UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Gabriel D'Avila Fernandes

IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREA OCUPADA POR NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS

Santa Maria, RS
2017

Gabriel D'Avila Fernandes

IMPACTOS AMIENTAIS EM ÁREA OCUPADA POR NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Santa Maria, RS, Brasil
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FERNANDES, GABRIEL
IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREA OCUPADA POR NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS / GABRIEL FERNANDES.- 2017.
110 p.; 30 cm

Orientador: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA
Coorientador: PEDRO DANIEL DA CUNHA KEMERICH
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, RS, 2017

1. AQUÍFERO 2. CEMITÉRIO 3. CONTAMINAÇÃO DO SOLO E SUBSOLO 4. ÍONS METÁLICOS I. SILVÉRIO DA SILVA, JOSÉ LUIZ II. DA CUNHA KEMERICH, PEDRO DANIEL III. Título.

Gabriel D'Avila Fernandes

IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREA OCUPADA POR NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Aprovado em 10 de Outubro de 2017:

José Luiz Silvério da Silva, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Elvis Carissimi Dr. (UFSM)

Sérgio Roberto Mortari, Dr. (UNIFRA)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu pai, mãe e irmã, Élvio Arruda Fernandes, Marisélia D'Avila Fernandes, Grasiéli D'Avila Fernandes, e aos meus avós Mario Stangherlin D'Avila e Zaida da Silva D'Avila.

AGRADECIMENTOS

Neste trabalho pude contar com a colaboração de diversas pessoas, instituições e laboratórios de grande competência que não mediram esforços em contribuir na melhoria do meu trabalho, assim agradeço:

- À Deus por ter me proporcionado tantas coisas, como o fato de ter nascido em uma família maravilhosa que me apoiou em todos os momentos, além de ter me dado saúde e força para obter sucesso durante a realização desse trabalho;

- à minha família Élvio Arruda Fernandes, Marisélia D'Avila Fernandes, Grasiéli D'Avila Fernandes, Mario Stangherlin D'Avila por todo apoio, incentivo e compreensão durante esse período, e minha avó Zaida da Silva D'Avila (*in memoriam*), que mesmo não estando presente fisicamente, sei que de alguma forma contribuiu para que eu conseguisse vencer esta etapa;

- ao meu colega e amigo Willian Fernando de Borba o qual considero como um irmão, pelo incentivo e por estar sempre junto durante esse período, contribuindo tanto durante as noites de estudos, como nas saídas a campo para coletar amostras;

- ao meu orientador Professor Dr José Luiz Silvério da Silva, pela confiança a mim depositada, além de não medir esforços em sua orientação visando a melhoria do trabalho, pois sua colaboração foi imprescindível durante todo período de mestrado, além de ser uma pessoa excepcional, espelhando seus orientados dentro e fora da Universidade;

- ao meu coorientador Professor Dr Pedro Daniel da Cunha Kemerich por toda disposição em me ajudar, nas saídas a campo, indo atrás de laboratórios para que as análises fossem feitas em equipamentos de última geração, além da sua amizade e incentivo para que fosse realizado um bom trabalho;

- aos meus colegas de mestrado Willian Fernando de Borba e Carla Fernanda Perius, por todas as tardes e noites que passamos estudando, além das horas de descontração tornando um ambiente leve para estudo, e aos colegas de laboratório Lueni Terra, Lucas Lasta, Thiago Boeno e Leônidas Luiz Volcato Descovi Filho;

- à Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de cursar uma Pós-Graduação;

- a Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA/Campus de Caçapava do Sul), pela disponibilidade em emprestar equipamentos para saídas a campo, além de ajudar no processamento dos dados coletados;

- ao Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais (Laquia/UFSM), em especial a doutoranda Paula Dalla Vecchia pela disponibilidade em me ajudar a quantificar amostras de solo e água;

- ao laboratorista do Departamento de Geociências Rômulo Aita, pelo auxílio nas análises de solo;

- à família “Faixas/Faxíndios”, que iniciou uma grande amizade no ano de 2009 durante o início da graduação e foi cada vez mais se fortalecendo e hoje mesmo longe ainda são mantidos contatos relembrando de como foi bom termos sido colegas e hoje grandes amigos;

- as secretárias do Departamento de Geociências, Nilza de Oliveira Doico e do PPGEAmb Rosa Maria Brito por não medir esforços para que tudo fosse resolvido da melhor forma possível;

- ao Professor Dr Sérgio Roberto Mortari pela ajuda em conseguir o laboratório onde foram realizadas as análises de solo e água;

- ao Professor Dr Maximilian Fries pela disponibilidade em processar os dados geofísicos aplicados no local de estudo;

- aos acadêmicos Leonardo Rosa e Milene Priebe pela ajuda em coletar as amostras a campo e processar os dados;

- ao amigo Bruno Flores pela hospedagem e ajuda na coleta de solo e;

- a banca examinadora, Professor Dr Sérgio Roberto Mortari e Professor Dr Elvis Carissimi.

"A verdadeira motivação vem de realização, desenvolvimento pessoal, satisfação no trabalho e reconhecimento"
(Frederick Herzberg)

RESUMO

IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREA OCUPADA POR NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS

AUTOR: Gabriel D'Avila Fernandes
ORIENTADOR: José Luiz Silvério da Silva

Diante do crescimento populacional, os recursos naturais são utilizados de forma excessiva pelos habitantes do planeta. Historicamente, locais para alocação de cemitérios eram escolhidos devido ao seu baixo valor econômico, sem a realização de nenhum tipo de estudo prévio geológico e hidrogeológico, podendo assim o solo e as águas estarem expostos a diversos contaminantes. Assim, esse trabalho teve por objetivo determinar o potencial de contaminação do solo e da água subterrânea na área de influência do cemitério municipal de Caçapava do Sul no Rio Grande do Sul, com área de 1,8 hectares. Na determinação das características físicas do solo foram realizados o teste de permeabilidade por meio do permeâmetro de Guelph e determinado o coeficiente de infiltração em 7 pontos distintos. Também foi realizada uma investigação na subsuperfície através da técnica geofísica da eletrorresistividade com caminhamento elétrico que permite avaliar anomalias nos valores de resistividade, e a partir disso, estimar o material geológico que compõe o subsolo. A determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação foi realizada utilizando o método GOD. Os íons metálicos presentes na água e no solo foram determinados utilizando a técnica de Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente e Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado. De acordo com as características físicas do solo, identificou-se um solo altamente permeável e com valores de coeficiente de infiltração variando entre 21 e 85 L/m^2.dia, assim as técnicas físicas indicaram uma ampla variabilidade na constituição dos solos, do regolito e da rocha granítica. Investigou-se a subsuperfície do terreno em 6 perfis de caminhamento elétrico. Por meio das resistividades obtidas foram identificados os materiais oriundos do intemperismo do granito, rocha sã e a zona saturada em água com sais, onde ocorre um risco maior de contaminação da água subterrânea. Com a aplicação do sistema GOD estimou-se a classe de extrema vulnerabilidade onde o cemitério está implantado. A partir das características químicas da água subterrânea, vários elementos ficaram abaixo do Limite de Quantificação, o Manganês apresentou valores elevados, estando em desacordo com os valores de referência de qualidade estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 do M.S. Já as concentrações dos elementos presentes no solo, destacam-se o Zinco, o Cobre e o Chumbo, podendo esses ser oriundos dos adereços fúnebres como as alças metálicas dos caixões e tintas e vernizes utilizados na conservação da madeira. O Bário apresentou concentrações elevadas, possivelmente sendo de origem natural. O Sódio apresentou concentrações elevadas, o que pode ser um indício de contaminação do solo por necrochorume, visto que é uma solução rica em sais. O solo foi classificado como classe 3 de acordo com CONAMA 420/2009. Os resultados deste trabalho mostram que a escolha de uma área para implantação de atividade de cemitério deve ser realizada com muito cuidado, não visando apenas o menor custo financeiro, mas sim a sustentabilidade ambiental para que o uso de áreas impróprias não venham a comprometer a qualidade do meio ambiente e de vida das pessoas que vivem nas proximidades desses locais.

Palavras-Chave: Aquífero. Cemitério. Contaminação do solo e subsolo. Íons metálicos.

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE NECROPOLE AREA IN THE MUNICIPALITY OF CAÇAPAVA DO SUL-RS

AUTHOR: Gabriel D'Avila Fernandes
ADVISOR: José Luiz Silvério da Silva

In the face of population growth, the natural resources are being overused by the inhabitants of the planet. Historically, sites for the allocation of cemeteries were chosen due to their low economic value, and without any previous geological and hydrogeological studies, so that the soil and water could be exposed to several contaminants. The objective of this work was to determine the soil and groundwater contamination potential in the area of influence of the municipal cemetery of Caçapava do Sul, in Rio Grande do Sul. It has a surficial area to the 0,018 km^2. In the determination of the physical characteristics of the soil, was carried out by means of the Guelph permeameter and determined the infiltration coefficient in 7 distinct points. The subsurface was also carried out by means of the geophysical technique of electrically conducting the electric resistance, which allows evaluating anomalies in the resistivity values and from this estimate the geological material that composes the subsoil. The use of the GOD system for evaluation of the aquifer pollution vulnerability. The metal concentration present in water and soil were determined using the Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry technique. According to the physical characteristics of the soil, a highly permeable soil was identified. In relation to the infiltration coefficient, values range between 21 to 85 L/m^2.day. So the physical techniques indicated a wide variability in the constitution of soils, regolith and granite rock. The subsurface of the terrain was investigated in 6 cable sections. Through the resistivities were identified materials from the weathering of granite, consolidated rock and the saturated zone in water and salts beneath of the soil. With the application of the GOD system it was estimated the class of extreme vulnerability to aquifer where the cemetery is implanted. From the chemical characteristics of the groundwater, several elements were below the Limit of Quantification established by the directive Nº 2914/2011 of M.S. The Manganese presented high values, being in disagreement with the quality reference values of the groundwater. The concentrations of the elements present in the soil include Zinc, Copper and Lead, which may come from funeral props such as metal coils of coffins and paints and varnishes used to preserve wood. Barium presented concentrations possibly being of natural origin. Sodium showed elevated concentrations, which may be an indication of soil contamination by cemetery leachate, since it is a solution rich in salts. The soil was classified as class 3 according to CONAMA 420/2009. The results of this work show that the choice of an area for implantation of cemetery activity must be carried out with great care, not only aiming at the lowest financial cost, but also the environmental sustainability. So we conclude that the use of improper areas do not come to compromise the quality of the environment and life of the people living in the vicinity of these places.

Keywords: Aquifer. Cemetery. Contamination of soil and subsoil. Metal ions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de cemitérios. 23
Figura 2 - Disposição inadequada a céu aberto de resíduos oriundos do cemitério. 25
Figura 3 – Estrutura química da putrescina e cadaverina. 25
Figura 4 - Vazamento de necrochorume em cemitério com piso danificado em Santa Maria-RS. 26
Figura 5 - Mapa de localização do cemitério municipal de Caçapava do Sul-RS. 42
Figura 6 - Mapa geológico de Caçapava do Sul-RS. 44
Figura 7 - Cemitério municipal de Caçapava do Sul – RS. 45
Figura 8 - Localização dos pontos de amostragem para coleta de solo. 46
Figura 9 - Utilização do permeâmetro Guelph em campo. 47
Figura 10 - Execução do ensaio a campo na determinação do coeficiente de infiltração. 48
Figura 11 - Execução do ensaio de infiltração em campo. 49
Figura 12- Linha de caminhamento elétrico (A), Resistivímetro SYSCAL Pro *Standard & Switch* (B). 51
Figura 13 - Sistema GOD para a determinação da vulnerabilidade a contaminação do aquífero. 53
Figura 14 - Pontos de coleta de água sobre a área de influência do cemitério. 54
Figura 15 - Curvas granulométricas obtidas para o ponto P4 de coleta do solo em 5 profundidades no cemitério municipal de Caçapava do Sul-RS. 58
Figura 16 - Mapa gerado na identificação da permeabilidade no solo do cemitério. 60
Figura 17 - Mapa gerado na aplicação dos testes para determinação do coeficiente de infiltração em solo. 62
Figura 18 – Seis perfis de caminhamento elétrico no entorno do empreendimento. 63
Figura 19 - Perfis I, II e III de eletrorresistividade. 65
Figura 20 - Perfis IV, V e VI de eletrorresistivide. 67
Figura 21 - Mapa de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação no município de Caçapava do Sul-RS. 69
Figura 22 - Concentrações de Ba nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações. 73
Figura 23 - Concentrações de Fe nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações. 74
Figura 24 - Concentrações de Li em 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações. 75
Figura 25 - Concentrações de Mn nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações. 76
Figura 26 - Concentrações de Na nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações. 77
Figura 27 - Concentrações de Zn nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações. 78
Figura 28 - Concentrações de Zn nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos. 80
Figura 29 - Concentrações de Cu nas profundidades superficial(A), 50 cm (B) e 150 cm (C) em diferentes pontos. 82
Figura 30 - Concentrações de Cr nas profundidades superficial (A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos. 83
Figura 31 - Concentrações de Ni nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos. 85
Figura 32 - Concentrações de Pb nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos. 86
Figura 33 - Concentrações de Cd nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos. 87
Figura 34 - Concentrações de Co nas profundidades superficial (A), 50 cm (B) e 150 cm (C) em diferentes pontos. 88

Figura 35 - Concentrações de V nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos. 90
Figura 36 - Concentrações de Al em diferentes pontos e diferentes profundidades. 91
Figura 37 - Concentrações de Ba em diferentes pontos e diferentes profundidades. 92
Figura 38 - Concentrações de Fe em diferentes pontos e diferentes profundidades. 93
Figura 39 - Concentrações de Li em diferentes pontos e diferentes profundidades. 94
Figura 40 - Concentrações de Mn em diferentes pontos e diferentes profundidades. 95
Figura 41 - Concentrações de Na em diferentes pontos e diferentes profundidades. 95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões químicos de potabilidade da água para abastecimento humano estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 do M.S (BRASIL, 2011). 36
Tabela 2 - Valores de Referência de Qualidade para o grupo das rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense e seus solos. 40
Tabela 3 - Concentrações naturais de metais em rochas graníticas. 40
Tabela 4 - Valores de resistividade para rochas e sedimentos. 52
Tabela 5 - Condições operacionais dos equipamentos de ICP OES e ICP-MS para a determinação de elementos em solo de cemitério após decomposição em forno de micro-ondas. 56
Tabela 6 - Valores de permeabilidade do solo obtidos a partir do teste realizado com permeâmetro de Guelph. 59
Tabela 7 - Resultados obtidos a partir do teste de infiltração realizado sobre a área do empreendimento. 62
Tabela 8 - Resultados obtidos para Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu e Fe presentes nas amostras de água coletada em cinco diferentes pontos, onde foram realizadas nos meses de julho e outubro de 2016 e fevereiro de 2017, compreendendo três estações do ano. (Os resultados representam a concentração, média ± sd, em $\mu g.L^{-1}$). 71
Tabela 9 – Resultados obtidos para Li, Mn, Na, Ni, Pb, V e Zn presentes nas amostras de água coletada em cinco diferentes pontos, onde foram realizadas nos meses de julho e outubro de 2016 e fevereiro de 2017, compreendendo três estações do ano. (Os resultados representam a concentração, média ± sd, em $\mu g.L^{-1}$). 72
Tabela 10- Correlação estatística de Pearson aplicada para os elemento de solo quantificados. 97

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
µg	Micrograma
Ω	Ohm
ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEPETRO	Centro de Estudos em Petróleo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de Carbono
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
GOD	Grau de confinamento da água subterrânea (G), Ocorrência de estratos de cobertura (O), Distância até o nível freático da água (D)
ha	Hectares
hab	Habitantes
H_2S	Gás sulfídrico
HNO_3	Ácido Nítrico
HCl	Ácido Clorídrico
HF	Ácido Fluorídrico
ICP OES	Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente
ICP-MS	Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado
IDW	Ponderação da distância inversa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kg	Quilograma
km	Quilômetro
km^2	Quilômetro quadrado
LabHidrogeo	Laboratório de hidrogeologia
LAQIA	Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
LQP	Limite de Quantificação Praticável
mL	Mililitro
mg	Miligrama
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
N.A.	Nível da Água
N.E.	Nível Estático
NBR	Norma Brasileira
NH_3	Amônia
SAD 69	*South American Datum* 1969
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SEMA	Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SIG	Sistema de Informações Geográficas
SP	Superfície Potenciométrica
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa
UTM	*Universal Transversa de Mercator*
VI	Valor de Investigação
VMP	Valore Máximo Permitido
VP	Valor de Prevenção
VRQ	Valor de Referência de Qualidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18
2. OBJETIVOS 20
2.1 OBJETIVO GERAL 20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 20
3. REFERENCIAL TEÓRICO 21
3.1 CEMITÉRIOS 21
3.1.1 Classificações dos cemitérios 22
3.1.2 Legislação ambiental específica para cemitérios 23
3.1.3 Resíduos gerados por cemitérios 24
3.1.4 Decomposição do corpo humano 25
3.1.5 Necrochorume 26
3.1.6 Contaminação do solo e da água subterrânea por cemitérios 27
3.2 CONCEITOS ESSENCIAIS EM HIDROGEOLOGIA 28
3.2.1 Flutuação do nível da água subterrânea 30
3.2.2 Sistemas de monitoramento da água subterrânea 31
3.2.3 Contaminação da água subterrânea 31
3.2.4 Vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação 32
3.3 INVESTIGAÇÃO DA SUBSUPERFÍCIE 33
3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA 34
3.4.1 Parâmetros físicos 35
3.4.2 Parâmetros químicos 35
3.4.3 Parâmetros biológicos 36
3.4.4 Legislação vigente sobre qualidade da água e valores de referência de qualidade 36
3.5 SOLO E SUA RELAÇÃO COM O MEIO SUBTERRÂNEO 37
3.5.1 Íons metálicos no solo 38
3.5.2 Valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas 39
3.5.3 Propriedades físicas do solo 41
3.5.4 Relação porosidade/permeabilidade 41
4. METODOLOGIA 42
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 42
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO 45
4.2.1 Determinação da permeabilidade 46
4.2.2 Determinação do coeficiente de infiltração 48
4.3 INVESTIGAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO ORIUNDA DO CEMITÉRIO 50
4.4 OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES E ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL A CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO 52
4.5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA 53
4.6 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS 55
4.7 REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 58
5.1 CARACTERISTICAS FÍSICAS DO SOLO 58
5.2 GEOMETRIA DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO 63
5.3 VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO 68
5.4 CONCENTRAÇÕES DE METAIS PRESENTES NA ÁGUA 70

5.4.1 Bário (Ba) 73
5.4.2 Ferro (Fe) 74
5.4.3 Lítio (Li) 75
5.4.4 Manganês (Mn) 75
5.4.5 Sódio (Na) 77
5.4.6 Zinco (Zn) 78
5.5 CONCENTRAÇOES DE METAIS PRESENTES NO SOLO 79
5.5.1 Zinco (Zn) 79
5.5.2 Cobre (Cu) 81
5.5.3 Cromo (Cr) 83
5.5.4 Níquel (Ni) 84
5.5.5 Chumbo (Pb) 85
5.5.6 Cádmio (Cd) 87
5.5.7 Cobalto (Co) 88
5.5.8 Vanádio (V) 89
5.5.9 Alumínio (Al) 90
5.5.10 Bário (Ba) 91
5.5.11 Ferro (Fe) 93
5.5.12 Lítio (Li) 93
5.5.13 Manganês (Mn) 94
5.5.14 Sódio (Na) 95
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 98
7. CONCLUSÕES 100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102

1. INTRODUÇÃO

Diante do processo de desenvolvimento populacional e industrial, está ocorrendo uma utilização demasiada dos recursos naturais, a qual vem suprimindo estes. A partir disso, são necessárias medidas de controle para estes usos, visando uma mitigação desses impactos ocasionados ao meio ambiente.

Um dos maiores problemas relacionados com os impactos causados ao meio ambiente, é a contaminação da água (superficial e subterrânea), e do solo. Essa contaminação pode ocasionar doenças de veiculação hídrica a população, podendo ser tanto pela ingestão da água quanto pelo contato direto.

Nós, seres humanos somos grandes causadores de impactos ambientais através da geração de resíduos. Mesmo depois de mortos, continuamos causando impactos ambientais, tanto no solo quanto na água, através da decomposição corporal e dos materiais fúnebres utilizados no sepultamento dos corpos.

A contaminação do solo e da água, em áreas ocupadas por necrópoles são comuns de serem encontradas, conforme vários estudos realizados pelos autores (KEMERICH et al., 2013; SILVA; MALAGUTI FILHO, 2009a; MATOS, 2001), uma vez que, antigamente muitos cemitérios eram construídos sem nenhum estudo prévio da área dessa instalação. A alocação destes, na maioria das vezes, caracteriza-se por apresentar propriedades geológicas e hidrogeológicas desconhecidas, pois essa falta de informação pode ocasionar problemas ambientais de grande complexidade e difícil solução.

Durante muitos anos não existiu nenhum tipo de preocupação quanto as áreas para alocação de cemitérios, onde geralmente eram escolhidos locais de baixo valor econômico e ainda, áreas improdutivas para a construção. No Brasil, a partir de 2003 foi instituída uma legislação para o licenciamento de cemitérios, sendo ela a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 335, de 3 de abril de 2003 (BRASIL, 2003), a qual foi criada com o fim de mitigar impactos ambientais causados por cemitérios localizados em áreas urbanas ou de expansão urbana devido suas dimensões, e o volume de corpos sepultados, bem como o tipo de construção (horizontal ou vertical).

Os autores Neira et al. (2008) dizem que a principal causa da poluição das águas em áreas cemiteriais é a decomposição dos cadáveres, processo que libera um líquido denominado necrochorume, solução aquosa rica em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis de tonalidade castanho-acinzentada, viscosa, de cheiro forte e com grau variado de patogenicidade (MACEDO, 2004; RODRIGUES, 2003).

