that would control such activity. In Brazil, in 2003, after several studies to prove the environmental contamination resulting from the cemetery activity, the CONAMA Resolution No. 335/2003 was created, which regards the environmental licensing of cemeteries and issues involving constructive aspects and regulation of the activity, and, since then, the issues involving the foundation of cemeteries in Brazil have become more complex. This manuscript aims to present the environmental impacts resulting from the traditional cemetery activity and the legal issues involved, besides to point out future trends for the destination of the bodies. The discussion of new alternatives for the destination of the bodies is very important, since the subject involves dogmatic questions, and the change of thinking about the practice of burial is the way to reach sustainable alternatives, without ceasing to be a religious rite.

Keywords: Contamination. Public Politics. Cemeteries. CONAMA Resolution nº 335/2003.

INTRODUÇÃO

A existência dos cemitérios é muito antiga tendo como objetivo o enterro de corpos. Durante os séculos XVIII e XIX houveram as mudanças mais significativas na história cemiterial e de sepultamento de corpos, em decorrência da preocupação com a salubridade pública, gerada pelas grandes epidemias ocorridas (AQUINO & CRUZ, 2010).

Atualmente vivemos um novo momento de transformação na forma de inumações dos corpos e nas formas de destinação dos mesmos, desencadeado pelo aumento populacional, expansão urbana e contaminação ambiental, esta última ocasionada por subprodutos da decomposição dos corpos. O aumento populacional crescente exige extensas áreas para sepultamento tradicional de corpos (KEMERICH et al., 2012), e em contraposição a isto está a expansão urbana que exige espaços livres para sua ampliação. Não menos importante, as comprovações científicas de contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas na área de influência de alguns cemitérios, por seus aspectos construtivos e locais serem inadequados (PACHECO, 2000), tem impulsionado uma nova transformação na forma de destinar os corpos.

Em decorrência de repetidas constatações de contaminação pela atividade cemiterial, foi criada a Resolução CONAMA nº 335/2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios e questões envolvendo aspectos construtivos e regulamentação cemiterial (BRASIL, 2003). Mais tarde, nos anos de 2006 e 2008, a Resolução em questão sofreu alterações, por meio das Resoluções nºs CONAMA 368/2006 e 402/2008. Atualmente a responsabilidade pela adequação e licenciamento ambiental dos cemitérios é de competência dos órgãos estaduais e municipais (BRASIL, 2008).

Ao apresentar os aspectos religiosos e sanitários, que conduziram a atividade cemiterial ao modo como é realizada atualmente, busca-se entender como ocorreram as mudanças nessa atividade ao longo dos séculos. A partir disso, vislumbrar possíveis caminhos que permitam as adequações ambientais necessárias para que a atividade de destinação dos corpos não cause danos ao meio ambiente, e que ao mesmo tempo continue sendo um rito religioso. Nesse sentido esse manuscrito tem como objetivo apresentar os impactos ambientais decorrentes da atividade cemiterial tradicional e as questões jurídicas que a envolvem, e apontar tendências futuras para a destinação dos corpos.

2 HISTÓRICO SOBRE SEPULTAMENTOS E CEMITÉRIOS

Grande parte dos relatos históricos acerca dos sepultamentos remetem ao período da Era Comum, também conhecida como Era Cristã, na qual ao longo dos anos a prática do sepultamento sofreu diversas alterações, relacionados principalmente ao uso e ocupação do espaço urbano e à sanidade ambiental.

Na Europa, até meados do século XIV, a ideia que predominava a respeito da morte é de que esta era uma viagem espiritual da alma, sendo comum o sepultamento dos corpos nas catacumbas e no interior e proximidades das igrejas. Com a propagação da Peste Negra pela Europa, em 1348, que culminou na morte de aproximadamente um terço da população europeia até 1351, iniciou-se uma alteração na forma como as pessoas viam a morte, sendo que a partir dessa época o apodrecimento do corpo após a morte tornou-se algo mais significativo (TUCHMAN, 1989, apud MACHADO, 2006).

Contudo, foi somente no século XVIII, após as epidemias de tifo e tuberculose, que políticas públicas relacionadas à sanidade ambiental e higiênica dos sepultamentos começaram a serem desenvolvidas, sendo vedada a prática dos sepultamentos nas igrejas (AQUINO & CRUZ, 2010).

Aos poucos, no final do século XVIII, surgiram os cemitérios, caixões individuais e sepulturas para famílias, época em que a medicina urbana analisava lugares de acúmulo de “tudo que pudesse provocar doenças”. Nesse período, a partir da teoria dos miasmas, os médicos recomendavam o isolamento dos mortos para que os vivos estivessem protegidos da influência dos mortos (CAMPOS, 2007). No início do século XIX, o avanço dos estudos da medicina urbana e as constantes crises de mortalidade impulsionaram o desenvolvimento de normas mais modernas e condizentes com a saúde humana, que acabaram resultando em uma política pública voltada ao estabelecimento de cemitérios públicos (MACHADO, 2006).

No Brasil, a história foi muito semelhante à ocorrida na Europa. Inicialmente, não havia nenhum controle higiênico e de sanidade ambiental, e a população, juntamente com as instituições religiosas, apresentava grande resistência ao controle estatal dos cemitérios. Apesar disso, em 1890, com a publicação do Decreto nº 789, consolidou-se a denominada secularização cemiterial, onde o poder público obteve o domínio administrativo dos cemitérios (RIBEIRO, 2008), que até então era de responsabilidade das entidades religiosas.

Apesar de todo o avanço e alterações ocorridas na história cemiterial, devido à forma com que foram estabelecidos até o final do século XX, a grande maioria dos cemitérios

existentes no Brasil encontram-se em condição de fonte poluidora, causando danos ao meio ambiente, e possivelmente à saúde humana.

Recentemente, outra alteração na atividade cemiterial é observada nas zonas rurais das cidades brasileiras. Restos mortais de sepultamentos realizados em cemitérios estabelecidos em comunidades rurais estão sendo realocados em cemitérios urbanos, devido ao intenso êxodo rural ocorrido nas últimas décadas e, conseqüente, abandono desses cemitérios.

3 PLANEJAMENTO URBANO E OS CEMITÉRIOS

A instalação de cemitérios é uma atividade que requer de seus responsáveis diversos cuidados, em relação à alocação do mesmo no espaço urbano e ao meio ambiente. No Brasil, atualmente, compete aos municípios a organização de seus serviços públicos, incluindo os cemiteriais, incumbência esta que está expressa na Constituição Federal de 1988, no Art. 30, inciso V, o qual estabelece que: "Compete aos municípios organizar e prestar, diretamente ou sob-regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local [...]". O inciso VIII desse mesmo artigo ainda deixa claro que é competência dos Municípios "promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo". A competência para organizar serviços públicos de interesse local é um reflexo do Princípio Constitucional da Autonomia Administrativa Municipal.

No que tange aos cemitérios privados, o Poder Municipal pode limitar sua ocorrência, por meio de normas administrativas no âmbito da competência de interesse local e das Leis Municipais que especificam tais diretrizes ou condições, além da implantação estar condicionada à autorização do Poder Público Municipal, através do ato de permissão (MACHADO, 2006). Nas Leis Orgânicas, Planos Diretores ou Legislações os municípios possuem disposições sobre planejamento urbano, ordenamento territorial e uso e parcelamento do solo, que indicam possíveis áreas para implantação de cemitérios, seja de ordem pública ou privada.

A Lei Federal nº 10.257/2001 estabelece os instrumentos para aplicação da política urbana, dentre os quais está o planejamento municipal, em especial o plano diretor, que disciplina o parcelamento do uso e ocupação do solo, o zoneamento ambiental, dentre outros. O plano diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, e o mesmo deve apresentar as exigências fundamentais de ordenação da cidade, sendo obrigatório para as cidades com mais de 20.000 habitantes. Para estes, casos o parcelamento do solo urbano

deve estar previsto no plano municipal ou em lei municipal, a qual não pode estar em desacordo com o plano diretor, visto que este é instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana (BRASIL, 2001).

De acordo com as leis municipais brasileiras de parcelamento, do uso e da ocupação do solo e de zoneamento ambiental, os cemitérios são enquadrados em diversas zonas diferentes, de acordo com o estabelecido por cada município. Apesar disso, as leis que definem o parcelamento, o uso e a ocupação do solo, determinam que, para a instalação de novos cemitérios seja realizado o Estudo de Impacto de Vizinhança, devido ao potencial que os mesmos possuem em causar alterações visuais e no ambiente físico significativas no ambiente. Não obstante, a implantação de cemitérios é dependente das condições ambientais do local, visto que este tipo de empreendimento possui potencial contaminante, decorrente do necrochorume (SILVA et al., 2008).

4 REFLEXOS AMBIENTAIS DA ATIVIDADE CEMITERIAL

Um corpo humano em decomposição, com peso entre 70 e 80 kg, libera cerca de 30 litros de necrochorume (AQUINO & CRUZ, 2010), que é um líquido potencialmente poluidor, e que altera as características físico-químicas e biológicas do solo de origem (MAJGIER & RAHMONOV, 2012). Segundo Jonker & Olivier (2012), a maior parte da contaminação decorrente das atividades cemiteriais é originada a partir de cargas minerais, que são liberadas, e de subprodutos como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), amônio (NH₄), nitrato (NO₃), além de aminas biogênicas, como a cadaverina e a putrescina (FIEDLER et al., 2012).

Além do necrochorume oriundo da decomposição dos corpos, há também o necrochorume proveniente da decomposição dos caixões e de seus adereços, dos tecidos utilizados para vestir o corpo morto e da cama do caixão. Os tecidos utilizados para fins funerários são produzidos com materiais de difícil degradação, além de também receberem tratamento com ligantes químicos (WILLIAMS et al., 2009). Já a madeira utilizada para os caixões é normalmente tratada com conservantes, tais como cloreto de polivinilo, creosoto ou inseticidas (MININNI et al., 2007; JONKER & OLIVIER, 2012), bem como vernizes e seladores (JONKER & OLIVIER, 2012), que ao se degradarem liberam substâncias tóxicas nocivas (SPONGBERG & BECKS, 2000).

Diante da multiplicidade de substâncias que compõem o necrochorume e da potencialidade contaminante das mesmas, é de grande importância a análise de aspectos

geológicos e hidrogeológicos na escolha de locais para a instalação de cemitérios (SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008), uma vez que o solo funciona como filtro na retenção dos metais, dos microrganismos e das demais substâncias resultantes do processo de decomposição dos corpos (ÜÇISIK & RUSHBROOK, 1998).

Solos argilosos, com grande área superficial específica e alta capacidade de troca de cátions (CTC) são os mais adequados, por maximizar a retenção de metais pesados e líquidos humorosos (ÜÇISIK & RUSHBROOK, 1998), os quais podem conter em sua composição organismos patogênicos que, caso percolem até atingir o lençol freático, podem se tornar agentes de contaminação ambiental e causar problemas de saúde pública (MACHADO, 2006).

Diante de tal contexto, em 1951, foi desenvolvido o primeiro estudo que se tem registro referente ao impacto dos cemitérios em águas subterrâneas, por Van Haaren, na Europa, e desde então diversos estudos referentes ao assunto foram desenvolvidos, a fim de se obter maior conhecimento sobre este passivo ambiental. Em 1998, a fim de reunir e divulgar em um único documento o estado de conhecimento sobre a contaminação da água, a partir do necrochorume, e os mecanismos operacionais para amenizar o potencial de poluição, a World Health Organization (WHO) divulgou um relatório acerca dos impactos dos cemitérios no meio ambiente e na saúde pública. Nesse relatório também foram fornecidas algumas sugestões sobre a localização de áreas futuras para a prática cemiterial (UÇISIK & RUSHBROOK, 1998).

No Brasil, o primeiro estudo referente à preocupação da atividade cemiterial com o meio ambiente que se tem conhecimento é de Bergamo, apresentado em 1954, no IV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, no qual o mesmo defendeu a necessidade de estudos geológicos e sanitários das áreas de cemitérios, e a verificação da possibilidade de poluição e contaminação das águas subterrâneas e superficiais. Contudo, apenas em 1991, em um estudo coordenado pelo professor Alberto Pacheco, após monitoramento realizado na área interna de três cemitérios, foi constatada a contaminação bacteriológica do aquífero freático por microrganismos oriundos de corpos em decomposição. Desde então foram desenvolvidos diversos estudos referentes à avaliação do impacto ambiental e na saúde pública, decorrentes da atividade cemiterial, abrangendo a contaminação microbiologia e de metais pesados nas águas subterrâneas, estudos geofísicos, dentre outros (PACHECO, 2000).

Em 2001, Bolívar Antunes Matos, orientado pelo professor Alberto Pacheco, realizou um importante estudo, no qual foi verificada a contaminação das águas subterrâneas pela atividade cemiterial de forma mais intensa nas sepulturas com menos de um ano, localizadas nas cotas mais baixas, próximas ao nível freático (MATOS, 2001). Além disso, Matos (2001) ainda observa a ausência de normas federais sobre o assunto, e recomenda no final de seu

trabalho a elaboração destas, indicando a inserção dos cemitérios na lista de fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

5 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE CEMITÉRIOS

Em decorrência da ausência de obrigatoriedade do licenciamento ambiental de cemitérios no Brasil, visto que nas Resoluções CONAMA nºs 001/1986 e 237/1997, onde são indicadas as atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, os cemitérios não foram considerados, e impulsionado pelos estudos de Pacheco (2000) e Matos (2001), que indicam a atividade cemiterial como potencialmente poluidora, o CONAMA, através da Resolução nº 335/2003, regulamentou o licenciamento ambiental de cemitérios horizontais e verticais.

Atualmente o ordenamento jurídico que trata da construção e regulamentação cemiterial é contemplado pelas Resoluções CONAMA nºs 335/2003; 368/2006 e 402/2008. Considerando a necessidade de revisão da Resolução nº 335/2003, em 2006 a mesma foi alterada parcialmente pela Resolução nº 368, sofrendo algumas modificações em função das particularidades existentes em áreas de proteção de mananciais localizadas em regiões metropolitanas (BRASIL, 2006). Mais tarde, em 2008, houve uma nova alteração parcial da Resolução nº 335/2003, através da Resolução nº 402/2008, a qual deu aos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente prazo até dezembro de 2010 para “estabelecer critérios para a adequação dos cemitérios existentes em abril de 2003” (BRASIL, 2008).

Para os cemitérios horizontais a Resolução nº 335/2003 e suas alterações estabelecem exigências mínimas que devem ser atendidas, relacionadas à altura da sepultura, caracterização do subsolo, distanciamento da sepultura até a altura do nível máximo do aquífero freático, técnicas e práticas para o sepultamento de corpos, localização da área de sepultamento, técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, e critérios para cemitérios horizontais em áreas de mananciais para abastecimento humano (BRASIL, 2003). Também é apresentado um prazo de regularização para os cemitérios pré-existentes a abril de 2003, que estivessem em desacordo com a Resolução e um Plano de Encerramento das atividades (BRASIL, 2003).

Outra exigência da Resolução CONAMA nº 335/2003, que afeta também outros empreendimentos do ramo funerário, é de que “os corpos sepultados poderão estar envoltos por mantas ou urnas constituídas de materiais biodegradáveis, não sendo recomendado o emprego de plásticos, tintas, vernizes, metais pesados ou qualquer material nocivo ao meio ambiente”,

recomendação esta que altera o mercado de urnas funerárias e que dá alusão à possibilidade de contaminação química decorrente da decomposição das urnas funerárias.

O descumprimento das disposições das Resoluções supracitadas, sujeita o infrator às penalidades previstas na Lei nº 9.605/1998, que trata dos Crimes Ambientais, e em outros dispositivos normativos pertinentes, sem prejuízo do dever de recuperar os danos ambientais causados, na forma do art. 14, § 1º, da Lei nº 6.938/1981. A Lei de Crimes Ambientais, em consonância com a Constituição Federal de 1988, estabelece a obrigatoriedade do licenciamento ambiental das atividades degradadoras da qualidade ambiental e, estabelece ainda que as atividades e condutas consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais, administrativas, independentes da obrigação de reparar os danos causados (BRASIL, 1998).

Apesar da Resolução CONAMA nº 335/2003 ter sido um marco no ordenamento jurídico nacional frente ao potencial poluidor da atividade cemiterial, alguns Estados já haviam apresentado preocupação em relação a esta atividade, inclusive regulamentando-a no âmbito estadual. O Estado de São Paulo foi um dos precursores no estabelecimento de ordenamento jurídico regulamentador da atividade de empreendimentos cemiteriais, sendo que o primeiro registro que se tem conhecimento é o Ato nº 326, de 21 de março de 1932, do Município de São Paulo (MATOS, 2001), que disciplinava a construção de novos cemitérios, somente no Município de São Paulo (SÃO PAULO, 1932).

Há de se considerar também que atualmente diversas legislações em âmbito estadual que tratam do assunto cemiterial apresentam-se muito específicas e detalhistas, como é o caso Instrução Normativa nº 52, da Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (FATMA) publicada em 2012, a qual define a documentação necessária para o licenciamento e estabelece critérios no âmbito ambiental para implantação de cemitérios.

A Normativa nº 52 se apresenta em diversos pontos mais restritiva que a legislação nacional, com instruções específicas aplicáveis ao Estado, no que tange aos aspectos geológico, sendo: (i) é vedada a instalação de cemitérios em terrenos constituídos predominantemente por rochas de decomposição carbonática (que comportam aquífero cárstico), cuja dissolução química provoca a formação de condutos subterrâneos nessas rochas, tipificados por cavernas, dolinas, sumidouros, rios subterrâneos, e outros. Também naquelas áreas onde a superfície piezométrica mostra-se elevada à alagadiça; (ii) é vedada a instalação de cemitérios em terrenos localizados sobre aquíferos porosos/costeiros; (iii) é vedada a instalação de cemitérios sobre áreas de recarga de águas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), cuja geologia é formada predominantemente por arenitos correlacionáveis à Formação Botucatu. Na ausência de

alternativas locacionais, deverá ser analisada a viabilidade de instalação de cemitério vertical; (iv) em terrenos situados sobre o Aquífero Basáltico Fraturado Serra Geral, os cemitérios devem ser preferencialmente do tipo vertical; (v) para cemitérios localizados sobre o Aquífero Basáltico Fraturado Serra Geral deve ser apresentado estudo da geologia estrutural acompanhado de mapa de lineamentos tectônicos (FATMA, 2012).

O fato dos Estados apresentarem um ordenamento jurídico mais detalhista que o nacional garante que os aspetos regionais sejam levados em consideração para a concepção de empreendimentos cemiteriais, uma vez que a legislação nacional ainda apresenta algumas lacunas, relativas aos diferentes aspectos regionais geológicos e hidrogeológicos, por exemplo.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

As perspectivas futuras no ramo cemiterial são abrangentes e como tal, seguem o estabelecido pelo ordenamento jurídico brasileiro até o presente momento; no entanto, envolvem questões dogmáticas como no processo de cremação e por outro lado corpos sepultados em cemitérios horizontais podem levar a contaminação dos solos e de águas superficiais e subterrâneas.

Cabe salientar que dentro das perspectivas futuras relativas à atividade cemiterial, está a adequação dos cemitérios existentes em abril de 2003, quando foi publicada a Resolução CONAMA nº 335/2003, que de acordo com a Resolução CONAMA nº 402/2008, delegou para os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente o estabelecimento de critérios de adequação, até dezembro de 2010. Mesmo que haja essa adequação, para os cemitérios situados em locais com características geológicas e hidrogeológicas susceptíveis a contaminação, a adoção de ações que impeçam a contaminação pelo necrochorume de sepulturas, pré-existentes, é de elevado custo e de difícil tramitação, uma vez que necessitaria de transformações nos espaços religiosos destinados à prática de sepultamento.

Nesse contexto, parte das discussões pertinentes ao assunto é o desenvolvimento de novos empreendimentos cemiteriais tradicionais adequados à legislação; a aceitação e desenvolvimento de cemitérios verticais; e a prática de cremação dos corpos. Há uma tendência no desenvolvimento de cemitérios tradicionais e cemitérios-parque ambientalmente adequados e de caráter privado, visto o desenvolvimento ocorrido no ordenamento jurídico relacionado e devido ao alto custo envolvendo manutenção do espaço, custos do tratamento dos efluentes gerados e necessidade de solo adequado para essa finalidade (PACHECO, 2000).

Nas últimas décadas, outra alternativa que tem despertado interesse são os cemitérios verticais, face ocuparem áreas menores, cujos impactos ambientais são consideravelmente inferiores aos ocasionados por cemitérios tradicionais, quando a atividade é manejada de forma adequada, devido à ausência de interferência do necrochorume e resíduos nas águas subterrâneas, baixa exigência quanto ao tipo de solo e facilidade de sepultamento e visitas em dias chuvosos (CAMPOS, 2007).

Em um nível de interesse muito semelhante ao observado pelos cemitérios verticais estão os crematórios, principalmente pelo espaço ocupado por esses empreendimentos ser reduzido e gerar impactos ambientais passíveis facilmente de controle.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os estudos científicos ocorridos desde a década de 1990 no Brasil, que demonstram influência negativa e contaminação por parte dos cemitérios tradicionais nos solos e nos recursos hídricos, em suas áreas de influência, e estudos internacionais relacionados, foi possível o desenvolvimento de políticas públicas envolvendo a construção e regulamentação da atividade cemiterial. Os benefícios decorrentes da regulamentação dessa atividade abrangem tanto o meio ambiente, como questões de saúde pública. No entanto, o ordenamento jurídico deixa lacunas em relação à regularização dos cemitérios tradicionais preexistentes, conforme o disposto na Resolução CONAMA nº 335/2003.

Durante a realização deste trabalho não foi encontrado, S.M.J., nenhum estudo que tratasse de práticas efetivas para regularização dos cemitérios que iniciaram suas atividades anteriormente a abril de 2003 e que se encontram em condição de passivo ambiental. Apesar do estabelecimento de ordenamento jurídico que considera aspectos construtivos, locacionais e de regulamentação ser um fato muito positivo, muitos cemitérios se encontram em condições inadequadas, e mesmo assim, não tiveram suas atividades interditas, conforme estabelece a Lei nº 9.605/1998.

No que tange às perspectivas futuras para inumações de corpos e nas formas de destinação dos mesmos, os cemitérios verticais e crematórios têm despertado interesse nos últimos anos, tanto por parte da gestão pública, quanto de parte da sociedade. À gestão pública interessa pelo fato desses empreendimentos ocuparem espaço reduzidamente pequeno quando comparado aos cemitérios-parque ou cemitérios tradicionais. Tanto o uso de crematórios, quanto de cemitérios verticais são atualmente tendência para destinação de corpos em grandes centros urbanos, que dispõe de poucos espaços físicos. Nesse contexto o sucesso dessas práticas

necessita, sobretudo, de incentivo e políticas públicas que tornem essas práticas mais acessíveis, inclusive para a população de baixa renda.

REFERÊNCIAS

AQUINO, J. D.; CRUZ, M. J. M. Os riscos ambientais do cemitério do Campo Santo, Salvador, Bahia, Brasil. **Cadernos de Geociências**, v.7, n.1, p.19-30, 2010.

BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. – In: Diário Oficial da União, de 02 de setembro de 1981.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 5 de outubro de 1988. 11. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

BRASIL. **Lei nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. – In: Diário Oficial da União, de 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. **Lei nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. – In: Diário Oficial da União, de 10 de julho de 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA **Resolução nº 001**, de 23 de janeiro de 1986. – In: Diário Oficial da União, de 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA **Resolução nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. – In: Diário Oficial da União, de 22 de dezembro de 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 335**, de 3 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. - In: Diário Oficial da União, nº 101, de 28 de maio de 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 368**, de 28 de março de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. - In: Diário Oficial da União, nº 61, 29 março 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 402**, de 17 de novembro de 2008. Altera os artigos 11 e 12 da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. - In: Diário Oficial da União, nº 224, de 18 de novembro de 2008.

CAMPOS, A. P. S. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrentes da atividade cemiterial**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FIEDLER, S. et al. Graveyards - Special landfills. **Science of the Total Environment**, v. 419, p. 90-97, 2012.

FATMA - FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Instrução Normativa nº 52**. Versão Março 2012. Disponível em <http://www.fatma.sc.gov.br/site_antigo/downloads/images/stories/Instrucao%20Normativa/IN%2052/in_52.pdf> Acesso em 24 de abril de 2017.

JONKER, C.; OLIVIER, J. Mineral contamination from cemetery soils: Case study of Zandfontein cemetery, South Africa. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 9, n. 2, p. 511-520, 2012.

KEMERICH, P. D. C.; UCKER, F. E.; BORBA, W. F. Cemitérios como fonte de contaminação ambiental. **Revista Scientific American Brasil**, São Paulo, v. 1, p. 78-81. 2012.

MACHADO, S. S. Análise ambiental dos cemitérios: um desafio atual para a administração pública. **Revista de Ciências Humanas**, v. 6, n. 1, p. 127-144, 2006.

MAJGIER, L., RAHMONOV, O. Selected chemical properties of Necrosols from the abandoned cemeteries Ślabowo and Szymonka (Great Mazurian Lakes District). **Bulletin of Geography. Physical Geography Series**, v. 5, n. 1, p. 43-55, 2012.

MATOS, B. A. **A avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Zona Norte do Município de São Paulo**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MININNI, G. et al., Dioxin, furans and polycyclic aromatic hydrocarbons emissions from a hospital and cemetery waste incinerator. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 38, p. 8527-8536, 2007.

PACHECO, A. **Cemitério e meio ambiente**. 2000. 105 f. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SÃO PAULO (Município). **Ato n° 326, de 21 de março de 1932**, Substitui o Ato n° 1.321, de 08 de abril de 1919, que dá regulamento aos cemitérios do Município. São Paulo: 21 mar. 1932.
SILVA, RW da C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Cubatão, v. 9, p. 26-35, 2008.

SILVA, F.; SUGUIO, K.; PACHECO, A. Avaliação ambiental preliminar do Cemitério de Itaquera, segundo a Resolução CONAMA 335/2003, Município de São Paulo. **Revista Geociências - UnG**, v.7, n.1, p. 31-47, 2008.

RIBEIRO, A. L. R. **Urbanização, poder e práticas relativas à morte no sul da Bahia, 1880-1950**. 2008. 168 f. Tese (Doutorado em História) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

SPONGBERG, A.L.; BECKS, P.M. Inorganic soil contamination from cemeteries leached. **Water, Air, Soil Poll**, v. 117, p. 313-327, 2000.