Outro fator importante para a avaliação de impactos ambientais ocasionados por cemitérios, é a informação sobre a forma geométrica da pluma de contaminação, que podem ser determinados através do uso de equipamentos geofísicos, os quais explicam metodologias específicas para conhecer o subsolo através de propriedades físicas, como a eletrorresistividade complementadas com técnicas de sondagem vertical ou caminhamentos elétricos, precedidos por estudos de investigação geológicos e hidrogeológicos.

Assim o presente trabalho concentra-se em diagnosticar possíveis impactos ambientais ocasionados em área ocupada por necrópole no município de Caçapava do Sul-RS, situado na região do pampa gaúcho nas Rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense sobre a Suíte Granítica de Caçapava do Sul.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o potencial de contaminação do solo e da água subterrânea na área de influência do cemitério municipal de Caçapava do Sul - RS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físicas do solo que condicionam a infiltração de água e o movimento de contaminantes;
- Avaliar o meio subterrâneo e investigar a pluma de contaminação;
- Determinar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação;
- Avaliar a qualidade da água subterrânea na área sob influência da necrópole e;
- Analisar as alterações químicas do solo em função da ocupação por cemitério.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CEMITÉRIOS

Desde a Idade da Pedra tem-se relatos arqueológicos de que os grupos humanos sedentários já enterravam seus entes queridos. Alguns deles eram enterrados em urnas de argila (barro) junto com seus pertences, adornos, metais valiosos e até sementes. Alguns em locais como cavernas e outros sepultados diretamente no solo (PACHECO, 2012).

Muitas religiões do planeta praticam diferentes maneiras de se desapegarem de seus entes falecidos. Algumas delas praticam a cremação dos corpos para evitar epidemias, bem como para facilitar a passagem da alma para outra dimensão.

O enterro dos corpos após o óbito ocorre desde o tempo da Idade Média, pois apresenta um significado de aproximação entre os cadáveres. Nesta época muitos corpos eram enterrados em locais abertos e de maneira imprópria, sendo muitos vítimas de doenças contagiosas de um tempo onde ocorreram diversas epidemias, neste caso ocasionando uma disseminação de patógenos oriundos do processo de decomposição desses corpos infectados (KEMERICH et al., 2014b). Para preservar a saúde pública foram implantados cemitérios, proibindo o enterro de cadáveres em locais impróprios (PACHECO, 2012). Matos (2001) cita que os cemitérios onde são sepultados os seres humanos são monumentos construídos em memória dos falecidos.

Conforme Almeida e Macedo (2005) e Pacheco (2012) a palavra cemitério vem da palavra grega “koumetérion”, palavra essa que nos traz como significado “o lugar onde se dorme”. Através do cristianismo esses termos começaram a ser utilizados com o sentido de ser um lugar de descanso após a morte. Além disso, diversos outros nomes são dados aos cemitérios como sinônimos, muitos deles pela própria população, como, necrópole, campo santo, solo sagrado, entre outros.

A matriz de que é composto o solo em áreas de necrópoles são importantes devido as suas características físicas, teor da fração de areia, silte e argila que irão influenciar na porosidade, permeabilidade, e na velocidade de fluxo de fluidos. Fisicamente influencia na profundidade do nível em que se encontra a água subterrânea, bem como na, capacidade em reter nutrientes e microrganismos, entre outros. Silva e Malagutti Filho (2009a) falam que a zona onde o solo é formado por areia, silte e argila não está saturado, ou seja, a zona aerada que atua como um filtro, retendo e eliminando microrganismos como bactérias e vírus. Os primeiros por serem organismos maiores, podem ser removidos através da filtração, já o segundo para evitar que atinjam a água subterrânea o mecanismo de remoção é a adsorção, que dependerá da

troca iônica da argila (capacidade de troca catiônica) e da concentração de matéria orgânica do solo.

Pacheco (2012) cita que no Brasil as práticas fúnebres foram trazidas pelos portugueses, onde os corpos eram sepultados no interior e entorno das igrejas, causando uma grande preocupação aos médicos sanitaristas quanto a saúde da população que frequentava esse ambiente. Uma vez que os cadáveres ali sepultados produziam gases e odores durante a noite os quais consequentemente entravam em contato com a população que frequentava as igrejas.

Uma alternativa que aparece para mitigar os impactos causados por cemitérios é a cremação dos corpos. Silva (2012) e Campos (2007) citam que a cremação consiste na redução dos corpos já sem vida a cinzas que posteriormente são colocadas em urnas funerárias e entregue aos familiares após sete dias, apresentando como grande vantagem a não contaminação do solo e da água subterrânea por meio do necrochorume. Campos (2007) também cita que os crematórios além dos fornos, também apresentam filtros para retenção de material particulado, evitando a sua emissão na atmosfera.

3.1.1 Classificações dos cemitérios

Os cemitérios podem ser classificados em vários tipos, dependendo da forma em que são construídos. A Resolução CONAMA Nº 335/2003 (BRASIL, 2003) define os cemitérios, no Art. 2º, como sendo cemitério horizontal “aquele localizado em área descoberta compreendendo os tradicionais”, o do tipo parque ou jardim que é “predominantemente recoberto por jardins, isento de construções tumulares, e no qual as sepulturas são identificadas por uma lápide, ao nível do chão, e de pequenas dimensões” (Figura 1A), enquanto o cemitério vertical é “um edifício de um ou mais pavimentos dotados de compartimentos destinados a sepultamentos” (Figura 1B) e, os cemitérios de animais sendo “cemitérios destinados a sepultamentos de animais” .

Kemerich et al. (2014b) citam que os cemitérios tradicionais (Figura 1C) apresentam alguns problemas, como o risco para a contaminação das águas subterrâneas e superficiais. A ocupação de grandes áreas e o custo elevado devido a sua a manutenção construtiva, e ainda há proliferação de mosquitos, escorpiões, roedores (ratos), baratas e outros organismos os quais podem vir a transmitir doenças a população.

Os cemitérios verticais foram criados a partir de uma preocupação que surgiu tanto com o meio ambiente, quanto com espaços físicos devido ao demasiado crescimento urbano, esses cemitérios (Figura 1B) são prédios de construção de dois ou mais pavimentos com

compartimentos, ou gavetas para o sepultamento. Ainda devem existir sistemas de inativação dos gases e impermeabilização do necrochorume, evitando-se que os mesmos circulem em locais destinados aos visitantes e funcionários (KEMERICH et al., 2014b).

Figura 1 - Tipos de cemitérios.

Fonte: arquivo pessoal

3.1.2 Legislação ambiental específica para cemitérios

Durante muito tempo, os cemitérios foram construídos sem nenhum estudo geológico prévio do local, ou qualquer tipo de cuidado com o meio ambiente. Somente a partir do ano de 2003 que foi implementada a Resolução CONAMA Nº 335/2003 (BRASIL, 2003). Visto que a contaminação do solo e da água em cemitérios sem nenhum tipo de estudo prévio estava se agravando cada vez mais em todo país. Assim, essa resolução cita que:

> Os cemitérios horizontais e os cemitérios verticais, doravante denominados cemitérios, deverão ser submetidos ao processo de licenciamento ambiental, nos termos desta resolução, sem prejuízo de outras normas aplicáveis à espécie. (BRASIL, 2003, p. 839).

Devido a uma grande preocupação com a qualidade das águas em áreas diretamente afetadas pelas necrópoles, a resolução citada, exige que sejam atendidas normas tais como: uma distância mínima de um metro e meio do lençol freático. Em caso contrário, o sepultamento só poderá ser feito acima do nível natural do terreno, a uma distância entre a área prevista para o cemitério e os corpos de água superficial e subterrânea e ainda deverá garantir a proteção dos recursos naturais. Essa resolução é necessária para que as atividades cemiteriais não comprometam a qualidade da água, pois do ponto de vista sanitário há uma grande preocupação com uma possível contaminação dessas águas, tanto superficiais quanto as subterrâneas.

A Resolução CONAMA Nº 402, de 17 de novembro de 2008 (BRASIL, 2008), altera os artigos 11 e 12 da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. Citando no Art. 11 que "Os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente deverão estabelecer até dezembro de 2010 critérios para adequação dos cemitérios existentes em abril de 2003." e no Art. 12 que "O Plano de Encerramento das atividades deverá constar do processo de licenciamento ambiental, nele incluindo medidas de recuperação da área atingida e indenização de possíveis vítimas" (BRASIL, 2008).

A Resolução CONAMA Nº 368, de 29 de março de 2006 (BRASIL, 2006), altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, estabelece que a permeabilidade dos materiais do subsolo para áreas de instalação de cemitérios o coeficiente de permeabilidade deve estar entre 10^{-5} e 10^{-7} $cm.s^{-1}$.

O órgão responsável pelo licenciamento ambiental de cemitérios no Rio Grande do Sul é a FEPAM, visto que o mesmo classifica na Resolução FEPAM Nº 06 de 17 de julho de 2012 FEPAM (2012) no anexo I o potencial poluidor e o porte dos cemitérios. São considerados cemitérios de porte mínimo os com dimensões até 2 ha, de porte baixo com dimensões entre 2,01 e 5 ha, de porte médio entre 5,01 e 10 ha, de porte grande entre 10,01 e 25 ha, e os demais como excepcional. Já quanto ao potencial poluidor os cemitérios são classificados como baixo.

3.1.3 Resíduos gerados por cemitérios

Os resíduos gerados por cemitérios são de fato uma preocupação para o meio ambiente, pois eles são constituídos, segundo Pacheco (2000), pelas roupas que vestiam os cadáveres, dos restos de caixões, resíduo esse que pode vir a conter metais oriundos da fabricação das alças e conservantes da madeira, de flores entre outros. A disposição inadequada desses resíduos no subsolo pode vir a representar um grande risco ao meio ambiente, principalmente a contaminação da água e da interface entre o solo e o subsolo.

Uma forma em que esses resíduos podem ser encontrados depositados inadequadamente é a céu aberto conforme ilustra a Figura 2. Pacheco (2000) salienta que a disposição inadequada de restos de caixões usados para pessoas que sofreram algum tipo de tratamento através de remédios fortes, ou que possuíam doenças contagiosas, sem nenhum tipo de cuidado, torna-se inaceitável do ponto de vista sanitário, pois refere-se a um foco de fungos e bactérias, os quais representam um grande risco aos recursos naturais e a saúde pública.

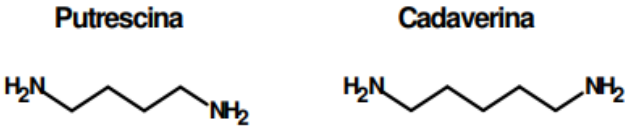
Figura 2 - Disposição inadequada a céu aberto de resíduos oriundos do cemitério.

Fonte: Arquivo pessoal.

3.1.4 Decomposição do corpo humano

Após o óbito, o corpo humano passa por processos transformativos, dentre estes a putrefação, fenômeno que consiste na decomposição do corpo humano pela ação dos microrganismos (PACHECO, 2000). Muitas vezes dependendo do clima da região e a forma como o cadáver foi sepultado, o corpo humano pode passar pelo processo transformativo destrutivo ou conservativo (PACHECO, 2012). Silva e Malagutti Filho (2009a) e Matos (2001) salientam que durante o processo de putrefação são liberados para a atmosfera ou subsolo gases como o gás sulfídrico (H_2S), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), e a amônia (NH_3) a putrescina e a cadaverina compostos esses, altamente tóxicos (Figura 3).

Figura 3 – Estrutura química da putrescina e cadaverina.



Fonte: Da Silva (2008).

Segundo Matos (2001) a mumificação é a dessecação ou desidratação dos tecidos presentes no corpo humano, ocorre geralmente em regiões de clima seco, quente e com correntes de ar, sendo mais susceptível em solos arenosos nas regiões desérticas. Já a saponificação, segundo Matos (2001, p.7) consiste na "hidrólise da gordura com a liberação de ácidos graxos, os quais, pela acidez, inibem as bactérias putrefativas, atrasando a decomposição do cadáver". Kemerich (2012a) frisa que a saponificação ocorre em locais úmidos, onde as liberações dos ácidos graxos inibem a ação de bactérias putrefativas, assim o cadáver acaba levando um maior período de tempo para se decompor.

Pacheco (2012) cita que são vários fatores que interferem na decomposição do corpo humano, sendo eles, a idade, a composição em gordura, a causa da morte, a temperatura, umidade, a ventilação e o tipo de solo. Esses fatores associados podem fazer com que o tempo que o cadáver leva para se decompor alcance seus extremos podendo levar entre 2 e 10 anos a partir dessa associação de fatores.

3.1.5 Necrochorume

Em áreas ocupadas por necrópoles, o necrochorume é a principal fonte de contaminação. Silva e Malagutti Filho (2009a), definem o necrochorume como um líquido viscoso, de cor castanho-acinzentada, com 60 % de água, 30 % de sais minerais e 10 % de substâncias orgânicas degradáveis como ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Vazamento de necrochorume em cemitério com piso danificado em Santa Maria-RS.

Fonte: Alcântara et al. (2010).

Kemerich et al. (2012b e 2014a) salientam em seus estudos que a decomposição do corpo humano gera o necrochorume, e que esse apresenta um grande potencial poluidor devido a sua patogenicidade. E ainda em virtude do local onde se encontra, pode contaminar tanto o solo quanto as águas subterrâneas e/ou superficiais.

Outra característica do necrochorume é que cada quilo de massa corpórea do cadáver, produz cerca de 0,6 litros de necrochorume. Kemerich et al. (2012a), citam que o necrochorume é produzido no processo de decomposição orgânica do cadáver. Durante o processo de decomposição e, é liberado de forma constante, apresentando um variado grau de patogenicidade e um distinto potencial poluidor.

3.1.6 Contaminação do solo e da água subterrânea por cemitérios

Em relação a contaminação do solo, diversos estudos foram realizados em áreas de cemitérios. Dentre eles, destacam-se os realizados por Kemerich et al. (2014a), Kemerich et al. (2014c), Kemerich et al. (2012b) no cemitério São João Batista localizado no município de Seberi, situado no noroeste do Estado Rio Grande do Sul, extremo sul do Brasil, e Barros et al. (2008) no Cemitério Municipal de Santa Cândida, localizado em Curitiba no Paraná, ambos os trabalhos realizados em locais onde predomina o clima temperado úmido. Diante disso, destaca-se a importância de estudos que avaliem o meio e a sua relação com essa atividade.

Barros et al. (2008) salientam que a contaminação oriunda de cemitérios pode ocorrer por meio dos produtos usados no embalsamento dos corpos, conservantes usados na madeira dos caixões e os líquidos liberados na decomposição do cadáver. Zychowski (2012) diz que que alguns fatores que afetam na contaminação do solo e da água subterrânea são a profundidade do enterro, o embalsamento dos corpos e o tipo de caixão, sendo que esses são os responsáveis por liberar contaminantes como mercúrio, lacas, agentes de vedação, conservantes, chumbo, zinco, cobre e ferro.

Foster et al. (2002; 2006) citam que os cemitérios podem ser uma fonte de contaminação da água subterrânea por meio de cargas contaminantes microbiológicas, mas que essa contaminação pode ser reduzida com a utilização de túmulos impermeáveis. Essa prática pode ser determinante no impedimento do necrochorume em atingir as águas subterrâneas. Além disso, Silva e Malagutti Filho (2009a) relatam que onde existem túmulos abandonados, que apresentam rachaduras, ou encontram-se em estado de ruínas, causados pelo descaso dos proprietários, ou ainda causados pela compactação do solo ou por ação de raízes de árvores

próximas aos túmulos, percolação do necrochorume para contaminação da água subterrânea é facilitada.

Migliorini (1994) cita em seus estudos que a presença do Cemitério de Vila Formosa na área urbana da Bacia Sedimentar de São Paulo contribuiu para a contaminação da água subterrânea utilizada para consumo humano. Isso foi evidenciado a partir de alterações nas concentrações de alguns metais (manganês, cromo, ferro, prata e alumínio) acima dos Valores Máximos Permitidos (VMPs) em água subterrânea. E esses metais podem ser oriundos de tintas, vernizes, e guarnições dos caixões.

3.2 CONCEITOS ESSENCIAIS EM HIDROGEOLOGIA

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007, p.12) define a "Hidrogeologia como a ciência que estuda as águas subterrâneas (aquíferos), seu movimento, ocorrência, propriedades, interações com o meio físico e biológico", e também os impactos oriundos da ação antrópica na qualidade e na quantidade dessas águas como a poluição, a contaminação e a superexplotação (uso excessivo não sustentável).

A NBR 15495-1/2007 (ABNT, 2007, p. 2) define aquífero como "formação ou grupo de formações geológicas capazes de armazenar e conduzir água subterrânea". Os autores Azevedo e Albuquerque Filho (1998) citam que os aquíferos apresentam características de armazenar e circular água pelos poros. Já os aquicludes, também são materiais porosos, mas apenas armazenam água, não tem capacidade de circulação, enquanto os aquitardos armazenam grandes quantidades de água, porém a sua circulação ocorre de forma muito lenta, e os aquifugos tem características completamente impermeáveis, sendo assim, não armazenam nem transmitem água.

Aproximadamente 70 % de toda superfície da Terra está coberta por água, diante disso, 97,5 % dessa água é considerada salgada, oriunda dos mares e oceanos, e apenas uma pequena parte de 2,5 % é caracterizada como água doce (MMA, 2007). Citam ainda que cerca de 68,9 % formam calotas polares, geleiras e neves eternas que cobrem os cumes das montanhas, 0,9 % é relativo a umidade do solo e pântanos, 0,3 % aos rios e lagos e ainda, 29,9 % correspondem as águas subterrâneas. Diante disso, fica claro que a maior disponibilidade de água doce para uso está presente nos aquíferos em reservatórios no subsolo. Heath (1982) cita que são recursos naturais renováveis em diferentes escalas de tempo, e são parte do ciclo hidrológico.

A água encontrada logo abaixo da superfície do solo também pode ser chamada de água subsuperfícial. Conforme Heath (1982) a ocorrência de duas zonas, a zona saturada (vadosa) e

a insaturada, sendo a primeira caracterizada por ser a única água subsuperficial capaz de suprir poços e fontes, apresentando todos os seus poros preenchidos com água sem que existam espaços vazios entre os poros. Já a zona insaturada apresenta 3 camadas, sendo formada pela zona do solo, zona intermediária e franja capilar. O mesmo autor diz que a zona do solo é onde ocorre o crescimento das plantas, permitindo que existam caminhos gerados pelas raízes e microrganismos apresentando alta porosidade e permeabilidade. Já a zona intermediária vai estar diretamente ligada a espessura do solo e a franja capilar, é o resultado da atração entre a água e a rocha.

Manoel Filho (2008), trata a água subterrânea como a que se encontra presente nas formações geológicas aflorantes e parcialmente saturadas e em formações profundas em uma condição totalmente saturada. Assim, o aquífero pode estar localizado em zonas confinadas, semi-confinadas e/ou livres.

Os tipos de aquíferos podem ser classificados como poroso, fraturado ou fissural e cárstico, dependendo do material de origem geológica no qual estará armazenado. Os autores Llera e Azcoiti (2008) salientam que os aquíferos fraturados/fissurais são compostos por rochas ígneas e metamórficas que se encontram fraturadas por falhas e diáclases, por onde a água irá circular. Rebouças (2002) cita que aquífero fissural das rochas cristalinas, pode ser descrito por possuir fraturas que tendem a fechar em profundidade, sendo que o principal fator que condiciona a acumulação e circulação da água nesse tipo de aquífero é o seu grau de fraturamento da rocha, resultado da deformação tectônica rúptil.

Silva (2008) cita que aquíferos cársticos são aquele onde a água circula através de descontinuidades de rochas carbonáticas, sendo de difícil identificação. Outra característica deste tipo de aquífero é a circulação da água subterrânea através de cavernas. Os aquíferos cársticos apresentam de certa forma fraturas, que são oriundas da dissolução do carbonato de cálcio pela água, visto que podem atingir aberturas muito grandes, podem vir a formar rios subterrâneos como no caso das regiões da Gruta de Maquiné, São Domingos, Vale do Ribeira e Bonito (MMA, 2007).

Por outro lado o aquífero poroso consiste no armazenamento da água nos espaços vazios criados durante a formação das rochas sedimentares, como no caso dos arenitos do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Assim esse tipo de aquífero funciona como se fosse uma esponja onde os espaços vazios são preenchidos com água (MMA, 2007). São compostos por materiais soltos ou semi-consolidados, como cascalhos, areias e lodos, encontrados em ambientes continentais, lacustres e marinhos, deste modo a agua subterrânea circula de forma lenta, favorecendo a sua gestão, aproveitamento e proteção (LLERA; AZCOITI, 2008).

Heath (1982) cita que a porosidade em arenitos varia entre 20 e 30 % enquanto nas rochas cristalinas como os granitos pode ser de ordem de 1 %. Salienta-se que os materiais intemperizados de granito (saibros), apresentam porosidade variável em função da grande alteração da matriz de um recurso natural renovável, dependendo da escala de tempo dia, mês, ano, século e/ou milênio (HEATH, 1982). Uma vez que é parte do ciclo hidrológico, sua principal origem está relacionada as águas de precipitação pluviométrica ou meteóricas (BRASIL, 2001). Portanto sua recarga no subsolo, normalmente trata-se de um processo lento, passando pelas zonas do solo não saturada e saturada até atingir a franja capilar (CEDERSTROM, 1964). A água na forma de chuva em sua maior parcela evapora, parte sofre escoamento superficial e uma pequena parcela infiltra no subsolo dependendo das características físicas do meio como a textura e a relação entre a porosidade e a permeabilidade. A permeabilidade representa a maior ou menor facilidade que o meio oferece a circulação da água natural ou contaminada.

3.2.1 Flutuação do nível da água subterrânea

Entende-se por Nível Estático (NE), segundo CPRM (1998), sendo o nível em que a água se encontra dentro do poço, desde que esse não esteja em bombeamento por um longo período. Assim, o monitoramento do nível estático torna-se uma importante ferramenta para estimar parâmetros físico/químicos como a recarga e outros testes hidrogeológicos na obtenção de parâmetros hidráulicos do meio subterrâneo tais como a capacidade específica e retenção específica, a transmissividade e a condutividade hidráulica (HEATH, 1982).

Ainda o mesmo autor, salienta que um sistema de água subterrânea pode estar ligado a recarga e a descarga, sendo que o sistema funciona muito mais como reservatório do que como um conduto. Sendo assim, a capacidade da recarga é maior do que a de descarga. Isso pode ser um problema, visto que a recarga do aquífero pode estar ligada a percolação de contaminantes depositados na superfície do terreno por atividades de origem antrópica.

Além disso, a flutuação do nível da água pode indicar os fluxos vertical ou lateral da água subterrânea, definida como a Superfície Potenciométrica (SP), conforme Heath (1982), a SP é obtida, a partir da relação entre a cota da “boca do poço” e o nível da água. Essa propriedade é de extrema importância, pois indica a direção de fluxo de possíveis contaminantes. Aliado a isso, Monteiro (2003) diz que os maiores valores de SP indicam áreas de recarga do meio ou altos potenciométricos, já os menores valores ou baixos

potenciométricos, representam áreas de descarga do aquífero. A flutuação do nível da água subterrânea relaciona-se a quantidade de prefipitação pluviométrica.

3.2.2 Sistemas de monitoramento da água subterrânea

O monitoramento da água subterrânea é de extrema importância para avaliar as suas características quali-quantitativas. A NBR 15495-2 (ABNT, 2008, p. 3-4), define sistema de monitoramento das águas subterrâneas como:

> Um sistema de poços de monitoramento de água subterrânea adequadamente projetado e construído fornece informações essenciais para decisões referentes a um ou mais aspectos relativos ao monitoramento da água subterrânea: a) propriedades geológicas e hidráulicas do aquífero e aquitarde; b) superfície(s) potenciométrica(s) de unidade(s) hidrológica(s) particular(es); d) qualidade da água subterrânea, em função dos parâmetros indicadores de interesse e; d) características de migração de substâncias naturais e/ou antropogênicas na água subterrânea NBR 15495-2 (ABNT, 2008, p. 3-4).

A Resolução CONAMA Nº 357/2005 (BRASIL, 2005, p. 3) define monitoramento como “medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água”.

Tressoldi e Consoni (1998) citam que as instalações de poços de monitoramento visam obter informações sobre o nível da água, realizar avaliação da contaminação da água subterrânea e ensaios hidrogeológicos para avaliar as direções de fluxo, condutividades hidráulicas e dispersividades, retardamentos, e outros parâmetros hidráulicos do meio.

Em área ocupada por cemitério, os autores Neira et al. (2008) realizaram duas campanhas de monitoramento em 5 poços localizados no cemitério Santa Inês na cidade Vila Velha no Espirito Santo. Foram constatados compostos nitrogenados em altas concentrações, inclusive para amônia, que indica poluição recente e refere-se ao primeiro estágio de decomposição da matéria orgânica.

3.2.3 Contaminação da água subterrânea

Os autores Neira et al. (2008) citam que a poluição das águas subterrâneas pode ser oriunda do lançamento de efluentes líquidos industriais, domésticos, agricultura, e mais recentemente por cemitérios. Assim torna-se indispensável um estudo prévio para essas

atividades, visto que sua implantação pode colocar em risco a qualidade da água subterrânea no entorno desses empreendimentos.

Além disso Abrão (2007) frisa que a qualidade da água subterrânea está relacionada a parâmetros químicos, os quais podem estar ligados não somente a atividade antrópica, mas também a características litológicas naturais das rochas. O autor afirma que ao circular sobre o solo e as rochas a água de infiltração ou solução do solo “soil moisture” se enriquece em sais minerais, podendo neste caso elevar as concentrações de componentes químicos na água devido a intemperização dos minerais dos solos e das rochas.

Borba (2016) cita que os aterros sanitários podem ser uma fonte de contaminação da água subterrânea e salienta a importância em se realizar o monitoramento dessa atividade, bem como a elaboração de estudos geológicos e hidrogeológicos prévios, para garantir a sua proteção ou ainda estabilidade do meio. Nesse mesmo contexto, os cemitérios como fonte potencial de contaminação, também necessitam desse monitoramento conforme a legislação ambiental para seu licenciamento e operação.

A contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer de forma direta ou indireta. Manoel Filho (2008) cita que o aquífero pode sofrer contaminação de forma direta, sem diluição, em casos de poços tubulares ou escavados abandonados e poços negros. Já a forma indireta, ocorre através da diluição, neste caso o poluente irá sofrer alterações na sua concentração desde o seu ponto de origem e durante sua migração no meio subterrâneo. A contaminação dessas águas geralmente é proveniente de atividades antrópicas como industriais, agrícolas, domésticas, entre outras com distintos potenciais de contaminação.

Foster et al. (2002; 2006) citam que estão mais expostos aos contaminantes os aquíferos freáticos ou livres, onde a zona vadosa é pouco espessa e o lençol freático apresenta uma pequena profundidade em relação a superfície do terreno, portanto muito vulnerável à contaminação. Neste caso apresenta um alto risco a contaminação da água subterrânea.

3.2.4 Vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação

A vulnerabilidade do aquífero avalia a sua capacidade em suportar determinadas atividades antrópicas. Hirata e Fernandes (2008) afirmam que a vulnerabilidade do aquífero irá depender de um conjunto de características naturais ou intrínsecas tanto físicas, químicas e/ou biológicas, da zona não saturada e o aquitarde confinante, impedindo-se a chegada do contaminante na água subterrânea. Assim, essa característica é dependente do meio em que o aquífero está inserido.

Para assegurar uma proteção natural da água subterrânea foram criados alguns métodos que visam identificar a capacidade do aquífero em suportar atividades potencialmente poluidoras sobre a superfície. Borba et al. (2016), salientam a utilização dos métodos GOD (*Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater table*) proposto por Foster et al. (2002; 2006), o DRASTIC (*Depth to the water, Net Recharge, Aquifer material, Soil Type, Topografy, Impact of the unsatured zone, Hydraulic Conductivity*), descrito por Aller et al. (1987), e o Índice de Susceptibilidade (IS) (RIBEIRO, 2005), dentre outros.

Outro método utilizado para identificação do perigo à contaminação é o POSH (*Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically*), desenvolvido por Foster et al. (2002; 2006). Essa metodologia é utilizada na identificação de atividades potencialmente poluidoras e seu potencial gerador de carga contaminante, utilizando os valores de carga.

Foster et al. (2002; 2006) desenvolveram o método GOD para avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação. Esse método avalia os parâmetros (G) Grau de confinamento da água, (O) Ocorrência do grau de cobertura, e (D) Profundidade/ distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado. Esse método é válido para as condições brasileiras e caribenhas.

A partir da observação dos perfis geológicos dos poços tubulares é possível fazer análises de características litológicas, dos níveis estáticos e da condição do aquífero, Foster et al. (2002; 2006), frisam a importância em identificar corretamente o material do aquífero, para verificar se o material funcionará como uma camada confinante ou não, isto é dificultar a migração dos contaminantes. Caso o aquífero esteja na condição de confinamento, isso garantirá uma maior proteção natural da água subterrânea aos contaminantes externos. Caso contrário, este estará mais susceptível à ação de contaminantes, que poderá entrar em contato e, difundir-se mais facilmente no nível freático do meio subterrâneo sob ação gravitacional.

3.3 INVESTIGAÇÃO DA SUBSUPERFÍCIE

Segundo Silva e Malagutti Filho (2009b) salientam que os métodos geofísicos são utilizados em estudos hidrogeológicos, sendo possível identificar-se uma gama de parâmetros físicos do meio, como o sentido de fluxo da água subterrânea, a profundidade da zona saturada, o mapeamento em subsuperfície da geometria pluma de contaminação oriunda de atividades antrópicas na superfície, a identificação de falhas e fraturas na rocha, entre outros.

Dentre os mais variados métodos geofísicos existentes, Silva e Malagutti Filho (2009b, p. 330) citam que o método da eletrorresistividade “consiste em injetar uma corrente elétrica,

por meio de contatos diretos com o solo, e medir a diferença de potencial elétrico, por eletrodos metálicos aterrados ao solo, quando os valores da corrente e do potencial são registrados, é possível calcular a resistividade dos materiais geológicos em subsuperfície".

Moreira (2009) salienta que a resistividade elétrica em solo ou rocha está condicionada a dois processos, o processo de condutividade eletrônica está relacionado a presença de minerais metálicos ou condutores, e o processo de condutividade eletrolítica é devido ao deslocamento de íons dissolvidos na água subterrânea presente nos poros e/ou fissuras das rochas. A resistividade elétrica é o inverso da condutividade elétrica, visto que quanto maior for a quantidade de sais presentes no meio subterrâneo menor será a sua resistividade.

Moura e Malagutti Filho (2003) relacionam a presença de materiais encontrados por meio de métodos geofísicos em área ocupada por aterro controlado, apresentando altos valores de resistividade, enquanto os baixos valores justificam-se pela presença de altas concentrações de íons como o sódio, sulfatos e nitratos, íons esses que aumentam a condutividade elétrica do líquido percolado.

Os autores Menezes et al. (2011) utilizaram o método geofísico da eletrorresistividade introduzindo no solo eletrodos pontuais com intervalos a cada 3 metros, para a identificação da pluma de contaminação em área ocupada por posto de combustível. Assim, puderam perceber que a técnica da geofísica é uma excelente ferramenta na identificação de contaminantes no subsolo gerados por atividades antrópicas na superfície, como vazamento de combustíveis líquidos como a gasolina, o diesel e o álcool.

Os autores Castro (2008) e Silva e Malagutti Filho (2009b) aplicaram métodos geofísicos em áreas ocupadas por cemitérios em distintos meios aquíferos, sendo possível, a partir dessa investigação, analisar a existência da pluma contaminante, mostrando que esse método funciona como uma ferramenta eficiente na identificação de lixiviados gerados por cemitérios e sua geometria associada as rochas.

3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A Resolução CONAMA Nº 357/2005 (BRASIL, 2005, p. 3) define os parâmetros de qualidade da água como "a presença de substâncias químicas ou outros indicadores representativos da qualidade da água". A qualidade da água pode ser representada através de parâmetros físicos, químicos e/ou biológicos.

Heath (1982) salienta que a qualidade da água subterrânea está diretamente ligada as substâncias dissolvidas na água e as propriedades características que estas substâncias dão a

água. Sendo assim a concentração em excesso de substâncias inorgânicas dissolvidas podem limitar o uso dessa água para consumo humano.

A qualidade da água para consumo humano é caracterizada a partir de padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 do M.S. Essa portaria estabelece padrões para parâmetros físicos, químicos e biológicos que irão caracterizar se a água é potável ou não para consumo humano. Devido à falta de uma legislação específica que estabeleça valores máximos permitidos para parâmetros de qualidade da água subterrânea sob área de influência de necrópole, adotou-se os VMPs estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 do M.S que dispõe sobre os VMPs da água para consumo humano, sendo que a água subterrânea pode estar sendo captada para o consumo em algum ponto da área de influência devido ao fluxo da água subterrânea.

3.4.1 Parâmetros físicos

Von Sperling (2005) trata como parâmetros físicos de qualidade da água a cor, a turbidez, o sabor, o odor e a temperatura. Abrão (2007) salienta que os parâmetros físicos citados são mais perceptíveis nas águas superficiais do que nas águas subterrâneas, esses parâmetros apresentam uma grande preocupação devido a estética, sendo que em altas concentrações podem causar repugnância às pessoas que irão consumir esta água.

Santos (2008) cita que são imperceptíveis as características estéticas da água subterrânea, exceto o sabor, que ocorre devido a quantidade excessiva de sais dissolvidos. O autor também salienta como características de propriedades físicas da água tais como: a temperatura, a cor, o odor, o sabor, a turbidez, incluindo os sólidos em suspensão, a condutividade elétrica e a salinidade.

3.4.2 Parâmetros químicos

Os parâmetros químicos de qualidade da água podem ser caracterizados pelo pH, alcalinidade, acidez, dureza, e concentração de: ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, óxgênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos e micropoluentes orgânicos (VON SPERLING, 2005). Santos (2008) também cita a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) como características químicas de qualidade da água superficial.

A água com presença de constituintes iônicos tóxicos carcinógenos indica a presença de atividade antrópica tais como aterros sanitários, depósitos de mineração, lixões, entre outros (SANTOS, 2008). O autor cita que a ingestão de alguns desses elementos químicos, sendo eles o antimônio, o arsênio, o bário, o cádmio, o chumbo, o cobre, o cromo, o fluoreto, o mercúrio e o selênio, visto que a ingestão continua da água em altas concentrações podem vir a causar doenças, tanto em humanos, como em animais.

3.4.3 Parâmetros biológicos

Von Sperling (2005) cita que os parâmetros biológicos são caracterizados pela ocorrência de algas, das bactérias e outros organismos indicadores de alteração de qualidade da água. Nesse contexto, o autor cita que a presença dessas substâncias na água é uma indicação de contaminação por organismos, que a partir de uma análise específica pode-se indicar que os organismos apresentam um certo grau de patogenicidade, o que compromete a qualidade da água e propicia um risco a quem estiver em contato com essa água.

3.4.4 Legislação vigente sobre qualidade da água e valores de referência de qualidade

A água sendo um recurso natural limitado e indispensável para a sobrevivência de todos os seres vivos, exige que sejam respeitadas normas para sua proteção, sendo essas instituídas na forma de diretrizes. No caso de abastecimento público, a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), estipula os padrões físicos, químicos e biológicos de potabilidade a serem seguidos. Sendo assim, a Tabela 1 mostra os padrões de potabilidade para alguns parâmetros específicos descritos nessa legislação.

Tabela 1 - Padrões químicos de potabilidade da água para abastecimento humano estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 do M.S (BRASIL, 2011).

(Continua)

Metais	Unidade	VMP
Alumínio (Al)	mg/L	0,200
Arsênio (As)	mg/L	0,010
Bário (Ba)	mg/L	0,700
Cádmio (Cd)	mg/L	0,005
Chumbo (Pb)	mg/L	0,010
Cobre (Cu)	mg/L	2,000
Cromo (Cr)	mg/L	0,050
Manganês (Mn)	mg/L	0,100

(Continuação)

Níquel (Ni)	mg/L	0,070
Mercúrio (Hg)	mg/L	0,001
Zinco (Zn)	mg/L	5,000

Fonte: Adaptado Brasil (2011).

Uma vez que grande parcela da população no país é abastecida por águas subterrâneas, salienta-se que essas devem ser preservadas e protegidas. Nesse sentido, foi criada, em 2008 a Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008), que dispõe sobre a classificação e fornece diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Sendo assim, essa mesma resolução em seu Art. 3º, classifica as águas subterrâneas como:

> Art. 3º As águas subterrâneas são classificadas em: I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial; II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais; III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais; IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais; V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso. (BRASIL, 2008, p. 310).

3.5 SOLO E SUA RELAÇÃO COM O MEIO SUBTERRÂNEO

Streck et al. (2008) definem solo como sendo um recurso natural lentamente renovável encontrado na paisagem em diferentes posições, visto que sua origem é oriunda da alteração das rochas cristalinas e sedimentos que ocorre através de variações climáticas como a precipitação, a variação da temperatura, e a ação de organismos vivos. O tipo de formação do solo será o resultado entre uma combinação da formação geológica e os fatores citados anteriormente.

Salomão e Antunes (1998) citam que a origem e a evolução do solo sofrem interferência de cinco fatores, sendo o clima que irá interferir na ação da água da chuva e a temperatura, os

materiais de origem, indicando a composição e o conteúdo mineral, os organismos, que interferem na mineralização e nas características físicas e químicas. Já o relevo, indica os processos tais como: erosão, escoamento superficial, sedimentação e o tempo que os demais estarão em ação.

Conforme a Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009) os solos exercem algumas funções, destacando-se algumas como manter o ciclo da água e dos nutrientes; agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos e ainda; proteger as águas superficiais e subterrâneas. Sendo assim fica evidente a importância do solo em reter contaminantes produzidos por atividades antrópicas sobre a superfície do terreno. Em especial a capacidade de troca de cátions (CTC) da fração argila do solo exerce um importante papel na adsorção e sorção de elementos químicos.

3.5.1 Íons metálicos no solo

Domingues (2009) diz que a origem de metais no solo pode ocorrer naturalmente devido a litologia, ou através do meio antrópico, sendo no primeiro caso, os constituintes de metais primários em rochas ígneas ou em rochas sedimentares. No caso de metais oriundos de atividades antrópicas, podem ser encontrados em áreas onde existem aterros sanitários, onde os metais podem provir dos resíduos dispostos, enquanto em cemitérios, relacionam-se aos materiais fúnebres que comportam peças metálicas.

Tavares (2013) cita que a concentração de metais pesados no solo sem que exista ação antropogênica é o resultado do grau de intemperização que o material sofreu, e das características da rocha de origem. Tavares (2013, p.19) também cita que os metais podem ser encontrados na “forma solúvel, trocável, fixadas pelos minerais do solo, precipitados com outros componentes, na biomassa e complexada pela matéria orgânica”.

Barros et al. (2008) afirmam que a principal forma de contaminação por metais em áreas ocupadas por cemitério, ocorre devido as partes metálicas dos caixões, como as alças e adereços que são compostas por metais pesados. Nesse contexto, por meio da precipitação, ação de fenômenos climáticos e ainda das características do solo, esses metais podem penetrar no solo que poderá reter fisicamente esses contaminantes.

3.5.2 Valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas

A Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009, p. 2), foi implementada para estabelecer valores orientadores de qualidade do solo, sendo assim, cita em seu Art. 1º que: "Esta resolução 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".

A Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009, p. 3) define como contaminação:

> A presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico. (BRASIL, 2009, p. 3).

A mesma Resolução define investigação confirmatória como:

> A etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação. (BRASIL, 2009, p. 3).

Em relação aos solos a partir de 2013 a Resolução CONAMA Nº 460/2013 (BRASIL, 2013, p. 12), que altera a Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009), estabelece no Anexo I que "os VRQs para substâncias inorgânicas de ocorrência natural no solo são estabelecidos a partir de interpretação estatística dos resultados analíticos obtidos em amostras coletadas nos principais tipos de solo do Estado".

No estado do Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas Portaria Nº 85/2014 (FEPAM, 2014).

Os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecidos por essa portaria no seu Art. 5º é fixado no percentil 90 "por grupo de solo ocorrente por província geomorfológica/geológica presente no Estado". A Tabela 2 ilustra os (VRQ) fixados no percentil 75 e 90 para os nove elementos, para o grupo das rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense, onde insere-se a área de estudo.

Tabela 2 - Valores de Referência de Qualidade para o grupo das rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense e seus solos.

Elemento químico	VRQ ($mg.kg^{-1}$)	
	Percentil 75	**Percentil 90**
Zinco	27,00	31,00
Cobre	7,00	9,00
Cromo	19,00	40,00
Níquel	6,00	12,00
Chumbo	15,00	18,00
Cádmio	0,32	0,40
Cobalto	6,00	13,00
Vanádio	39,00	48,00
Mercúrio*	15,00	34,00

Fonte: Adaptado de FEPAM (2014); *Concentração em $\mu g.kg^{-1}$

O autor Drever (1997) diz que as concentrações de metais podem ser derivadas do intemperismo das rochas, ou através da inserção humana no meio através de atividades antrópicas que venham aumentar essas concentrações. A Tabela 3 ilustra as concentrações naturais de elementos em rochas graníticas silicatadas segundo o autor:

Tabela 3 - Concentrações naturais de metais em rochas graníticas.

Elemento químico	Rochas Graníticas ($mg.kg^{-1}$)
Zinco	50,00
Cobre	20,00
Cromo	10,00
Níquel	10,00
Chumbo	17,00
Cádmio	0,13
Cobalto	4,00
Vanádio	50,00
Mercúrio	0,03
Bário	600,00
Arsênio	2,00

Fonte: Adaptado de Drever (1997).

Essas rochas graníticas silicatadas (minerais primários) são compostas pincipalmente de feldspatos potássicos ($KAlSi_3O_8$), quartzo (SiO_2) e podem conter micas. São rochas faneríticas, ácidas com teor de sílica > 65% (LEINZ e AMARAL, 1983).

3.5.3 Propriedades físicas do solo

A NBR Nº 6502/1995 (ABNT, 1995, p. 14) define granulometria como “representação de um solo pelas dimensões de suas partículas e suas respectivas percentagens em massa”. Sendo assim, a norma define diâmetro para as partículas, sendo possível classificá-las como silte, areia e argila. As frações granulométricas são definidas como:

> **Areia:** Solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm;
> **Silte:** Solo que apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, e que exibe baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm;
> **Argila:** Solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores do que 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade. (ABNT, 1995, p. 9 - 15).

3.5.4 Relação porosidade/permeabilidade

Segundo a NBR Nº 6502/1995 (ABNT, 1995, p. 17) solo poroso é aquele “que possui alto índice de vazios, apresentando poros visíveis a olho nu”. Heath (1982) trata o solo como materiais naturais mais porosos, devido as partículas formarem grumos soltos e pela presença de vazios deixados pelas raízes das plantas e animais escavadores. Sendo assim, locais onde as partículas são maiores os espaços vazios naturalmente também são maiores, tornando o solo mais permeável.