THOMPSON, B. Cemitérios verticais, espaço urbano e meio ambiente: O novo discurso científico universitário de incentivo a verticalização do cemitério e cremação. **Primeiros Estudos**, v.7, p. 07-26, 2015.

ÜÇISIK, A.S.; RUSHBROOK, P. **The impact of cemeteries on the environment and public health, an introductory briefing**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1998.

VAN HAAREN F. W. J. Cemeteries as sources of groundwater contamination. (em neerlandês). **Water**, v. 35, n. 16, p. 167-172, 1951.

WILLIAMS, A. et al. Environmental considerations for common burial site selection after pandemic events. In: RITZ, K., DAWSON, L., MILLER, D. (Org.). **Criminal and Environmental Soil Forensics**. Holanda: Springer, p. 87-101, 2009.

CAPÍTULO 2 – TEORES DE METAIS PESADOS NOS SOLOS DE DOIS CEMITÉRIOS PÚBLICOS URBANOS DE LAGES - SC

RESUMO

Os cemitérios são considerados fonte de contaminação ambiental, na medida em que, durante sua instalação e operação, não são controlados os impactos decorrentes dessa atividade, como a lixiviação do necrochorume. Esse trabalho teve como objetivo identificar, por meio de caracterização físico-química do solo, a adequação das áreas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha (CNSP) e do Cruz das Almas (CCA) à prática cemiterial e quantificar a concentração de metais pesados nos solos que estão sob influência destes empreendimentos. Foram coletadas amostras de solos cemiterial e amostras testemunha e analisadas as características físico-químicas das amostras testemunha: Areia, Silte, Argila, Matéria Orgânica, Potencial Hidrogeniônico em água, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Al (valor m) e % de Saturação na CTC a pH7.0 (Bases, K, Ca, Mg). Também foram determinadas as concentrações, em todas as amostras, dos metais pesados: Cádmio, Chumbo, Cromo, Níquel, Zinco e Cobre, por meio de Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua. As áreas dos cemitérios apresentam condições insatisfatórias para a retenção de íons catiônicos metálicos, com percentuais de argila variando entre 15,40 e 41,40% e os de areia entre 28,75 e 66,85%. Os solos testemunha apresentaram reduzida CTC (entre 12,27 e 22,73 cmolc/dm³) e elevada saturação por alumínio (Al³⁺) na CTC (entre 66,74 e 90,16 %). Apesar de nenhum dos cemitérios possuir concentrações dos metais analisados acima dos Limites de Prevenção, estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, em função das características dos solos, os contaminantes podem estar sendo lixiviados para as águas subterrâneas subjacentes.

Palavras-chave: Necrochorume. Adsorção de metais. Contaminação do solo.

CAPHTER 2 – CONTENT OF HEAVY METALS CONTENTS IN THE SOILS OF TWO URBAN PÚBLIC CEMETERIES OF THE CITY OF LAGES - SC

ABSTRACT

Cemeteries are considered a source of environmental contamination, in that, in its installation and operation the impacts resulting from this activity, such as necroleachate leaching, are not controlled. This study aimed to identify, by the physicochemical characterization of the soil, the adaptation of the cemeteries Nossa Senhora da Penha (CNSP) and Cruz das Almas (CCA) to the cemeterial practice and to quantify the concentration of heavy metals in the soils which are under the influence of these developments. Soil samples of cemiterial and control samples were analyzed and the physicalchemical characteristics of the control samples were analyzed: Sand, Silt, Clay, Organic Matter, Hydrogenionic Potential in water, Cation exchange capacity, Al (value m) and% of Saturation in CTC at pH7.0 (Bases, K, Ca, Mg). The concentrations in all samples of the heavy metals were also determined: Cadmium, Lead, Chromium, Nickel, Zinc and Copper, through High Resolution Atomic Absorption Spectrometry with Continuous Source. The cemetery areas present unsatisfactory conditions for the retention of metallic cationic ions, with percentages of clay varying between 15.40 and 41.40% and those of sand between 28.75 and 66.85%. Controlled soils showed reduced CTC (between 12.27 and 22.73 cmolc / dm³) and high aluminum saturation (Al³⁺) in CTC (between 66.74 and 90.16%). Although none of the cemeteries has concentrations of the analyzed metals above the prevention

limits established by CONAMA Resolution no. 420/2009, depending on the soil characteristics, the contaminants may be leaking to the underlying groundwaters.

Keywords: Necroleachate. Metals adsorption. Soil contamination.

INTRODUÇÃO

O meio ambiente é o resultado do funcionamento integrado de vários componentes, incluindo o solo, que desempenha diversas funções ecológicas e ambientais. Em áreas urbanas o desenvolvimento de atividades antrópicas, além de modificar severamente as características do solo, utiliza o mesmo para depósito de materiais indesejáveis, originários de diversos processos. Muitos desses materiais possuem compostos contaminantes, que quando não assimilados pelo solo, percolam pela zona não saturada até atingir o aquífero freático (SILVA, 2011).

Dentre as atividades antrópicas com potencial poluidor do solo, as mais frequentes são a disposição de resíduos sólidos, de forma desordenada e sem controle, bem como a de efluentes sem tratamento adequado. Outra forma, que assemelhasse a aterros de resíduos, e que tem sido estudada, são os cemitérios (FIEDLER et al., 2012). A decomposição dos corpos, dos caixões e de seus adereços, dos tecidos utilizados para vestir o corpo e da cama do caixão gera o necrochorume e, de acordo com a época do sepultamento, possui características distintas (FIEDLER et al., 2012; JONKER & OLIVIER, 2012). O necrochorume é um líquido potencialmente poluidor, e que altera as características físico-químicas e biológicas do solo de origem (MAJGIER & RAHMONOV, 2012).

De acordo com Barros et al. (2008), a maioria dos estudos envolvendo investigação de contaminação dos recursos naturais pela atividade cemiterial inadequada tem-se concentrado em poluentes não-metálicos, principalmente os de origem microbiológica, na água: Dent et al. (1998), Pacheco (2000), Matos & Pacheco (2002), Fineza et al. (2014), entre outros. Alguns estudos mais recentes, envolvendo poluentes metálicos, como Barros et al. (2008), Jonker & Olivier (2012), Fiedler et al. (2012), Amuno (2013), Floriani (2013) e Rocha (2016), tem apresentado resultados referente a quantificação dos metais pesados presentes no solo e a capacidade do solo de reter os mesmos.

No que tange à contaminação por metais pesados decorrente da atividade cemiterial, as características do solo são fundamentais e determinantes na lixiviação de necrochorume e contaminação de corpos hídricos, superficiais e subterrâneos, subjacentes (SEPA, 2015).

Os metais pesados são elementos que possuem número atômico maior que 20 ou que tem peso específico maior que 5 g/cm³ (GONÇALVES JR. & PESSOA, 2002). A expressão engloba metais, semimetals e não metais como o selênio e o arsênio, sendo também utilizada pelo Ministério da Saúde e Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Os mesmos podem estar presentes naturalmente no solo devido a ação de intemperismo e de outros

processos pedogênicos em rochas e no material de origem do solo (ALEXANDRE, 2012), ou podem ser inseridos no ambiente, por meio de atividades antrópicas potencialmente poluidoras.

Segundo Chlopecka et al. (1996, apud Barros et al., 2008), metais provenientes de diferentes fontes antrópicas são relativamente mais móveis e potencialmente mais fitodisponíveis, que aqueles presentes no material de origem dos solos. Oliveira et al. (2010) afirmam que os metais não podem ser degradados ou prontamente destoxificados pelos seres vivos tornando, ao contrário da maioria dos contaminantes orgânicos, um agravante problema de poluição, ao longo do tempo.

Os solos funcionam como um compartimento tampão para os metais pesados, onde os atributos físico-químicos dos solos retêm estes elementos em sua matriz orgânica e inorgânica, minimizando a disponibilidade dos mesmos e possíveis impactos relativos a uma instabilidade excessiva dos metais pesados (CAIRES, 2009). Os parâmetros do solo que controlam os processos de sorção e desorção dos metais pesados são os seguintes: (i) os valores de potencial hidrogeniônico (pH) e potencial de redução (Eh) em ambientes com baixa aeração; (ii) fração granulométrica fina (<0,02 mm); (iii) matéria orgânica; (iv) óxidos e hidróxidos e (v) microorganismos (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2000).

No processo de sorção, o soluto adere às superfícies das partículas do solo, especialmente argilo-minerais e matéria orgânica (FREEZE & CHERRY, 1979). A sorção iônica ao complexo de troca do solo faz com que os íons mantenham permuta com a solução do solo, estando retidos junto à fração sólida ou disponíveis no meio aquoso (TAGLIAFERRO et al., 2011). Esse processo faz com que a sorção seja vista como um processo chave para a determinação do destino dos poluentes no sistema solo-água (OLIVEIRA et al., 2014).

No caso dos cemitérios, em que normalmente os sepultamentos ocorrem nas camadas mais profundas do solo (1,5 a 1,8 m), o teor e a qualidade da argila são fatores determinantes na capacidade de adsorção de metais pesados (BARROS et al., 2008). Para a atividade de sepultamento, conforme Uçisik & Rushbrook (1998), não são adequados solos oriundos de arenitos, de textura grossa, com uma zona insaturada pouco espessa, e com baixa capacidade de filtração. Solos argilosos com grande área superficial específica e alta capacidade de troca de cátions (CTC) são os mais adequados, por maximizar a retenção de líquidos humurosos e metais (UÇISIK & RUSHBROOK, 1998).

Quando as características do solo em que é realizada a atividade de sepultamentos de corpos não são adequadas à retenção e filtração do necrochorume, o mesmo lixivia pela zona não saturada atingindo o aquífero subjacente. As condições da zona insaturada determinam os

processos de atenuação e a eventual eliminação de produtos químicos e de microrganismos, sendo a barreira de proteção à contaminação das águas subterrâneas (OLIVEIRA et al., 2013).

Dentre os estudos sobre contaminação de solo em áreas de cemitérios, os metais pesados mais comumente encontrados, acima dos limites estabelecidos pela legislação a qual foram comparados, são: Cromo e Chumbo (BARROS et al., 2008); Cromo, Cobre, Zinco, Rubídio, Estrôncio, Césio e Chumbo (JONKER & OLIVIER, 2012); Arsênio, Cromo e Chumbo (AMUNO, 2013); Níquel (FLORIANI, 2013); Cobre, Cromo e Níquel (SILVA, 2016).

Além dos diversos prejuízos ao meio ambiente, a contaminação dos solos e dos recursos hídricos por metais pesados é um problema de saúde pública. Existem diversas variáveis que interferem nos danos aos seres humanos ocasionados pelos metais pesados, como a dose, a concentração tóxica do elemento, tempo de exposição e a frequência de exposição (MANAHAN, 2000). Devido a quantidade de fatores que interferem no processo de intoxicação, FIRJAN (2000) afirma que, em alguns casos os sintomas da intoxicação só serão observados em longo prazo, em organismos expostos a concentrações elevadas de elementos tóxicos.

Apesar do conhecimento da importância da avaliação do solo antes da instalação de um cemitério e da evolução no ordenamento jurídico, durante o estabelecimento dos cemitérios de Lages, Santa Catarina, não foram considerados os aspectos relacionados ao solo. Nesse sentido esse trabalho tem como objetivo identificar, por meio de caracterização físico-química do solo, a adequação dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas à prática cemiterial, quantificar a concentração de metais pesados nos solos que estão sob influência dos cemitérios e compará-las com o que estabelece o ordenamento jurídico ambiental brasileiro.

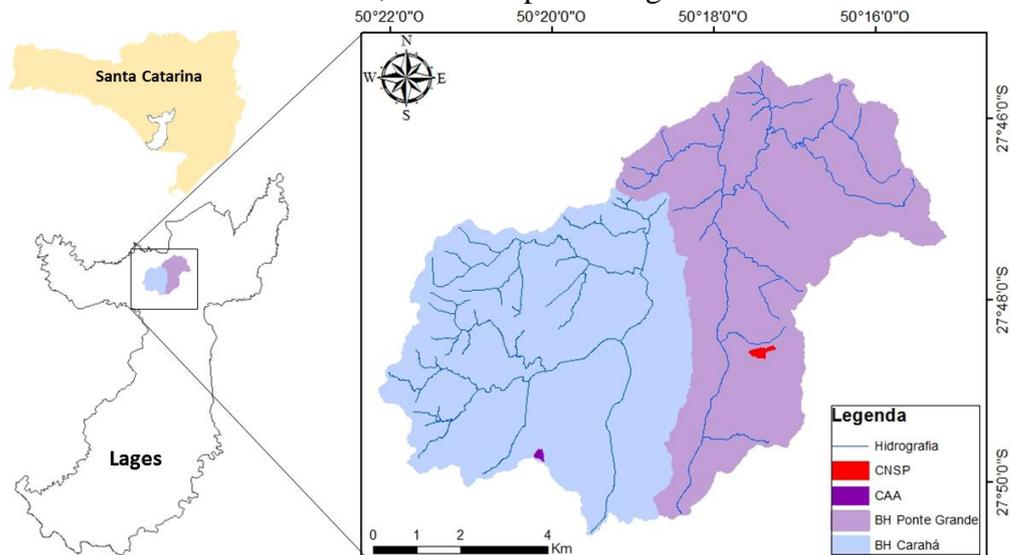
2 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Lages, localizada no Planalto Catarinense, possui 156.727 habitantes, sendo que 98,22% residem em área urbana e apenas 1,78% em área rural (IBGE, 2010). Com clima do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, Lages possui verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22 °C (KOTTEK et al., 2006), e precipitações pluviais relativamente distribuídas durante o ano, sendo que os meses do outono apresentam menores pluviometrias (SOCCOL et al., 2010).

A núcleo urbano de Lages abrange uma área aproximada de 125km² (RAFAELI NETO et al, 2015) e comporta dois cemitérios públicos: o Nossa Senhora da Penha (CNSP) e o Cruz das Almas (CCA) (Figura 1). Apesar de tais empreendimentos serem considerados como Área

Especial de Interesse Institucional (AEII), de acordo com a Lei Municipal Complementar nº 306, de 2007, os mesmos estão totalmente inseridos no contexto urbano (LAGES, 2007).

Figura 1 - Localização dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas nas Bacias hidrográficas Ponte Grande e Carahá, no município de Lages-SC.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O Cemitério Nossa Senhora da Penha, localizado entre as coordenadas ($50^{\circ}17' 29,6''$ e $50^{\circ}17'34,7''$ O; $27^{\circ}48'29,6''$ e $27^{\circ}48'37,4''$ S), no Bairro da Penha, em operação há aproximadamente 75 anos, ocupa uma área aproximada de 60.817 m^2 , sendo o maior cemitério público urbano da cidade (Figura 2). Está inserido na Bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande, na porção urbanizada, cujo entorno, em grande parte, é ocupado por residências, além de estar próximo à cursos d'água.

Figura 2 - Cemitério Nossa Senhora da Penha.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O segundo maior cemitério público urbano de Lages é o Cruz das Almas inserido entre as coordenadas ($50^{\circ}20'13,7''$ e $50^{\circ}20'06,5''$ O; $27^{\circ}49'36,8''$ e $27^{\circ}49'46,5''$ S), situado no Bairro Santa Rita, em operação há 127 anos, ocupando uma área de 38.824 m² (Figura 3); localizado na porção urbanizada da Bacia hidrográfica do Rio Carahá, cujo entorno é composto por residências e outros empreendimentos, como postos de gasolina, capelas funerárias e comércio em geral.

Figura 3 - Cemitério Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

2.1 GEOLOGIA LOCAL

A região de Lages está localizada na bacia Geológica do Paraná, formada por sedimentos gonduânicos e sequências vulcânicas, básicas e ácidas, sendo que na área urbana de Lages é possível encontrar afloramento de três diferentes formações geológicas: Botucatu, Serra Geral e Serra do Rio do Rastro (CPRM, 2014).

Essa diversificação de formações geológicas é devida a ação de processos endógenos que deram origem ao Domo de Lages, o qual se situa a cerca de 120 km da borda leste da Bacia do Paraná e possui um diâmetro em torno de 40 km (FERREIRA, 2013). De acordo com o mesmo autor, fazem parte dessa intrusão arenitos da formação Botucatu, bem como siltitos, argilitos e folhelhos de várias formações geológicas gonduânicas, decorrentes dos processos que geraram o “Domo”. Scheibe (1986) afirma que caso não houvesse o “Domo” a região de Lages seria ainda totalmente recoberta pela Formação Serra Geral.

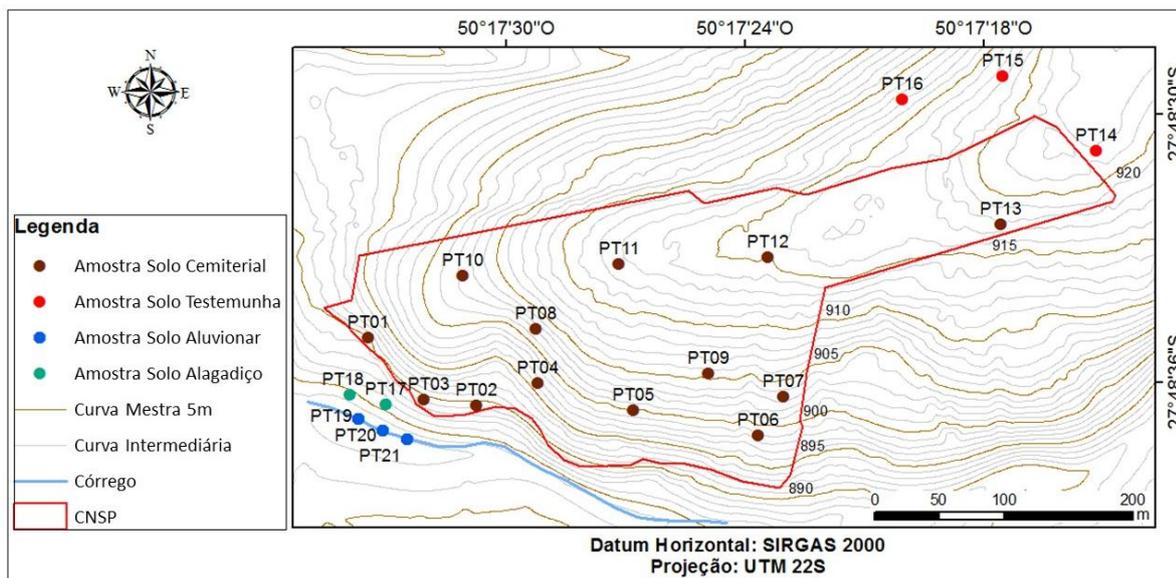
3 METODOLOGIA

Este trabalho foi estruturado em quatro etapas: a) Revisão bibliográfica, definição dos metais de interesse e determinação da área de estudo; b) Coleta das amostras de solos nas áreas dos cemitérios e de amostras testemunha; c) Análise físico-química das amostras dos solos testemunha e de metais pesados de todas as amostras e d) Discussão dos resultados.

3.1 PROCEDIMENTOS DE COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLOS

Para a amostragem dos solos procurou-se representar a extensão total dos cemitérios em estudo, obedecendo a direção do fluxo hidrostático, o qual em condições normais acompanha a topografia da superfície do terreno. No CNSP foram coletadas 13 amostras na área interna, 3 amostras de solo testemunha, 2 amostras em área alagadiça, entre a área do cemitério e córrego (sem identificação) localizado a Sul/Sudoeste do cemitério, e 3 amostras de solo aluvionar, na margem direita do córrego (Figura 4).

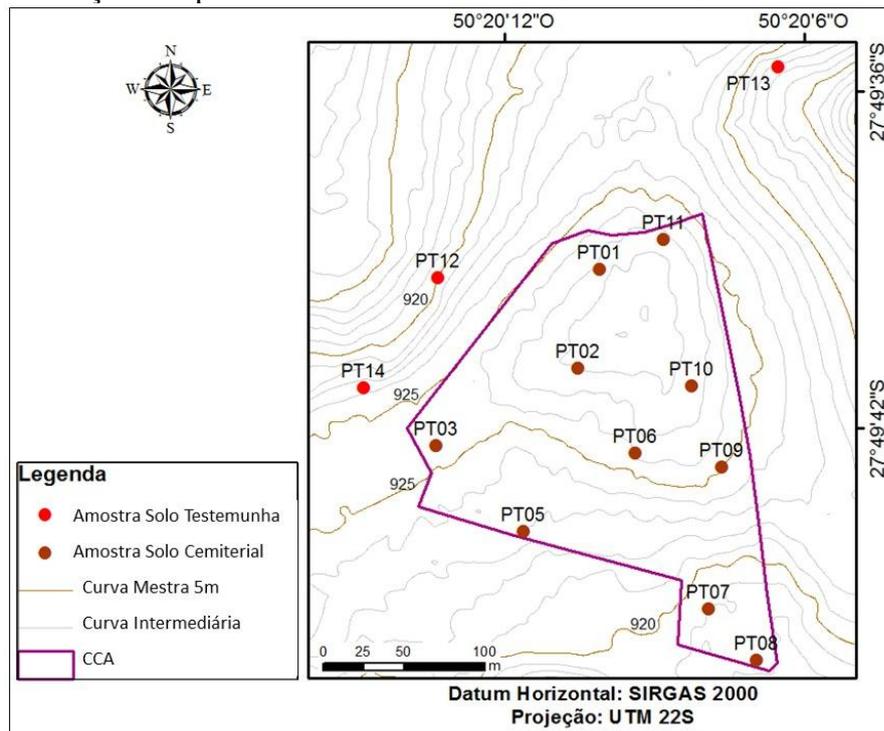
Figura 4 - Localização dos pontos de coleta de solo no Cemitério Nossa Senhora da Penha e entorno.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Com relação ao CCA foram coletadas 10 amostras na área interna do cemitério e 3 amostras de solo testemunha (Figura 5). As amostras testemunha de ambos os cemitérios foram definidas em locais próximos aos cemitérios, evitando-se a influência dos referidos empreendimentos nas características físico-químicas das amostras.

Figura 5 - Localização dos pontos de coleta de solo no Cemitério Cruz das Almas e entorno.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

A amostragem de solo foi realizada no período entre 22 de maio de 2017 e 04 de agosto de 2017. As amostras foram coletadas a uma profundidade entre 160 e 180 cm utilizando trados dos tipos holandês e rosca, de acordo com a Norma Técnica (NBR) 15.492, que aborda métodos e questões relacionadas com a perfuração para finalidades ambientais (ABNT, 2007). Em casos em que o substrato rochoso ficava a menos de 160 cm do solo, as amostras foram coletadas o mais próximo possível do substrato, conforme profundidades apresentadas no Apêndice A.

As amostras foram acondicionadas em embalagens devidamente rotuladas e identificadas, e encaminhadas para laboratório, onde foram secas em estufa à uma temperatura de 65°C por no mínimo 24 horas, destorroadas e peneiradas, em peneira de aço inox de 0,212 mm/μm (65 mesh) de malha, e novamente acondicionadas em sacos plásticos rotulados.

3.2 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO

Objetivando caracterizar o solo em estudo, foram realizadas análises físico-químicas das amostras dos solos testemunha de ambos os cemitérios, sendo três amostras do CNSP e três do CCA, com uma repetição por amostra. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri, em Chapecó-SC, credenciado pela Rede Oficial de Laboratório de Análise de Solos (ROLAS).

A análise física do solo consistiu-se da quantificação Granulométrica, sendo utilizadas as metodologias de densimetria para determinação da fração argila e gravimetria para determinação da fração areia; a fração silte foi determinada por cálculo matemático. As metodologias seguiram as orientações descritas em Embrapa (1997) e Klein (2008).

Na análise química foram determinados os seguintes elementos: matéria orgânica (MO), argila, potencial hidrogeniônico em água (pH H₂O), fósforo (P) disponível (Mehlich), potássio (K) trocável (Mehlich) e, alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis. As metodologias utilizadas são apresentadas na Tabela 1, e seguiram a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995) (padrão da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo). Os parâmetros acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions (CTC), Al (valor m) e % de Saturação na CTC a pH7.0 (Bases, K, Ca, Mg) foram obtidos por cálculo matemático.

Tabela 1 - Metodologias utilizadas para a determinação dos parâmetros químicos.

Parâmetros	Metodologias
Argila	Densimetria
pH H ₂ O	Potenciometria
P disponível (Mehlich)	Colorimetria
K trocável (Mehlich)	Fotômetro de chama
Matéria orgânica	Espectroscopia
Al, Ca e Mg trocáveis	Espectrofotometria de Absorção Atômica

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS METAIS PESADOS NO SOLO

As determinações dos metais pesados foram realizadas no Laboratório de Rotina para Análise de Água e Resíduos – LANAR, do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Os processos de digestão e de determinação das concentrações totais de metais nas amostras, seguiram os métodos descritos pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) no *Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods* (1996). Foram determinados os teores de cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) em 21 amostras do CNSP e em 13 amostras do CCA, totalizando 34 amostras.

A digestão das amostras seguiu o método 3050 B (USEPA, 1996), utilizando reagentes com padrão analítico, da marca Merck. A digestão ácida das amostras foi realizada com ácido nítrico (HNO₃), ácido clorídrico (HCl) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), para Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua (AR-FC EAA).

Para o processo de digestão das amostras de solo, inicialmente foi transferida 1 grama de amostra para um erlenmeyer, adicionado-se 10 ml de HNO₃ (concentrado). As amostras

foram aquecidas em chapa até ± 95 °C, mantendo-se em refluxo por 15 minutos. Após essa etapa as amostras foram retiradas da chapa aquecedora para resfriarem. Em seguida, adicionados 5 ml de HNO₃, aquecendo novamente as amostras a ± 95 °C e mantidas em refluxo por mais 15 minutos (para as amostras que geraram fumos castanhos adicionou-se mais 5 ml de HNO₃, a fim de oxidar totalmente a matéria orgânica contida na amostra). Após essa etapa as amostras foram mantidas em aquecimento a ± 95 °C durante 2 horas, em seguida retiradas da chapa e arrefecidas novamente. Em seguida foram adicionados 2 ml de água ultrapura (18,3 MΩ/cm) e 3 ml de H₂O₂ (concentrado) e as amostras foram novamente aquecidas (para as amostras em que a eferescência de H₂O₂ não sessou, adicionou-se uma alíquota extra de 1 ml ou 2 ml, até que a aparência da amostra se apresentou inalterada). Em seguida, novamente as amostras foram aquecidas a $\pm 95,0$ °C e mantidas em refluxo por mais 2 horas. Por fim foram adicionados 10 ml de HCl (concentrado) às amostras e as mesmas foram mantidas em refluxo por 15 minutos. As alíquotas foram resfriadas, filtradas (usando sistema de filtração a vácuo com funil de *buchner* com placa porosa sinterizada n° 2 (40 a 100µm)) e o volume completado para 100 ml, e armazenadas em frascos âmbar (100 ml), de modo a evitar possíveis alterações devido a incidência de luz.