Cederstrom (1964) define permeabilidade como a capacidade de determinada formação em transmitir água, porém uma formação onde a água move-se rapidamente, caracteriza-se por ser mais permeável que uma formação onde a água move-se lentamente. O mesmo autor cita que a porosidade é o espaço de vazios existente entre os materiais, ou seja, uma formação mal classificada onde os materiais de diferentes diâmetros e geometrias que acomodam-se entre si, tem os espaços vazios diminuídos, tornando-se menos poroso que um material bem classificado.

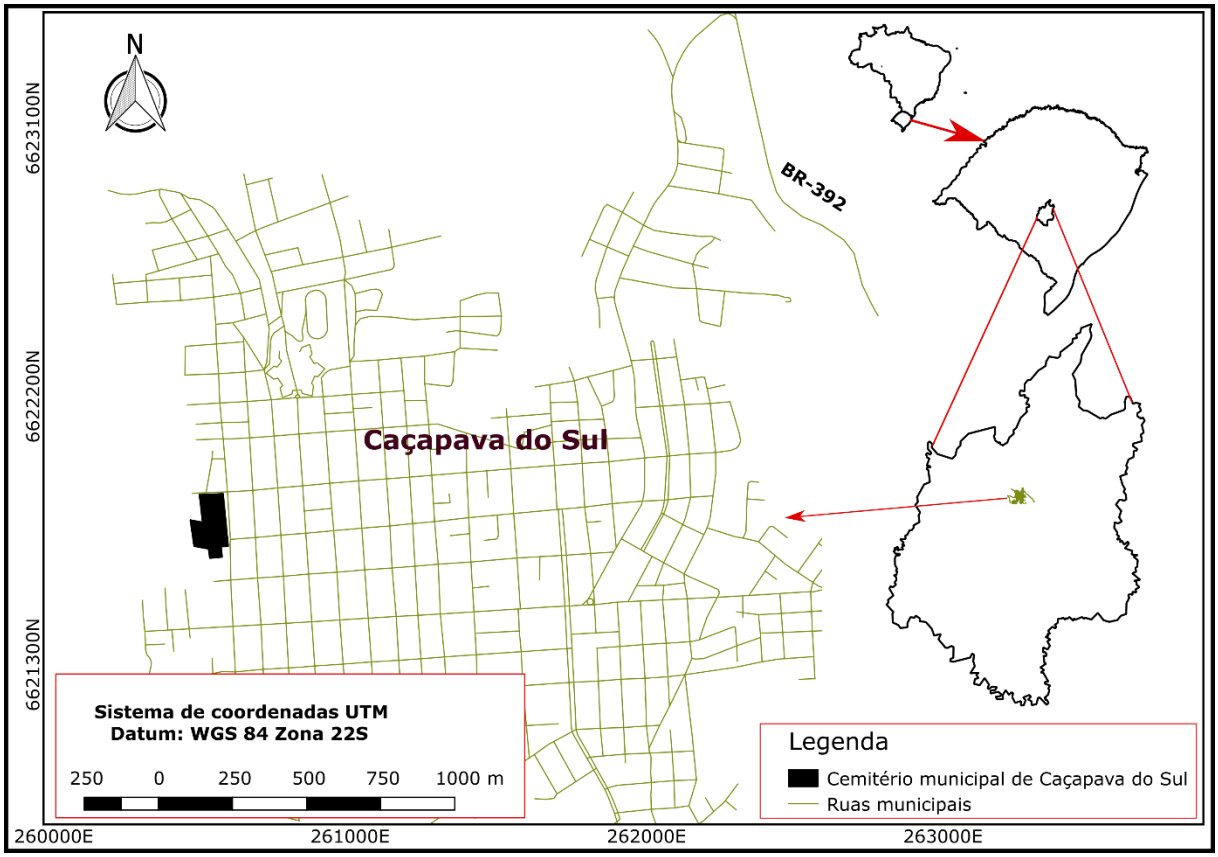
Gomes (2002) cita que a porosidade e a permeabilidade são grandezas geometricamente distintas, porém a porosidade está relacionada à capacidade de armazenamento de fluidos e a permeabilidade, com a capacidade de produção destes fluidos. Sendo assim um material altamente poroso é aquele que tem grande capacidade em armazenar água, e um material permeável tem grande capacidade em transmitir água.

4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O cemitério estudado está localizado no município de Caçapava do Sul-RS, situado na província geomorfológica/geológica do Estado do Rio Grande do Sul rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense (Figura 5), o município compreende uma população estimada em 33.690 habitantes, abrangendo uma área de unidade territorial de 3.047,113 km^2, situado na latitude 30º30'44" S e longitude 53º29'29" O do Meridiano de Greenwich, com altitude média de 450 metros acima do nível do mar (IBGE, 2010). Este é pertencente as Regiões Hidrográficas do Guaíba e Litorânea, abrangendo as Bacias Hidrográficas do Camaquã, Vacacaí-Vacacaí Mirim e Baixo Jacuí (FEPAM, 2005). O empreendimento localiza-se a oeste na expansão urbana do município.

Figura 5 - Mapa de localização do cemitério municipal de Caçapava do Sul-RS.



Fonte: Construído a partir de IBGE (2005).

Geologicamente o município de Caçapava do Sul caracteriza-se por situar-se no limite da borda sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná e noroeste do Escudo Sul-Riograndese. Apresenta cobertura por sedimentos cenozóicos, depósitos aluvionares, com presença de areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-arenoso, em calhas de rios e planícies de inundação, além de mais 20 unidades litológicas diferenciadas distribuídas entre a Província Paraná, Bacia do Camaquã e a Província Mantiqueira (CPRM, 2006).

Regionalmente ocorrem: As Formações Geológicas Palermo, Rio Bonito (Grupo Guatá) e Itararé (Grupo de mesmo nome), de idades Permianas, constituem a base dos depósitos sedimentares pertencentes a Província Paraná presentes no município de Caçapava do Sul.

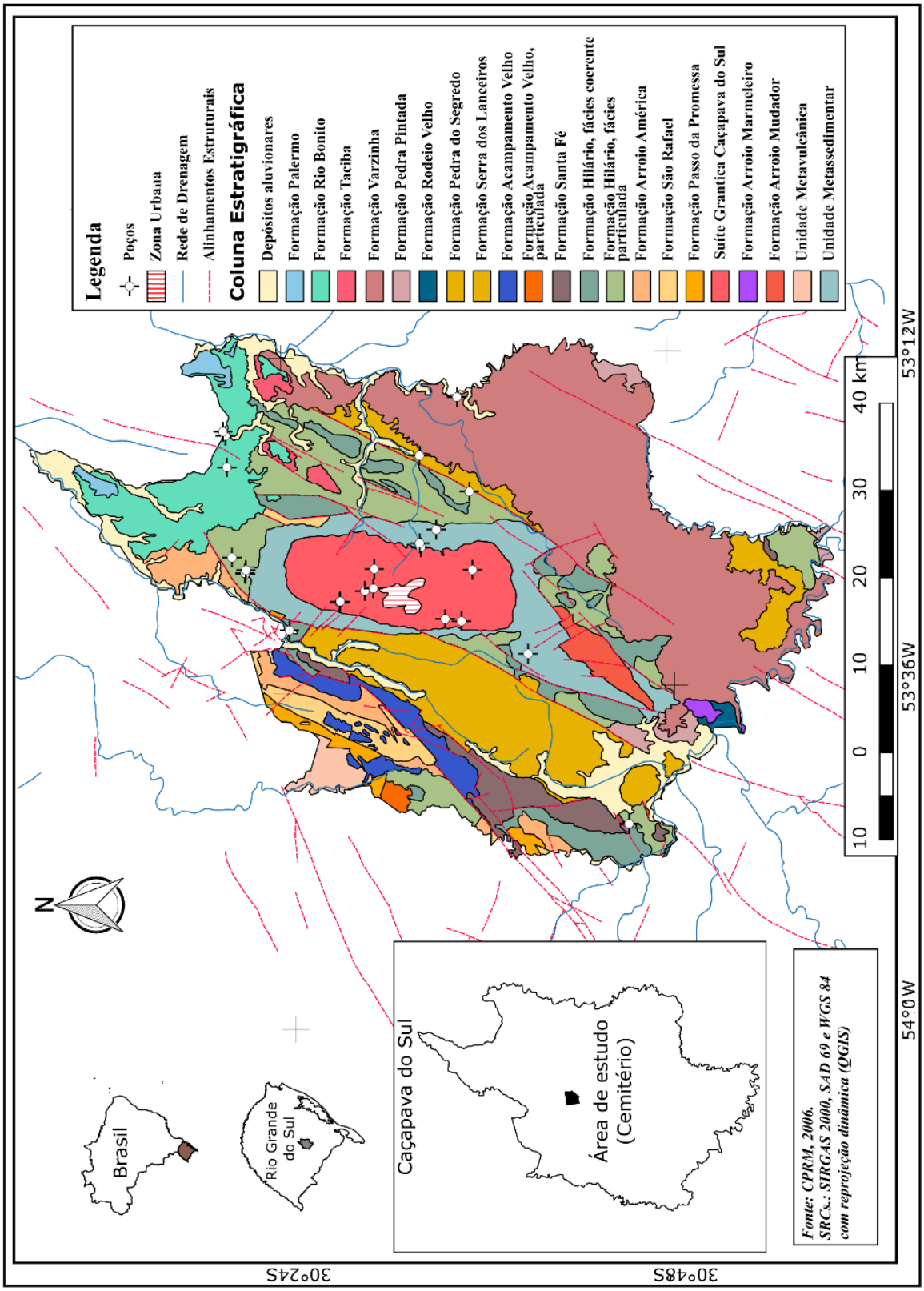
As demais litologias aflorantes no município pertencem ao Embasamento Cristalino, Bacia do Camaquã e Província Mantiqueira. A Bacia do Camaquã constitui-se pelos Grupos Guaritas e Santa Bárbara, Cerro do Bugio, Bom Jardim e Maricá.

A Província Mantiqueira apresenta afloramentos da Suíte Granítica Caçapava do Sul, Formação Arroio Marmeleiro, Formação Arroio Mudador, Duas unidade pertencentes ao Complexo Metamórfico Vacacaí: Unidade Metavulcânica e Unidade Metassedimentar. As unidade geológicas encontram-se distribuídas conforme a Figura 6.

Segundo Machado e Freitas (2005), quanto a características hidrogeológicas, o município de Caçapava do Sul-RS caracteriza-se pelo:

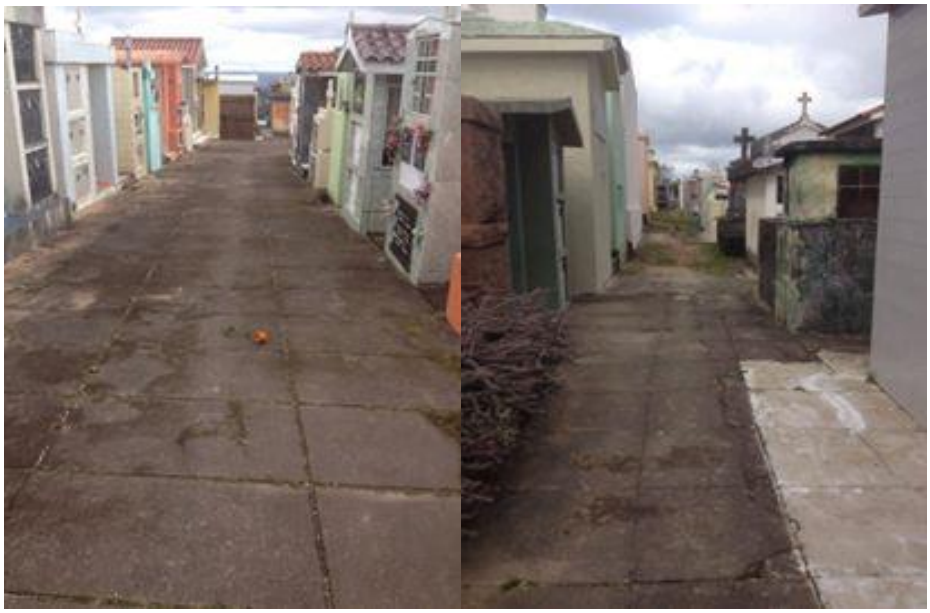
Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II: Esse compreende todas as rochas graníticas, gnássicas, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorfizados que estão localmente afetadas por fraturamentos e falhas, o cemitério estudado está localizado sobre a área onde predomina o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II.

Figura 6 - Mapa geológico de Caçapava do Sul-RS.



O cemitério estudado localiza-se em terrenos da Suíte Granítica de Caçapava do Sul, é caracterizado por ser um cemitério horizontal tradicional, sendo suas sepulturas do tipo jazigos (Figura 7), construções pré-existentes, compostas por gavetas onde são sepultados os corpos, pois apresenta diversos corredores de visitas aos túmulos sendo uma boa parte do piso construída com lajotas de alvenaria tornando impermeável, onde boa parte da água que precipita escoa por gravidade no sentido leste/oeste onde existem tubos que conduzem o fluido para a área de cota mais baixa na zona oeste do empreendimento. Estima-se que aproximadamente 5 mil corpos estão sepultados no cemitério, esse compreende uma área de aproximadamente 1,8 hectares, sendo considerado de pequeno porte por abranger uma área menor que 2 ha (FEPAM, 2017).

Figura 7 - Cemitério municipal de Caçapava do Sul – RS.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

Para a determinação das características físicas do solo foi realizada análise granulométrica seguindo a NBR 7181/1984 (ABNT, 1984), visando separar os grãos das frações areia, silte e argila existentes na composição do solo na área de estudo. A mineralogia dos constituintes foi identificada com o uso de lupa binocular de 80 amplificações no laboratório de sedimentologia da UFSM, ambos foram realizados para o ponto P4 de coleta de

solo (Figura 8) devido a ser o ponto que apresentava características macroscópicas mais semelhantes aos produtos de alteração do granito. Posteriormente foram executados os ensaios de permeabilidade no empreendimento, aplicando-se o método do Permeâmetro de Guelph, foi determinado o coeficiente de infiltração seguindo o método proposto pela NBR 7229/1993 (ABNT, 1993).

Figura 8 - Localização dos pontos de amostragem para coleta de solo.

Fonte: Adaptado Google (2016).

4.2.1 Determinação da permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade foram realizados próximos aos pontos de coleta de solo, com exceção do ponto Branco que foi substituído pelo ponto P7, onde o ensaio foi realizado na extremidade sul da área do cemitério. Também foram realizados mais 2 ensaios no interior do cemitério onde não ocorreu coleta de solo. Realizaram-se sete ensaios, onde os pontos receberam a nomenclatura de P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7. O método utilizado foi o de carga constante, utilizando o permeâmetro de Guelph (Figura 9):

Figura 9 - Utilização do permeâmetro Guelph em campo.

Fonte: Arquivo pessoal.

O ensaio foi realizado seguindo a metodologia descrita por Santos (2005), que sugere a utilização das seguintes etapas:

a) escolha do local, (de preferência plano);

b) perfurar o solo (com auxílio de trado manual) com 30 cm de profundidade, posicionando o permeâmetro sobre a perfuração de forma que o aparelho fique em nível vertical;

c) injetar 5 cm de coluna de água no primeiro momento, formando uma carga hidráulica constante no interior do furo feito pelo trado, sendo a carga hidráulica relativa de acordo com os constituintes do solo;

d) após a estabilização da taxa de infiltração, repete-se o procedimento anterior, porém, injetando uma coluna de 10 cm de água, esta unidade de tempo quem determina é o pesquisador. Nesse caso o tempo será cronometrado a cada 2 minutos.

O volume de água que infiltra no solo por unidade de tempo se torna constante depois de determinado tempo de estabilização, deve-se escolher a mesma unidade de tempo nas duas cargas hidráulicas.

O cálculo da condutividade hidráulica foi realizado através da expressão descrita por *Soil Moisture Corp* (1991).

4.2.2 Determinação do coeficiente de infiltração

Os ensaios realizados na determinação do coeficiente de infiltração foram feitos próximos aos pontos dos ensaios de permeabilidade, da mesma forma totalizando 7 ensaios com nomenclatura de P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7.

A metodologia utilizada foi a descrita pela NBR 7229/93 (ABNT, 1993), que determina a abertura de uma cova de seção quadrada de 30cm de lado e 30cm de profundidade e cobrir o seu fundo com uma camada de 5 cm de brita nº 1.

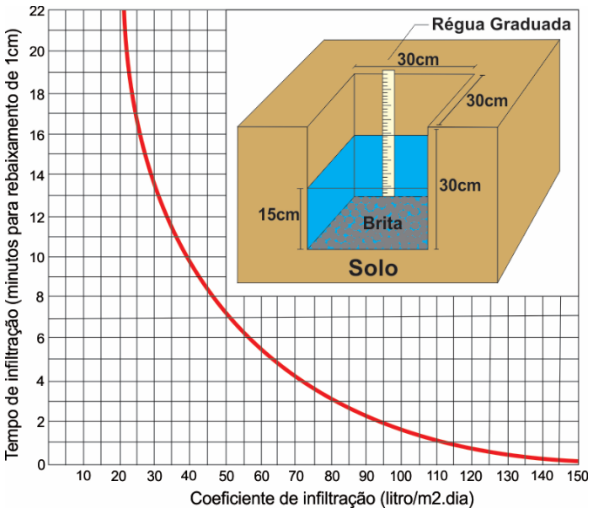
Após preparar as covas deve-se iniciar o teste de infiltração propriamente dito. O procedimento inicial consiste em manter as covas cheias de água durante 4 horas, no dia seguinte, devem-se encher as covas com água e aguardar a total infiltração e em seguida deve-se encher novamente as covas com água até a altura de 15 cm e cronometrar o período de rebaixamento de 15 cm até 14 cm (Figura 10).

Figura 10 - Execução do ensaio a campo na determinação do coeficiente de infiltração.

Fonte: Arquivo pessoal.

A mesma norma frisa que quando o intervalo de tempo para o rebaixamento de 1 cm se der em menos de 3 minutos, deve-se refazer o ensaio cinco vezes, adotando o tempo da quinta medição. Com os tempos determinados, é possível obter-se os coeficientes de infiltração do solo (L/m².dia) a partir da curva apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Execução do ensaio de infiltração em campo.



Fonte: Adaptado BRASIL (1993).

O Quadro 1, reproduzido da NBR 7229/1993 (ABNT, 1993), contém faixas de variação de coeficientes de infiltração de acordo com a constituição provável dos solos.

Quadro 1 - Faixas de variação de coeficientes de infiltração de acordo com a constituição provável dos solos.

FAIXA	CONSTITUIÇÃO PROVÁVEL DO SOLO	COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO L/M²xdia[11]	ABSORÇÃO RELATIVA
1	Rochas, argilas compactas de cor branca cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada	menor que 20	Impermeável
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marron medianamente compactas, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas	20 a 40	Semi-impermeável
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areias argilosas ou siltes argilosos de cor amarela, vermelha ou marron	40 a 60	Vagarosa
4	Areia ou silte argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes	60 a 90	Média
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos	maior que 90	Rápida

Fonte: ABNT (1993).

4.3 INVESTIGAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO ORIUNDA DO CEMITÉRIO

Para a avaliação da pluma de contaminação foi utilizado o método geofísico de eletrorresistividade com caminhamentos elétricos. Esse está baseado na Lei de Ohm, a partir da proporcionalidade direta entre a corrente elétrica que irá percorrer um condutor metálico e a diferença de potencial entre os terminais desse condutor (FEITOSA et al., 2008).

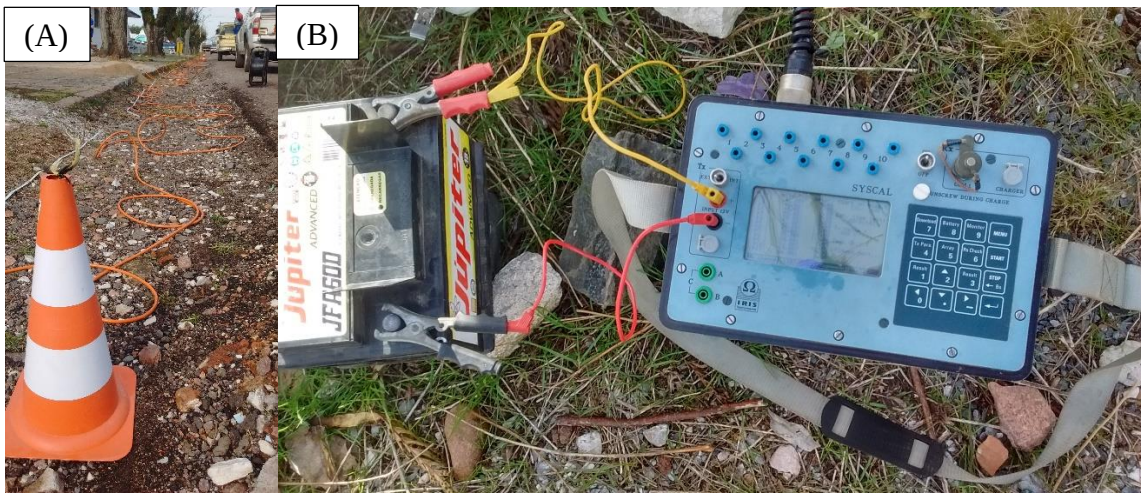
O equipamento utilizado na aquisição dos dados foi o resistivimetro Syscal Pro (desenvolvido pela empresa francesa *IRIS Instruments)* (Figura 12), sendo composto por uma unidade transmissora e uma unidade receptora, configuradas para realizar medidas simultâneas de resistividade e cargabilidade. O equipamento foi disponibilizado pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Foram realizadas 9 linhas de caminhamento elétrico sobre a área de influência do cemitério, com uma extensão de 72 metros cada linha, os eletrodos foram dispostos em intervalos de 2 metros, por meio de arranjos dipolo-dipolo. Uma vez que a área do cemitério apresenta piso de lajotas de alvenaria, impossibilitando a aplicação do eletrodos sobre o mesmo, as linhas sísmicas foram executadas externamente ao empreendimento. As linhas I, III, IV, e VI de direção aproximada N/Se as linhas II e V de direção L/O, visando cobrir a área do empreendimento.