A determinação dos metais foi realizada pelo método da chama direta de ar/acetileno, por meio de Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua (AR-FC EAA), cujo equipamento utilizado foi o Espectrofotômetro de Absorção Atômica de Fonte Contínua de Alta Resolução, marca Analytik Jena AG, modelo contraAA 700.

Para calibração do equipamento foram preparadas soluções padrões dos metais de interesse, conforme as curvas de calibração apropriadas, preparadas a partir de soluções estoque de referência (Tabela 2). Os reagentes utilizados para preparo das soluções padrões, bem como o comprimento de onda, tamanho de feixe de luz e o limite mínimo de detecção (do aparelho) utilizados para a determinação dos metais estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Informações utilizadas para preparação das soluções padrões e determinação dos metais, por Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua.

Elemento	Reagente	Marca	Limite Mínimo de detecção (nm)	Comprimento de Onda (nm)	Largura da fenda (nm)
Cádmio	Cádmio 1000 mg/L	Fluka®	0,0004	228,0004	0,5
Chumbo	Chumbo 1000 mg/L	SpecSol®	0,005	217,005	1,0
Cobre	Cobre 1000 mg/L	SpecSol®	0,001	324,001	0,5
Cromo	Cromo 1000 mg/L	SpecSol®	0,005	357,005	0,2
Níquel	Níquel 1000 mg/L	SpecSol®	0,012	232,012	0,2
Zinco	Zinco 1000 mg/L	SpecSol®	0,001	213,001	1,0

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

As concentrações dos teores totais dos metais detectados nas amostras foram comparadas com os Valores de Prevenção e Intervenção propostos pelas Resoluções CONAMA n^{os} 420/2009 e 460/2013, as quais “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”.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

As análises foram realizadas em *softwares* disponíveis no Laboratório de Avaliação de Impacto Ambiental, na Universidade do Estado de Santa Catarina. Foi realizado tratamento estatístico dos dados, empregando-se o *software* Sisvar versão 5.6 e para a espacialização dos dados utilizou-se o *software* ArcGis versão 10.1.

Inicialmente, foi realizado tratamento estatístico dos dados com o objetivo de analisar o comportamento dos mesmos, por meio da estatística descritiva. No sentido de verificar se houve diferença nos valores médios entre as características dos solos testemunha e se houve diferença nos valores médios entre as concentrações de metais nas amostras de solo de cada um dos cemitérios, aplicou-se o teste *t* de *Student* com nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

A profundidade do solo amostrado variou entre 50 a 180 cm no CNSP e 95 a 180 cm no CCA (Apêndice A). A pouca profundidade atingida em alguns pontos amostrais ocorreu devido à proximidade do substrato rochoso, sendo que nesses locais os jazigos foram construídos em meio ao material rochoso de origem.

A espessura da zona não saturada e o tipo de material geológico são fatores determinantes para a filtragem dos líquidos resultantes da decomposição de cadáveres (SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008), visto que essa zona funciona como um filtro e um adsorvente (UÇISIK & RUSHBROOK, 1998) porém, não existem valores balizadores para essa característica. A Resolução CONAMA n^o 368/2006 estabelece apenas que o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos 150 cm acima do mais alto nível do aquífero freático, medido no fim da estação das cheias (BRASIL, 2006). Em Santa Catarina,

visto a diversidade geológica, a Fundação do Meio Ambiente (FATMA), por meio da Instrução Normativa n° 52, de 2012, veda a instalação de cemitérios horizontais sobre áreas de recarga de águas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), cuja geologia é formada predominantemente por arenitos correlacionáveis à Formação Botucatu, além de exigir estudo da geologia estrutural acompanhado de mapa de lineamentos tectônicos para cemitérios localizados sobre o Aquífero Basáltico Fraturado Serra Geral (FATMA, 2012).

A textura das amostras de solo testemunha, supostamente sem influência antrópica, oriundas de áreas lindeiras dos cemitérios, está descrita na Tabela 3 (Apêndice B, Tabela B1). Os solos possuem textura adequada para a atividade de sepultamentos, que de acordo com Silva (1995, apud SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008) é na faixa de 20 a 40 % de argila, para que os processos de decomposição aeróbia e as condições de drenagem do necrochorume sejam favorecidos. O ponto CCA 13 é o único que possui percentual de argila abaixo do adequado, apenas 15,40 %.

Os solos testemunha dos cemitérios concentram, em média, percentuais de argila e areia semelhantes, sendo que nos solos testemunha do CCA a textura predominante é areia (argila 29,40 %; areia 47,32 %), enquanto nos solos testemunha do CNSP a textura predominante é argila (argila 38,07 %; areia 34,13 %) (Tabela 3).

Tabela 3 - Granulometria das amostras de solo testemunha dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas, em média.

Pontos	Argila	Areia	Silte
	------(%)-----		
CNSP14	41,40	33,40	25,20
CNSP15	40,40	28,75	30,85
CNSP16	32,40	40,25	27,35
Média	38,07	34,13	27,80
CCA12	41,40	30,70	27,90
CCA13	15,40	66,85	17,75
CCA14	31,40	44,40	24,20
Média	29,40	47,32	23,28

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Solos constituídos de uma mistura argila-areia de baixa porosidade e uma textura de grão pequeno a fino, maximizam a retenção de produtos de degradação (UÇISIK & RUSHBROOK, 1998), devido a maior área superficial específica, e consequentemente maior CTC. De acordo com Instituto da Potassa e Fosfato (PPI) (1998), a CTC depende da quantidade e do tipo de argila e da matéria orgânica presente, a qual quanto mais presente em solos menos intemperizados, apresenta maiores valores de CTC.

As amostras dos solos do CNSP e do CCA apresentaram concentrações de matéria orgânica entre 14 g/dm³ (CNSP14) e 27 g/dm³ (CNSP15 e CCA12) (Tabela 4) (Apêndice B; Tabela B2). Solos com valores acima de 60 g/dm³ indicam acúmulo de matéria orgânica por condições de má drenagem ou acidez elevada, geralmente (CÓ JR., 2011). PPI (1998) aponta que em regiões mais frias, onde a decomposição de matéria orgânica é mais lenta, os níveis da mesma podem ser muito altos.

Tabela 4 - Características químicas das amostras de solo testemunha dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas, em média.

Pontos	pH-Água (1:1)	MO (g/dm ³)	CTC pH7.0 (cmolc/dm ³)	Saturação por Al ³⁺ na CTC (%)	Al/ Soma de Bases
CNSP14	4,05	14,00	12,55	86,83	4,60 / 6,55
CNSP15	4,20	27,00	22,73	90,16	4,40 / 4,57
CNSP16	4,35	17,00	16,20	66,74	2,40 / 7,39
Média	4,20	19,33	17,16	81,24	3,80 / 6,24
CCA12	4,10	27,00	16,73	75,81	3,90 / 7,51
CCA13	6,10	21,50	12,27	0,00	0,00 / 83,70
CCA14	4,25	23,00	13,73	87,64	3,7 / 5,45
Média	4,82	23,83	14,24	54,48	2,53 / 32,22

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

As amostras testemunha de solo do CNSP apresentaram CTC entre 12,55 e 22,73 cmolc/dm³, enquanto os solos testemunha do CCA no intervalo de 12,27 e 16,73 cmolc/dm³, indicando que os colóides predominantes em ambos os cemitérios são a caulinita (5 a 15 cmolc/dm³) e ilita (10 a 50 cmolc/dm³) (RONQUIM, 2010).

De acordo com Becegato (2005), solos argilosos que possuem minerais de argila com grade 2:1 (Montmorilonita) têm CTC superior aos solos de textura areno/argilosa. Ao mesmo tempo, altos teores de areia, implicam em menor retenção de água e predisposição para lixiviação de cátions (BECEGATO, 2005). Uma baixa CTC indica que o solo possui pequena capacidade para reter cátions havendo, como consequência, maiores perdas por lixiviação (RONQUIM, 2010).

Outra característica muito importante no que tange a capacidade de adsorção de metais no solo é a saturação por alumínio (Al³⁺) na CTC, indicando a parcela da mesma ocupada por Al³⁺. A saturação por Al³⁺ foi elevada para os solos testemunha de ambos os cemitérios, com valores entre 66,74 % (CNSP16) e 90,16 % (CNSP15), com exceção do ponto CCA13 que apresentou 0,0 % de saturação por Al³⁺. A presença do alumínio na CTC indica que este metal está adsorvido por cargas negativas (PPI, 1998; ZAMBROSI et al., 2007), impedindo que outros cátions, como Cr, Cd, Pb e Cu, possam ficar adsorvidos nestas cargas.

O pH apresentou valores entre 4,0 e 5,0 para ambos os solos analisados, com exceção do ponto CCA13 (pH:6,10). O CNSP apresentou pH médio de 4,20, enquanto o CCA apresentou pH médio de 4,82. O pH exerce forte influência na dinâmica dos íons metálicos catiônicos, sendo estes mais móveis em condições de pH baixo (RIEUWERTS et al., 2006). Fiedler et al. (2012) obteve valores de pH em torno de 4,65 para solos acima e abaixo dos caixões, sem diferença entre as posições.

Conforme He et al. (2006), a disponibilidade e a mobilidade dos metais pesados são controladas por processos químicos e bioquímicos, tais como precipitação-dissolução, adsorção-dessorção, complexação-dissociação e oxidação-redução. Entretanto, deve-se ressaltar que estes processos são afetados pelo pH e por processos biológicos, além da própria toxicidade química do elemento e o ambiente (OLIVEIRA, 2012).

Apesar dos teores de argila se apresentarem dentro do recomendável, conforme Silva (1995, apud SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008) para ambos os cemitérios, as características químicas como CTC, saturação por Al^{3+} na CTC e pH indicam que os solos de ambos os cemitérios possuem predisposição para lixiviação de íons catiônicos e de possíveis contaminantes, apresentando-se como um risco para as águas subterrâneas. A Tabela 5 apresenta comparação entre as características físico-químicas dos solos analisados, sendo possível observar que não há diferença estatisticamente significativa entre os solos dos cemitérios para os parâmetros analisados.

Tabela 5 - Comparação entre as concentrações médias obtidas, por característica, ao nível de significância de 5%.

Cemitérios	Argila	Areia	Silte	pH- Água	MO	CTC	Saturação por Al^{3+} na CTC (%)
CNSP	38,07a	34,13a	27,80a	4,20a	19,33a	17,16a	81,24a
CCA	29,40a	47,32a	23,28a	4,82a	23,83a	14,24a	54,48a

Obs.: Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste *t* de Student.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

4.2 METAIS PESADOS NO SOLO

4.2.1 Cemitério Nossa Senhora da Penha (CNSP)

As amostras de solo testemunha (CNSP14, CNSP15 e CNSP16) apresentaram concentrações inferiores ao limite mínimo de detecção do aparelho para os metais Cu e Ni. Os solos testemunha apresentaram concentrações médias de 0,7715; 0,1150; 0,2744 e 0,0678 mg/kg para os elementos Cr, Pb, Zn e Cd, respectivamente. Na Tabela 6 são apresentadas as

concentrações totais dos metais referentes a 18 amostras de solo do CNSP e 3 amostras testemunha.

Tabela 6 - Concentrações totais (mg/kg) de cobre, cromo, chumbo, níquel, zinco e cádmio nos solos do Cemitério Nossa Senhora da Penha.

Pontos	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Chumbo (Pb)	Níquel (Ni)	Zinco (Zn)	Cádmio (Cd)
CNSP01	0,2122	0,1087	0,1842	0,2003	1,6110	0,0650
CNSP02	<LD	0,8684	0,0982	<LD	0,5663	0,0687
CNSP03	0,0934	0,4792	0,0301	0,6127	2,5370	0,0648
CNSP04	<LD	1,4690	0,0651	0,1874	0,8079	0,0649
CNSP05	0,3844	0,6456	0,1943	0,5035	2,1660	0,0713
CNSP06	1,3110	0,5348	<LD	0,4222	2,6390	0,0698
CNSP07	0,2980	1,1950	0,1032	0,3107	1,7070	0,0674
CNSP08	<LD	0,8727	<LD	<LD	0,3858	0,0665
CNSP09	0,1036	<LD	0,0430	0,1816	0,9966	0,0664
CNSP10	<LD	0,3241	0,4761	<LD	0,0767	0,0689
CNSP11	<LD	0,3956	0,1804	0,0196	0,9154	0,0650
CNSP12	0,4116	0,4656	0,0500	0,2298	1,7040	0,0685
CNSP13	<LD	1,2880	0,2495	N.D.	0,5925	0,0661
CNSP14 ⁽¹⁾	<LD	0,9462	0,1751	<LD	0,3811	0,0674
CNSP15 ⁽¹⁾	<LD	0,6910	0,0894	<LD	0,2846	0,0669
CNSP16 ⁽¹⁾	<LD	0,6772	0,0806	<LD	0,1576	0,0691
CNSP17 ⁽²⁾	<LD	0,1413	0,1037	<LD	0,4679	0,0672
CNSP18 ⁽²⁾	<LD	1,0020	0,1272	<LD	0,7893	0,0667
CNSP19 ⁽³⁾	<LD	<LD	<LD	<LD	1,2110	0,0680
CNSP20 ⁽³⁾	<LD	0,8692	0,1302	<LD	0,5951	0,0658
CNSP21 ⁽³⁾	<LD	1,0830	<LD	<LD	1,8740	0,0655

⁽¹⁾ Solo Testemunha; ⁽²⁾ Solo Alagadiço; ⁽³⁾ Solo Aluvionar.

<LD = Concentração inferior ao limite mínimo de detecção do aparelho.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

No que tange as amostras de solo do CNSP, a Tabela 7 apresenta os parâmetros estatísticos demonstrando o comportamento dos dados.

Nas amostras de solo, o Cr apresentou média de 0,7339 mg/kg um pouco abaixo da média das amostras testemunha (0,7715 mg/kg), porém, apresentou valor máximo quase o dobro do valor médio dos pontos testemunha. Os elementos Pb, Zn e Cd apresentaram médias maiores que as médias das amostras de solo testemunha.

Tabela 7 - Resultados estatísticos das amostras de solo do Cemitério Nossa Senhora da Penha.

Parâmetros estatísticos	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd
	-----mg/kg-----					
Média	0,40	0,73	0,15	0,30	1,20	0,07
Mediana	0,29	0,76	0,12	0,23	0,96	0,07
Mínimo	0,09	0,11	0,03	0,02	0,08	0,06
Máximo	1,31	1,47	0,48	0,61	2,64	0,07
Desvio Padrão	0,42	0,41	0,11	0,18	0,76	0,01
Coefficiente de Variação (%)	104,4	55,83	78,88	62,47	63,68	2,77
Assimetria	2,16	0,14	1,98	0,44	0,53	0,73
Curtose	5,13	-0,95	5,01	-0,38	-0,81	-0,06

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

As concentrações de Cu, Cr, Pb, Zn e Ni apresentaram elevada variabilidade, cujo coeficiente de variação (CV) está entre 55% para o Cr e 104% para o Cu (Tabela 7). Essa variabilidade pode ser atribuída a geologia da área, influenciada pelo Domo de Lages, cujos estratos sedimentares foram mesclados pelas formações Botucatu/Pirambóia, Teresina e Rio do Rastro, interferindo nas composições texturais dos solos (BECEGATO, 2017), e por consequência, na capacidade do solo em reter metais. Ressalta-se que as maiores concentrações de Cu, Ni, Zn e Cd foram detectadas nas amostras localizadas nas menores cotas topográficas da área, fato que pode estar associado a lixiviação de metais pesados e acúmulo dos mesmos, uma vez que a topografia da superfície do terreno, em condições normais, acompanha a direção do fluxo hidrostático.

Enquadrando os resultados das concentrações dos metais Cu, Cr, Pb, Ni, Zn e Cd no escopo do ordenamento jurídico ambiental, balizado pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009), todos os valores obtidos estão abaixo dos Valores de Prevenção e de Intervenção para os solos da referida Resolução.

Rocha (2016) e Santos (2011) também avaliaram os teores de metais pesados em solos de cemitérios e encontraram valores abaixo dos valores de prevenção propostos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009). Spongberg & Becks (2000), em um dos estudos pioneiros sobre contaminação do solo pela atividade cemiterial, encontraram valores semelhantes aos encontrados nesse estudo como: Cu 0,27 mg/kg; Zn 2,64 mg/kg; Pb 0,41 mg/kg e Cr 0,16 mg/kg.

Souza (2015) obteve 0,11 mg/kg e 14,83 mg/kg de Cd e Ni, respectivamente, para solos do tipo Cambissolo em Santa Catarina. Porém, atividades antrópicas, como a cemiterial, na maioria dos casos realizadas de forma inadequada, acabam aportando metais pesados que ficam adsorvidos no solo ou são lixiviados para as águas subterrâneas.

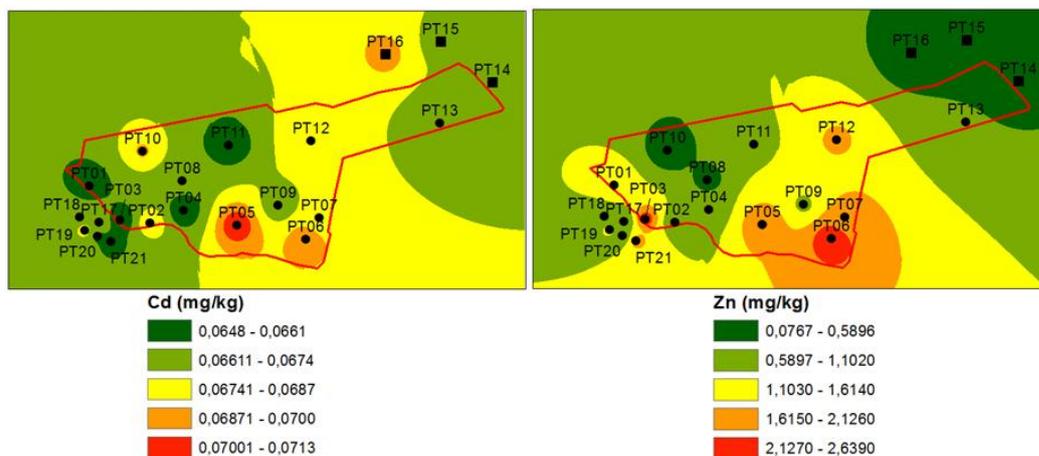
Considerando que o solo do CNSP possui teores de argila adequados a atividade cemiterial, e devido ao mesmo possuir degraus ao longo de seu terreno, o comportamento dos metais na área apresenta informações relevantes. A Figura 6 apresenta a espacialização da concentração dos metais Cd e Zn na área estudada.

O Cd é um metal pesado de origem natural, sem função biológica conhecida, porém, o mesmo já foi detectado em vários seres vivos, e em concentrações elevadas pode tornar-se tóxico (VIG et al., 2003). O valor de prevenção deste metal é de 1,3 mg/kg (BRASIL, 2009), sendo que a concentração máxima obtida foi de 0,0713 mg/kg no CNSP05.

Ao contrário do Cd, o Zn possui elevado valor de prevenção 300 mg/kg, segundo a Resolução CONAMA n° 420/2009 (BRASIL, 2009). É um metal essencial, sendo que a maior parte desse elemento está associado a dieta; no entanto a absorção excessiva pelo organismo pode levar à intoxicação (DUARTE & PASQUAL, 2000). A concentração máxima obtida foi de 2,63 mg/kg. Contudo, observa-se que todos os pontos testemunha apresentaram baixas concentrações desse elemento, enquanto a maior foi obtida em um dos pontos com menor cota topográfica, no CNSP06 (Figura 6).

A semelhança entre a espacialização das concentrações de Cd e Zn pode ser atribuída ao fato do Cd raramente ser encontrado em estado puro na natureza e sua presença no ambiente está diretamente relacionada aos minérios de zinco (ADRIANO, 1986, apud MELLIS, 2006). Nascimento et al. (2010) ressalta que Cd, Zn e Ni representam maior risco de contaminação da água subterrânea, por possuírem como característica maior mobilidade no perfil do solo, quando comparados ao Pb, Cr e Cu.

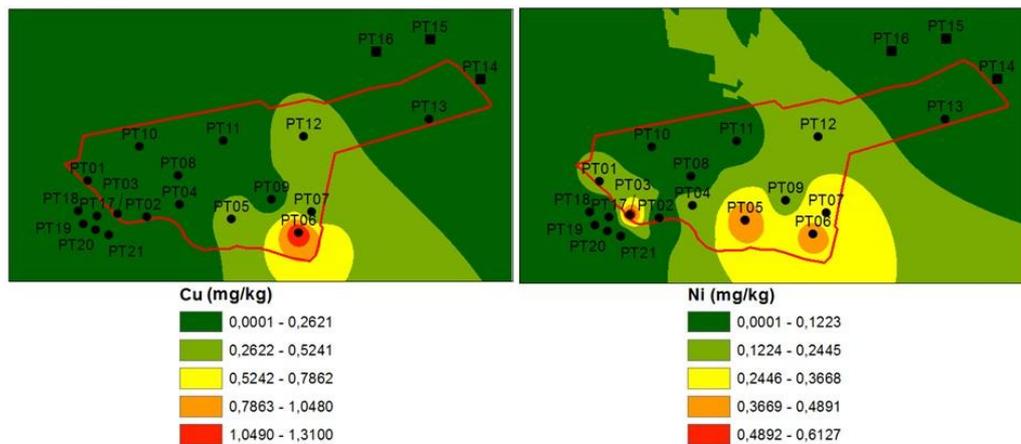
Figura 6 - Espacialização da concentração dos metais cádmio (esquerda) e zinco (direita) no solo do Cemitério Nossa Senhora da Penha.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Os teores de Cu e o Ni nos pontos testemunha ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho e ambos os elementos apresentaram valores máximos abaixo dos limites de prevenção estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 420/2009 (BRASIL, 2009): Cu = 60 mg/kg e Ni = 30 mg/kg. Apesar dos valores encontrados estarem de acordo com estabelecido na legislação, observa-se que para ambos os metais, os pontos com maiores concentrações localizam-se em cotas topográficas inferiores (Figura 7).

Figura 7 - Espacialização dos metais cobre (esquerda) e níquel (direita) no Cemitério Nossa Senhora da Penha.



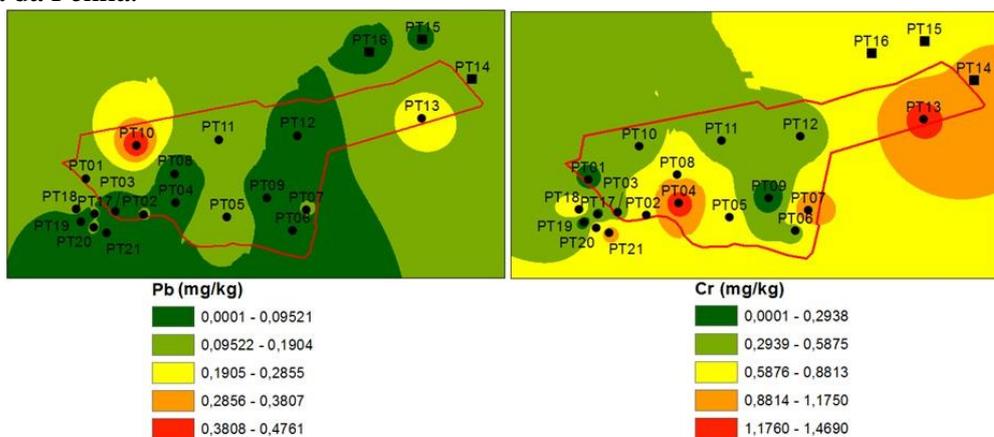
Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O Cu é um dos principais metais presentes no corpo humano (AZEVEDO et al., 2003), considerado essencial, enquanto o Ni é um elemento que colabora com o desenvolvimento dos seres vivos, contudo, sua ausência não é um fator limitante (MINARI, 2016). Rocha (2016), ao estudar a contaminação de solo pela atividade de cemitérios encontrou teores máximos de 3,15 mg/kg de Cu, corroborando com os valores encontrados nesta pesquisa.

Os elementos Pb e Cr apresentaram, igualmente aos outros elementos, valores máximos abaixo dos limites de prevenção estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 (Cr = 75 mg/kg; Pb = 72 mg/kg). As amostras apresentaram concentrações máximas de 1,47 mg/kg (CNSP04) e 0,48 mg/kg (CNSP10) de Cr e Pb, respectivamente, cujos valores estão abaixo dos limites de prevenção estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 420/2009 (BRASIL, 2009). De acordo com Nascimento et al. (2010), os estudos sobre mobilidade de metais pesados no solo têm demonstrado que Pb e Cr apresentam baixa mobilidade, acumulando-se na superfície de solos contaminados, explicando o fato de ambos metais não apresentarem suas concentrações mais elevadas apenas nos pontos localizados em áreas de menores cotas topográficas (Figura 8).

As amostras apresentaram concentrações de Cr mais elevadas quando comparadas as do Pb, inclusive em pontos localizados em menores cotas topográficas. No entanto, observa-se na Figura 8, que os pontos testemunha também apresentaram elevadas concentrações desse metal, podendo-se inferir que as amostras de solo cemiterial não possuem contaminação por esse elemento. As amostras de solo apresentaram concentrações de Pb abaixo de 0,19 mg/kg, com exceção dos pontos CNSP13 e CNSP10 (Figura 8), não apresentando nenhum teor elevado nos pontos localizados nas menores cotas topográficas.

Figura 8 - Espacialização dos metais chumbo (esquerda) e cromo (direita) no Cemitério Nossa Senhora da Penha.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

4.2.2 Cemitério Cruz das Almas (CCA)

As concentrações totais dos metais cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), níquel (Ni), zinco (Zn) e cádmio (Cd) em 10 amostras de solo do CCA e 3 amostras de solo testemunha são apresentadas na Tabela 8.

As amostras apresentaram concentrações de Cu inferiores ao limite mínimo de detecção do aparelho nas três amostras de solo testemunha (CCA12, CCA13 e CCA14), enquanto que para os metais Cr, Pb e Ni as concentrações foram inferiores ao limite mínimo de detecção do aparelho em apenas uma das amostras testemunha. As concentrações médias obtidas nas amostras testemunha para os metais em foco foram: Cr 0,0618; Pb 0,2948; Ni: 0,0105; Zn 0,8587 e Cd: 0,0681 mg/kg.

Tabela 8 - Concentrações totais (mg/kg) de cobre, cromo, chumbo, níquel, zinco e cádmio no Cemitério Cruz da Almas.

Pontos	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Chumbo (Pb)	Níquel (Ni)	Zinco (Zn)	Cádmio (Cd)
CCA01	<LD	0,6128	<LD	0,0485	0,5387	0,0684
CCA02	<LD	0,4936	0,0109	0,0050	0,9035	0,0676
CCA03	0,4314	0,0852	<LD	0,9156	1,8920	0,0687
CCA05	0,6759	4,8950	0,1760	0,1597	1,7440	0,0742
CCA06	<LD	0,9758	0,0877	<LD	0,3501	0,0667
CCA07	<LD	0,8848	0,1802	<LD	2,0070	0,0682
CCA08	0,7989	0,7989	0,0550	0,2815	1,4720	0,0678
CCA09	<LD	0,5482	0,0248	<LD	0,1379	0,0690
CCA10	<LD	0,4979	0,0768	<LD	0,6960	0,0684
CCA11	<LD	0,3973	0,1437	0,0292	0,5123	0,0648
CCA12 ⁽¹⁾	<LD	0,0146	0,2068	0,0199	0,9668	0,0649
CCA13 ⁽¹⁾	<LD	<LD	0,3827	0,0010	1,2930	0,0711
CCA14 ⁽¹⁾	<LD	0,1709	<LD	<LD	0,3163	0,0683

⁽¹⁾ Solo Testemunha.

<LD = Concentração inferior ao limite mínimo de detecção do aparelho.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

A Tabela 9 apresenta o comportamento estatístico das amostras de solo cemiterial. Nas amostras de solo do cemitério o Pb apresentou concentração média abaixo da média das amostras testemunha (0,2948 mg/kg), que pode ser do próprio cemitério, que está localizado sobre um divisor de águas. As amostras apresentaram concentrações médias de Cr, Ni, Zn e Cd maiores que as médias das amostras de solo testemunha.

Tabela 9 - Resultados estatísticos das amostras de solo do Cemitério Cruz da Almas.

Parâmetros estatísticos	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd
	-----mg/kg-----					
Média	0,64	1,02	0,09	0,24	1,03	0,07
Mediana	0,68	0,58	0,08	0,10	0,80	0,07
Mínimo	0,43	0,09	0,01	0,01	0,14	0,06
Máximo	0,79	4,89	0,18	0,92	2,01	0,07
Desvio Padrão	0,19	1,38	0,07	0,35	0,69	0,01
Coefficiente de Variação (%)	29,44	136,01	69,56	144,50	67,39	3,48
Assimetria	-0,93	2,96	0,21	2,01	0,31	1,51
Curtose	N.E.	9,09	-1,60	4,16	-1,69	4,64

N.E.: Não Existente.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Conforme a Tabela 9, as concentrações de Cu, Cr, Pb, Zn e Ni apresentaram elevada variabilidade do CV, entre 29% para o Cu e 144% para o Ni. Quando comparados o CV das concentrações dos metais em foco do CCA, com as obtidas no CNSP, apenas o Zn e o Cd

apresentaram CV semelhantes em ambos os cemitérios. A alta variabilidade no CV pode ser indicativo de falta de uniformidade na distribuição dos metais na área, decorrente dos sepultamentos serem mais recentes na porção sul e sudoeste da área.

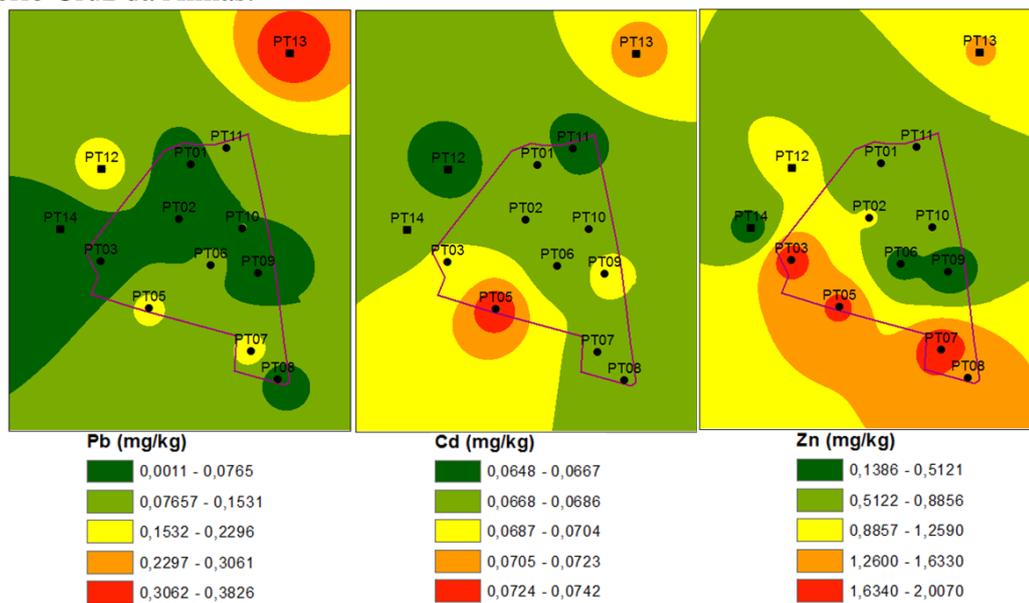
Quando comparados os teores totais de Cu, Cr, Pb, Ni, Zn e Cd das amostras de solo do CCA com os dos Valores de Prevenção e de Intervenção para os solos constantes no ordenamento jurídico ambiental, balizado pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009), todos os teores se encontram abaixo dos valores estabelecidos.

Considerando que o solo do CCA possui teores de argila adequados a atividade cemiterial, bem como o fato do mesmo estar localizado sobre um divisor de águas, o comportamento dos metais na área apresenta informações relevantes. A Figura 9 demonstra a espacialização da concentração dos metais Pb, Cd e Zn no solo.

De forma semelhante ao observado no CNSP, para as concentrações de Cd e Zn, no CCA, esses mesmos metais apresentam uma distribuição espacial semelhante, além de serem os únicos metais a apresentarem CV semelhante para os dois cemitérios, reforçando a afirmação de que a presença de Cd no solo está diretamente relacionado aos minérios de zinco (ADRIANO, 1986, apud MELLIS, 2006). Apesar das concentrações obtidas estarem abaixo dos Valores de Prevenção (BRASIL, 2009), o Zn e Cd apresentaram maiores concentrações em cotas topográficas mais baixas, alertando para possível lixiviação de tais elementos.

O CCA13 (Figura 9), ponto testemunha, apresentou teores relativamente elevados de Cd e Zn, e a concentração mais elevada de Pb, que pode estar relacionada a outra fonte de contaminação, ou mesmo do próprio cemitério, devido sua localização estar sobre um divisor de água, permitindo que, na ocorrência de lixiviação de contaminantes, os mesmos abranjam todo o entorno do cemitério.

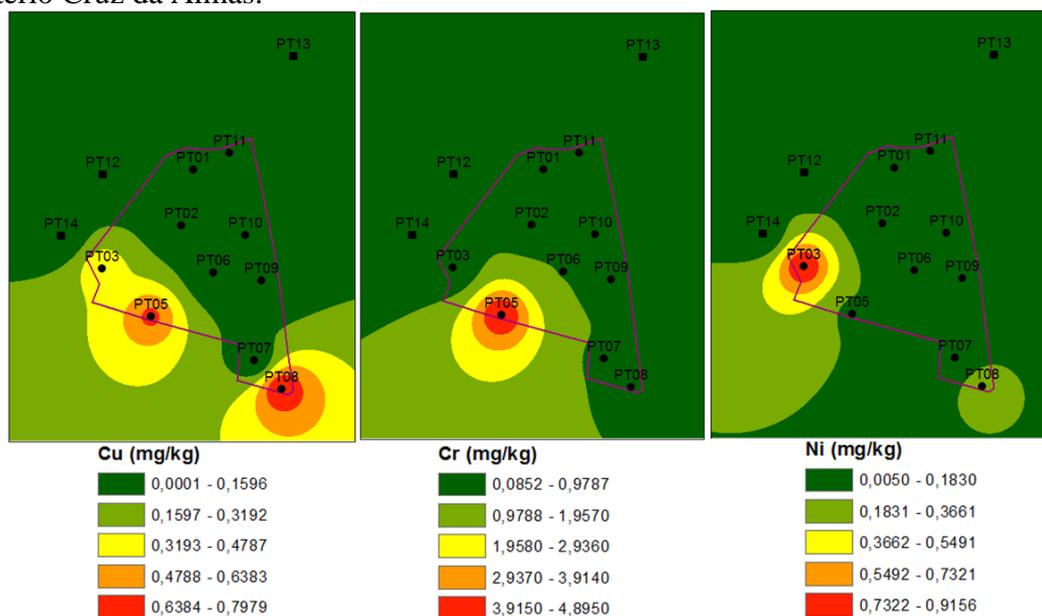
Figura 9 - Espacialização dos metais chumbo (esquerda), cádmio (meio) e zinco (direita) no Cemitério Cruz da Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Os metais Cu, Cr e Ni apresentaram comportamento semelhante no que tange a sua espacialização (Figura 10). Todos apresentaram concentrações baixas nos pontos testemunha e elevadas nos pontos com menor cota topográfica, da mesma forma que para os metais Cd e Zn, reforçando a possibilidade de lixiviação e acúmulo de contaminantes na área. Outro fator que pode ter influenciado é o tempo de sepultamento, sendo a área de menor cota topográfica é a área com sepultamentos mais recentes.

Figura 10 - Espacialização dos metais cobre (esquerda), cromo (meio) e níquel (direita) no Cemitério Cruz da Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Comparando-se as concentrações médias das amostras de solo cemiterial de cada um dos metais entre os dois cemitérios, observa-se que as médias possuem diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% pelo teste t para todos dos metais (Tabela 10).

Tabela 10 - Comparação entre as concentrações médias obtidas de cada um dos metais estudados, por cemitério, a um nível de significância de 5%.

Tipo de amostra	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd
CNSP	0,4020b	0,7339b	0,1454a	0,2964a	1,2024a	0,0670b
CCA	0,6354a	1,0190a	0,0944b	0,2399b	1,0254b	0,0684a

Obs.: Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste t de Student.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos referentes a contaminação do solo, análogos a esse, são de grande importância na avaliação de impacto ambiental decorrente de atividades potencialmente poluidoras, pois além de mostrar se há de fato contaminação do solo, indicam se possivelmente está havendo potencial lixiviação de poluentes para camadas subjacentes do solo e/ou para as águas subterrâneas.

As características físico-químicas dos solos dão alusão de como ocorre a dinâmica de possíveis poluentes no mesmo. Nos cemitérios estudados, no que se refere a granulometria, ambos os cemitérios apresentam teores de argila tecnicamente satisfatórios para a atividade cemiterial; contudo, devido aos elevados teores de areia (muito semelhantes aos de argila), que podem estar relacionados aos arenitos da Formação Botucatu não é possível concluir que os cemitérios são aptos para tal atividade.

Os valores de CTC de ambos os cemitérios foram reduzidos, face grande parte da mesma estar ocupada por íons catiônicos de Al^{3+} , impedindo que outros cátions fiquem adsorvidos. Além da CTC não apresentar condições favoráveis à adsorção de cátions, os solos são predominantemente ácidos, o que favorece a mobilidade de íons catiônicos metálicos, apresentado risco de contaminação da água subterrânea pelos mesmos.

As concentrações dos metais analisados encontram-se abaixo dos valores de Prevenção e de Intervenção para solos, conforme a Resolução CONAMA nº 420/2009. No entanto, a espacialização das concentrações dos metais nas áreas estudadas permite observar que os pontos localizados em menores cotas topográficas apresentam as maiores concentrações, para ambos

os cemitérios, indicando que pode estar havendo acúmulo dos metais pesquisados nas áreas e possível contaminação das águas subterrâneas devido ao processo de lixiviação.

No CCA, as maiores concentrações de metais também estão localizadas nas áreas de sepultamentos mais recentes, indicando que além do acúmulo de contaminantes nas áreas de menor cota topográfica, pode-se inferir que na área de sepultamentos mais antiga os contaminantes já foram lixiviados para as águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.492**: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza on line**, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.

ALMEIDA, J. B. et al. Salinidade de águas subterrâneas na bacia do Rio da Prata em São Luis/MA. XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVIII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, In: **Anais...** Bonito, 2012.

AMUNO, S. A. Potential ecological risk of heavy metal distribution in cemetery soils. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 224, n. 2, p. 1435, 2013.

AZEVEDO, S. M. de. et al. Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 3, p. 618-624, 2003.

BARROS, Y. J. et al. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, 2008.

BECEGATO, V.A. **Aplicação de técnicas geofísicas e geoquímicas em duas glebas agrícolas no noroeste do estado do Paraná e suas relações com fertilizantes fosfatados**. 2005. 198 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BECEGATO, V. R. **Qualidade Ambiental da Área de Influência Direta e Indireta do Aterro Controlado Desativado de Lages-SC**. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 368, de 28 de março de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. - In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, nº 61, 29 março 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. – In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, nº 249, de 30 de dezembro de 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA Resolução nº 460, de 30 de dezembro de 2013. – In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, nº 253, de 31 de dezembro de 2013.

CAIRES, S. M. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento dos valores de referência de qualidade.** 2009. 321 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2009.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina.** 2014. Escala 1:500.000.

CÓ JR. C. **Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana-de-açúcar.** 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

DENT, B. B., KNIGHT, M. J., & IAH - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGISTS. **Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management.** Proceedings: Groundwater: Sustainable Solutions, Melbourne, p. 451-456, 1998.

DUARTE, R. P. S.; PASQUAL, A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na agricultura**, v. 15, n. 1, p. 46-58, 2000.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed., 1997. 212p.

FATMA - FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Instrução Normativa nº 52.** Versão Março 2012. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/instrucoes-normativas>>. Acesso em: 02 mai. 2016.

FERREIRA, E. R. N. C. **Química e Mineralogia de solos desenvolvidos de rochas alcalinas e ultrabásicas do Domo de Lages**. 2013. 159 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

FINEZA, A. G. et al. Impacts on the Groundwater Quality Within a Cemetery Area in Southeast Brazil. **Soils and Rocks**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 161-169, 2014.

FIEDLER, S. et al. Graveyards - Special landfills. **Science of the Total Environment**, v. 419, p. 90-97, 2012.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO RIO DE JANEIRO. **Guia para coleta seletiva de pilhas e baterias**. Rio de Janeiro, 2000, 55 p.

FLORIANI, G. K. **Teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, E Zn do solo do Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC**. 2013, 57 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

FREEZE, A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice-Hall; Englewood Cliffs, 1979. 624p.

GONÇALVES JR, A. C.; PESSOA, A. C. dos S. Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, em soja cultivada em Argissolo Vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, v. 3, n. 1-2, 2002.

HE, Z. L.; ZHANG, M. K.; CALVERT, D. V.; STOFFELLA, P. J.; YANG, X. E.; YU, S. Transport of heavy metals in surface runoff from vegetable and citrus fields in Florida, USA. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, n. 5, p.1662–1669, 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características da População e dos domicílios**. 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=420930&idtema=90&search=santa-catarina|lages|censo-demografico-2010:-resultados-da-amostra-caracteristicas-da-populacao->>>. Acesso em: 02 mai. 2016.

JONKER, C.; OLIVIER, J. Mineral contamination from cemetery soils: Case study of Zandfontein cemetery, South Africa. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 9, n. 2, p. 511-520, 2012.

KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd ed. Boca Raton, Fla.; London: CRC Press, 2000. 413 p.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

KOTTEK, M. et al. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. Meteorologische Zeitschrift, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LAGES (Município). **Lei Complementar nº 306**, de 21 de dezembro de 2007. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial de Lages – PDDT -Lages. Lages - SC, 21 dez. 2007.

MAJGIER, L., RAHMONOV, O. Selected chemical properties of Necrosols from the abandoned cemeteries Słabowo and Szymonka (Great Mazurian Lakes District). **Bulletin of Geography. Physical Geography Series**, v. 5, n. 1, p. 43-55, 2012.

MANAHAN, S. E. **Environmental Science, Technology, And Chemistry**. Environmental Chemistry. Boca Raton: Crc Press Llc, 2000. 743 p.

MATOS, B.; PACHECO, A. Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2002. **Anais eletrônicos...** Florianópolis, 2002.

MELLIS, E. V. **Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni e Zn, em solo tratado com lodo de esgoto**. 2006. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MINARI, G. D. **Acúmulo de cádmio, crômio e níquel e isolamento de micro-organismos potenciais para biorremediação em área agrícola**. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

NASCIMENTO, R. S. de M. P. do et al. Lixiviação de chumbo e zinco em solo tratado com resíduos de siderurgia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 497-504, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 776-782, 2010.

OLIVEIRA, M. D. R. **Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos em Romaria-MG**. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

OLIVEIRA, B. et al. Burial grounds' impact on groundwater and public health: an overview. **Water and Environment Journal**, v. 27, n. 1, p. 99-106, 2013.

OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Sorção de elementos traços em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 2, p. 288-301, 2014.

PACHECO, A. **Cemitério e meio ambiente**. 2000. [tema de livre docência]. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PPI - INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional da fertilidade do solo**. Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2. ed. ampliada e revisada. Piracicaba: POTAFOS. 1998. 177 p.

RAFAELINETO, S. L. et al. Modelagem hidráulica dos eventos de inundações em Lages (SC). VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, In: **Anais...** Porto Alegre, 2015.

RIEUWERTS, J. S. et al. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. **Science of the total Environment**, v. 366, n. 2, p. 864-875, 2006.

ROCHA, L. A. G. **Estudo do potencial contaminante do Cemitério Jardim, Botucatu-SP**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

RONQUIM, C.C. **Conceito de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2010. 26 p.

SANTOS, D. J. A. dos. **Determinação de metais pesados em amostras de solo de sepulturas do cemitério 'Park' e em amostras de água no lençol freático da região de Anápolis-GO**. 2011. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Estadual de Goiás. Anápolis, 2011.

SCHEIBE, L. F. **Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC**. 1986. 246 p. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

SEPA - SCOTTISH ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. Guidance on Assessing the Impacts of Cemeteries on Groundwater. Land Use Planning System. **Guidance Note**, 3ª versão, 2015.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Cubatão, v. 9, p. 26-35, 2008.

SILVA, A. S. da. Solos Urbanos. In: GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 280 p.

SILVA, D. da C. **Potencial poluidor de cemitério**. 2016. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2016.

SOUZA, L. C. de. **Teores naturais de Arsênio, Bário, Cádmio e Níquel para solos do estado de Santa Catarina**. 2015. 147 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2015.

SOCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 569-574, 2010.

SPONGBERG, A. L.; BECKS, P. M. Inorganic soil contamination from cemeteries leached. **Water, Air, Soil Poll**, v. 117, p. 313-327, 2000.

TAGLIAFERRO, G. V. et al. Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea. **Química Nova**, v. 34, n. 1, p. 101-105, 2011.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

UÇISIK, A.S.; RUSHBROOK, P. **The impact of cemeteries on the environment and public health, an introductory briefing**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1998.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3050B**: acid digestion of sediments, sludges and soils. In: Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods, Publ. SW-846, 3rd edition Washington DC: USEPA, 1996.

VIG, M. et al. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. **Advances in Environmental Research**, v. 8, p. 121–135, 2003.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 3, p. 487-495, 2007.

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DOS CEMITÉRIOS PÚBLICOS URBANOS DE LAGES - SC

RESUMO

Objetivou-se com esse trabalho investigar o potencial contaminante dos cemitérios Nossa Senhora da Penha (CNSP) e Cruz das Almas (CCA), nas águas subterrâneas que estão sob influência direta dos mesmos, considerando os aspectos geológicos e hidrogeológicos locais, e o ordenamento jurídico ambiental brasileiro. Foram realizadas coletas de água subterrânea em poços de monitoramento existentes nas áreas internas dos cemitérios, nas quatro estações, no período de um ano. Posteriormente, determinou-se os parâmetros físico-químicos: Potencial Hidrogeniônico, Condutividade Elétrica, Potencial de Oxidação/Redução, Oxigênio Dissolvido e Sólidos Totais Dissolvidos, com uma sonda multiparâmetro; Demanda Química de Oxigênio, Fenóis Totais, Fósforo Total e Amônia (NH₃) com um Fotocolorímetro; e os metais Cádmio, Chumbo, Cromo, Níquel, Zinco e Cobre foram determinados por meio de Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua (AR-FC EAA). Tomando-se como base para efeitos comparativos o ordenamento jurídico, as amostras apresentaram valores acima dos valores máximos permitidos (VMP) para fenóis totais, em média 0,8mg/L; as amostras do CNSP apresentaram NH₃ acima dos VMP, 5,33 mg/L. Os metais Níquel, Cádmio e Cromo apresentaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e pela Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde, em 4,16%, 83,34% e 100% das amostras de água, respectivamente, indicando que pode estar havendo a lixiviação dos metais pesados e outros contaminantes para as águas subterrâneas. Ambos os cemitérios apresentaram condições locais insatisfatórias, sendo que as áreas de sepultamentos recentes são as mais críticas, no que tange aos parâmetros físico-químicos da água subterrânea.

Palavras-chave: Contaminação. Necrochorume. Aquífero freático. Metais pesados.

CAPTHER 3 – EVALUATION OF UNDERGROUND WATER QUALITY IN THE AREA OF DIRECT INFLUENCE OF URBAN PÚBLIC CEMETERIES OF THE CITY OF LAGES – SC

ABSTRACT

Aimed at this study investigate the potential contaminant of the cemeteries Nossa Senhora da Penha (CNSP) and Cruz das Almas (CCA) in groundwaters which are under direct influence of them, considering the geological and the hydrogeological aspects, and the brazilian environmental legal order. Groundwater collects in monitoring wells in internal areas of the cemeteries were performed, in the four seasons, in a one year period. Subsequently, the physicochemical parameters were determined: hydrogen potential (pH), electric conductivity, oxidation and reduction potential (ORP), dissolved oxygen (OD) and dissolved total solids (STD), with a multiparameter sounder; chemical oxygen demand (COD), total phenols, total phosphorus and ammonia (NH₃) with a photocolormeter; and the heavy metals cadmium (Cd), lead (Pb), chromium (Cr), nickel (Ni), zinc (Zn) and copper (Cu), were determined through High Resolution Atomic Absorption Spectrometry with Continuous Source (HR-CS EAA). Taking as a basis for comparative legal order, total phenol on average 0.8mg / L; the CNSP samples showed NH₃ above the VMP, 5.33 mg / L. The metals Nickel, Cadmium and Chromium presented concentrations above the maximum values allowed by CONAMA

Resolution 396/2008 and Portaria nº 2.914 / 2011, of the Ministry of Health, in 4.16%, 83.34% and 100% of the samples of water, respectively, indicating that leaching of heavy metals and other contaminants to groundwater may be occurring. Both cemeteries presented unsatisfactory conditions, being that the recent burial areas are the most critical, in reference to the physicochemical parameters of the groundwater.

Keywords: Contamination. Necroleachate. Water Table Aquifer. Heavy Metals.

INTRODUÇÃO

A contaminação dos aquíferos por atividades antrópicas potencialmente poluidoras tem se tornado um problema recorrente e preocupante, visto que, no que tange à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, os aquíferos são considerados reservatórios estratégicos para a humanidade (CUTRIM & CAMPOS, 2010). Nos últimos anos a comprovação de contaminação de aquíferos por atividades, que aparentemente até então não apresentavam perigo iminente, aumentou consideravelmente.

A decomposição dos corpos, dos caixões e de seus adereços, dos tecidos utilizados para vestir o corpo, da cama do caixão e de produtos e substâncias introduzidas no corpo humano ao longo da vida gera o necrochorume (WILLIAMS et al., 2009; FIEDLER et al., 2012; JONKER & OLIVIER, 2012), o qual é um líquido potencialmente poluidor, e que altera as características físico-químicas e biológicas do solo de origem (MAJGIER & RAHMONOV, 2012).

Van Haaren (1951), Pacheco (2000), Matos (2001), Migliorini et al. (2006), Campos (2007), Aquino & Cruz (2010), Oliveira et al. (2012), Zychowski (2012), dentre outros autores, estudaram a contaminação das águas subterrâneas pelo necrochorume. Conforme Silva (1998, apud AQUINO & CRUZ, 2010), o necrochorume é composto 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas. MIGLIORINI (1994) observou o aumento de íons e de produtos nitrogenados nas águas subterrâneas em um cemitério na cidade de São Paulo. Dent (1995, apud SPONGBERG & BECKS, 2000) constatou aumento da CE e sais minerais nas águas subterrâneas próximas a túmulos recentes em cemitério na Austrália. Embora a quantidade de estudos realizados, grande parte restringe-se a estudar a contaminação em nível biológico, contudo, ressaltasse que além dos compostos biológicos existentes no necrochorume, o mesmo também é composto por água, sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis (CAMPOS, 2007).

Apesar da diversidade de poluentes que podem estar contidos no necrochorume, o risco de contaminação à que estão expostas as águas subterrâneas está relacionado às características do meio geológico e hidrogeológico, tipo de enterro realizado e efeito da precipitação sobre as águas subterrâneas (ÜÇİSIK & RUSHBROOK, 1998; SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008). A zona não saturada do solo funciona como um filtro e um adsorvente (ÜÇİSIK & RUSHBROOK, 1998), e também como um tampão natural (CAIRES, 2009), para metais pesados por exemplo, controlando os processos de atenuação e a eventual eliminação de produtos químicos e de microrganismos, sendo a barreira de proteção à contaminação das águas subterrâneas (OLIVEIRA et al., 2012).