Moreira (2009, p. 36) diz que “a técnica de Caminhamento Elétrico está baseada na realização de medidas de resistividade aparente ao longo de uma linha, com o objetivo de investigar variações em um ou mais níveis em profundidade”.

O mesmo autor também cita que existem várias formas em que os eletrodos podem ser arranjados, sendo que no presente estudo foi utilizado o arranjo Dipolo-Dipolo, o mesmo apresentando como principal característica em seu arranjo, o espaçamento igual entre os eletrodos, sendo os AB os eletrodos de injeção de corrente e os MN os de potencial, ou seja AB=MN.

Posteriormente os dados foram processados por meio do “software” Res2dinv, versão 3.4, desenvolvido pela Geotomo *Softwares* (Malásia). Esse programa gera modelos bidimensionais obtidos através do levantamento geofísico da eletrorresistividade realizado a campo. A partir da obtenção desses perfis do subsolo, foram interpretados os valores de resistividade para que fosse observado a da pluma de contaminação e a indicação da zona saturada em água no subsolo.

Figura 12- Linha de caminhamento elétrico (A), Resistivímetro SYSCAL Pro *Standard & Switch* (B).



Fonte: Arquivo pessoal.

O método da eletrorresistividade caracteriza-se pela aplicação de uma fonte artificial de corrente (I) introduzida no solo via eletrodos pontuais, esses denominados A e B, o potencial criado por essa emissão de corrente é medido pela distância entre os eletrodos de medição, sendo esses os eletrodos M e N, assim pode ser calculada a resistividade aparente (ρ_a) (equação 1) a partir da corrente de potencias gerados (ΔV) (KEAREY et al., 2002).

$$(\rho_a) = K\frac{(\Delta V)}{I} \qquad (1)$$

Onde:
ρ_a = resistividade aparente (Ω.m)
K = fator geométrico (m)
ΔV = diferença de potencial entre os pontos M e N (metros.volt) (m.V)
I = intensidade artificial de corrente introduzida pelos eletrodos A e B (metros.âmpere, m.A).

Após terem sido obtidos os valores de resistividade das linhas sismicas, foram interpretados e comparados com os valores sugeridos por Kearey et al. (2002) e Telford et al. (2004) conforme a Tabela 4, dessa forma identificando os possíveis materiais constituintes e a forma que se encontram no subsolo. Assim, juntamente com as referências obtidas foi identificada a zona saturada e possíveis anomalias nos diferentes perfis analisados. Na área de estudo ocorrem rochas graníticas e seus produtos de intemperização.

Tabela 4 - Valores de resistividade para rochas e sedimentos.

Rocha	Resistividade (Ωm)
Quartzito	**$4x10^2$----$2x10^8$**
Águas naturais (Rochas ígneas)	**0,5----150**
Águas naturais (sedimentos)	**1----100**
Granito	**10^3----10^6**
Basalto	**10----$1,3x10^7$**
Xistos (calcários e micas)	**20----10^4**
Argila molhada inconsolidada	**20**
Arenito	**1----$6,4x10^8$**
Folhelo	**20----$2x10^3$**
Água no solo	**100**

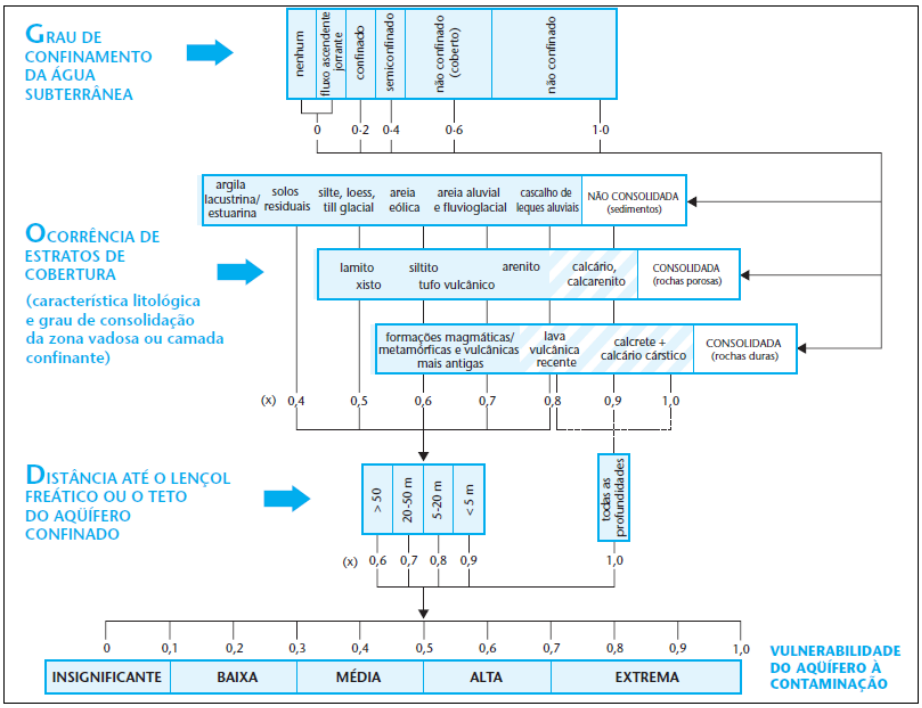
Fonte: adaptado de Kearey et al. (2002) e Telford et al. (2004).

4.4 OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES E ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL A CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO

Buscando-se realizar um estudo da vulnerabilidade natural ou intrínseca coletou-se as informações necessárias sobre as captações dos poços tubulares no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), mantido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), do Serviço Geológico do Brasil. Foram coletadas as informações de latitude e longitude dos pontos, em Sistemas de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), dos níveis estáticos dos poços de captação, da sua perfuração, os parâmetros hidrodinâmicos e físico-químicos.

Foi adotado o *Datum* horizontal South American *Datum* 1969 (SAD69), corrigido para Sistema de Referências Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000), conforme proposto pelo IBGE (2015). Como *Datum* vertical foi adotado o Porto de Imbituba, no Estado de Santa Catarina – SC. Esse foi utilizado na estimativa da superfície potenciométrica, relacionando a cota altimétrica na “boca do poço” e os níveis da água subterrânea, obtendo-se uma carga potenciométrica indicativa da tendência do fluxo subterrâneo.

Figura 13 - Sistema GOD para a determinação da vulnerabilidade a contaminação do aquífero.



Fonte: Foster et al. (2002; 2006).

Para a determinação da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero, foi utilizado o sistema GOD, descrito por Foster et al. (2002; 2006). Esse método avalia três parâmetros do meio aquífero, sendo eles o grau de confinamento da água subterrânea (G), a ocorrência de estratos de cobertura (O), e distância até o nível freático da água (D), conforme a Figura 13. A vulnerabilidade é obtida a partir do produto entre as variáveis G, O e D, a partir disso, a classes de vulnerabilidade são classificadas como insignificante (Valores entre 0 e 0,1), baixa (0, e 0,3), média (0,3 e 0,5), alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1).

4.5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para a determinação da concentração elementos presentes na água subterrânea, localizada sobre a área de influência do cemitério, foram coletadas amostras de quatro poços rasos e de um açude localizado a oeste do empreendimento (Figura 14). A periodicidade das coletas ocorreu em média a cada 90 dias, compreendendo diferentes estações climáticas do ano, buscando-se comparações. Dos quatro poços, um está localizado no interior do cemitério e os outros 3 sob a sua área de influência na área mais baixa do terreno (Figura 14). Buscando-se

acompanhar o fluxo subterrâneo com o caimento natural. O ponto de captação da amostra considerado Branco está a leste do empreendimento em uma cota mais alta do terreno, as amostras foram coletadas com auxílio de um bailer devidamente esterilizado e acomodadas em frascos descartáveis esterilizados com volume disponível de um litro.

Após terem sido coletadas as amostras de água, essas foram imediatamente refrigeradas para não perder suas características químicas naturais. Posteriormente foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais (LAQIA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde foram preparadas e quantificadas as concentrações dos elementos Al, As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Ni, Na e Zn.

Para a quantificação, as amostras de água passaram pelo processo de diluição por meio da adição de HNO_3 5%, e posteriormente foram quantificadas com o uso da técnica de Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES). As amostras foram diluídas duas vezes com água ultrapura.

Figura 14 - Pontos de coleta de água sobre a área de influência do cemitério.

Fonte: Adaptado Google (2016).

A partir dos resultados obtidos foram comparados com os valores estabelecidos pela Portaria do M. S. Nº 2914/2011 do M.S. (BRASIL, 2011) e com as classes de enquadramento estabelecidas pela Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008), além de trabalhos referentes a qualidade da água realizados em cemitérios do país e internacionais presentes na literatura.

4.6 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS

Para a caracterização química do solo foram coletadas amostras em 4 pontos distintos localizados no interior do cemitério e um ponto Branco selecionado fora da área de influência direta (Figura 8). Essas amostras foram obtidas com um trado manual, primeiramente coletou-se a camada superficial do solo, e posteriormente nas profundidades de 50 e 150 centímetros, totalizando 3 amostras por ponto de amostragem.

Após as coletas, as amostras foram etiquetadas e protegidas com sacos plásticos. Depois foram levadas a estufa com circulação de ar a uma temperatura de aproximadamente 105 ºC para que fosse retirada a umidade. Após, passaram pelo processo de moagem em almofariz e pistilo de ágata. Assim diminuindo o tamanho das partículas e homogeneizando a amostra em pó.

Após esse processo, foram submetidas a uma etapa de preparo de amostra, utilizando a decomposição assistida por radiação micro-ondas (MAD), de acordo com o método EPA 3052 (*Microwave-assited acid digestion of siliceous and organically based matrices*). O programa de irradiação micro-ondas utilizado foi de 1400 W por 40 min (rampa de 10 min) e 20 min de resfriamento (Multiwave 3000®, Anton Paar), neste procedimento foram pesadas 125 mg de solo de cada amostra na balança analítica, e na sequência pipetadas 4,5 mL de HNO_3 14,4 $mol.L^{-1}$, 1 mL de HCl 12 $mol.L^{-1}$ e 1,5 mL de HF 23 $mol.L^{-1}$. Essas amostras foram decompostas em um sistema fechado por via úmida utilizando um forno de micro-ondas Multiwave 3000® (Anton Paar). Esse equipamento consiste em um rotor com capacidade para 16 frascos de politetrafluoretileno (PTFE) e capa de cerâmica, cada frasco tem capacidade de armazenar o volume de 100 mL. Após a retirada das soluções do forno, foram aferidas com 30 mL de água ultrapura. Essa etapa foi realizada no Centro de Estudos em Petróleos (CEPETRO) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), o procedimento foi realizado em duplicatas.

Após a digestão, as soluções resultantes deste processo foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais (LAQIA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) para que fosse realizada a quantificação através da técnica de

Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES) e Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS), as condições operacionais dos equipamentos estão ilustradas na Tabela 5. As amostras foram diluídas em (HNO_3 5%) 5, 10, 50 e 100 vezes, para que fossem identificados os elementos.

Tabela 5 - Condições operacionais dos equipamentos de ICP OES e ICP-MS para a determinação de elementos em solo de cemitério após decomposição em forno de micro-ondas.

Parâmetro	**ICP OES**	**ICP-MS**
Potência do gerador de radiofrequência (W)	1400	1300
Vazão de argônio principal (L min^{-1})	12	18
Vazão de argônio auxiliar (L min^{-1})	1,0	1,2
Vazão de argônio nebulizador (L min^{-1})	1,00	0,95
Cone de amostragem e *skimmer*	-	Pt
Cone *hyper skimmer*	-	Al
Vista de observação	axial	-
Isótopos monitorados (m/z)	-	^{75}As, ^{113}Cd, ^{59}Co, ^{63}Cu, ^{60}Ni e ^{208}Pb
Comprimentos de onda espectral (nm)	Al 167,078, Ba 455,404, Cr 267,716, Fe 259,941, Li 670,780, Mn 257,611, Na 589,592 e Zn 213,856	-

A partir dos resultados obtidos do equipamento em micrograma por litro ($\mu g.L^{-1}$), foram transformados para miligrama por quilograma ($mg.kg^{-1}$) conforme a equação 2, assim obtendo-se as concentrações dos elementos: Alumínio, Arsênio, Bário, Zinco, Cobre, Cromo, Níquel, Chumbo, Cádmio, Cobalto, Vanádio, Lítio, Manganês, Sódio e Ferro.

$$Conc_f = \frac{(Conc_0 * Aferição * Diluição)}{Massa} \quad (2)$$

Onde:
$Conc_f$ = Concentração em ($mg.g^{-1}$);
$Conc_0$ = Concentração obtida do ICP OES;
Aferição = 30 mL;
Diluição = Fator de diluição da amostra e;
Massa = Massa de solo pesada para o processo de digestão (g)

A partir dos resultados obtidos, esses foram comparados com os VRQs do solo, determinados pela legislação para o grupo das rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense, estabelecidos pela Portaria Nº 85/2014 (FEPAM, 2014), que é onde está localizada a área de estudo.

Posteriormente foi realizada uma análise estatística para os elementos presentes no solo foi utilizado o *software Action* (ESTATCAMP, 2014), através da ferramenta *correlation* foram obtidas as correlações de *Pearson* entre as variáveis referentes ao presente estudo.

4.7 REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para estimativa da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero, na caracterização física do solo, e na caracterização química do solo para os elementos presentes na Portaria 85 (FEPAM, 2014) estão representados na forma de mapas temáticos, elaborados a partir de um ambiente SIG, através da ferramenta de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW). Esse interpolador é amplamente utilizado em estudos ambientais devido aos bons resultados gerados, como os trabalhos desenvolvidos por Borba et al. (2016); Borba (2016); Fernandes et al. (2016) e Landin et al. (2002).

Para os demais elementos presentes no solo a representação foi feita na forma de gráficos para cada elemento nas suas diferentes profundidades. Já na caracterização química da água os resultados foram representados em tabelas e gráficos ilustrando as concentrações para cada elemento nos cinco pontos de coleta realizadas em três etapas.

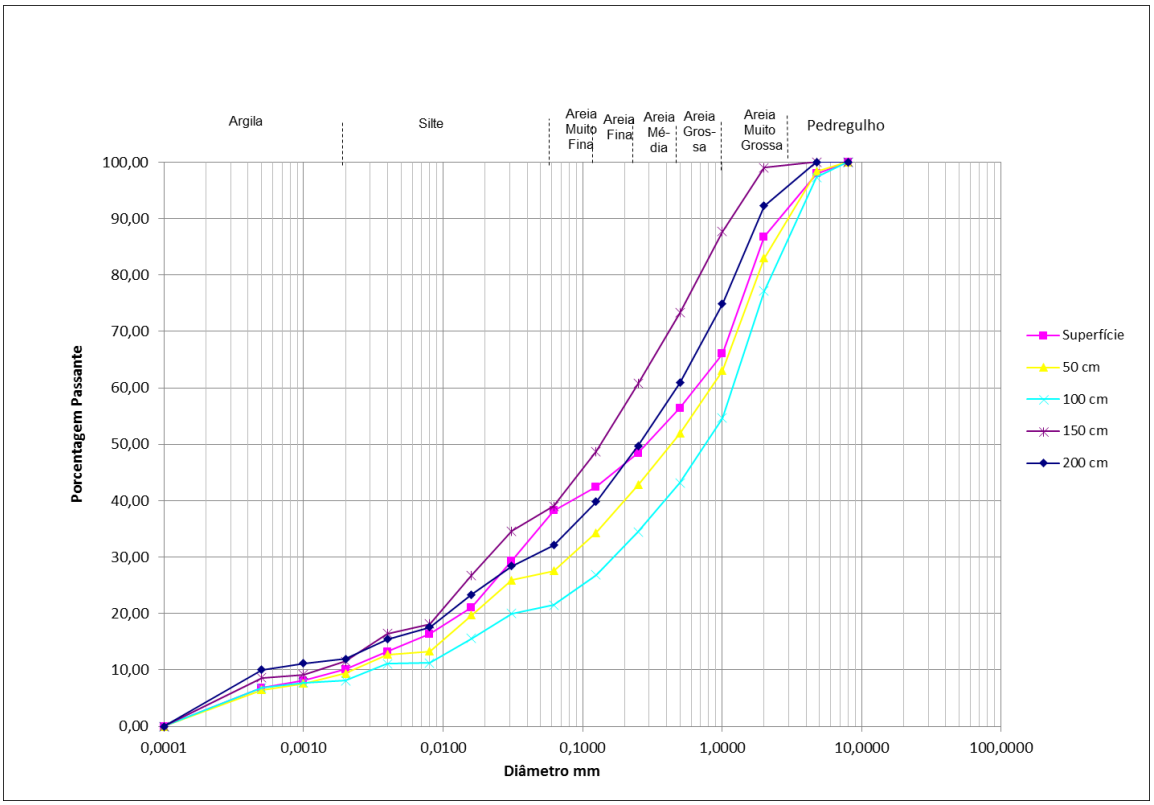
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERISTICAS FÍSICAS DO SOLO

Na determinação das características físicas do solo, pode-se observar por meio da análise granulométrica (Figura 15) que o solo no ponto P4 (Figura 8) onde foi coletada amostra de solo, o mesmo pode ser classificado segundo a NBR 6502/95 (ABNT, 1995) como areia silto-argilosa. Diante dessa classificação o solo apresenta como características uma alta permeabilidade e também um valor elevado para o coeficiente de infiltração.

Observa-se na Figura 15 que solo apresenta uma maior porcentagem de fração areia em todas as profundidades, o que favorece a infiltração de água bem como seu fluxo.

Figura 15 - Curvas granulométricas obtidas para o ponto P4 de coleta do solo em 5 profundidades no cemitério municipal de Caçapava do Sul-RS.



Fonte: Elaboração própria.

A partir da aplicação do teste de permeabilidade do solo com a utilização do permeâmetro de Guelph, foram obtidos os valores representados na Tabela 6 e posteriormente representados na forma de mapa temático (Figura 16).

Tabela 6 - Valores de permeabilidade do solo obtidos a partir do teste realizado com permeâmetro de Guelph.

Pontos de Testes	Permeabilidade ($cm.s^{-1}$)
P1	$1,94.10^{-3}$
P2	$2,46.10^{-4}$
P3	$5,87.10^{-6}$
P4	$1,86.10^{-3}$
P5	$2,84.10^{-4}$
P6	$5,42.10^{-4}$
P7	$5,69.10^{-4}$

Observando-se a Tabela 6, pode-se destacar o P1 com permeabilidade de $1,94.10^{-3}$ $cm.s^{-1}$ e o P4 com valor de $1,86.10^{-3}$ $cm.s^{-1}$ locais esses que apresentaram uma maior permeabilidade no solo do cemitério, sendo o primeiro localizado na área central e o segundo em uma cota mais baixa na porção oeste da área de estudo. O que poderia justificar esses valores mais altos encontrados nesses pontos, é a presença de um antigo aterro nessa porção visando diminuir o impacto causado pela declividade. Sendo que esse aterro não apresenta o mesmo grau de compactação do restante do terreno.

Em P2, P5, P6 e P7 a permeabilidade foi classificada como baixa, apresentando valores na ordem de 10^{-4} $cm.s^{-1}$. A menor permeabilidade foi encontrada em P3 com $5,87.10^{-6}$ $cm.s^{-1}$, sendo classificado como solo de permeabilidade muito baixa, local onde o solo se encontrava com características naturais, porém com sinais de compactação.

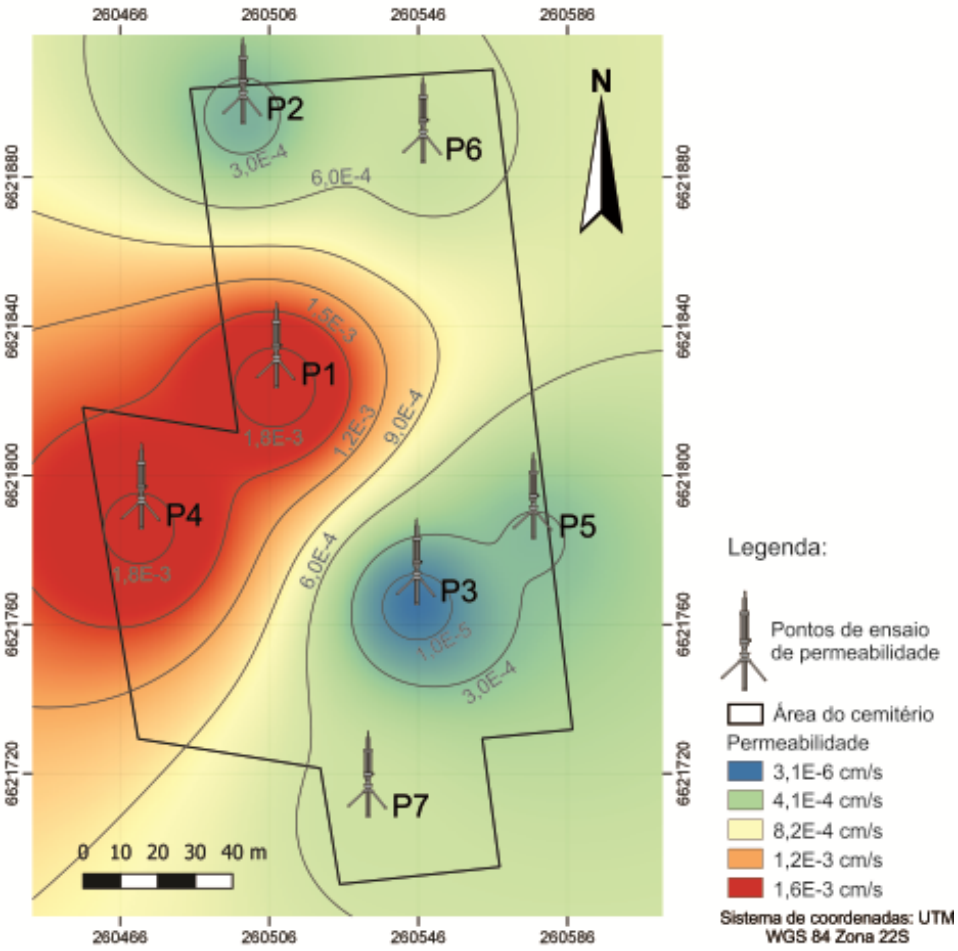
Os autores Mello e Teixeira (1962), citam em uma escala o coeficiente de permeabilidade do solo relacionado com o tipo de material encontrado, sendo classificado como pedregulho os locais com coeficiente de permeabilidade ($>10^{-1}$ $cm.s^{-1}$), as areias puras entre (10^{-3} e 10^{-1} $cm.s^{-1}$), as areias finas siltosas e argilosas e siltes argilosos entre (10^{-7} e 10^{-3} $cm.s^{-1}$) e as argilas $<10^{-7}$ $cm.s^{-1}$). Diante disso todos os pontos analisados na área de estudo condizem com um solo com características de matriz compostas por areias finas siltosas e argilosas e siltes argilosos, apresentando valores para o coeficiente de permeabilidade entre $1,86.10^{-3}$ e $5,87.10^{-6}$ $cm.s^{-1}$. Neste caso confirmando os dados obtidos na análise granulométrica que segundo NBR

6502/95 (ABNT, 1995) o solo presente na área de estudo pode ser classificado como areia silto-argilosa.