A água possui diversas propriedades químicas devido à sua polaridade, sendo capaz de dissolver, adsorver ou suspender diversos tipos de compostos naturais ou introduzidos por atividades antrópicas (WHO, 2007). Para Foster et al. (2006), os principais indutores do processo de contaminação de águas subterrâneas são a urbanização, a expansão industrial, a atividade agrícola e a extração mineral. Contudo, Magalhães (2006) salienta que a contaminação de águas subterrâneas pode ser proveniente de fatores naturais que podem introduzir determinados elementos na água, em concentrações elevadas, tornando-a imprópria para diversos usos.

A água é caracterizada como contaminada quando possui organismos patogênicos e substâncias tóxicas e/ou radioativas em teores prejudiciais à saúde do homem. Uma vez contaminada, são inúmeros os processos hidroquímicos que afetam as substâncias contaminantes das águas subterrâneas, dentre os quais destacam-se aqueles processos associados com o nitrogênio e com certos grupos de substâncias metálicas e orgânicas (MANOEL FILHO, 2000).

O nitrogênio dissolvido na forma de íon nitrato (NO_3^-), que é a forma mais oxidada do nitrogênio, é o contaminante mais comum encontrado na água subterrânea (MANOEL FILHO, 2000), e também é o contaminante inorgânico de maior preocupação em águas subterrâneas (BAIRD & CANN, 2011). Por sua alta mobilidade, o nitrato pode facilmente ser lixiviado das camadas superiores do solo para as águas subterrâneas. Isso acontece em ambientes altamente oxidantes como é o caso das águas subterrâneas pouco profundas (MANOEL FILHO, 2000).

A presença de metais na água subterrânea apresenta interesse, principalmente para aqueles elementos que possuem Valores Máximos Permitidos (VMP) fixados pelos padrões de água potável. A contaminação por metais pesados em águas subterrâneas sob influência da atividade cemiterial foi estudada por Migliorini et al. (2006), Zychowski (2012), Fineza et al. (2014), dentre outros.

De acordo com Manoel Filho (2000), a química ambiental dos traços de metais é complexa, sendo difícil prever o comportamento do transporte desses elementos nos sistemas de água subterrânea. Em muitos ambientes subterrâneos, fenômenos de adsorção e reações químicas de precipitação são responsáveis por uma movimentação muito lenta dos metais em relação à velocidade da água (MANOEL FILHO, 2000). Rocha et al. (2009) explicam que a mobilidade de metais pesados na água sofre influência dos argilominerais e da matéria orgânica, presentes nos solos e sedimentos, assim como por elevada concentração salina, modificações nas condições redox, diminuição do pH e aumento de agentes complexantes sintéticos e naturais.

No que tange às substâncias orgânicas, as originadas por processos antrópicos são preocupantes e vêm aumentando de forma exponencial. Manoel Filho (2000) pontua que dentre as substâncias produzidas, as mais perigosas para a qualidade da água subterrânea são as relativamente solúveis, não voláteis e refratárias (não degradáveis por bactérias), as quais podem ficar adsorvidas na camada não saturada do solo. Quando se pesquisa o comportamento de substâncias utilizando-se isotermas, existe apenas algumas isotermas de adsorção para um número reduzido de substâncias, o que dificulta o estabelecimento da magnitude do risco potencial relativo aos compostos orgânicos (MANOEL FILHO, 2000).

No Brasil, o ordenamento jurídico que dispõe sobre padrões de potabilidade da água (superficial e subterrânea) e sobre os VMP para diversos parâmetros, para consumo humano é composto pela Portaria no 2.914/2011, do Ministério da Saúde, e pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 396/2008. A Resolução CONAMA nº 396 também apresenta os VMP para outros usos da água subterrânea considerados como preponderantes, além do consumo humano (BRASIL, 2008).

Na cidade de Lages, os dois principais cemitérios públicos urbanos, Cemitério Nossa Senhora da Penha (CNSP) e Cemitério Cruz das Almas (CCA), foram instalados muito anteriormente a elaboração do ordenamento jurídico que balizasse tal atividade, como a Resolução CONAMA nº 335/2003 e Resolução CONAMA nº 368/2006. Lages possui elevada quantidade de sepultamento mensais: 13 e 44 sepultamentos mensais no CCA e CNSP, sem contabilizar os sepultamentos realizados nos cemitérios particulares. A falta de regulação para tal atividade acaba por expor a população e o meio ambiente ao risco de contaminação, visto que um dos cemitérios (CNSP) se localiza em ambiente com geomorfologia extremamente acidentada e o outro (CCA) está sobre zona de recarga do aquífero Guarani.

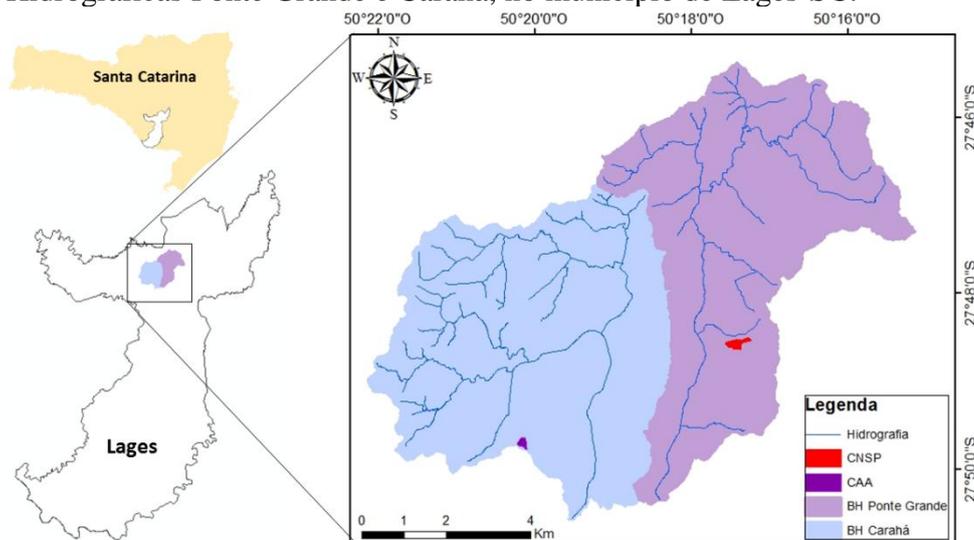
Nesse sentido, com este estudo objetivou-se investigar, por meio de análises das características físico-químicas e dos metais pesados, o potencial contaminante dos CNSP e CCA nas águas subterrâneas que estão sob influência direta dos mesmos, considerando os aspectos geológicos e hidrogeológicos locais, e o ordenamento jurídico ambiental brasileiro.

2 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado nas áreas de influência direta do Cemitério Nossa Senhora da Penha (CNSP) e do Cemitério Cruz das Almas (CCA), localizados na área urbana da cidade de Lages, no Planalto Catarinense (Figura 1). Com clima do tipo Cfb, de acordo com a

classificação de Köppen-Geiger, Lages possui verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22 °C (KOTTEK et al., 2006), e precipitações pluviiais relativamente distribuídas durante o ano, sendo que os meses do outono apresentam menores pluviometrias (SOCCOL et al., 2010).

Figura 1 - Localização do Cemitério Nossa Senhora da Penha e do Cemitério Cruz das Almas nas Bacias Hidrográficas Ponte Grande e Carahá, no município de Lages-SC.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O CNSP está localizado entre as coordenadas geográficas aproximadas de 50°17'29,6" e 50°17'34,7"O; 27°48'29,6" e 27°48'37,4"S, no Bairro da Penha, em operação há aproximadamente 75 anos, ocupando uma área aproximada de 60.817 m². É o maior cemitério público urbano da cidade, com média de 44 sepultamentos mensais. Tal empreendimento está inserido na bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande, na porção urbanizada da bacia, sendo seu entorno, em grande parte, constituído por residências, além de estar próximo à cursos d'água.

O solo oriundo do CNSP é composto texturalmente por aproximadamente 38% de argila e 28% de areia. O nível d'água (N.A.) é pouco profundo, variando entre 1,75 e 3,75 m em relação a superfície do solo, medido no mês de março de 2017 (Apêndice C).

O segundo maior cemitério público urbano de Lages é o CCA, em operação há 127 anos, inserido entre as coordenadas geográficas aproximadas de 50°20'13,7" e 50°20'06,5"O; 27°49'36,8" e 27°49'46,5"S, situado no Bairro Santa Rita, ocupando uma área de 38.824 m². Possui em média 13 sepultamentos mensais. Localizado na porção urbanizada da bacia hidrográfica do Rio Carahá, o entorno do CCA é composto por residências e outros empreendimentos, como postos de gasolina, capelas funerárias e comércio em geral.

A textura dos solos do CCA é composta por aproximadamente 29% de argila e 23% de areia. O nível d'água é pouco profundo em torno de 1,45 m em relação a superfície do solo, medido no mês de março de 2017 (Apêndice C). Ressalta-se que no mês de outubro do mesmo ano, no CCA foi registrado N.A. máximo de 2,55 m em relação a superfície do solo.

2.1 GEOLOGIA LOCAL

Em relação aos aspectos geológicos, a região de Lages está localizada na Bacia Geológica do Paraná, que é formada por sedimentos gondwânicos e sequências vulcânicas básicas e ácidas. Na área urbana de Lages é possível encontrar afloramento de três diferentes formações geológicas: Botucatu, Serra Geral e Serra do Rio do Rastro (CPRM, 2014). Essa diversificação de formações geológicas é devida a ação de processos endógenos que deram origem ao Domo de Lages (SCHEIBE, 1986).

O Domo de Lages está localizado ao norte/noroeste da cidade de Lages, no Distrito Alcalino de Lages, o qual compreende um expressivo número de corpos intrusivos ao nível das camadas sedimentares gondwânicas, expostas num grande domo em que afloram desde o grupo Itararé até a Formação Botucatu (SCHEIBE, 1986). É a região com as mais extensas áreas de afloramento do Arenito Botucatu no estado de Santa Catarina (ALMEIDA & SILVA, 2011). Essa importante feição geomorfológica, com formato dômico, possui diâmetro igual a 40 km e apresenta rochas aflorantes com características peculiares, em especial texturas e estruturas que evidenciam a pequena profundidade em que ocorreram as intrusões (SCHEIBE, 1986).

Dentre as rochas aflorantes estão os arenitos da Formação Botucatu, que abrigam o Sistema Aquífero Guarani (SAG), importante alternativa para o abastecimento público de água no estado de Santa Catarina. Apesar de em quase toda a extensão do estado a Formação Botucatu está recoberta por uma espessa camada de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, o que o torna pouco vulnerável a contaminação nas áreas onde é sobreposto por estas rochas, pequenas faixas aflorantes dos arenitos, consideradas como Zona de Recarga Direta (ZRD) do SAG, ocorrem na porção oriental de Santa Catarina (ALMEIDA & SILVA, 2011). Essas áreas são consideradas como áreas com alta vulnerabilidade a contaminação. Almeida & Silva (2011) afirmam que dentre as ZRD, a região do Domo de Lages está entre as mais susceptíveis a contaminação, por apresentar características físicas mais propícias a recarga direta do SAG, devido a sua geomorfologia, caracterizada por relevo plano a suave ondulado e pela presença de extensas áreas de afloramento da Formação Botucatu.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi estruturado em cinco etapas: a) Pesquisa e revisão bibliográfica referente ao assunto objeto da pesquisa e da área de estudo; b) Monitoramento pluviométrico c) Amostragem da água subterrânea; d) Análise de parâmetros físico-químicos e de metais pesados na água subterrâneas e e) Discussão dos resultados.

3.1 MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO

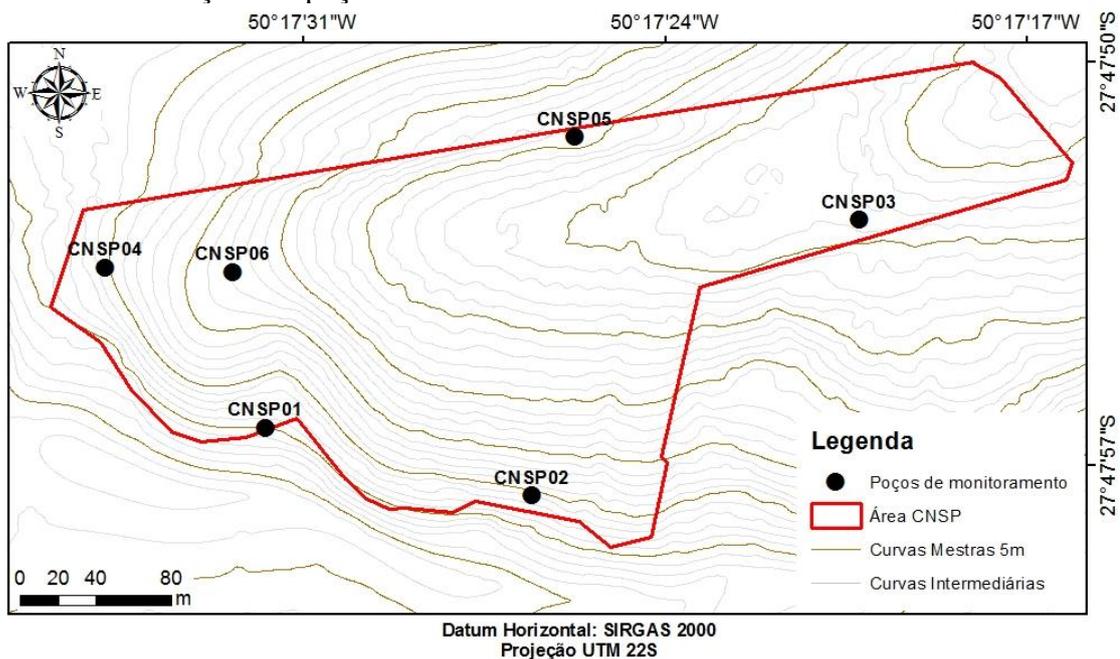
No período equivalente ao ano em que foram coletadas as amostras de água também foi realizado monitoramento pluviométrico, a partir do registro de precipitação, com variação temporal de uma hora, cujos dados são oriundos da Estação Meteorológica Automática de Lages do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que está localizada nas coordenadas geográficas: 50°19'51.58"O; 27°48'32.07"S, 953 m acima do nível do mar, e distante aproximadamente 3 km do CCA e 4 km do CNSP.

3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

A amostragem de água subterrânea foi realizada nos poços de monitoramento existentes nos CNPS e CCA, construídos entre os anos de 2012 e 2013.

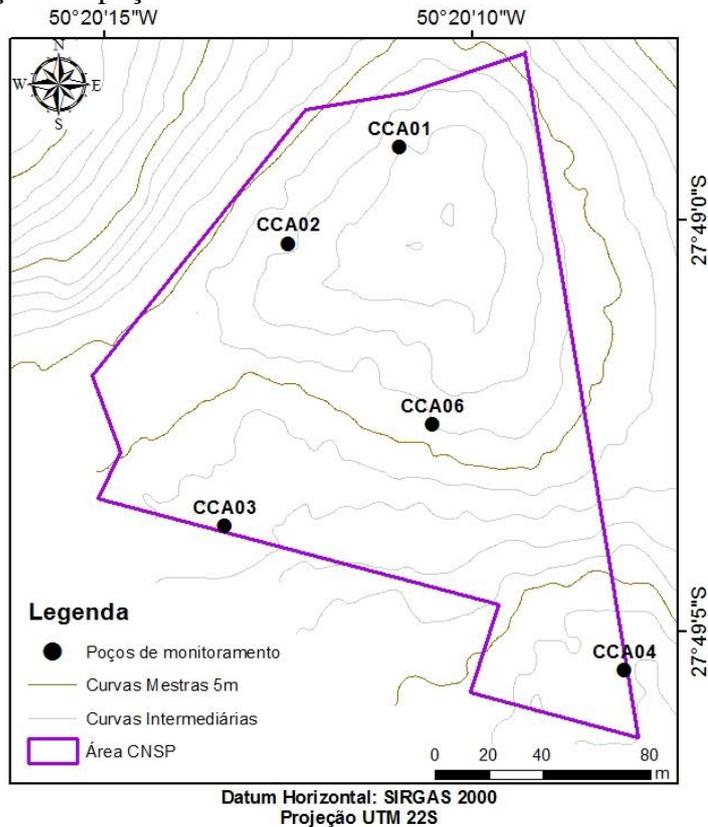
No CNSP existem seis poços (Figura 2), enquanto no CCA cinco poços (Figura 3). Nos poços CNSP 06 e CCA 04 não foi possível realizar coleta em nenhuma das estações, devido à altura do N.A. estar abaixo da profundidade máxima desses poços. A altura do N.A. também inviabilizou algumas das coletas nos demais poços. No CNSP foram coletadas 16 amostras no período monitorado (4 no verão; 5 no outono; 3 no inverno e 4 na primavera) e no CCA coletou-se 8 amostras (1 no verão; 4 no outono; 1 no inverno e 2 na primavera), totalizando 24 amostras.

Figura 2 - Localização dos poços de monitoramento no Cemitério Nossa Senhora da Penha.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Figura 3 - Localização dos poços de monitoramento no Cemitério Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

As coletas foram realizadas sazonalmente, nas seguintes datas: 07/03/2017, 01/06/17, 07/08/17 e 09/10/17. A metodologia utilizada (coleta, preservação e análise) seguiu as

orientações estabelecidas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999) e na Norma Técnica (NBR) 9.898 (ABNT, 1987).

As amostras foram coletadas com o auxílio de um amostrador descartável (bailer) (Figura 4), e armazenadas em frascos de poliuretano, de 500 mL, os quais foram ambientados, com a água do próprio local antes da efetivação da coleta, devidamente etiquetados e vedados. As alíquotas foram armazenadas e transportadas em caixa térmica contendo gelo, visando preservar as características físicas e químicas das mesmas.

Figura 4 - Coleta de água subterrânea utilizando amostrador descartável (bailer).



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

As determinações dos parâmetros físico-químicos e dos metais pesados foram realizadas no Laboratório de Rotina para Análise de Água e Resíduos – LANAR, do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Os parâmetros: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Potencial de Oxidação/Redução (ORP), Oxigênio Dissolvido (OD) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foram determinados, imediatamente após a coleta, em laboratório, utilizando-se um medidor multiparâmetro portátil HI 98194, marca Hanna (Figura 5a).

Os parâmetros Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fenóis Totais, Fósforo Total e Amônia (NH₃) foram analisados utilizando as metodologias descritas no Quadro 1, e determinados utilizando Fotocolorímetro Multiparâmetro, modelo AT100P II, marca Alfakit (Figura 5b). A aquisição dos dados foi realizada em triplicada, para posterior extração da média dos valores.

Figura 5 - a) Sonda Multiparâmetro Portátil; b) Fotocolorímetro Multiparâmetro.



Fonte: Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Quadro 1 - Metodologias utilizadas para determinação dos parâmetros: Demanda Química de Oxigênio, Fenóis Totais, Fósforo Total e Amônia (NH₃).

Análises	Meios	Metodologias
Fenóis Totais	Spectro Kit Fenol (Cód.219)	Adaptada da seguinte literatura: <i>Analisis Del Água</i> . E. Merck. Darmstand. Alemanha. Pg. 96. Método da Nitroanilina.
Fósforo Total	Spectro Kit Fosfato Total BC (Cód.890)	Adaptada das seguintes literaturas: <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> . 22° Ed. 2012. 4500 B. 4-152. Digestão da amostra. <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> . 22° Ed. 2012. 4500 E 4-155. Método do Ácido Ascórbico. Filho. Davino, F. dos Santos. Tecnologia de Tratamento de Água. 1976, pg 206. Método Colorimétrico – Azul de Molibdênio.
Amônia (NH₃)	Spectro Kit Amônia Indotest (Cód 2542)	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> . 22° Ed. 2012. 4500 F. 4-115. Método Indofenol NBR 10.560 - Águas - Determinação de Nitrogênio Amoniacal - Métodos de Nesslerização, Fenato e Titulométrico
DQO	Spectro Kit DQO Efluentes BC (Cód. 5836)	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> . 22° Ed. 2012. 5220 - D. 5 - 19 - Método Colorimétrico. NBR 10.357 - Águas - Determinação da Demanda química de Oxigênio (DQO) - Métodos de refluxo aberto, refluxo fechado titulométrico e refluxo fechado colorimétrico

Fonte: Organizado pela autora, 2017.

3.4 DETERMINAÇÃO DOS METAIS PESADOS NA ÁGUA

A determinação das concentrações totais de metais, nas 24 amostras, seguiu os métodos de execução descritos pela American Public Health Association (APHA), no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1999). Foram determinados os teores cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn).

A digestão das amostras seguiu o método 3030 E (APHA, 1999), o qual consiste na digestão lenta da amostra ácida, para Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua (AR-FC EAA), sendo aplicada a abordagem para analitos de alto nível ($> 0,1 \text{ mg / L}$). A digestão ácida da amostra foi realizada utilizando ácido nítrico (HNO_3) com padrão analítico, da marca Merck.

Para o processo de digestão das 24 amostras de água, inicialmente foram transferidos 100 ml de amostra para um erlenmeyer, e adicionados 5 mL de HNO_3 da marca Merck. As amostras foram aquecidas progressivamente em chapa até $\pm 95 \text{ }^\circ\text{C}$, mantendo-se em refluxo até que as alíquotas se reduzissem ao menor volume possível ($\pm 15 \text{ ml}$) e o processo de digestão fosse concluído. As alíquotas foram resfriadas e o volume completado com água ultrapura ($18,3 \text{ M}\Omega/\text{cm}$) para 100 ml, e armazenadas em frascos âmbar, de modo a evitar possíveis alterações devido a incidência de luz.

A determinação dos metais foi realizada pelo método 3111 B (APHA, 1999) – método da chama direta ar/acetileno, por meio de Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua (AR-FC EAA), cujo equipamento utilizado foi o Espectrofotômetro de Absorção Atômica de Fonte Contínua de Alta Resolução, marca Analytik Jena AG, modelo ContrAA 700.

Para calibração do equipamento foram preparadas soluções padrões dos metais de interesse, conforme as curvas de calibração apropriadas, preparadas a partir de soluções estoque de referência (Tabela 1). Os reagentes utilizados para preparo das soluções padrões, bem como o limite mínimo de detecção do aparelho, comprimento de onda e tamanho de feixe de luz utilizados para a determinação dos metais estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações utilizadas para preparação das soluções padrões e determinação dos metais, por Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua.

Elemento	Reagente	Marca	Limite mínimo de detecção (nm)	Comprimento de Onda (nm)	Largura da fenda (nm)
Cádmio	Cádmio 1000 mg/L	Fluka®	0,0004	228,0004	0,5
Chumbo	Chumbo 1000 mg/L	SpecSol®	0,005	217,005	1,0
Cobre	Cobre 1000 mg/L	SpecSol®	0,001	324,001	0,5
Cromo	Cromo 1000 mg/L	SpecSol®	0,005	357,005	0,2
Níquel	Níquel 1000 mg/L	SpecSol®	0,012	232,012	0,2
Zinco	Zinco 1000 mg/L	SpecSol®	0,001	213,001	1,0

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados oriundos da pesquisa foram comparados com aqueles estabelecidos pelo ordenamento jurídico: Resolução CONAMA nº 396/ 2008, que “dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, além de estabelecer valores máximos permissíveis (VMP) de diversos parâmetros da água, de acordo com os usos preponderantes” (BRASIL, 2008). Para fins de comparação, em relação aos VMP para o consumo humano, também foi utilizada como referência a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), que “define padrões de potabilidade da água para consumo humano”.

Para a análise dos dados foi realizado tratamento estatístico, empregando-se o *software* Sisvar versão 5.6 e planilha eletrônica. Inicialmente, realizou-se tratamento estatístico dos dados com o objetivo de verificar o seu comportamento utilizando-se a estatística descritiva, e em seguida, no sentido de verificar se houve diferença nos valores médios entre os parâmetros analisados, aplicou-se o teste *t* de *Student* com nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

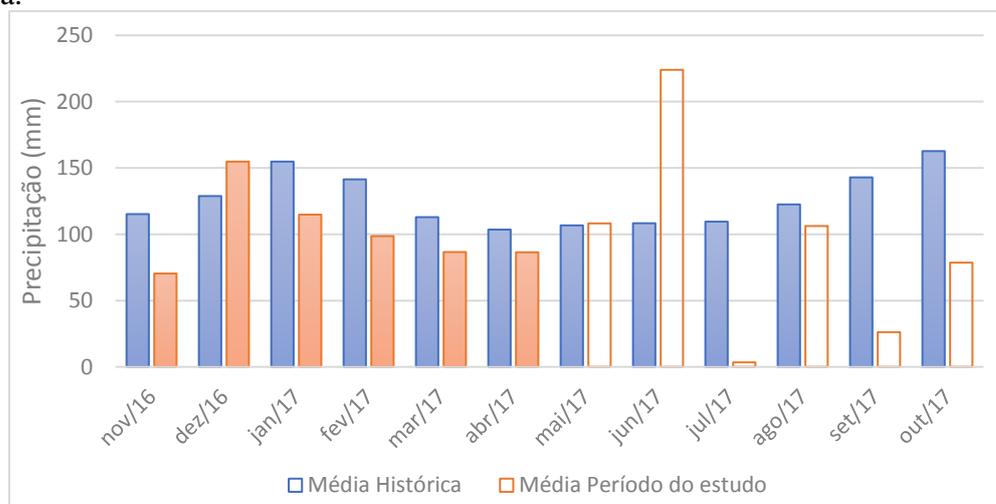
Objetivando uma melhor análise dos dados entre as estações, inicialmente é apresentado o comportamento pluviométrico do período estudado. Ressalta-se que não houve poço testemunha, devido as áreas de estudo localizarem-se em área urbana, estando sujeito um poço testemunha a sofrer influência de outra fonte de contaminação, e devido a diversidade geológica local possuir grande variabilidade, inviabilizando um poço testemunha longe das áreas estudadas.

4.1 COMPORTAMENTO PLUVIOMÉTRICO

Durante o período analisado, de 01/11/16 à 31/10/17, foram registrados 1.158,2 mm de precipitação pluviométrica, valor abaixo da média histórica, que é de 1.509,2 mm para o período de um ano hidrológico (SOCCOL et al., 2010). O comportamento mensal da precipitação se apresentou atípico. Comparando os dados mensais registrados no período com os dados históricos é possível observar que de novembro de 2016 a abril de 2017 foi registrada precipitação inferior à média histórica em todos os meses, com exceção do mês de dezembro (Figura 6).

Apesar do município de Lages possuir precipitação pluviométrica relativamente bem distribuída durante o ano, conforme a média histórica, o mês de junho apresentou precipitação 106% (224 mm) acima da média histórica, enquanto os meses de novembro (70,4 mm), julho (3,4 mm) e setembro (26,2 mm) registraram os menores níveis precipitados, diferentemente da média histórica, onde os meses do outono apresentam as menores pluviometrias (Figura 6, Anexo 1, Tabela 1.1).

Figura 6 - Precipitação pluviométrica mensal durante o período estudado e média mensal histórica.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

A precipitação é a principal fonte não contínua de recarga natural dos aquíferos, sendo que as variações observadas no N.A. são originadas por esse tipo de recarga principalmente (LERNER, 2002). A altura do nível freático determinou a quantidade de poços amostrados por coleta, uma vez que a profundidade máxima de alguns poços de monitoramento ficou acima da altura do N.A. em algumas coletas.

Dos 11 poços monitorados, foi coletada água subterrânea em 5 poços no verão, 9 poços no outono, 4 poços no inverno e 6 poços na primavera. Na estação do outono nos dias antecedentes à coleta, realizada em junho, ocorreu a maior precipitação (51,6 mm) quando comparados aos dias que antecederam as demais coletas (Anexo 1, Tabela 1.2). Com relação a coleta referente a estação do inverno, realizada no início do mês de agosto, foi encontrada água em apenas 4 poços, o que pode ser associado a baixa precipitação ocorrida no mês de julho (3,4mm) (Anexo 1, Tabela 1.1).

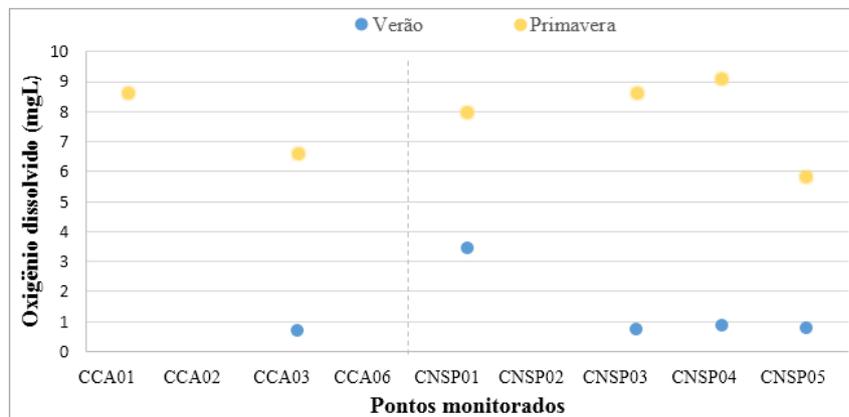
4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

4.2.1 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio pode estar dissolvido em pequena quantidade na água subterrânea e sua concentração é em função da temperatura, pressão e do total de sais dissolvidos na água (SANTOS, 2000). A Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde não apresentam valores regulatórios para as concentrações de oxigênio dissolvido (OD).

Santos (2000) aponta que a maioria das águas subterrâneas apresentam concentrações de OD entre 0 e 5 mg/L. As baixas concentrações de OD são aceitáveis em águas subterrâneas uma vez que o OD representa o grau de arejamento da água, e este aumenta naturalmente quanto maior for a superfície em contato com o ar, ou através da realização de fotossíntese (EUBA NETO et al., 2012), o que não ocorre no ambiente subterrâneo. Os valores de OD oscilaram entre 0,68 mg/L (verão) e 9,10 mg/L (primavera), nos poços monitorados (Figura 7; Tabela 2).

Figura 7 - Valores de Oxigênio Dissolvido nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela 2 - Estatística descritiva do Oxigênio Dissolvido (mg/L).

Parâmetros	Estações do ano	
	Verão	Primavera
Contagem de dados	5,00	6,00
Máximo	3,44	9,10
Mínimo	0,68	5,83
Amplitude	2,77	3,27
Média	1,29	7,79
Desvio Padrão	1,20	1,30
Coefficiente de variação (%)	93,18	16,64

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

As menores concentrações de OD foram registradas na estação do verão, com média de 1,29 mg/L, enquanto que as maiores foram observadas na primavera, cuja média foi de 7,79 mg/L. A diferença entre as estações pode estar associada à precipitação ocorrida nos dias antecedentes a coleta, que foi de 11,2 mm nos dez dias antecedentes a coleta do verão e de 44,6 mm nos dez dias antecedentes a coleta da primavera (Anexo 1, Tabela 1.2). A precipitação é a principal forma de introdução de água no solo, e a maior parte do ar dissolvido na água que infiltra no solo é consumido na oxidação da matéria orgânica durante a percolação da água na zona não saturada (SANTOS, 2000), conseqüentemente, quanto menor a água recarregada, menor os teores de OD nas águas subterrâneas.

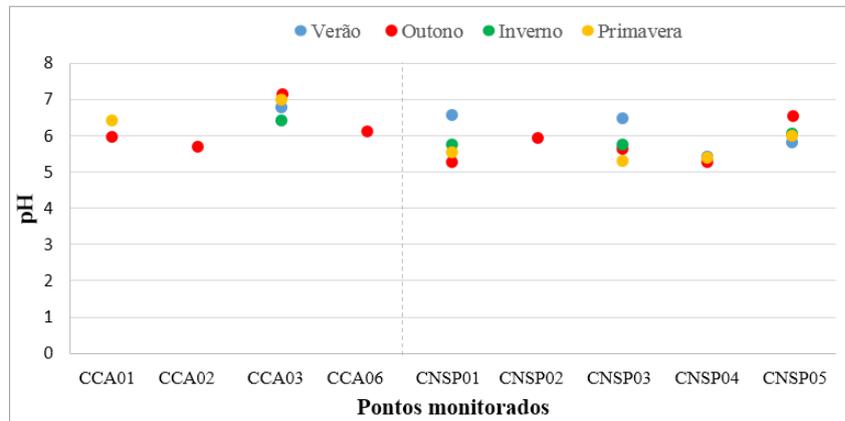
4.2.2 Potencial Hidrogeniônico

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é um dos parâmetros operacionais mais importantes da qualidade da água, devido ao seu poder de influenciar os diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas (PIVELI & KATO, 2006; OMS, 2006), embora não afete diretamente os consumidores, no caso de utilização da água para abastecimento público (OMS, 2006). A Organização Mundial da Saúde (OMS) sugere que o valor ideal do pH da água é geralmente de 6,5 a 9,5 (OMS, 2006). A Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não apresentam valores regulatórios para o pH.

As águas subterrâneas estudadas apresentaram valores de pH entre 5,26 (outono) e 7,13 (outono), com valores médios próximos a 6,0 (Figura 8; Tabela 3). Conforme Santos (2000), a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5, sendo que em casos excepcionais pode variar entre 3 e 11.

Considerando a faixa de valores de pH, sugeridas pela OMS (2006), o CCA03 apresentou os melhores valores, com média entre as estações de 6,81, sendo que apenas na estação do inverno foi registrado pH médio inferior a 6,5 (Tabela 3). Os baixos valores registrados na maioria dos poços monitorados podem estar relacionados ao pH do solo, que no entorno dos cemitérios estudados possui características ácidas, com valores de pH variando entre 4,0 e 5,0. A tendência natural da água subterrânea é possuir características químicas semelhantes às dos solos e das rochas com as quais possui contato, quando não há interferência da atividade antrópica.

Figura 8 - Valores de pH nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela 3 - Estatística descritiva do pH.

Parâmetros	Estações do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Contagem de dados	5	9	4	6
Máximo	6,77	7,13	6,40	6,98
Mínimo	5,41	5,26	5,73	5,29
Amplitude	1,36	1,88	0,67	1,69
Média	6,20	5,95	5,97	5,92
Desvio Padrão	0,57	0,60	0,32	0,66
Coeficiente de Variação (%)	9,25	10,10	5,35	11,18

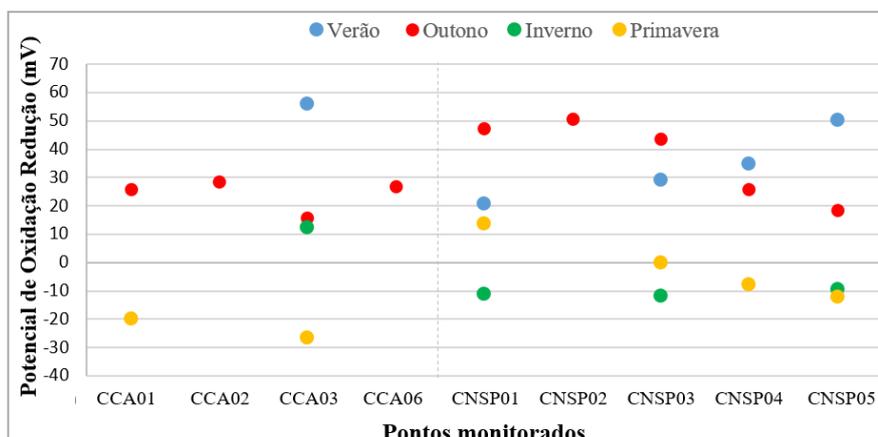
Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

4.2.3 Potencial de Oxidação/Redução

O Potencial de Oxidação Redução (ORP) mede o potencial que o meio tem de transferir elétrons (VASCONCELLOS, 2015), conferindo informação se a amostra fornece ou recebe mais elétrons na solução, variando de acordo com os íons presentes na amostra (MOREIRA et al, 2013). A Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não apresentam valores regulatórios para o ORP.

As estações verão e outono apresentaram valores positivos de ORP, com valor mínimo de +15,57 mV e máximo de +56,07 mV, indicando um caráter oxidante nas águas subterrâneas. Enquanto as estações do inverno e da primavera apresentaram a maioria dos valores negativos, com valor mínimo de -26,67 mV e máximo de +13,60 mV, de ORP indicando um caráter redutor das águas subterrâneas (Figura 9; Tabela 4). Avila et al. (2013) demonstram em seus estudos que quanto mais elevado o ORP, maior a eliminação de poluentes convencionais e de micro contaminantes emergentes.

Figura 9 - Valores do Potencial de Oxidação/Redução nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela 4 - Estatística descritiva do Potencial de Oxidação/Redução (mV).

Parâmetros	Estações do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Contagem de dados	5	9	4	6
Máximo	56,07	50,53	12,23	13,60
Mínimo	20,80	15,57	-11,73	-26,67
Amplitude	35,27	34,97	23,97	40,27
Média	38,19	31,31	-4,97	-8,87
Desvio Padrão	14,68	12,62	11,51	14,35
Coeficiente de Variação (%)	38,43	40,30	-231,80	-161,82

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Os coeficientes de variação apresentam-se altos, indicando elevada dispersão dos valores obtidos. Oliveira & Campos (2011), em análise do ORP em águas subterrâneas também obtiveram elevados índices de dispersão do ORP, com valores oscilando entre -92 e +131,50 mV. De acordo com WIEDEMEIER et al. (1999), as reações de oxi-redução com os diferentes receptores de elétrons ocorrem em uma determinada faixa de ORP que varia de -400 a 800 mV em águas subterrâneas.

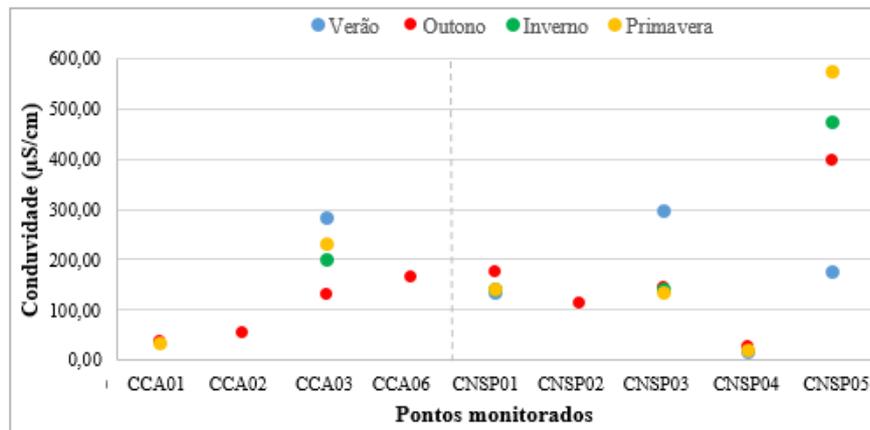
4.2.4 Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos

A Condutividade Elétrica (CE) e os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) são parâmetros correlacionados, visto que ambos são mensurados a partir dos sais minerais dissolvidos na água. Os sais minerais dissolvidos nas águas subterrâneas podem ter origem natural, decorrentes do processo de lixiviação dos solos e do intemperismo das rochas, que dissolve os sais minerais dos mesmos (CAVALCANTE et al., 2004; ALMEIDA et al, 2012), ou origem de atividades

antrópicas em áreas de vulnerabilidade, onde ocorre o carreamento de sais minerais durante a recarga (ALMEIDA et al, 2012). Na maioria das águas subterrâneas naturais, a CE da água multiplicada por um fator, que varia entre 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa dos STD na água (SANTOS, 2000).

A CE é um parâmetro físico que possui naturalmente elevada variabilidade em águas subterrâneas, face haver relação direta com a geoquímica das rochas de contato, o que dificulta a utilização desse parâmetro na avaliação de águas subterrâneas em áreas antropizadas. Os valores de CE oscilaram entre 16,67 (verão) e 575 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (primavera), com médias entre 138,52 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (outono) e 238,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (inverno) (Figura 10; Tabela 5). Os poços CCA01, CCA02 e CNSP 04 apresentaram baixos valores de condutividade durante o período, enquanto o CNSP05 apresentou elevados valores de condutividade em três das quatro estações monitoradas (Figura 10; Apêndice D). A Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não apresentam valores regulatórios para a condutividade elétrica.

Figura 10 - Valores da Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela 5 - Estatística descritiva da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Parâmetros	Estações do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Contagem de dados	5	9	4	6
Máximo	296,00	398,67	473,33	575,00
Mínimo	16,67	28,00	140,00	19,00
Amplitude	279,33	370,67	333,33	556,00
Média	181,13	138,52	238,25	188,72
Desvio Padrão	114,52	112,08	159,10	204,44
Coefficiente de Variação (%)	63,22	80,91	66,78	108,33

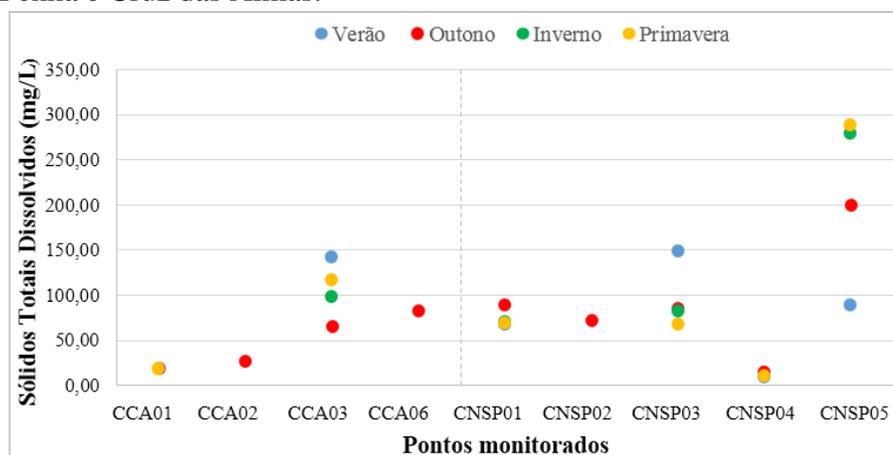
Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

No CCA ocorre uma amplitude de valores próximos a 246,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre os poços monitorados, sendo que os poços CCA01 e CCA02, localizados em áreas de sepultamentos mais antigos, apresentaram baixos valores de CE, enquanto os poços CCA03 e CCA06, edificados em áreas de sepultamentos mais recentes, apresentaram elevados valores. Pode-se inferir que os sepultamentos mais recentes têm contribuído para concentrações dos sais dissolvidos nas águas subterrâneas. Devido ao cemitério estar localizado sobre um divisor de águas, os fluxos das águas subterrâneas das áreas de sepultamento recente e antigas correm em direções opostas, reduzindo a interferência de uma área sobre outra.

No CNSP há um comportamento semelhante ao que ocorre no CCA, sendo que o CNSP05 localizado em cota piezométrica inferior ao CNSP03, que é o poço mais próximo em área contígua a sepultamentos mais recentes, apresentou valores bem mais elevados de condutividade quando comparados aos demais poços. Já o CNSP04, que apresentou valores de CE extremamente baixos, está localizado em local de sepultamento antigos.

Os valores dos STD variaram de 8,33 mg/L no verão à 288 mg/L na primavera (Figura 11; Tabela 6), estando abaixo do VMP pela Portaria nº 2.914/ 2011 do Ministério da Saúde, que estabelece como VMP para águas de consumo humano 1000 mg/L, de STD. A Resolução CONAMA nº 396/2008 não apresenta valor regulatório para este parâmetro.

Figura 11 - Valores dos Sólidos Totais Dissolvidos nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

As concentrações de STD nos poços monitorados (Figura 11) apresentaram comportamento semelhante às da CE (Figura 10). Como explicado anteriormente, em virtude desses dois parâmetros estarem diretamente relacionados aos sais minerais contidos nas águas subterrâneas. Infere-se, portanto, que as baixas concentrações de STD nos poços CCA01,

CCA02 e CNSP04 deve-se ao fato dos mesmos localizarem-se em áreas de sepultamentos antigos, ao contrário dos poços CCA03, CCA06 e CNSP05, presentes em áreas de sepultamentos recentes, e conseqüentemente apresentaram elevados teores de STD.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L).

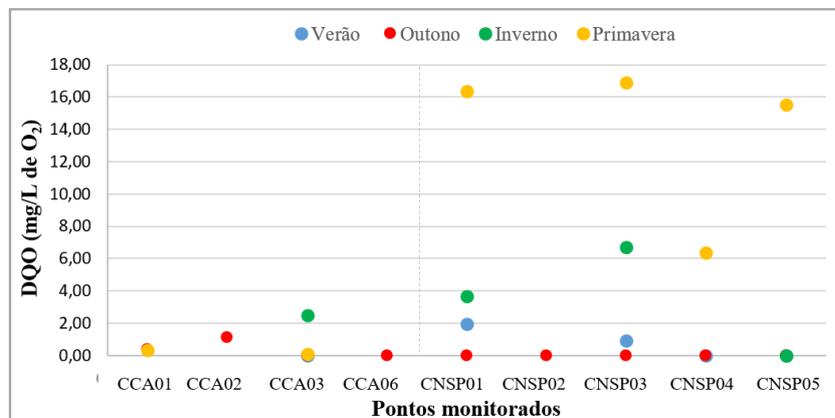
Parâmetros	Estações do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Contagem de dados	5	9	4	6
Máximo	148,00	199,67	278,00	288,00
Mínimo	8,33	14,00	70,00	9,33
Amplitude	139,67	185,67	208,00	278,67
Média	90,47	72,41	131,92	94,00
Desvio Padrão	57,30	56,17	98,06	102,60
Coefficiente de Variação (%)	63,33	77,57	74,34	109,14

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

4.2.5 Demanda Química de Oxigênio

As concentrações de DQO variaram de 0,00 mg/L de O₂ (verão, outono e inverno) à 16,92 mg/L de O₂ (primavera) (Figura 13; Tabela 7). A Resolução CONAMA n° 396/2008 e a Portaria n° 2.914/2011 do Ministério da Saúde não apresentam valores regulatórios para a DQO. Apesar das baixas concentrações encontradas, Santos (2000) afirma que nas águas subterrâneas os valores de DQO situam-se comumente na faixa de 1 a 5 mg/L de O₂, sendo considerados um claro indício de contaminação ambiental valores acima de 10 mg/L de O₂.

Figura 12 - Valores de Demanda Química de Oxigênio nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

No CCA nenhum dos poços apresentou valores de DQO acima de 5 mg/L de O₂, enquanto no CNSP, apenas o CNSP02 não apresentou valores de DQO acima de 5 mg/L de O₂

(Figura 12). Ressalta-se que no CNSP02 só foi possível coleta de água na estação do outono, na qual nenhum poço obteve concentração significativa de DQO, o que pode estar relacionado a precipitação antecedente a coleta (Anexo 1, Tabela 1.2), que foi a maior de todas, interferindo possivelmente na dissolução da matéria orgânica, devido à elevação do N.A.

Na primavera foram registradas as maiores concentrações de DQO no CNSP, com destaque para os poços CNSP01, CNSP03 e CNSP05, cujas concentrações estão acima de 10 mg/L de O₂, indicando possível contaminação.

Tabela 7 - Estatística descritiva da Demanda Química de Oxigênio (mg/L de O₂).

Parâmetro	Estações do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Contagem de dados	5	9	4	6
Máximo	1,93	1,10	6,72	16,92
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,08
Amplitude	1,93	1,10	6,72	16,84
Média	0,57	0,16	3,21	9,26
Desvio Padrão	0,86	0,37	2,79	8,01
Coefficiente de Variação (%)	150,06	227,48	86,88	86,52

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

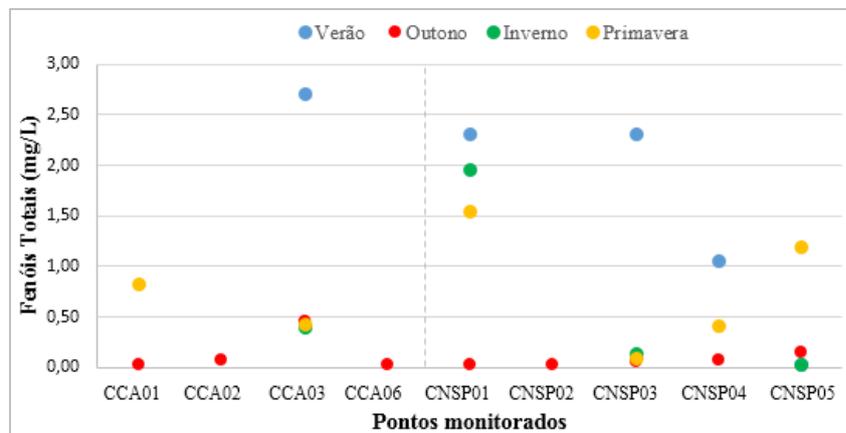
4.2.6 Fenóis Totais

O fenol é uma função orgânica da série aromática, derivado do benzeno. É um dos mais preocupantes poluentes orgânicos devido à sua alta toxicidade, mesmo em baixas concentrações, e sua dificuldade em se degradar, além da característica de se acumular em organismos (KADUNC & VANTI, 2009; XAVIER, 2012).

Todas as amostras analisadas apresentaram elevadas concentrações de fenóis, com concentração mínima de 0,03 mg/L no outono e máxima de 2,72 mg/L no verão. A média por estação foi menor no outono com 0,11 mg/L e maior no verão 1,69 mg/L (Figura 13, Tabela 8). A Resolução CONAMA n° 396/2008 limita a concentração desse parâmetro em 0,003 mg/L para consumo humano.

O fenol não é um parâmetro comumente empregado na avaliação de contaminação das águas subterrâneas pela atividade cemiterial, contudo, juntamente com o formaldeído, a glicerina e o álcool etílico, o fenol é um dos produtos mais utilizados na preservação de corpos (OLIVEIRA et al., 2013), em técnicas como tanatopraxia, o que pode explicar as elevadas concentrações desse elemento nas amostras de água subterrânea analisadas.

Figura 13 - Valores de Fenóis Totais nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela 8 - Estatística descritiva dos Fenóis Totais (mg/L).

Parâmetros	Estações do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Contagem de dados	5	9	4	6
Máximo	2,72	0,47	1,97	1,55
Mínimo	0,04	0,03	0,04	0,10
Amplitude	2,68	0,44	1,93	1,45
Média	1,69	0,11	0,64	0,76
Desvio Padrão	1,11	0,14	0,90	0,55
Coefficiente de Variação (%)	65,87	122,79	141,41	72,43

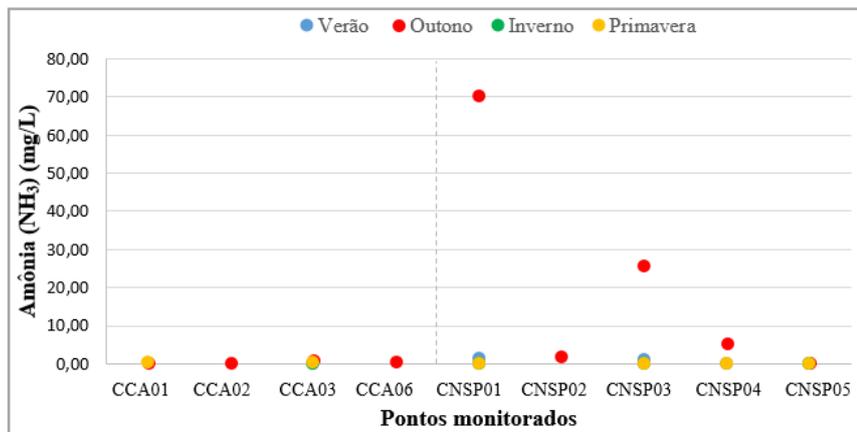
Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

4.2.7 Amônia

As concentrações de NH_3 encontram-se entre 0,00 a 70,29 mg/L, com média de 3,08 mg/L (Tabela 9). A Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelece valores regulatórios para este parâmetro; enquanto a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde limita a concentração desse parâmetro em 1,5 mg/L.

Em todas as amostras do CCA as concentrações de NH_3 estão abaixo do VMP. No CNSP, na estação do verão o poço CNSP01 apresentou valor acima do VMP (1,51 mg/L) e na estação do outono os poços CNSP01 (70,29 mg/L), CNSP02 (1,84 mg/L), CNSP03 (25,70 mg/L) e CNSP04 (5,13 mg/L) apresentaram valores acima do VMP (Figura 14; Apêndice D).

Figura 14 - Valores de Amônia (NH₃) nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela 9 - Estatística descritiva da Amônia - NH₃ (mg/L).