Na Figura 16, estão ilustradas as características físicas relacionadas a permeabilidade do solo do cemitério estudado, sendo possível observar no P3 uma menor permeabilidade que os demais estudados, fato esse que pode ser justificado pela compactação do solo devido ao transito intenso de pessoas sendo que o P3 está localizado em um dos corredores do cemitério.

Os graus de permeabilidade nos pontos estudados variaram de médio a muito baixo conforme Tarzaghi e Peck (1967), apresentando características de solo constituído por areias, areias finas siltosas e argilosas e siltes argilosos, segundo Mello e Teixeira (1962), condizendo com o tipo de solo da região, classificados como neossolo distrófico, visto que apresentam texturas argilosas, siltosas e médias (EMBRAPA, 1999).

Figura 16 - Mapa gerado na identificação da permeabilidade no solo do cemitério.



Fonte: Elaboração própria.

Estudos realizados por Jesus et al. (2013) em Bauru – São Paulo revelaram permeabilidades de $5,3.10^{-3}$ $cm.s^{-1}$ para solo constituído por areia siltosa, $1,1.10^{-4}$ $cm.s^{-1}$ para solo arenoso e $2,7.10^{-7}$ $cm.s^{-1}$ para solo proveniente de areia silto-argilosa e Sousa e Celligoi (2011) em Londrina - Paraná, utilizando o mesmo método, obtiveram resultados de permeabilidade variando de média a baixa com valores entre $7,7.10^{-3}$ e $7,3.10^{-4}$ $cm.s^{-1}$, o que evidencia um certo padrão no método utilizado para as diferentes texturas do solos estudados.

Os autores Maciel Filho e Nummer (2014) classificam diferentes materiais em relação a permeabilidade, os que apresentam coeficiente de permeabilidade menor que 1 $cm.s^{-1}$ são classificados como permeabilidade muito alta, os valores entre 1 e 10^{-2} $cm.s^{-1}$ como alta, entre 10^{-2} e 10^{-3} $cm.s^{-1}$ como moderada, entre 10^{-3} e 10^{-5} $cm.s^{-1}$ como fraca permeabilidade e valores entre 10^{-5} e 10^{-7} $cm.s^{-1}$ como muito fraca. Assim a área estudada apresenta valores que classificam a permeabilidade do solo variando de fraca a muito fraca permeabilidade.

Apesar dos resultados dos testes apresentarem baixos valores de permeabilidade, apenas P3 está em conformidade com a resolução do CONAMA Nº 368/2006 (BRASIL, 2006) que estipula valores iguais ou menores a 10^{-5} $cm.s^{-1}$ para solos em áreas de cemitérios. Fator preocupante devido os cemitérios serem considerados fonte de impactos ambientais para águas subterrâneas e superficiais.

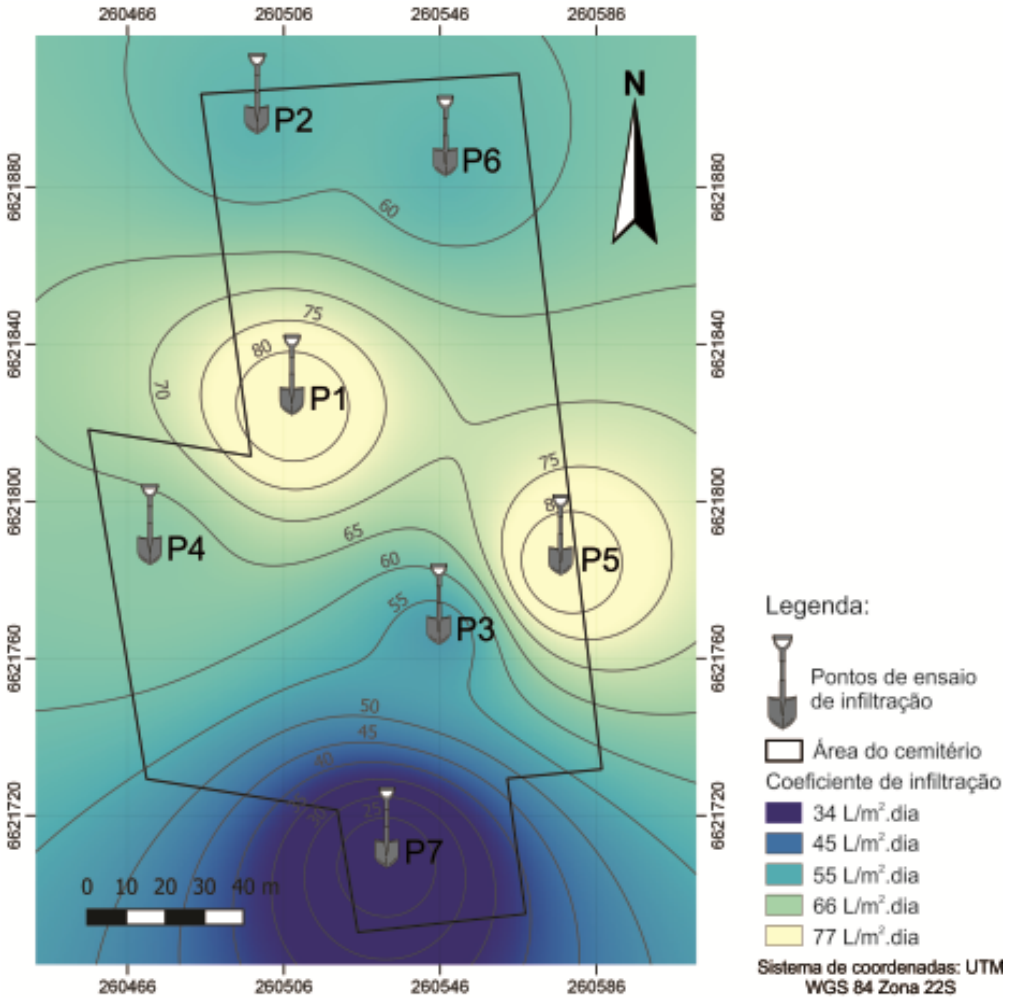
A Tabela 7 ilustra os resultados obtidos para o coeficiente de infiltração a partir da aplicação do teste de infiltração. A faixa de variação do coeficiente de infiltração no solo variou de 21 a 85 L/m^2.dia (Tabela 7), onde P1 e P5 apresentaram os maiores coeficientes, ambos com 85 L/m^2.dia e P4 com 63 L/m^2.dia, os três pontos apresentaram absorção relativa classificada como média, onde suas características são de solos arenosos a silte-argilosos (Quadro 1). Os poços P3, P2 e P6 mostraram uma absorção relativa classificada como vagarosa com valores de 52,5, 57 e 57 L/m^2.dia respectivamente, classificando-se como solos constituídos por argilas arenosas ou siltosas, variando de areias argilosas ou siltes argilosos (Quadro 1). Em P7 foi encontrado o menor coeficiente de infiltração com um valor de 21 L/m^2.dia enquadrando-se como solo semi-impermeável variando de argila a argilas pouco siltosas ou arenosas. De acordo com o Quadro 1, a absorção relativa variou entre média, vagarosa a semipermeável com coeficiente de infiltração entre 21 e 85 L/m^2.dia.

Tabela 7 - Resultados obtidos a partir do teste de infiltração realizado sobre a área do empreendimento.

Pontos de Testes	Coeficiente de Infiltração (L/m^2.dia)
P1	85
P2	57
P3	52,5
P4	63
P5	85
P6	57
P7	21

A Figura 17 apresenta um cartograma ilustrando os resultados obtidos para os coeficientes de infiltração na área do cemitério.

Figura 17 - Mapa gerado na aplicação dos testes para determinação do coeficiente de infiltração em solo.



Fonte: Elaboração própria.

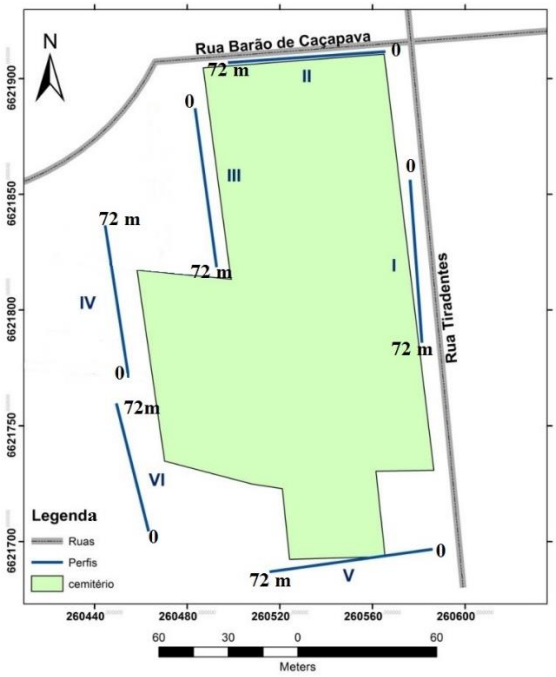
Segundo Silva e Araújo (2003), quanto maior a capacidade de infiltração da água no solo/subsolo, maior será o perigo de contaminação das águas subterrâneas. Assim, terrenos de composição arenosa e porosa apresentam uma maior relação entre porosidade e permeabilidade, sendo mais suscetíveis ao fluxo e portanto ao espalhamento de plumas contaminantes sob ação do nível da água subterrânea ou zona saturada. Já os terrenos argilosos, que são de baixíssima permeabilidade, dificultam o fluxo de fluidos, sejam eles contaminantes ou não.

Sobrepondo-se os resultados de permeabilidade no solo (Figura 16) e os dados dos coeficientes de infiltração (Figura 17) nota-se que não ocorreu uma correlação direta. Ambos os testes indicam que o terreno não apresenta características homogêneas. Os terrenos graníticos e seus solos regolíticos com distintos graus de intemperização podem variar lateralmente suas texturas na porcentagem das frações areia, silte e argila.

5.2 GEOMETRIA DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO

A Figura 18 ilustra as linhas de caminhamento elétrico realizadas sobre a área de estudo, onde pode-se observar a localização dos seis perfis sobre a área de influência do cemitério. A partir desses perfis foram identificadas as características do subsolo de acordo com a resistência de cada material em ser atravessado por uma corrente elétrica.

Figura 18 – Seis perfis de caminhamento elétrico no entorno do empreendimento.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 19 estão ilustrados os Perfis I, II e III. O Perfil I do subsolo está localizado paralelo a Rua Tiradentes no sentido norte/sul, em uma profundidade de aproximadamente 1,74 metros(m) e a uma distância a partir dos 40 m ao longo de perfil no sentido N/S pode ser observado uma resistividade vaiando entre 297 e 688 Ω.m. Podem ser observados matacões e porção de alteração do granito oriunda do intemperismo abaixo dos 6 metros de profundidade, em uma zona onde a resistividade varia entre 297 a 688 Ω.m. Já os valores anômalos de resistividade observados no perfil a uma profundidade de aproximadamente 4 metros, uma zona de resistividade baixa, indicando que esta zona pode estar saturada em água e sais, existindo a possibilidade desse local estar contaminado pelo necrochorume. O necrochorume, é composto por 60 % de água e 30 % de sais minerais (SILVA; MALAGUTTI FILHO, 2009a).

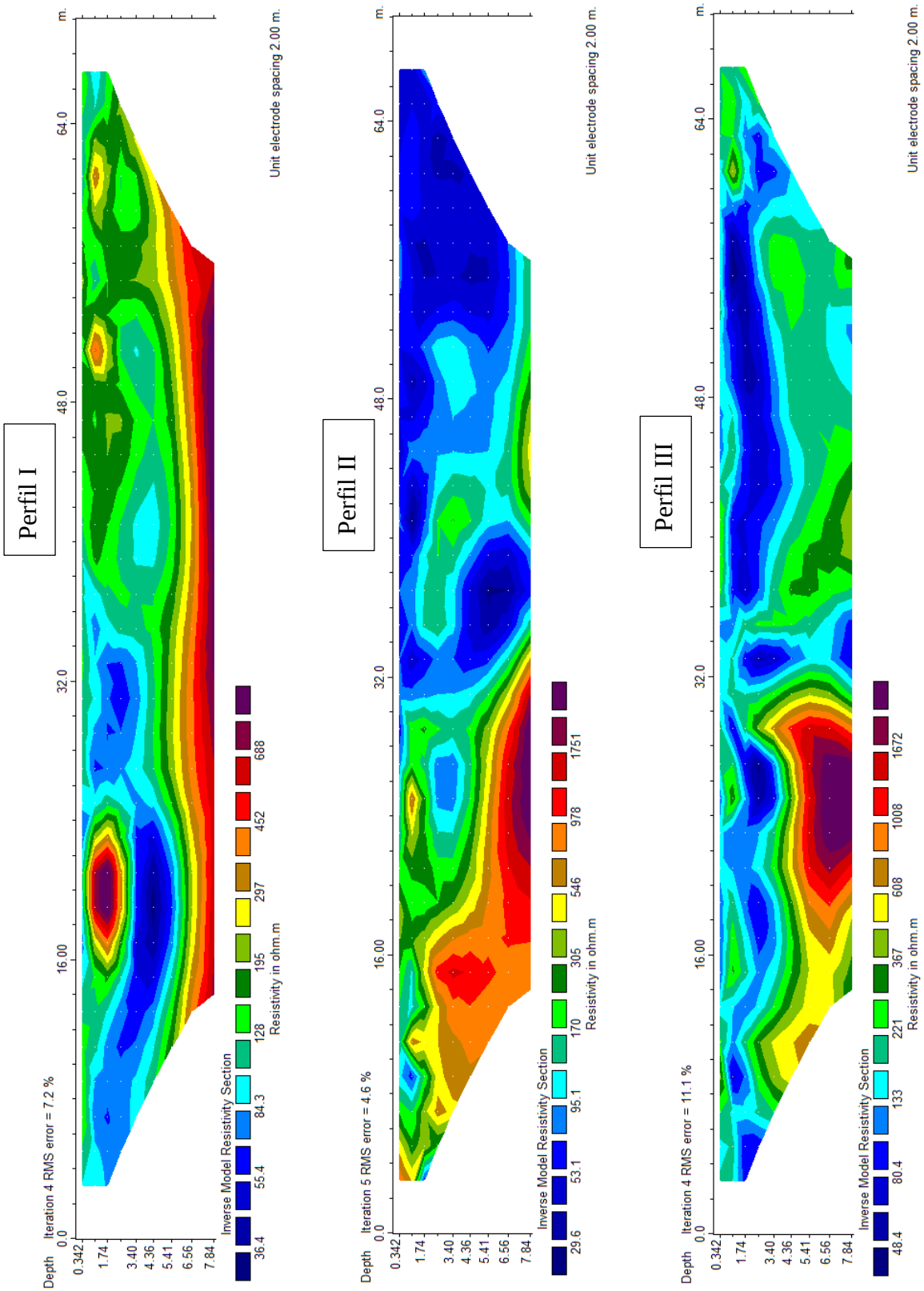
O Perfil II localizada paralela a Rua Barão de Caçapava nos mostra uma baixa resistividade (29,6 a 95,1 Ω.m) a partir dos 32 metros no sentido leste/oeste, caracterizando uma zona saturada, possivelmente isso se deve a percolação de águas pluviais de drenagem, e o escoamento superficial de esgoto a céu aberto que ocorre no local onde foi realizado o levantamento geofísico. Ainda no perfil II pode-se observar uma zona de média resistividade, entre 305 a 978 Ω.m, o que pode ser caracterizado como um solo regolítico não saturado.

Além disso a uma profundidade superior a 7 metros entre 16 e 32 metros na seção, uma alta resistividade de aproximadamente 1751Ω.m, desta forma caracterizando produtos do intemperismo do granito, condizendo com a formação geológica local formada pela Suíte Granítica Caçapava do Sul (CPRM, 2006).

O perfil III de eletrorresistividade localizado a jusante do cemitério no sentido Norte/Sul, salienta-se uma continuidade de resistividade anômala ao longo da seção a uma profundidade de aproximadamente 1,74 metros com valores de resistividade entre 48,4 e 133 Ω.m. Esses valores caracterizam uma zona saturada, podendo conter água e sais, características essas do necrochorume, oriundo da decomposição dos corpos humanos (KEMERICH et al., 2012b;2014a).

Dos 32 metros ao longo do perfil no sentido N/S é visível uma zona com baixa resistividade (48,4 e 133 Ω.m) onde ocorre uma descarga das águas pluviais oriundas do escoamento superficial do cemitério, sendo que a maior parte da área é caracterizada por ser impermeável devido a existência de piso de alvenaria. Assim concentrando sua vazão por ação da gravidade em um ponto onde ocorre essa descarga por meio de tubos de concreto, sendo essa descarga aos 32 metros da seção do perfil III. Essa água que descarrega sobre esse ponto é percolada pela rocha intemperizada e pelo solo regolítico, assim caracterizando a zona saturada em até 8 metros de profundidade, como observada no perfil.

Figura 19 - Perfis I, II e III de eletrorresistividade.



A Figura 20 está representando os Perfis IV, V e VI de eletrorresistividade. O Perfil IV localizado aos fundos do cemitério no sentido Sul/Norte ao longo da seção, observa-se uma zona de baixa resistividade (38 a 70,5 Ω.m) de 0 a 32 metros ao longo do perfil a uma profundidade de até 6 metros, sendo esses valores anômalos característicos de zona saturada em água e sais, uma peculiaridade do necrochorume (SILVA; MALAGUTTI FILHO, 2009a).

Dos 16 aos 30 metros a uma profundidade a partir dos 7 metros obteve-se valor de 2922 Ω.m o que ilustra a presença do granito consolidado, ou seja a rocha sã, conforme Kearey (2002) que define para o granito resistividade entre 1000 e 10^6 Ω.m. Também foi identificado solo regolitico insaturado ao longo do perfil com resistividade entre 454 e 1571 Ω.m. Nota-se no subsolo que não são formados por camadas homogêneas.

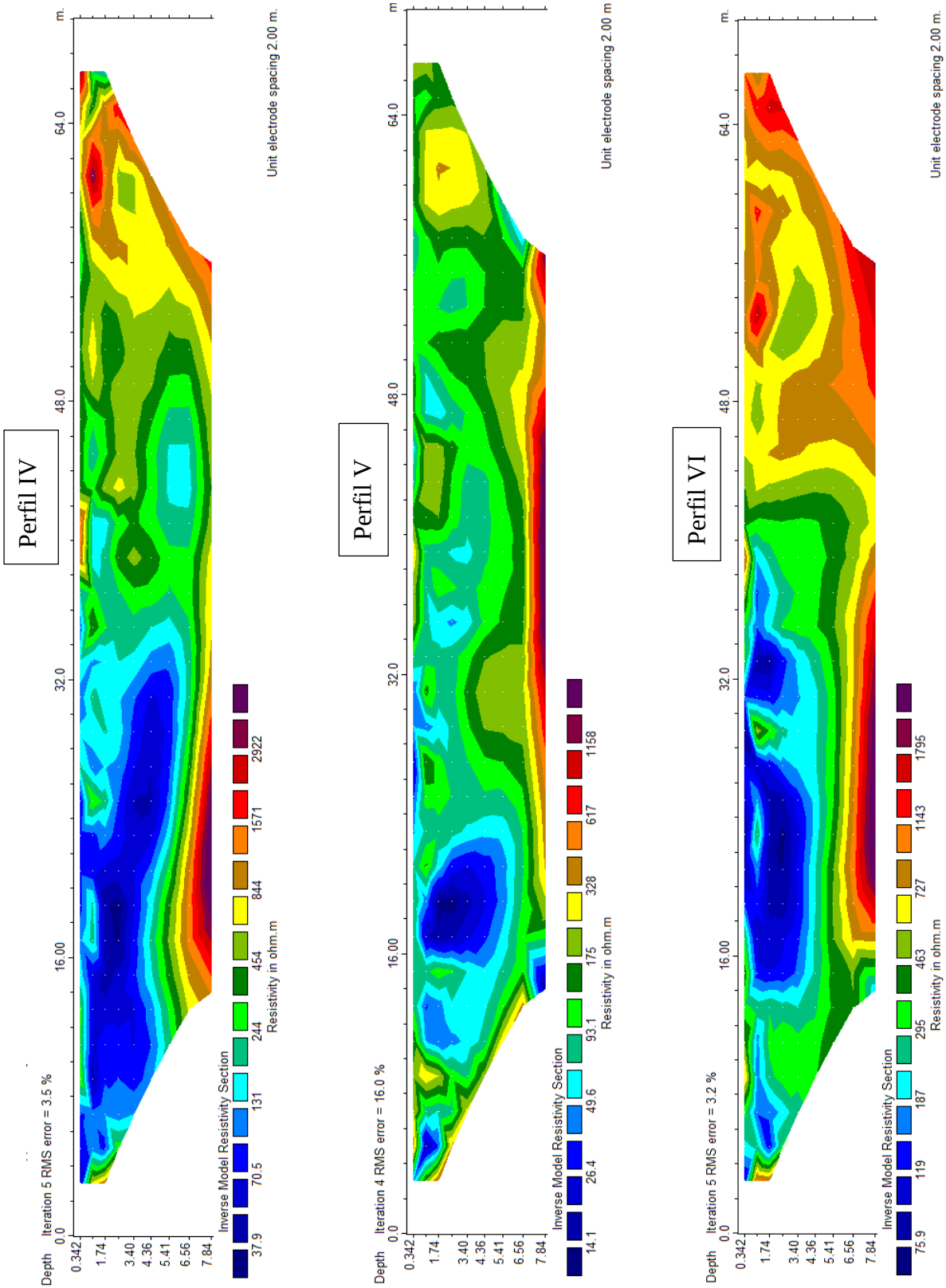
O Perfil V está localizado na parte sul do cemitério com a seção no sentido Leste/Oeste. São observadas variadas resistividades, onde em um primeiro momento a partir dos 16 metros até os 22 metros, até uma profundidade de 6 metros observa-se uma área de baixa resistividade (14,1 a 49,6 Ω.m) estando essa zona saturada em água e sais. Neste caso uma possível justificativa pode ser a contribuição da descarga de um efluente produzido por uma residência localizada nas proximidades da seção.