Parâmetros	Estações do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Contagem de dados	5	9	4	6
Máximo	1,51	70,29	0,07	0,27
Mínimo	0,02	0,10	0,00	0,00
Amplitude	1,50	70,19	0,07	0,27
Média	0,50	11,68	0,02	0,12
Desvio Padrão	0,68	23,47	0,03	0,12
Coefficiente de Variação (%)	136,64	200,95	176,59	100,10

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

A amônia não-ionizada (NH₃) é a forma mais tóxica. De acordo com Zychowski (2012), a amônia é considerada o principal produto gerado após a decomposição, sendo que a mesma migra muito rapidamente em comparação com os íons de cloreto, sulfato e sódio que se movem mais lentamente. A ocorrência de concentrações elevadas de amônia (NH₃) pode ser indicativa de poluição recente, possivelmente oriunda da redução de nitrato por bactérias ou íons ferrosos, presentes no solo (SILVA & ARAÚJO, 2003).

4.2.8 Fósforo Total

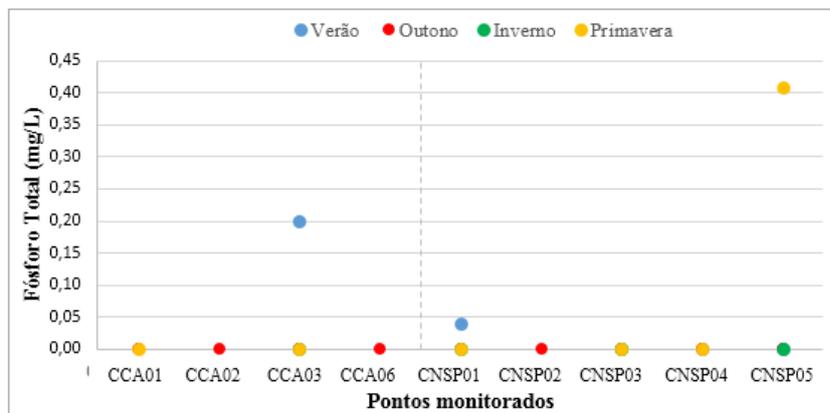
O fósforo é um elemento abundante no ambiente, contudo, não é encontrado em estado livre na natureza. Ocorre principalmente sob a forma de fosfatos (PO₄³⁻, HPO₄²⁻, H₂PO₄⁻), ligados a um cátion em compostos inorgânicos insolúveis (OLIVEIRA, 2012). Durante os movimentos ascendentes e descendentes através dos solos, as águas podem lixiviar um grande

número de elementos, sendo que no caso do fósforo, conforme Klein & Agne (2012) e Fineza et al. (2014), o mesmo possui baixa mobilidade no solo e alta resistência a lixiviação.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não apresentam valores regulatórios para o Fósforo Total. As análises indicaram concentrações de Fósforo apenas em três amostras ao longo do período monitorado, na estação do verão no CCA03 com 0,20 mg/L, no CNSP01 cuja concentração foi de 0,04 mg/L, e na primavera no CNSP05 com 0,41 mg/L (Figura 15). Fineza et al. (2014) obteve concentrações de fósforo total entre 0,03 a 0,14 mg/L em um cemitério na cidade de Tabuleiro no Estado de Minas Gerais.

Segundo Mathess & Harvey (1982, apud SANTOS, 2000), devido a ação dos microrganismos a concentração de fosfatos deve ser baixa ($< 0,5$ mg/L) em águas naturais, sendo que valores acima de 1,0 mg/L geralmente são indicativos de águas poluídas. A concentração de fósforo total equivale a 32,63% do valor do fosfato e que, portanto, apenas o poço CNSP05, na primavera, apresentou valor que sugere poluição da água.

Figura 15 - Valores de Fósforo Total nas águas subterrâneas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Dentre os parâmetros analisados, OD, pH, ORP, CE, DQO e fósforo total não possuem valores regulatórios para consumo humano, conforme a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. O parâmetro STD ficou abaixo do VMP pela referida Portaria, enquanto os parâmetros fenóis totais e amônia (NH_3) apresentaram valores acima.

Em relação a pluviometria, observa-se que os parâmetros OD, CE, STD, DQO e fenol apresentaram maiores concentrações na coleta da primavera, cujo volume precipitado foi de 44,6 mm nos dez dias antecedentes a coleta. Já os menores valores para esses parâmetros foram registrados na coleta do verão, quando houve um volume precipitado nos dez dias antecedentes

a coleta de 11,2 mm. Apesar da migração de poluentes, em geral, ser baixa em águas subterrâneas, quando há elevação do N.A. ocorre naturalmente uma maior dispersão dos poluentes. Contudo, destaca-se que a água que abastece o aquífero freático pode lixiviar novos poluentes do solo.

Apesar da maioria dos parâmetros não possuírem valores regulamentados pelo ordenamento jurídico, os mesmos permitem identificar indícios de contaminação das águas subterrâneas. Os maiores valores de CE e os STD foram encontrados em locais próximos a sepultamentos recentes, corroborando com a afirmação de Dent (1995, apud SPONGBERG & BECKS, 2000), que constatou aumento da condutividade elétrica e sais minerais nas águas subterrâneas próximas a túmulos recentes. Já a NH_3 , também indicativa de poluição recente, apresentou em alguns locais valores acima dos permitidos, e face a rápida migração nas águas subterrâneas, esse parâmetro não necessariamente precisa ser identificado em áreas de sepultamentos recentes.

No que se refere a variabilidade de cada um dos parâmetros entre as estações, verifica-se (Tabela 10) que houve diferença significativamente estatística entre as estações para quase todos os parâmetros. A grande variabilidade pode ser explicada pelo fato de que em cada cemitério existem áreas com sepultamentos antigos e recentes, diferenças entre as alturas de N.A., e a análise agrupou os valores dessas duas áreas. Além disso alguns parâmetros sofreram influência da precipitação nos dias antecedentes a coleta.

Tabela 10 - Comparação entre as concentrações médias de cada um dos parâmetros por estação ao nível de significância de 5%.

Parâmetros	CNSP				CCA			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
OD	0,677 a	---	---	7,617 b	1,44 a	---	---	7,89 b
pH	6,77 a	6,23 b	6,40 ab	6,68 ab	6,06 a	5,72 ab	5,83 ab	5,54 b
ORP	56,07 a	24,08 b	12,23 c	-23,25 d	33,76 a	37,10 a	-10,70 b	-1,67 b
CE	281,33 a	96,58 b	198,67 c	132,67 bc	153,08 a	172,06 a	251,44 a	216,75 a
STD	140,67 a	48,17 b	98,00 c	66,17 bc	77,91 a	91,80 a	143,22 a	107,92 a
DQO	0,00 a	0,20 a	0,37 a	2,47 b	0,72 ab	0,00 b	3,46 a	13,80 c
Fenóis Totais	2,72 a	0,16 b	0,41 c	0,63 d	1,43 a	0,08 b	0,71 ab	0,82 ab
NH_3	0,04 ac	0,47 b	0,006 a	0,26 bc	0,61 a	20,64 b	0,02 a	0,05 a
Fósforo Total	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,61 b	0,03 a	0,00 a	0,00 a	0,31 a

Obs.: Médias nas linhas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste t de Student.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

4.3 METAIS PESADOS NA ÁGUA

Com relação as 24 amostras coletadas durante o período, foram determinadas as concentrações de Cd, Pb, Cu, Cr, Ni e Zn. Todas as amostras apresentaram concentrações dos metais Cu e Pb inferiores ao limite mínimo de detecção do aparelho (Apêndice E).

As amostras apresentaram concentrações de Ni inferiores ao limite mínimo de detecção do aparelho, com exceção da amostra coletada no CNSP04, na estação do verão, cuja concentração foi de 0,899 mg/L (Apêndice E; Tabela E1), acima do VMP, que é de 0,02 mg/L para consumo humano, conforme a Resolução CONAMA nº 396/2008 e de 0,07 mg/L, conforme estabelecido na Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. De acordo com Rathor et al. (2014), nenhum nível seguro pode ser recomendado para o Ni na água, pois o mesmo é cancerígeno. É um elemento estável e persistente no ambiente, visto que não pode ser biologicamente ou quimicamente degradado ou destruído (GONZALEZ, 2016).

As amostras apresentaram concentrações de Zn acima do limite mínimo de detecção do aparelho apenas na amostra do poço CNSP04 relativo a estação do verão, cuja concentração foi de 0,655 mg/L (Apêndice E; Tabela E1), abaixo do VMP, que é de 5 mg/L para consumo humano, estabelecido na Resolução CONAMA nº 396/2008 e Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

As amostras apresentaram concentrações, em todas as amostras, de Cd e o Cr, de ambos cemitérios, acima do limite mínimo de detecção do aparelho (Tabela 11; Apêndice E).

Tabela 11 - Concentrações totais (mg/L) de cromo e cádmio nas águas dos cemitérios Nossa Senhora da Penha e Cruz das Almas.

Poços	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)
CNSP01	0,032	0,5241	0,033	0,374	0,033	0,461	0,003	0,2366
CNSP02	N.E.	N.E.	0,031	0,502	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CNSP03	0,033	0,4985	0,033	0,500	0,030	0,497	0,003	0,6146
CNSP04	0,034	0,8484	0,033	0,488	N.E.	N.E.	0,006	0,5007
CNSP05	0,033	0,4527	0,032	0,569	0,033	0,549	0,003	0,4104
CCA01	N.E.	N.E.	0,034	0,619	N.E.	N.E.	0,004	0,3958
CCA02	N.E.	N.E.	0,032	0,553	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CCA03	0,032	0,5973	0,034	0,663	0,034	0,582	0,003	0,5729
CCA06	N.E.	N.E.	0,033	0,630	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

N.E.: Não Existente devido ao nível d'água estar abaixo da profundidade máxima do poço.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

As amostras apresentaram concentrações de Cd acima do VMP, que é de 0,005 mg/L para consumo humano, conforme a Resolução CONAMA nº 396/2008 e Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (Tabela 11). As menores concentrações foram registradas na estação da primavera, em ambos os cemitérios. O Cr também apresentou valores acima do VMP, que é de 0,05 mg/L para consumo humano, conforme a citada Resolução e respectiva Portaria (Tabela 11).

As amostras apresentaram concentrações de Cd acima do VMP em 83,34% das amostras, com concentrações, em média, de 0,025 mg/L no CNSP e de 0,026 mg/L no CCA (Tabela 12). A maior concentração de Cd em ambos os cemitérios foi de 0,034 mg/L, sendo que no CCA essa concentração foi registrada na estação do inverno no CCA03, enquanto que no CNSP foi registrada na estação do verão, no CNSP04 (Apêndice E). Migliorini et al. (2006) e Costa et al. (2002) também verificaram concentrações acima do VMP ao avaliarem a concentração de Cd em águas subterrâneas que estavam sob a influência de cemitérios na região de Cuiabá (0,0065 mg/L) e em Belo Horizonte (0,042 mg/L), respectivamente.

As amostras apresentaram concentrações de Cr acima do VMP em 100% das amostras, com concentrações, em média, de 0,502 mg/L no CNSP e de 0,577 mg/L no CCA (Tabela 12). A maior concentração de Cr no CCA foi registrada na estação do inverno no CCA03, enquanto que no CNSP essa concentração foi registrada na estação do verão, no CNSP04 (Apêndice E). Costa et al. (2002) também verificaram concentração acima do VMP ao avaliarem concentração de Cr em águas subterrâneas que estavam sob a influência de cemitérios.

Tabela 12 - Estatística descritiva dos metais cádmio e cromo.

Parâmetros estatísticos	CNSP		CCA	
	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)
	-----mg/L-----			
Contagem	16,000	16,000	8,000	8,000
Máximo	0,848	0,034	0,663	0,034
Mínimo	0,237	0,003	0,396	0,003
Amplitude	0,611	0,031	0,267	0,031
Média	0,502	0,025	0,577	0,026
Desvio Padrão	0,126	0,013	0,052	0,011
Coefficiente de variação (%)	0,252	0,514	0,090	0,434

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O CNSP04, na estação do verão, apresentou as maiores concentrações de Cd (0,034 mg/L) e Cr (0,848 mg/L), além de registrar concentração de Ni (0,899 mg/L) acima do VMP

(Apêndice E; Tabela E1). Essa situação pode estar associada ao acúmulo de contaminantes em menor cota topográfica.

Tanto o Cd quanto o Cr são metais tóxicos sistêmicos, que são conhecidos por induzir danos a múltiplos órgãos, mesmo em níveis mais baixos de exposição (TCHOUNWOU et al., 2012). Devido ao alto grau de toxicidade, esses metais são classificados entre os metais prioritários, no que tange a importância para a saúde pública (TCHOUNWOU et al., 2012).

De acordo com Rieuwertts et al. (2006), o pH exerce forte influência na dinâmica dos íons metálicos catiônicos, sendo estes mais móveis em condições de pH baixo. Geralmente as condições de acidez favorecem o aumento do potencial de lixiviação das formas solúveis dos compostos metálicos (FERNANDEZ et al., 2007). Em valores mais elevados de pH, os metais tendem a precipitar (LANGE, 2012). O pH das águas subterrâneas sob influência dos cemitérios estudados variou entre 5,26 (outono) e 6,98 (primavera).

Apesar da mobilidade das águas subterrâneas ser comumente baixa, o pH baixo das águas estudadas favorece a mobilidade dos metais. O fato das concentrações dos metais Cd e Cr não apresentarem elevada variabilidade entre os poços estudados, em uma mesma estação, independente se a área é de sepultamento recente ou antiga, indica que há carreamento dos metais pelas águas subterrâneas, o que pode afetar áreas vizinhas e até mesmo aquíferos subjacentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cemitérios estudados apresentam inadequações no que tange à altura do N.A., que é próxima da superfície do terreno. A altura do N.A. é um dos fatores que possui relação direta com o potencial poluidor dos cemitérios nas águas subterrâneas, devido a zona não-saturada servir de barreira para os contaminantes.

As condições de precipitação nos dias antecedentes as coletas foram significativas na análise pontual de alguns parâmetros, como CE, STD e fenóis totais, sendo recomendado que em análises pontuais seja observada a precipitação nos dias antecedentes as coletas. A sazonalidade não apresentou relação significativa com as concentrações obtidas, visto que foram observados indícios de contaminação em todas as estações.

Em análise com o ordenamento jurídico, os parâmetros: fenóis totais e NH₃, e os metais pesados: Cr, Cd e Ni apresentaram valores acima dos VMP estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e a Portaria n° 2.914/2011, em ambos os cemitérios. Apesar dos cemitérios se apresentarem em desacordo com o ordenamento jurídico, o CNSP apresentou

concentrações mais elevadas de contaminantes para os parâmetros CE, STD, ORP, DQO, NH₃, Cr e Ni quando comparados ao CCA, o que pode estar associado ao fato de haverem aproximadamente três vezes mais sepultamentos no CNSP.

Os sepultamentos recentes têm maior influência sobre os parâmetros físico-químicos. Para os metais pesados não foi possível definir se os mesmos têm maior relação com sepultamentos antigos ou recentes, indicando que pode haver carreamento dos metais pelas águas subterrâneas, o que pode afetar áreas vizinhas e até mesmo aquíferos subjacentes.

A prática de sepultamentos de corpos deve ser conduzida de forma ambientalmente controlada, com condições adequadas do meio. É imprescindível que haja um posicionamento, dos órgãos responsáveis competentes, no que tange a continuidade das atividades em cemitérios estabelecidos previamente à legislação, que apresentam potencial poluidor aos recursos ambientais e à saúde pública, e o encerramento das atividades nessas áreas, como é o caso dos cemitérios estudados.

REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.560**. Águas - Determinação de nitrogênio amoniacal - Métodos de nesslerização, fenato e titulométrico. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.357**. Águas - Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) - Métodos de refluxo aberto, refluxo fechado - Titulométrico e refluxo fechado – Colorimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ALMEIDA, R. B. G.; SILVA, D.J. Análise de áreas mais propícias à recarga do Sistema Aquífero Guarani na região hidrográfica do Planalto de Lages (SC): subsídios para a gestão das águas subterrâneas. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, In: **Anais...** Maceió, 2011.

ALMEIDA, J. B. et al. Salinidade de águas subterrâneas na bacia do Rio da Prata em São Luis/MA. XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVIII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, In: **Anais...** Bonito, 2012.

Análisis Del Água. E. Merck. Darmstand. Alemanha. Pg. 96. Método da Nitroanilina.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: APHA, 1999.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2012.

AQUINO, J. D.; CRUZ, M. J. M. Os riscos ambientais do cemitério do Campo Santo, Salvador, Bahia, Brasil. **Cadernos de Geociências**, v. 7, n. 1, p. 19-30, 2010.

AVILA, C. et al. Emerging organic contaminant removal depending on primary treatment and operational strategy in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Influence of redox. **Water Research**, v. 47, p. 18, 2013.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 335, de 03 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. - In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 maio 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 368, de 28 de março de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. - In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, nº 61, 29 março 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. - In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, nº 66, 7 abril de 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em: 07 mai. 2016

CAMPOS, A. P. S. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrentes da atividade cemiterial**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2007.

CAIRES, S. M. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento dos valores de referência de qualidade.** 2009. 321 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

CAVALCANTE, I. N. et al. Qualidade das águas subterrâneas na bacia sedimentar de Iguatu – Área piloto Iguatu e Quixelô, estado do Ceará. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2004.

COSTA, W. D.; MENEGASSE, L. N.; FRANCO, R. D. Contaminação da água subterrânea relacionada com os cemitérios da Paz e da Saudade no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina.** 2014. Escala 1:500.000.

CUTRIM, A. O.; CAMPOS, J. E. G. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na Cidade De Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. **Geociências (São Paulo)**, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2010.

EUBA NETO, M. et al. Análises físicas, químicas e microbiológicas das águas do Balneário Veneza na Bacia Hidrográfica do Médio Itapecuru, MA. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 3, p. 397-403, 2012.

FERNANDEZ, R. O. et al. Temporal and spatial monitoring of the pH and heavy metals in a soil polluted by mine spill. Post cleaning effects. **Water Air Soil Pollution**, v. 178, p. 229–243, 2007.

FIEDLER, S. et al. Graveyards - Special landfills. **Science of the Total Environment**, v. 419, p. 90-97, 2012.

FINEZA, A. G. et al. Impacts on the Groundwater Quality Within a Cemetery Area in Southeast Brazil. **Soils and Rocks**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 161-169, 2014.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Washington: Groundwater Management Advisory GW, 2006.

GONZALEZ, K.R. Toxicologia do níquel. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 9, n. 2, 2016.

JONKER, C.; OLIVIER, J. Mineral contamination from cemetery soils: Case study of Zandfontein cemetery, South Africa. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 9, n. 2, p. 511-520, 2012.

KADUNC, B. V.; VANTI, A.A. Avaliação da toxicidade sistêmica do fenol em peelings faciais. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v. 1, n. 1, 2009.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1713-1721, 2013.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LANGE, C. N. **Contaminação do solo e mobilidade de As, Cd, Mo, Pb e Zn em colunas de solo franco arenoso com cinza de carvão**. 2012. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LERNER, D. N. Identifying and quantifying urban: a review. **Hidrogeology Journal**, v. 10, n. 1, p. 143 - 152, 2002.

MAGALHÃES, V. S. **Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta (MG)**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MAJGIER, L., RAHMONOV, O. Selected chemical properties of Necrosols from the abandoned cemeteries Słabowo and Szymonka (Great Mazurian Lakes District). **Bulletin of Geography. Physical Geography Series**, v. 5, n. 1, p. 43-55, 2012.

MATOS, B. A. **A avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Zona Norte do Município de São Paulo**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**, Fortaleza: CPRM: LABHID-UFPE, 2000, 391 p.

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo.** 1994. 77 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MIGLIORINI, R. B.; LIMA, Z. M.; ZEILHOFER, L. V. A. C. Qualidade das águas subterrâneas em áreas de cemitérios. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, 2006.

MOREIRA, F. H. et al. **Aplicação da sonda horiba U-23 na análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas sobre influência da mina de urânio osamu utsumi em Caldas - MG.** In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE – INAC, Recife, 2013.

OLIVEIRA, L. A. de; CAMPOS, J. E. G. Análise da distribuição dos parâmetros físico-químicos das águas do Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 37, 2011.

OLIVEIRA, B. et al. Burial grounds' impact on groundwater and public health: an overview. **Water and Environment Journal**, v. 27, n. 1, p. 99-106, 2012.

OLIVEIRA, A. P. **Avaliação da influência dos macronutrientes na bioacumulação do chumbo pela *Eichhornia crassipes*.** 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 121p.

OLIVEIRA, Í. M. D. et al. Análise de peças anatômicas preservadas com resina de poliéster para estudo em anatomia humana. **Rev. Col. Bras. Cir.**, v. 40, n. 1, p. 76-80, 2013.

OMS - ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD - OMS. **Guías para la calidad del agua potable.** v. 1: Recomendaciones. 3 ed. 2006. Disponível em <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf> Acesso em 28/10/2017.

PACHECO, A. **Cemitério e meio ambiente.** 2000. [tema de livre docência]. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PIVELI, R. P., KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: Aspectos Físico-Químicos.** São Paulo: ABES, 2006, 285 p.

RATHOR, G., CHOPRA, N., ADHIKARI, T. Nickel as a Pollutant and its Management. **International Research Journal of Environment Sciences.** v. 3, n. 10, p. 94-98, 2014.

RIEUWERTS J. S. et al. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. *Science of the total Environment*, v. 366, p. 64–875, 2006.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256 p.

SANTOS FILHO. D. F. dos. **Tecnologia de Tratamento de Água**. 1976, pg 206.

SCHEIBE, L. F. **Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC**. 1986. 246 f. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**, Fortaleza: CPRM: LABHID-UFPE, 2000, 391 p.

SILVA, RW da C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Cubatão, v. 9, p. 26-35, 2008.

SILVA, R. de C. A. da; ARAÚJO, T. M. de. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

SOCCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 569-574, 2010.

SPONGBERG, A. L.; BECKS, P. M. Inorganic soil contamination from cemeteries leached. **Water, Air, Soil Poll**, v. 117, p. 313-327, 2000.

TCHOUNWOU, P. B. et al. **Heavy metal toxicity and the environment**. In: *Molecular, clinical and environmental toxicology*. Springer Basel, 2012. p. 133-164.

ÜÇISIK, A.S.; RUSHBROOK, P. **The impact of cemeteries on the environment and public health, an introductory briefing**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1998.

VAN HAAREN F. W. J. Cemeteries as sources of groundwater contamination. (em neerlandês). **Water**, v. 35, n. 16, p. 167-172, 1951.

VASCONCELLOS, G.R. **Avaliação das condições de oxirredução em sistema alagado construído de escoamento horizontal subsuperficial**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

WIEDEMEIER, T.H. et al. **Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface**. John Wiley & Sons: New York, 1999.

WILLIAMS, A. et al. Environmental considerations for common burial site selection after pandemic events. In: **Criminal and Environmental Soil Forensics**; Ritz, K., Dawson, L., Miller, D. Eds.; Springer: The Netherlands, p. 87-101, 2009.

WHO - WORLD HEALTH ORGANISATION. **Quality assurance of pharmaceuticals: a compendium of guidelines and related materials**. 2 eds. v. 2. Geneva, 2007.

XAVIER, J.L.N. **Aplicação de técnicas eletroquímicas na degradação de poluentes orgânicos aromáticos refretários**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ZYCHOWSKI, J. Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review. **Catena**, v. 93, p. 29-37, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

Estudos desse tipo foram e continuam sendo importantes alavancas para a elaboração de políticas públicas. Apesar da evolução desde 2003, no que tange ao ordenamento jurídico, o mesmo apresenta lacunas em relação à regularização dos cemitérios tradicionais pré-existentes ao estabelecimento da Resolução CONAMA nº 335/2003. Devido a essas lacunas, muitos cemitérios, que se encontram em condições inadequadas, continuam em funcionamento.

As características físico-químicas dos solos são fatores determinantes para a lixiviação de poluentes nas áreas em que são instalados os cemitérios. Em ambos cemitérios estudados, apesar de os teores de argila serem tecnicamente satisfatórios para a atividade cemiterial, a CTC e o pH do solo não favorecem a adsorção de íons catiônicos, que se tornam mais móveis e susceptíveis a lixiviação.

As concentrações dos metais analisados encontram-se abaixo dos valores de Prevenção e de Intervenção para solos, conforme a Resolução CONAMA nº 420/2009. Contudo, a espacialização das concentrações dos metais indica que pode estar havendo acúmulo de dos metais pesquisados em áreas de menores cotas topográficas e possível contaminação das águas subterrâneas devido ao processo de lixiviação.

As águas subterrâneas apresentam vulnerabilidade, devido as condições insatisfatórias do solo e à altura do N.A., que é próxima da superfície do terreno, facilitando o processo de lixiviação. As águas subterrâneas que estão sob influência direta dos cemitérios apresentaram fenóis totais e NH_3 , e os metais pesados: Cr, Cd e Ni acima dos VMP estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011.

Apesar de alguns parâmetros físico-químicos da água não possuírem regulamentação, os resultados expressados pelos mesmos são fundamentais, quando se trata de análise de qualidade da água (superficial ou subterrânea), e auxiliam para o esclarecimento de situações relativas a poluição e/ou contaminação. No caso em questão, parâmetros como STD, CE, DQO e ORP apresentaram indícios de contaminação recente em alguns locais, as quais foram confirmadas com a análise de alguns parâmetros regulamentados, como fenóis totais e NH_3 .

Além dos parâmetros físico-químicos das águas, os metais pesados no solo também apresentam indícios de contaminação, decorrente dos sepultamentos recentes. Essa constatação indica que, nas áreas de sepultamentos mais antigos os metais pesados do solo podem já terem lixiviado para as águas subterrâneas, ou para locais com cotas topográficas inferiores; e atualmente os sepultamentos recentes são os que mais aportam poluentes para as águas subterrâneas.

Com os resultados obtidos nessa pesquisa, que corroboraram com outros estudos semelhantes, é possível afirmar que os empreendimentos cemiteriais impactam negativamente no ambiente em que estão localizados e no entorno, quando estabelecidos em locais com características geológicas e hidrogeológicas impróprias para tal atividade, e quando a atividade de sepultamentos não segue critérios de manejo e controle ambiental adequados, estabelecidos pelo ordenamento jurídico.

Para que exista sustentabilidade na atividade de sepultamentos, é necessário que haja mudanças na forma em que ocorrem os sepultamentos. O uso de materiais inertes e/ou biodegradáveis tanto nos caixões, quanto nos tecidos funerário, além da utilização de compostos sem potencial poluidor na preparação do corpo, são medidas passíveis de serem implementadas, e que não alteram de forma substancial o rito religioso que é o sepultamento tradicional de corpos.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros vislumbrem práticas efetivas para regularizar os cemitérios que iniciaram suas atividades anteriormente a abril de 2003 e que se encontram em condição de passivo ambiental. Apesar do estabelecimento de ordenamento jurídico que considere aspectos construtivos, locacionais e de regulamentação ser um fato muito positivo, muitos cemitérios se encontram em condições inadequadas, e mesmo assim, não tiveram suas atividades interditadas, conforme estabelece a Lei 9.605/1998.