Ao longo da seção ainda é observado uma zona saturada em água e sais, neste caso apresentando um menor teor de sódio, pois sua resistividade varia entre 46,6 e 93,1 Ω.m, visto que no local onde foi gerado este perfil apresentava características de umidade no solo. Também pode ser visto no perfil a uma profundidade de aproximadamente 7 metros, o granito intemperizado a partir de uma resistividade de 1158 Ω.m.

O Perfil VI está localizado na parte oeste do cemitério onde foi realizado o caminhamento elétrico no sentido Sul/Norte. Entre 16 e 32 metros ao longo da seção a uma profundidade de aproximadamente 4 metros nota-se uma zona de baixa resistividade (76 a 187 Ω.m), compreendendo uma zona saturada em água com uma baixa concentração de sais. Também é possível detectar o granito intemperizado a uma profundidade a partir dos 6 metros onde foram obtidos valores de resistividade entre 1143 e 1795 Ω.m.

Através da aplicação do método da eletrorresistividade no cemitério de Vila Rezende em Piracicaba-SP, os autores Silva e Malagutti Filho (2009b) encontraram resistividade menor que 75 Ω.m. Os mesmos autores afirmam que esta resistividade anômala é oriunda da influência do vazamento de necrochorume das sepulturas. No presente estudo, apenas no Perfil VI, não foram obtidos valores de resistividade menores que 75 Ω.m, visto que nas demais seções esses valores anômalos de resistividade são indícios de contaminação do subsolo por necrochorume.

Figura 20 - Perfis IV, V e VI de eletrorresistivide.



Observando-se os perfis em conjunto nota-se que existe uma variabilidade na distribuição do substrato rochoso e seus produtos de alteração com resistividades variando entre 14,1 e 2922 Ω.m. em relação a pluma de contaminação, essa segue a zona saturada, sendo descontinua devido as características naturais do substrato e podem relacionar-se com pontos em que ocorreram obras civis de aterros ou cortes na área do empreendimento durante sua instalação.

Moreira (2009) encontrou valores anômalos de resistividade elétrica em aterro controlado no município de Cordeirópolis-SP, considerando que a resistividade abaixo de 30 Ω.m caracteriza uma zona com alta concentração de chorume, líquido oriundo da decomposição da matéria orgânica. Já com resistividade entre 30 e 300 Ω.m, o autor cita o subsolo como zonas parcialmente saturadas pelo chorume. Deste modo, observa-se uma baixa resistividade em locais onde existe decomposição de matéria orgânica, no caso de aterros sanitários ou controlados pela decomposição de resíduos, e no caso de cemitérios pela decomposição dos corpos humanos.

5.3 VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO

A Figura 21, representa a área urbana de Caçapava do Sul, que se encontra sobre um aquífero fraturado/fissural apresentando níveis freáticos semi aflorantes à aflorantes, o que reflete a elevada vulnerabilidade das águas subterrâneas. Cabe salientar que a as classes de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação variaram de alta a extrema, onde a área ocupada pelo cemitério ficou sobre a classe de extrema vulnerabilidade.

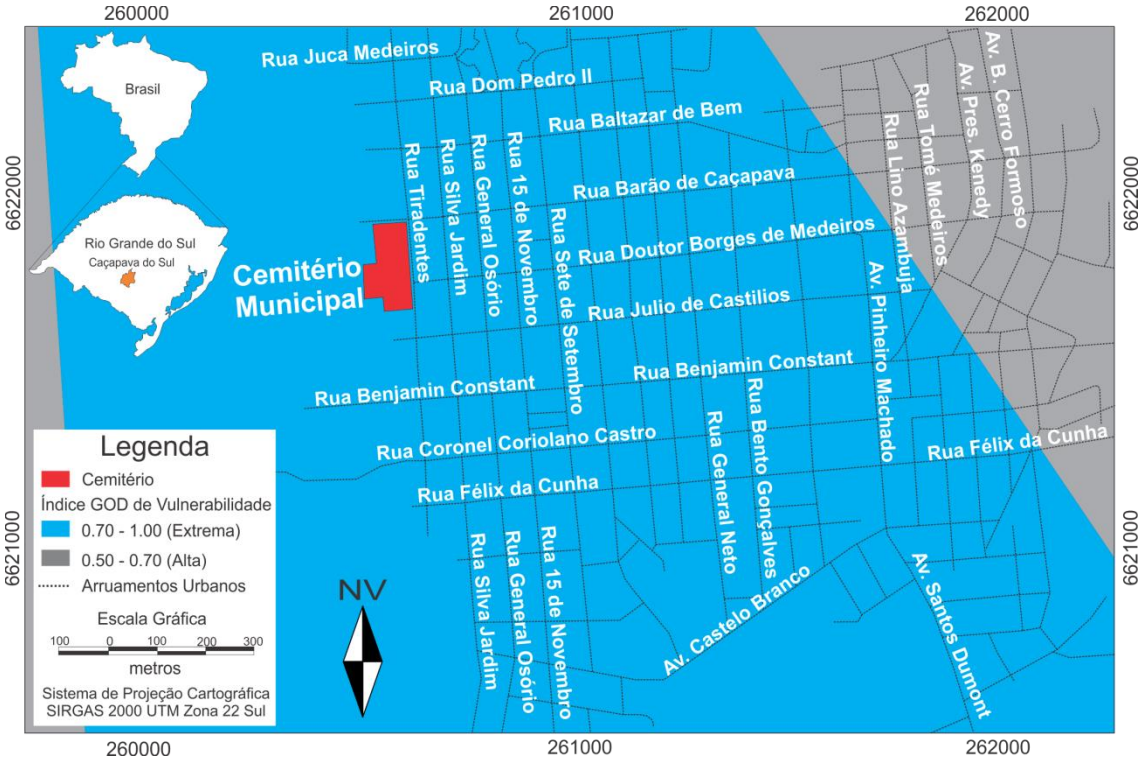
O cemitério municipal de Caçapava do Sul é praticamente todo impermeabilizado, e apresenta um poço escavado em sua área. Segundo Kemerich et al. (2014b) locais de operação impróprios para cemitérios urbanos podem provocar a contaminação de mananciais hídricos por microrganismos que se proliferam durante o processo de decomposição dos corpos. Caso ocorra a contaminação do aquífero freático na área interna do cemitério, não somente esta área estará potencialmente poluída, mas também áreas arredores, aumentando, assim, o risco de ocorrências de doenças de veiculação hídrica nas pessoas que venham a estar em contato com essa água através de poços rasos.

A vulnerabilidade das águas subterrâneas é uma propriedade intrínseca do sistema aquífero, depende da sensibilidade do sistema frente aos impactos antrópicos e/ou naturais, e representa a facilidade ou dificuldade em que um contaminante introduzido na superfície do terreno pode atingir e se difundir no aquífero (VRBA; ZAPOROZEC, 1994). Assim, a

implantação de ações preventivas torna-se a maneira mais eficiente para preservação da qualidade natural da água subterrânea.

Outra ameaça produzida por cemitérios é a ineficiente gestão de resíduos, como as vestimentas que envolvem os corpos, incluindo restos de caixões. Esses resíduos, geralmente, são depositados nas proximidades das áreas de sepultamento e, em contato com a água da chuva, podem fazer com que diversas substâncias indesejáveis infiltrem no solo e, também, atinjam os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (KEMERICH et al., 2012a). O mapa obtido indicou a ocorrência de apenas duas classes de vulnerabilidade predominando a classe extrema. Desta forma, um cemitério localizado em uma área imprópria devido as suas características hidrogeológicas, esteja vulnerável a percolação de contaminantes, sendo provável que os mesmos venham a contaminar esses mananciais, assim colocando em risco o meio ambiente e a saúde pública.

Figura 21 - Mapa de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação no município de Caçapava do Sul-RS.



Fonte: Construído a partir de Foster et al. (2002; 2006).

5.4 CONCENTRAÇÕES DE METAIS PRESENTES NA ÁGUA

O solo funciona na maioria das vezes como filtro retendo metais, microrganismos e demais substâncias oriundas da decomposição dos corpos, no caso de solos arenosos com a ocorrência de precipitação intensa esses contaminantes podem vir a contaminar a água subterrânea (FLORIANI, 2013).

Zychowski (2012) relata que a partir de estudos já realizados a contaminação da águas subterrâneas sob a área de influência de cemitérios no Brasil resulta do aumento de íons de cloreto, nitrato, bicarbonato, sódio, cálcio, ferro, alumínio, chumbo e zinco. Assim, observa-se nas Tabelas 8 e 9 as concentrações obtidas para os elementos Al, As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Ni, Na e Zn presentes nas três coletas de água dos quatro poços de monitoramento e do açude referentes a área de estudo. Não foi possível quantificar as concentrações de alguns elementos por estarem abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do ICP OES.

Tabela 8 - Resultados obtidos para Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu e Fe presentes nas amostras de água coletada em cinco diferentes pontos, onde foram realizadas nos meses de julho e outubro de 2016 e fevereiro de 2017, compreendendo três estações do ano. (Os resultados representam a concentração, média ± sd, em $\mu g.L^{-1}$).

Pontos de coleta	**Al**	**As**	***Ba**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**
Poço 1 Coleta 1	<1,38=LQ	<70=LQ	0,275 ± 0,009	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	<3,9=LQ
Poço 1 Coleta 2	<1,38=LQ	<70=LQ	0,210 ± 0,015	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	<3,9=LQ
Poço 1 Coleta 3	<1,38=LQ	<70=LQ	0,178 ± 0,020	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	<3,9=LQ
Poço 2 Coleta 1	<1,38=LQ	<70=LQ	0,401 ± 0,014	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	8,18 ± 1,28
Poço 2 Coleta 2	<1,38=LQ	<70=LQ	0,252 ± 0,008	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	<3,9=LQ
Poço 2 Coleta 3	<1,38=LQ	<70=LQ	0,265 ± 0,022	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	4,43 ± 0,16
Poço 3 Coleta 1	<1,38=LQ	<70=LQ	0,282 ± 0,006	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	16,8 ± 0,9
Poço 3 Coleta 2	<1,38=LQ	<70=LQ	0,241 ± 0,015	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	46,9 ± 2,8
Poço 3 Coleta 3	<1,38=LQ	<70=LQ	0,265 ± 0,015	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	74,1 ± 3,00
Açude Coleta 1	<1,38=LQ	<70=LQ	0,216 ± 0,029	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	9,53 ± 0,36
Açude Coleta 2	<1,38=LQ	<70=LQ	0,120 ± 0,004	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	8,52 ± 3,48
Açude Coleta 3	<1,38=LQ	<70=LQ	0,175 ± 0,004	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	19,6 ± 2,3
Branco Coleta 1	<1,38=LQ	<70=LQ	0,144 ± 0,007	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	<3,9=LQ
Branco Coleta 2	<1,38=LQ	<70=LQ	0,178 ± 0,002	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	<3,9=LQ
Branco Coleta 3	<1,38=LQ	<70=LQ	0,220 ± 0,003	<1,8=LQ	<4,9=LQ	<3,9=LQ	<8,3=LQ	<3,9=LQ

Limite de quantificação (LQ)
*$mg.L^{-1}$

Tabela 9 – Resultados obtidos para Li, Mn, Na, Ni, Pb, V e Zn presentes nas amostras de água coletada em cinco diferentes pontos, onde foram realizadas nos meses de julho e outubro de 2016 e fevereiro de 2017, compreendendo três estações do ano. (Os resultados representam a concentração, média ± sd, em $\mu g.L^{-1}$).

Pontos de coleta	**Li**	***Mn**	***Na**	**Ni**	**Pb**	**V**	**Zn**
Poço 1 Coleta 1	<0,5=LQ	<0,0004=LQ	16,882 ± 0,5	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Poço 1 Coleta 2	<0,5=LQ	<0,0004=LQ	15,400 ± 0,2	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Poço 1 Coleta 3	<0,5=LQ	<0,0004=LQ	13,404 ± 0,1	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Poço 2 Coleta 1	2,00 ± 0,03	0,355 ± 0,01	29,361 ± 0,2	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	2,53 ± 0,08
Poço 2 Coleta 2	3,36 ± 0,07	0,240 ± 0,02	37,764 ± 0,6	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	3,05 ± 0,94
Poço 2 Coleta 3	2,11 ± 0,05	0,145 ± 0,01	24,365 ± 0,4	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	2,11 ± 0,20
Poço 3 Coleta 1	3,4 ± 0,02	0,450 ± 0,01	40,182 ± 0,5	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	2,44 ± 0,20
Poço 3 Coleta 2	0,63 ± 0,03	0,067 ± 0,01	23,589 ± 0,1	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	3,77 ± 0,22
Poço 3 Coleta 3	0,90 ±0,26	0,116 ± 0,01	21,919 ± 0,1	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	4,11 ± 0,41
Açude Coleta 1	3,38 ± 0,08	<0,0004=LQ	20,786 ± 0,4	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Açude Coleta 2	3,91 ± 005	<0,0004=LQ	23,933 ± 0,1	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Açude Coleta 3	1,38 ± 0,06	<0,0004=LQ	13,634 ± 0,1	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Branco Coleta 1	1,73 ± 0,21	0,016 ± 0,01	11,097 ± 0,2	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Branco Coleta 2	2,01 ± 0,08	0,051 ± 0,02	11,936 ± 0,1	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ
Branco Coleta 3	1,06 ± 0,40	0,013 ± 0,01	7,554 ± 0,2	<6,3=LQ	<18,0=LQ	<3,6=LQ	<2,1=LQ

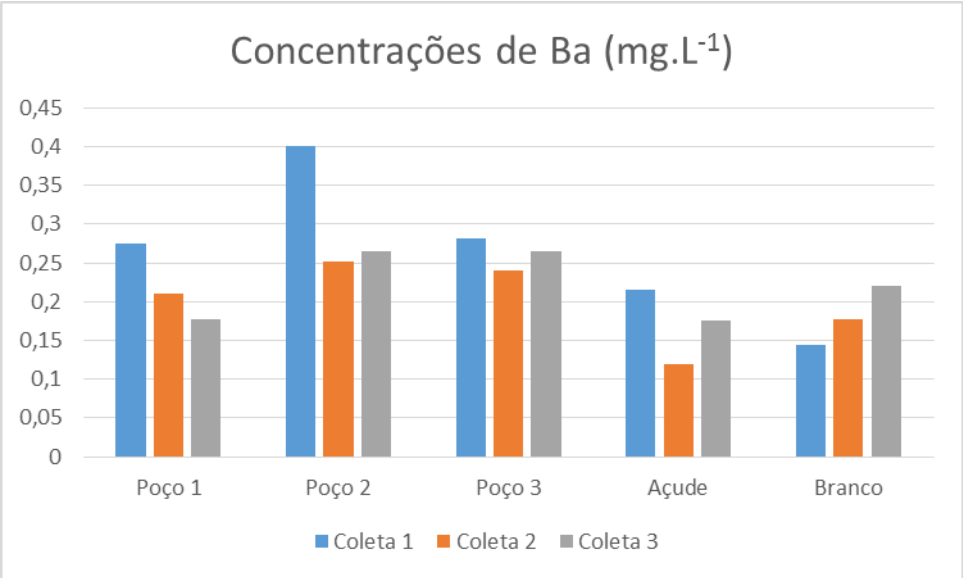
Limite de quantificação (LQ)
*$mg.L^{-1}$

Para os elementos que obtiveram concentrações acima do LQ, os resultados estão representados na forma de gráficos, ilustrando as três coletas realizadas nos cinco pontos distintos abrangendo a área de influência da área de estudo.

5.4.1 Bário (Ba)

De acordo com a Figura 22, pode ser observado com exceção do Branco uma maior concentração de Ba na primeira coleta realizada no período de julho de 2016 na estação do inverno, que apresenta características como temperaturas do ar muito baixas e elevada precipitação pluviométrica. De acordo com Hem (1985) um fator que pode influenciar na concentração de Ba em águas naturais é a adsorção por óxidos metálicos ou hidróxidos. A Portaria Nº 2914/2011 do M.S estabelece o valor de 0,7 $mg.L^{-1}$ dentre os padrões de potabilidade para concentração de Ba em águas potáveis, nesse sentido as concentrações obtidas no presente estudo estão abaixo do valor estabelecido por esta portaria. Esse valor também é sugerido como valor de investigação pela Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009) em águas subterrâneas.

Figura 22 - Concentrações de Ba nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações.



Fonte: Elaboração própria.

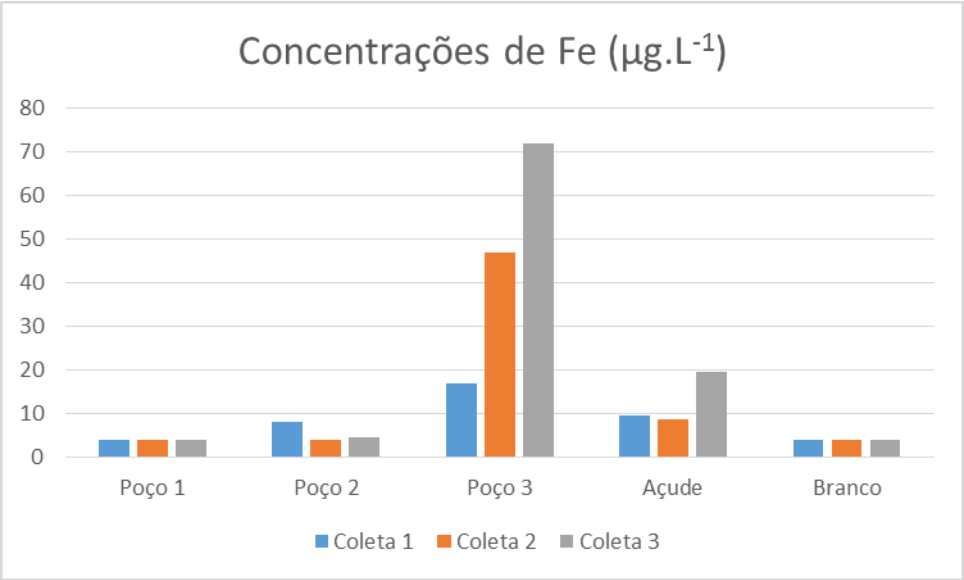
De acordo com a Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008) que dispõe de diretrizes para o enquadramento da águas subterrâneas, sugere como Limite de Quantificação Praticável (LQP) o valor de 0,2 $mg.L^{-1}$. Assim destaca-se os Poços 2 e 3 que apresentaram

valores superiores ao LQP nas 3 coletas executadas. A mesma norma admite-se para consumo humano concentrações de 0,7 mg.L^{-1}, neste caso todas as concentrações obtidas ficaram dentro dos padrões.

5.4.2 Ferro (Fe)

As concentrações de Fe encontrados nos cinco pontos de coleta onde foram realizadas 3 campanhas em diferentes estações do ano podem ser observadas na Figura 23. Observa-se que as concentrações nas três coletas nos poços 1 e Branco e na segunda coleta realizada no Poço 2 os valores ficaram abaixo do LQ que é de 3,9 µg.L^{-1}. O valor sugerido para o Fe pela Portaria Nº 2914/2011 do M.S é de 300 µg.L^{-1}. Diante desse valor, os encontrados nesse estudo estão dentro dos padrões estabelecidos, visto que a maior concentração obtida para o Fe foi no Poço 3 com valor de 74,1 µg.L^{-1}, ainda que esse valor seja praticamente três vezes menor do estabelecido pela portaria.

Figura 23 - Concentrações de Fe nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações.



Fonte: Elaboração própria.