REFERÊNCIAS GERAIS

ALMEIDA, R. B. G.; SILVA, D.J. Análise de áreas mais propícias à recarga do Sistema Aquífero Guarani na região hidrográfica do Planalto de Lages (SC): subsídios para a gestão das águas subterrâneas. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, In: **Anais...** Maceió, 2011.

ANDRADE, E. **A Cidade nos campos de cima da serra: experiências de urbanização e saúde em Lages-SC-1870 a 1910**. 2011. 317 f. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 335**, de 3 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. - In: Diário Oficial da União, nº 101, de 28 de maio de 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 368**, de 28 de março de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. - In: Diário Oficial da União, nº 61, 29 março 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 402**, de 17 de novembro de 2008. Altera os artigos 11 e 12 da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. - In: Diário Oficial da União, nº 224, de 18 de novembro de 2008.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. 2014. Escala 1:500.000.

FLORIANI, G. K. **Teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, E Zn do solo do Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC**. 2013, 57f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

FIEDLER, S. et al. Graveyards - Special landfills. **Science of the Total Environment**, v. 419, p. 90-97, 2012.

JONKER, C.; OLIVIER, J. Mineral contamination from cemetery soils: Case study of Zandfontein cemetery, South Africa. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 9, n. 2, p. 511-520, 2012.

MICHEL, T. 210 vagas nos cemitérios públicos. Correio Lageano, Lages, 05 set 2011. Disponível em: <<http://www.clmais.com.br/informacao/25037/210-vagas-nos-cemit%C3%A9rios-p%C3%ABlicos>>. Acesso em: 15 jun 2016.

PACHECO, A. **Cemitério e meio ambiente**. 2000. [tema de livre docência]. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHEIBE, L. F. **Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC**. 1986. 246 p. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1986

SILVA, RW da C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Cubatão, v. 9, p. 26-35, 2008.

APÊNCICES

APÊNDICE A - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SOLO

Tabela A1 - Coordenadas dos pontos de coleta de solo no Cemitério Nossa Senhora da Penha e entorno, e profundidade da amostra coletada.

CEMITERIO NOSSA SENHORA DA PENHA				
Ponto de coleta	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Profundidade da amostra coletada (m)
CNSP01	569668	6923679	895	160 a 180 cm
CNSP02	569743	6923631	895	160 a 180 cm
CNSP03	569703	6923643	894	160 a 180 cm
CNSP04	569788	6923619	896	160 a 180 cm
CNSP05	569851	6923616	898	160 a 180 cm
CNSP06	569934	6923603	899	160 a 180 cm
CNSP07	569951	6923631	903	160 a 180 cm
CNSP08	569784	6923679	901	160 a 180 cm
CNSP09	569890	6923658	905	160 a 180 cm
CNSP10	569739	6923720	902	160 a 180 cm
CNSP11	569832	6923737	909	160 a 180 cm
CNSP12	569943	6923731	914	160 a 180 cm
CNSP13	570099	6923750	918	160 a 180 cm
CNSP14 ⁽¹⁾	570164	6923802	921	160 a 180 cm
CNSP15 ⁽¹⁾	570110	6923852	920	50 a 70 cm
CNSP16 ⁽¹⁾	570046	6923839	917	80 a 100 cm
CNSP17 ⁽²⁾	569682	6923631	892	40 a 50 cm
CNSP18 ⁽²⁾	569654	6923635	892	50 a 60 cm
CNSP19 ⁽³⁾	569657	6923620	890	---
CNSP20 ⁽³⁾	569676	6923612	891	---
CNSP21 ⁽³⁾	569695	6923605	891	---

⁽¹⁾ Solo Testemunha; ⁽²⁾ Solo Alagadiço; ⁽³⁾ Solo Aluvionar.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Tabela A2 - Coordenadas dos pontos de coleta de solo, no Cemitério Cruz das Almas e entorno, e profundidade da amostra coletada.

CEMITERIO CRUZ DAS ALMAS				
Ponto de coleta	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Profundidade da amostra coletada (m)
CCA01	565369	6921730	929	160 a 180 cm
CCA02	565361	6921676	932	160 a 180 cm
CCA03	565282	6921544	830	160 a 180 cm
CCA05	565323	6921585	925	160 a 180 cm
CCA06	565387	6921617	918	160 a 180 cm
CCA07	565424	6921544	830	160 a 180 cm
CCA08	565454	6921510	920	160 a 180 cm
CCA09	565440	6921627	918	85 a 95 cm
CCA10	565422	6921673	930	160 a 180 cm
CCA11	565409	6921743	932	160 a 180 cm
CCA12 ⁽¹⁾	565289	6921719	925	160 a 180 cm
CCA13 ⁽¹⁾	565470	6921836	924	160 a 180 cm
CCA14 ⁽¹⁾	565256	6921673	922	160 a 180 cm

⁽¹⁾ Solo Testemunha.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO TESTEMUNHA

Tabela B1 - Granulometria das amostras de solo Testemunha do Cemitério Nossa Senhora da Penha e do Cemitério Cruz das Almas.

Solo Testemunha	Análise Granulométrica (%)		
	Argila	Areia	Silte
CNSP14	41,40	32,90	25,70
	41,40	33,90	24,70
CNSP15	41,40	30,00	28,60
	39,40	27,50	33,10
CNSP16	33,40	39,70	26,90
	31,40	40,80	27,80
CCA12	41,40	30,70	27,90
	41,40	30,70	27,90
CCA13	15,40	62,40	22,20
	15,40	71,30	13,30
CCA14	31,40	49,50	19,10
	31,40	39,30	29,30

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Tabela B2 - Características química das amostras de solo Testemunha do Cemitério Nossa Senhora da Penha e do Cemitério Cruz das Almas.

Solo Testemunha	pH-Água (1:1)	MO (g/dm ³)	P	K	Al	Ca	Mg
			(mg/dm ³)		(cmolc/dm ³)		
CNSP14	3,90	14,00	2,50	80,00	4,50	0,30	0,20
	4,20	14,00	2,50	73,00	4,70	0,30	0,20
CNSP15	4,00	27,00	2,80	64,00	4,10	0,20	0,10
	4,40	27,00	2,70	76,00	4,70	0,20	0,10
CNSP16	4,40	17,00	3,20	52,00	2,60	0,60	0,50
	4,30	17,00	3,50	48,00	2,20	0,50	0,50
CCA12	4,10	27,00	3,40	52,00	3,60	0,70	0,40
	4,10	27,00	3,60	56,00	4,20	0,70	0,40
CCA13	6,20	20,00	11,40	64,00	0,00	9,10	1,80
	6,00	23,00	14,40	60,00	0,00	7,90	1,40
CCA14	4,20	22,00	2,80	56,00	3,90	0,40	0,10
	4,30	24,00	2,80	56,00	3,50	0,20	0,10
Solo Testemunha	H+Al (cmolc/dm ³)	CTC pH7.0	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH 7.0			
				Bases	K	Ca	Mg
CNSP14	16,71	17,41	86,58	4,01	1,18	1,72	1,11
	6,98	7,68	87,08	9,08	2,53	3,91	2,64
CNSP15	5,42	5,88	89,84	7,89	2,78	3,4	1,7
	39,09	39,58	90,48	1,25	0,49	0,49	0,51
CNSP16	14,23	15,49	67,44	8,10	0,86	0,86	3,87
	15,78	16,91	66,03	6,69	6,69	0,73	3,01
CCA12	13,28	14,47	75,09	8,25	0,92	4,59	2,75
	17,70	18,99	76,53	6,78	0,75	3,87	2,16
CCA13	2,04	13,14	0,00	84,46	1,25	69,14	14,07
	1,95	11,40	0,00	82,94	1,35	68,95	12,64
CCA14	21,52	22,14	86,24	2,81	0,65	1,76	0,41
	4,89	5,32	89,04	8,10	2,69	3,76	1,65

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

APÊNDICE C - CARACTERIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

Tabela C1 - Descrição dos poços monitorados no Cemitério Nossa Senhora da Penha e no Cemitério Cruz das Almas.

Poço de monitoramento	Latitude	Longitude	Profundidade do poço(m)	Profundidade do N.A. (m)*
CNSP01	27°48'36.37"S	50°17'30.65"O	3,53	3,06
CNSP02	27°48'37.55"S	50°17'25.49"O	2,72	Corre a seco ¹
CNSP03	27°48'32.94"S	50°17'19.38"O	2,04	1,75
CNSP04	27°48'34.05"S	50°17'33.70"O	3,1	2,95
CNSP05	27°48'31.31"S	50°17'24.51"O	4,25	3,75
CNSP06	27°48'33.94"S	50°17'30.78"O	7,8	Corre a seco ¹
CCA01	27°49'39.01"S	50°20'10.17"O	2,65	Corre a seco ¹
CCA02	27°49'41.49"S	50°20'12.64"O	2,7	Corre a seco ¹
CCA03	27°49'43.99"S	50°20'12.37"O	1,75	1,45
CCA04	27°49'45.66"S	50°20'6.81"O	1,32	Corre a seco ¹
CCA06	27°49'42.75"S	50°20'9.78"O	1,94	Corre a seco ¹

Corre a seco¹: profundidade máxima do poço de monitoramento ficou acima da altura do nível freático.

* Data da medição do N.A.:07/03/2017.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

APÊNDICE D - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

Tabela D1 - Resultados das análises físico-químicas, por poço, em cada estação, no Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC (Continua).

CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA PENHA									
Poço	OD (mg/L)	pH	ORP	CE (μ S/cm)	STD (mg/L)	DQO (mg/L)	Fenóis (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Amônia (NH ₃) (mg/L)
VERÃO									
CNSP01	0,84	6,57	21,50	134,00	67,00	0,95	2,32	0,37	1,46
	8,77	6,57	21,30	137,00	68,00	4,85	2,27	0,00	1,49
	0,72	6,54	19,60	133,00	66,00	0,00	2,34	0,00	1,59
Média	3,44	6,56	20,80	134,67	67,00	1,93	2,31	0,12	1,51
D.P.	4,61	0,02	1,04	2,08	1,00	2,57	0,04	0,21	0,07
CNSP02	N.E. ¹								
CNSP03	0,68	6,42	27,50	305,00	152,00	0,00	2,77	0,00	8,48
	0,63	6,50	30,10	302,00	151,00	1,86	2,88	0,00	8,64
	0,83	6,50	29,30	281,00	141,00	0,95	2,83	0,00	9,96
Média	0,71	6,47	28,97	296,00	148,00	0,94	2,83	0,00	9,03
D.P.	0,10	0,05	1,33	13,08	6,08	0,93	0,06	0,00	0,81
CNSP04	0,91	5,53	37,70	18,00	9,00	0,00	1,02	0,00	0,03
	0,86	5,35	35,50	16,00	8,00	0,00	1,23	0,00	0,04
	0,84	5,34	31,60	16,00	8,00	0,00	0,95	0,00	0,02
Média	0,87	5,41	34,93	16,67	8,33	0,00	1,07	0,00	0,03
D.P.	0,04	0,11	3,09	1,15	0,58	0,00	0,15	0,00	0,01
CNSP05	0,73	5,93	45,70	184,00	92,00	0,00	0,04	0,00	0,00
	0,79	5,80	49,30	180,00	90,00	0,00	0,05	0,00	0,02
	0,76	5,67	55,60	167,00	83,00	0,00	0,02	0,00	0,03
Média	0,76	5,80	50,20	177,00	88,33	0,00	0,04	0,00	0,02
D.P.	0,03	0,13	5,01	8,89	4,73	0,00	0,02	0,00	0,02
OUTONO									
CNSP01	N.E. ²	4,75	55,50	217,00	109,00	0,00	1,18	0,00	70,95
		5,37	43,40	158,00	80,00	0,00	1,18	0,00	67,65
		5,65	42,40	156,00	78,00	0,00	1,14	0,00	72,27
Média	---	5,26	47,10	177,00	89,00	0,00	1,17	0,00	70,29
D.P.	---	0,46	7,29	34,66	17,35	0,00	0,02	0,00	2,38
CNSP02	N.E. ²	5,92	55,90	149,00	74,00	0,00	0,01	0,00	1,50
		5,88	49,90	140,00	70,00	0,00	0,03	0,00	2,17
		5,96	45,80	142,00	71,00	0,00	0,08	0,00	1,86
Média	---	5,92	50,53	143,67	71,67	0,00	0,04	0,00	1,84
D.P.	---	0,04	5,08	4,73	2,08	0,00	0,04	0,00	0,34
CNSP03	N.E. ²	5,61	43,80	176,00	88,00	0,00	0,03	0,00	32,25
		5,62	46,00	168,00	84,00	0,00	0,09	0,00	17,85
		5,62	41,10	164,00	82,00	0,00	0,09	0,00	27,00
Média	---	5,62	43,63	169,33	84,67	0,00	0,07	0,00	25,70
D.P.	---	0,01	2,45	6,11	3,06	0,00	0,03	0,00	7,29
CNSP04	N.E. ²	5,23	30,90	29,00	15,00	0,00	0,10	0,00	4,90
		5,27	24,30	28,00	14,00	0,00	0,08	0,00	5,40
		5,33	21,90	27,00	13,00	0,00	0,06	0,00	5,10
Média	---	5,28	25,70	28,00	14,00	0,00	0,08	0,00	5,13
D.P.	---	0,05	4,66	1,00	1,00	0,00	0,02	0,00	0,25
CNSP05	N.E. ²	6,47	9,80	399,00	200,00	0,00	0,17	0,00	0,25
		6,57	20,60	397,00	199,00	0,00	0,17	0,00	0,27
		6,58	25,20	400,00	200,00	0,00	0,15	0,00	0,25
Média	---	6,54	18,53	398,67	199,67	0,00	0,16	0,00	0,26
D.P.	---	0,06	7,91	1,53	0,58	0,00	0,01	0,00	0,01

Tabela D1 - Resultados das análises físico-químicas, por poço, em cada estação, no Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC (Conclusão).

Poço	OD (mg/L)	pH	ORP	CE (μ S/cm)	STD (mg/L)	DQO (mg/L)	Fenóis (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Amônia (NH ₃) (mg/L)
INVERNO									
CNSP01	N.E. ²	6,10	-5,60	139,00	70,00	4,76	1,95	0,00	0,00
		6,26	-11,90	140,00	70,00	2,39	1,99	0,00	0,00
		6,28	-15,70	141,00	70,00	3,80	1,96	0,00	0,00
Média	---	6,21	-11,07	140,00	70,00	3,65	1,97	0,00	0,00
D.P.	---	0,10	5,10	1,00	0,00	1,19	0,02	0,00	0,00
CNSP02	N.E. ¹								
CNSP03	N.E. ²	5,72	-8,60	166,00	83,00	6,57	0,13	0,00	0,00
		5,72	-15,00	157,00	79,00	7,09	0,15	0,00	0,00
		5,74	-11,60	165,00	83,00	6,50	0,13	0,00	0,00
Média	---	5,73	-11,73	162,67	81,67	6,72	0,14	0,00	0,00
D.P.	---	0,01	3,20	4,93	2,31	0,32	0,01	0,00	0,00
CNSP04	N.E. ¹								
CNSP05	N.E. ²	5,99	-11,00	563,00	281,00	0,00	0,06	0,00	0,14
		6,05	-10,70	550,00	275,00	0,00	0,04	0,00	0,00
		6,04	-6,20	556,00	278,00	0,00	0,01	0,00	0,06
Média	---	6,03	-9,30	556,33	278,00	0,00	0,04	0,00	0,07
D.P.	---	0,03	2,69	6,51	3,00	0,00	0,03	0,00	0,07
PRIMAVERA									
CNSP01		5,60	4,93	29,20	144,00	72,00	13,98	2,29	0,00
		8,80	5,72	8,70	133,00	60,00	17,55	0,13	0,00
		9,50	5,88	2,90	142,00	71,00	17,62	2,24	0,00
Média		7,97	5,51	13,60	139,67	67,67	16,38	1,55	0,00
D.P.		2,08	0,51	13,82	5,86	6,66	2,08	1,23	0,00
CNSP02	N.E. ¹								
CNSP03		8,40	5,28	7,30	137,00	68,00	18,08	0,11	0,00
		9,00	5,29	-0,60	132,00	66,00	15,73	0,11	0,00
		8,50	5,30	-7,30	131,00	66,00	16,96	0,08	0,00
Média		8,63	5,29	-0,20	133,33	66,67	16,92	0,10	0,00
D.P.		0,32	0,01	7,31	3,21	1,15	1,18	0,02	0,00
CNSP04		8,50	5,35	0,10	19,00	10,00	5,87	0,39	0,00
		9,70	5,40	-9,90	19,00	9,00	9,28	0,44	0,00
		9,60	5,41	-13,80	19,00	9,00	3,97	0,42	0,00
Média		9,27	5,39	-7,87	19,00	9,33	6,37	0,42	0,00
D.P.		0,67	0,03	7,17	0,00	0,58	2,69	0,03	0,09
CNSP05		6,00	5,93	-9,00	573,00	287,00	12,42	1,19	1,04
		5,60	5,96	-13,40	573,00	287,00	13,31	1,12	0,52
		5,90	6,02	-14,30	579,00	290,00	20,79	1,30	2,21
Média		5,83	5,97	-12,23	575,00	288,00	15,51	1,20	1,26
D.P.		0,21	0,05	2,84	3,46	1,73	4,60	0,09	0,87

D.P.: Desvio Padrão

N.E.¹: Não Existente devido ao nível d'água estar abaixo da profundidade máxima do poço.N.E.²: Não Existente devido a problemas técnicos.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela D2 - Resultados das análises físico-químicas, por poço, em cada estação, no Cemitério Cruz das Almas, Lages – SC.

Poço	OD (mg/L)	pH	ORP	CE (μ S/cm)	STD (mg/L)	DQO (mg/L)	Fenóis (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Amônia (NH ₃) (mg/L)
VERÃO									
CCA01	N.E. ¹								
CCA02	N.E. ¹								
CCA03	0,63	6,04	65,90	301,00	150,00	0,00	2,47	0,62	0,03
	0,70	7,10	50,20	281,00	141,00	0,00	3,09	0,48	0,03
	0,70	7,16	52,10	262,00	131,00	0,00	2,59	0,74	0,06
Média	0,68	6,77	56,07	281,33	140,67	0,00	2,72	0,61	0,04
D.P.	0,04	0,63	8,57	19,50	9,50	0,00	0,33	0,13	0,02
CCA06	N.E. ¹								
OUTONO									
CCA01	N.E. ²	6,08	25,00	37,00	18,00	0,00	0,03	0,00	0,33
		5,94	27,30	36,00	18,00	1,12	0,07	0,00	0,11
		5,90	25,10	36,00	18,00	0,00	0,02	0,00	0,48
Média	---	5,97	25,80	36,33	18,00	0,37	0,04	0,00	0,31
D.P.	---	0,09	1,30	0,58	0,00	0,65	0,03	0,00	0,19
CCA02	N.E. ²	5,71	25,10	52,00	26,00	0,81	0,04	0,00	0,10
		5,69	29,90	54,00	27,00	2,50	0,12	0,00	0,12
		5,69	30,00	54,00	27,00	0,00	0,10	0,00	0,09
Média	---	5,70	28,33	53,33	26,67	1,10	0,09	0,00	0,10
D.P.	---	0,01	2,80	1,15	0,58	1,28	0,04	0,00	0,02
CCA03	N.E. ²	7,03	12,30	131,00	65,00	0,00	0,48	0,00	1,67
		7,17	14,40	133,00	66,00	0,00	0,54	0,00	0,64
		7,20	20,00	131,00	65,00	0,00	0,39	0,00	0,21
Média	---	7,13	15,57	131,67	65,33	0,00	0,47	0,00	0,84
D.P.	---	0,09	3,98	1,15	0,58	0,00	0,08	0,00	0,75
CCA06	N.E. ²	6,06	26,60	167,00	83,00	0,00	0,06	0,00	0,61
		6,10	25,80	159,00	80,00	0,00	0,04	0,00	0,53
		6,19	27,50	169,00	85,00	0,00	0,00	0,00	0,73
Média	---	6,12	26,63	165,00	82,67	0,00	0,03	0,00	0,62
D.P.	---	0,07	0,85	5,29	2,52	0,00	0,03	0,00	0,10
INVERNO									
CCA01	N.E. ¹								
CCA02	N.E. ¹								
CCA03	N.E. ²	6,20	22,00	192,00	92,00	0,00	0,43	0,00	0,00
		6,40	8,50	207,00	104,00	4,29	0,41	0,00	0,00
		6,60	6,20	197,00	98,00	3,14	0,38	0,00	0,02
Média	---	6,40	12,23	198,67	98,00	2,48	0,41	0,00	0,01
D.P.	---	0,20	8,54	7,64	6,00	2,22	0,03	0,00	0,01
CCA06	N.E. ¹								
PRIMAVERA									
CCA01	8,70	6,41	-8,70	35,00	17,00	0,11	0,81	0,00	0,31
	8,60	6,41	-24,40	35,00	17,00	0,00	0,84	0,00	0,17
	8,60	6,35	-26,40	34,00	17,00	0,83	0,84	0,00	0,28
Média	8,63	6,39	-19,83	34,67	17,00	0,31	0,83	0,00	0,25
D.P.	0,06	0,03	9,69	0,58	0,00	0,45	0,02	0,00	0,07
CCA02	N.E. ¹								
CCA03	6,70	6,92	-27,20	234,00	117,00	0,00	0,34	0,00	0,27
	6,60	7,00	-27,30	229,00	115,00	0,00	0,45	0,00	0,22
	6,60	7,01	-25,50	229,00	114,00	0,24	0,49	0,00	0,31
Média	6,63	6,98	-26,67	230,67	115,33	0,08	0,43	0,00	0,27
D.P.	0,06	0,05	1,01	2,89	1,53	0,14	0,08	0,00	0,05
CCA06	N.E. ¹								

D.P.: Desvio Padrão

N.E.¹: Não Existente devido ao nível d'água estar abaixo da profundidade máxima do poço.N.E.²: Não Existente devido a problemas técnicos.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

APÊNDICE E - RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS METAIS PESADOS DA ÁGUA

Tabela E1 - Resultados das análises dos metais pesados, por poço, em cada estação, no Cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC.

CEMITÉRIO NOSSA SENHORA DA PENHA						
Poço	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Níquel	Zinco
(mg/L)						
VERÃO						
CNSP01	0,0320	<LD	<LD	0,5241	<LD	<LD
CNSP02				N.E.		
CNSP03	0,0330	<LD	<LD	0,4985	<LD	<LD
CNSP04	0,0338	<LD	<LD	0,8484	0,6550	0,8990
CNSP05	0,0331	<LD	<LD	0,4527	<LD	<LD
OUTONO						
CNSP01	0,0333	<LD	<LD	0,3742	<LD	<LD
CNSP02	0,0310	<LD	<LD	0,5024	<LD	<LD
CNSP03	0,0325	<LD	<LD	0,5001	<LD	<LD
CNSP04	0,0326	<LD	<LD	0,4877	<LD	<LD
CNSP05	0,0318	<LD	<LD	0,5694	<LD	<LD
INVERNO						
CNSP01	0,0332	<LD	<LD	0,4605	<LD	<LD
CNSP02				N.E.		
CNSP03	0,0303	<LD	<LD	0,4972	<LD	<LD
CNSP04				N.E.		
CNSP05	0,0325	<LD	<LD	0,5487	<LD	<LD
PRIMAVERA						
CNSP01	0,0026	<LD	<LD	0,2366	<LD	<LD
CNSP02				N.E.		
CNSP03	0,0034	<LD	<LD	0,6146	<LD	<LD
CNSP04	0,0059	<LD	<LD	0,5007	<LD	<LD
CNSP05	0,0025	<LD	<LD	0,4104	<LD	<LD

N.E.: Não Existente devido ao nível d'água estar abaixo da profundidade máxima do poço.

<LD = Concentração inferior ao limite mínimo de detecção do aparelho.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Tabela E2 - Resultados das análises dos metais pesados, em cada estação, no Cemitério Cruz das Almas, Lages – SC.

CEMITÉRIO CRUZ DAS ALMAS						
Poço	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Níquel	Zinco
(mg/L)						
VERÃO						
CCA 01				N.E.		
CCA 02				N.E.		
CCA 03	0,0324	<LD	<LD	0,5973	<LD	<LD
CCA 06				N.E.		
OUTONO						
CCA 01	0,0339	<LD	<LD	0,6192	<LD	<LD
CCA 02	0,0317	<LD	<LD	0,5526	<LD	<LD
CCA 03	0,0338	<LD	<LD	0,6632	<LD	<LD
CCA 06	0,0334	<LD	<LD	0,6299	<LD	<LD
INVERNO						
CCA 01				N.E.		
CCA 02				N.E.		
CCA 03	0,0340	<LD	<LD	0,5823	<LD	<LD
CCA 06				N.E.		
PRIMAVERA						
CCA 01	0,0036	<LD	<LD	0,3948	<LD	<LD
CCA 02				N.E.		
CCA 03	0,0033	<LD	<LD	0,5729	<LD	<LD
CCA 06				N.E.		

N.E.: Não Existente devido ao nível d'água estar abaixo da profundidade máxima do poço.

<LD = Concentração inferior ao limite mínimo de detecção do aparelho.

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

ANEXOS

ANEXO 1 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Tabela 1.1 - Precipitação pluviométrica mensal, no município de Lages, no período de novembro de 2016 a outubro de 2017.

Mês/Ano	Precipitação (mm)
nov/16	70,4
dez/16	154,8
jan/17	114,8
fev/17	98,6
mar/17	86,6
abr/17	86,4
mai/17	108,2
jun/17	224
jul/17	3,4
ago/17	106,2
set/17	26,2
out/17	78,6

Fonte: Adaptado de INMET (2017).

Tabela 1.2 - Precipitação pluviométrica nos 10 dias antecedentes ao dia de coleta de água subterrânea.

Dia da coleta	Precipitação antecedente (mm)
07/03/2017	11,2
01/06/2017	51,6
07/08/2017	38,6
09/10/2017	44,6

Fonte: Adaptado de INMET (2017).