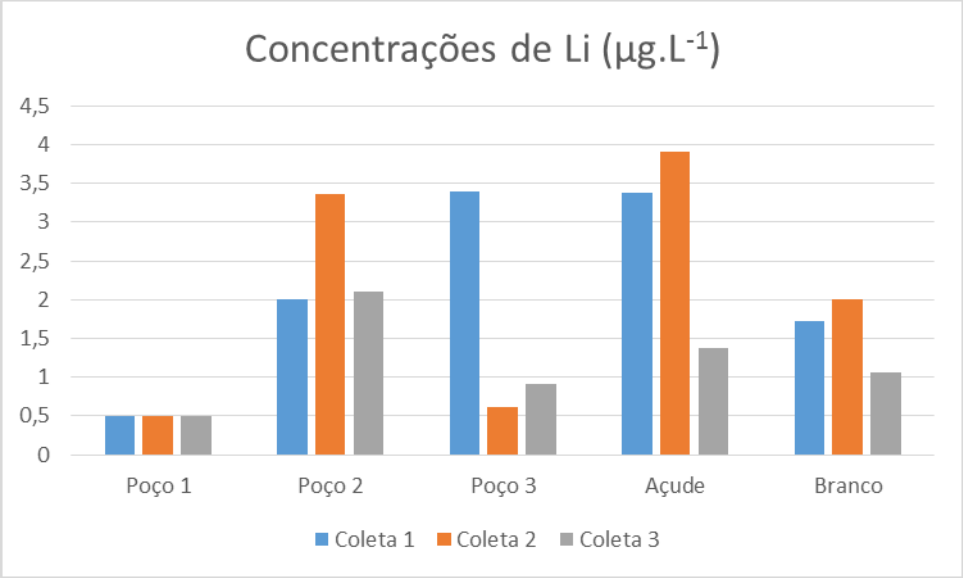
De acordo com as diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008), o LQP sugerido para o Fe é de 100 µg.L^{-1}, assim cabe salientar que o Poço 3 na Coleta 3 onde a concentração de Fe mais se aproximou do LQP, atingiu o valor de aproximadamente 74,1 µg.L^{-1}, mesmo assim ficado abaixo do valor sugerido. O autor Santos

(2008) diz que a concentração de Fe na água geralmente está associada ao Mn, dando a água características tais como sabor amargo e cor amarelada e turva, resultado da sua precipitação quando oxidado.

5.4.3 Lítio (Li)

De acordo com o gráfico representado na Figura 24, observa-se as concentrações de Li, onde no Poço 1, durante as 3 coletas realizadas não foi possível quantifica-lo pois as suas concentrações estiveram sempre abaixo do LQ que é de 0,5 $\mu g.L^{-1}$. Já as concentrações mais elevadas, observam-se nos Poços 2 na segunda coleta, no Poço 3 na Coleta 1 e ainda no Açude nas duas primeiras coletas, sendo que nos Poços a maior concentração foi de 3,4 $\mu g.L^{-1}$ e no Açude ocorreu a maior concentração, na ordem de 3,91 $\mu g.L^{-1}$ na Coleta 2. O autor Drever (1997) sugere o valor de 10 $\mu g.L^{-1}$ em aguas naturais, neste caso não ocorreu indício de contaminação da água por Li.

Figura 24 - Concentrações de Li em 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações.



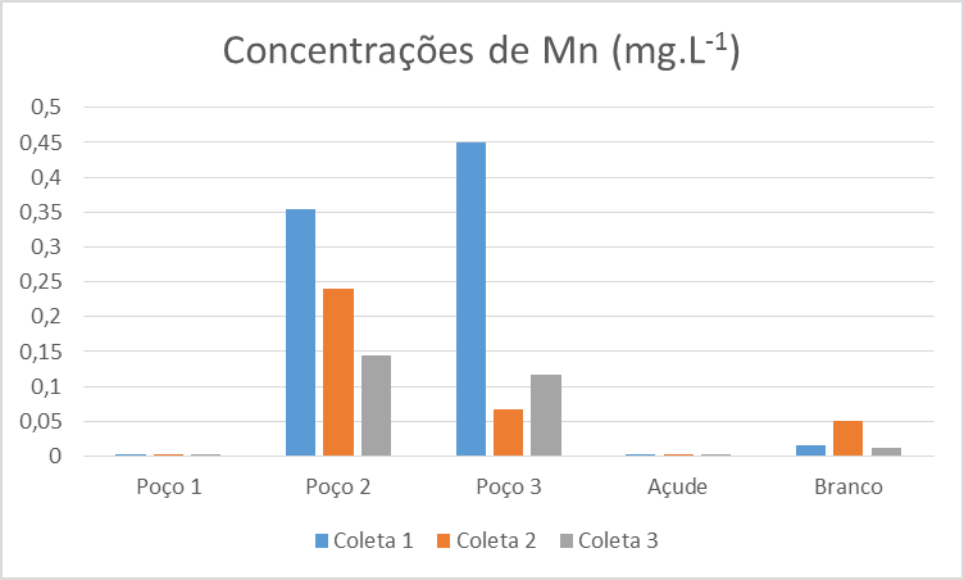
Fonte: Elaboração própria.

5.4.4 Manganês (Mn)

A partir da análise da Figura 25 pode-se verificar a alta concentração de Mn nos Poços 2 e 3, principalmente na Coleta 1 onde ambos apresentaram valores elevados em relação ao Branco e aos demais poços, onde o Açude e o Poço 1 as concentrações ficaram abaixo do LQ

que é de 0,0004 mg.L^{-1}. Dentre as diretrizes estabelecidas para os padrões de potabilidade pela Portaria Nº 2914/2011 o VMP é de 0,1 mg.L^{-1}. Neste caso o Poço 2 e o 3, com exceção da segunda coleta no Poço 3 os valores apresentaram-se superiores a 0,1 mg.L^{-1}. Obteve-se a maior concentração na Coleta 1 no Poço 3 de cerca de 0,45 mg.L^{-1}, indicando a água como imprópria para o consumo humano. Além disso o LQP sugerido pela Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008) para o Mn é de 0,025 mg.L^{-1}, valor esse também inferior as amostras coletadas. Drever (1997) sugere para águas naturais uma concentração de 0,008 mg.L^{-1} de Mn. Diante disso, pode ser constatado que nos Poços 2 e 3 ocorrem alterações de qualidade que influenciam na concentração do Mn nas águas subterrâneas. O Poço 3 apresentou concentração superior ao VRQ de 400 µg.L^{-1} sugerido para investigação de água subterrânea (BRASIL, 2009).

Figura 25 - Concentrações de Mn nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com Santos (2008) a ocorrência do Mn na água subterrânea é semelhante ao Fe, geralmente ocorre associado na forma de minerais MnO_2 (pirolusita), Mn_2O_3 (braunita) dentre outros, cabe salientar que é menos abundante que o Fe nas rochas, assim sua ocorrência nas águas subterrâneas naturais é menos comum que o Fe, ou pode ser encontrado que concentrações inferiores ao Fe.

Hem (1985) relata que a ocorrência de Mn em águas naturais pode ser oriunda da presença de material particulado de origem orgânica, visto que os Poços 2 e 3 estão localizados

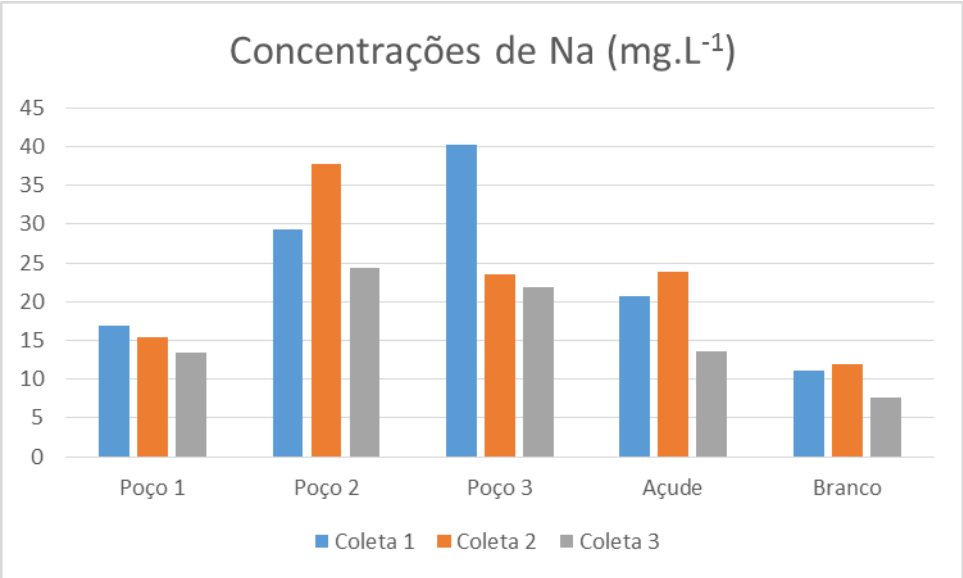
em uma área rural com a presença de animais no terreno e sem nenhum tipo de proteção ou cercado, pode ter ocorrido uma contaminação dessa água por influência de particulados orgânicos.

5.4.5 Sódio (Na)

Davis e Dewiest (1966) consideram o Na nas águas como um elemento de elevada concentração, onde é superior a 5 $mg.L^{-1}$. O VMP dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011 é de 200 $mg.L^{-1}$. A partir da Figura 26 podem ser observadas as variações na concentrações de Na nas três estações do ano, onde na primeira e na segunda coleta os valores obtidos foram maiores do que na coleta 3. Cabe salientar que mesmo os poços 2 e 3 apresentando concentrações mais elevadas nas coletas 1 e 2 com valores de 37,76 $mg.L^{-1}$ e 40,18 $mg.L^{-1}$ no Poço 2, na Coleta 2 e no Poço 3, na Coleta 1 respectivamente, ficaram abaixo dos valores estabelecidos pelas diretrizes ambientais.

Notou-se que em todas as concentrações de Na tanto nas aguas superficiais de açude, quanto em poços rasos foram sempre superiores ao Branco nas três estações do ano coletadas.

Figura 26 - Concentrações de Na nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações.



Fonte: Elaboração própria.

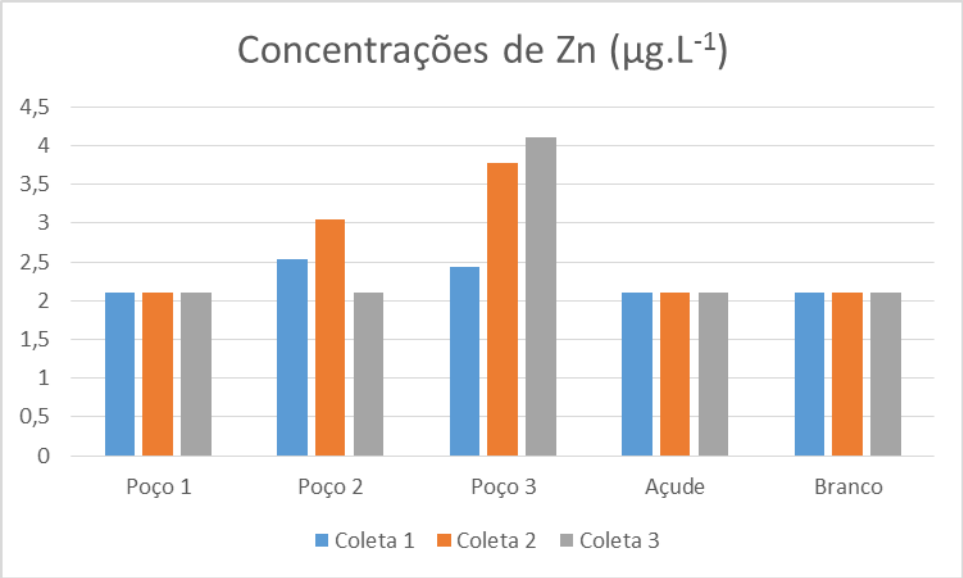
Hem (1985) frisa que atividades humanas podem interferir na concentração de Na tanto em mananciais superficiais como subterrâneos, essas atividades podem ser o reuso da água na

irrigação onde geralmente fica um residual de Na. Em caso de áreas ocupadas por cemitérios pode ocorrer uma alteração na concentração de Na na água subterrânea devido a composição do necrochorume, principal contaminante gerado pelo corpo humano que segundo os autores Rodrigues et al. (2003); Silva e Malagutti Filho (2009a); Xavier et al. (2015) é rico em sais. Essa contaminação pode ser evitada com estudos que contemplem características geológicas e hidrogeologicas que assegurem uma proteção natural desses mananciais subterrâneos

5.4.6 Zinco (Zn)

O Zn pode ser considerado um metal tóxico quando absorvido pelo corpo humano em altas concentrações, devido a isso o Ministério da Saúde estabelece como VMP de Zn 5000 $\mu g.L^{-1}$, já Drever (1997) sugere o valor de 30 $\mu g.L^{-1}$ para o Zn em águas naturais. É possível observar na Figura 27 que apenas nos Poços 2 e 3 foi possível quantificar as amostras variando as concentrações de 2,11 a 4,11 $\mu g.L^{-1}$, sendo que no Poço 1, no Açude e no Branco as concentrações ficaram abaixo do LQ que é de 2,1 $\mu g.L^{-1}$.

Figura 27 - Concentrações de Zn nos 5 pontos de coleta realizadas em 3 estações.



Fonte: Elaboração própria.

Hem (1985) diz que o Zn é um elemento essencial para os seres vivos, porém a água subterrânea não é uma fonte natural desse elemento, justificando as baixas concentrações encontradas no presente estudo. Santos (2008) relata que esse elemento pode ser encontrado

em diversos minerais como sulfetos, além disso entre os metais pesados é altamente solúvel em água.

5.5 CONCENTRAÇOES DE METAIS PRESENTES NO SOLO

As concentrações naturais de metais presentes no solo podem ser alteradas por meio de atividades antrópicas, no caso de área ocupada por necrópole, algum metais presentes em caixões metálicos, alças, adereços e conservantes da madeira através da decomposição podem contaminar o solo. Os autores Spongberg e Becks (2000) e Kemerich et al. (2012a) citam que esses materiais fúnebres podem liberar Pb, Zn, Cu, Cr, Ni e Fe. Estão representados a seguir os resultados obtidos para as concentrações de metais em diferentes profundidades, e comparados com a literatura, como os valores orientadores para solos e águas subterrâneas pela Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009), e também os VRQs estabelecidos para os nove elementos estabelecidos pela Portaria 85/2014 da FEPAM que Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ). Foram estudados os elementos químicos Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, Co e V naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2014). Ainda foram investigadas as concentrações de Al, Ba, Fe, Li, Mn e Na pela Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009).

5.5.1 Zinco (Zn)

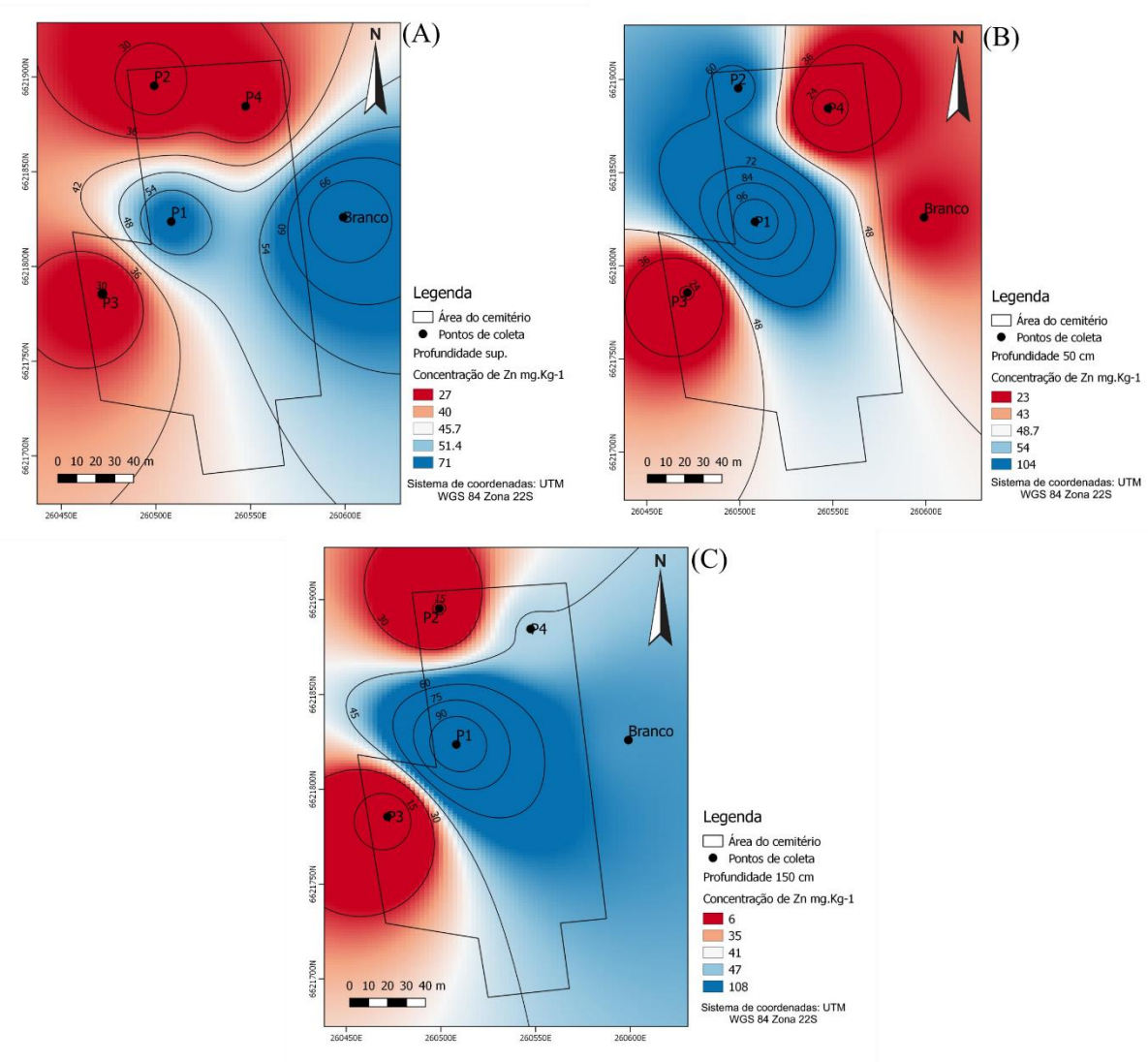
Na Figura 28 (A) pode-se observar a variabilidade das concentrações para o Zn na camada superficial. Assim no P1 há uma maior concentração que nos demais pontos, estando essa concentração acima do VRQ estabelecido pela Portaria Nº 85 da FEPAM que sugere o valor de 31 $mg.kg^{-1}$ para solos originados de rochas cristalinas do Escudo Sul-Riograndense. Já a Figura 28 (B) representa a concentração de Zn na profundidade de 50 cm, onde também é possível ver um aumento na sua concentração no P1 localizado no centro do cemitério e no P2 localizado na porção norte da área de estudo.

A uma profundidade de 150 cm (Figura 28 (C)), o P1 apresenta uma concentração ainda maior de Zn que nas camadas superiores do solo chegando a 103 $mg.kg^{-1}$. Desta forma cabe salientar que além de um possível foco de contaminação por Zn nas proximidades do ponto P1, essa contaminação vai aumentando para as camadas mais profundas. O P1 encontra-se em uma área altamente permeável com permeabilidade de $1{,}94.10^{-3}$ $cm.s^{-1}$ e coeficiente de infiltração

de 85 L/m^2.dia, valores esses acima do permitido pela resolução do CONAMA Nº 368/2006 que estipula valores entre 10^{-7} e 10^{-5} cm.s^{-1} para solos em locais ocupados por cemitério (Tabela 7).

Os autores Aubert e Pinta (1977), dizem que a concentração média natural de Zn nas rochas ígneas ácidas (granito e riolito), variam entre 30 a 40 mg.kg^{-1}, visto que a área de estudo apresenta concentrações superiores aos valores estipulados na Portaria Nº 85/2014 da FEPAM. Considera-se que o solo do cemitério encontra-se acima do VRQ para Zn. Gomes et al. (2016) obtiveram concentrações de Zn de 53,02 mg.kg^{-1} estudando uma área ocupada por cemitério na zona rural de Santa Maria-RS em terrenos sedimentares.

Figura 28 - Concentrações de Zn nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos.



Fonte: Elaboração própria.

Em relação a essencialidade do Zn para as formas de vida, Trindade et al. (2012) dizem que o Zn é encontrado nos tecidos e fluidos presentes no corpo humano, porém sua ingestão em altas concentrações em um curto período de tempo apresenta um risco a saúde pública, podendo vir a causar convulsões estomacais, vômitos e náuseas, no caso da sua ingestão por um maior período de tempo, pode causar anemia além de um decréscimo no colesterol.

5.5.2 Cobre (Cu)

A Figura 29 (A) representa a concentração de Cu na camada superficial do solo onde o P1 atingiu a maior concentração com valor de 63,3 $mg.kg^{-1}$, nos demais pontos os valores para Cu ficaram abaixo de 12,8 $mg.kg^{-1}$. Na Figura 29 (B), a uma profundidade de 50 cm, no P1 observa-se um aumento na concentração de Cu em relação a superfície, com os outros pontos mantendo seus valores abaixo de 12 $mg.kg^{-1}$. Para as amostras coletadas na profundidade de 150 cm (Figura 29 (C)), a concentração no P1 continuou aumentando consideravelmente chegando a 170 $mg.kg^{-1}$. Assim pode-se perceber que a concentração de Cu no P1 vai aumentando conforme a profundidade do subsolo, isso pode estar associado as características físicas do solo, onde a permeabilidade estimada de $1{,}94.10^{-3}$ $cm.s^{-1}$, apresentando uma alta permeabilidade. A Resolução CONAMA Nº 368/2006 sugere valores entre 10^{-7} e 10^{-5} $cm.s^{-1}$ para solos em áreas de cemitérios, pois vale destacar que essa área seria inadequada para alocação de cemitérios de acordo com as diretrizes propostas.

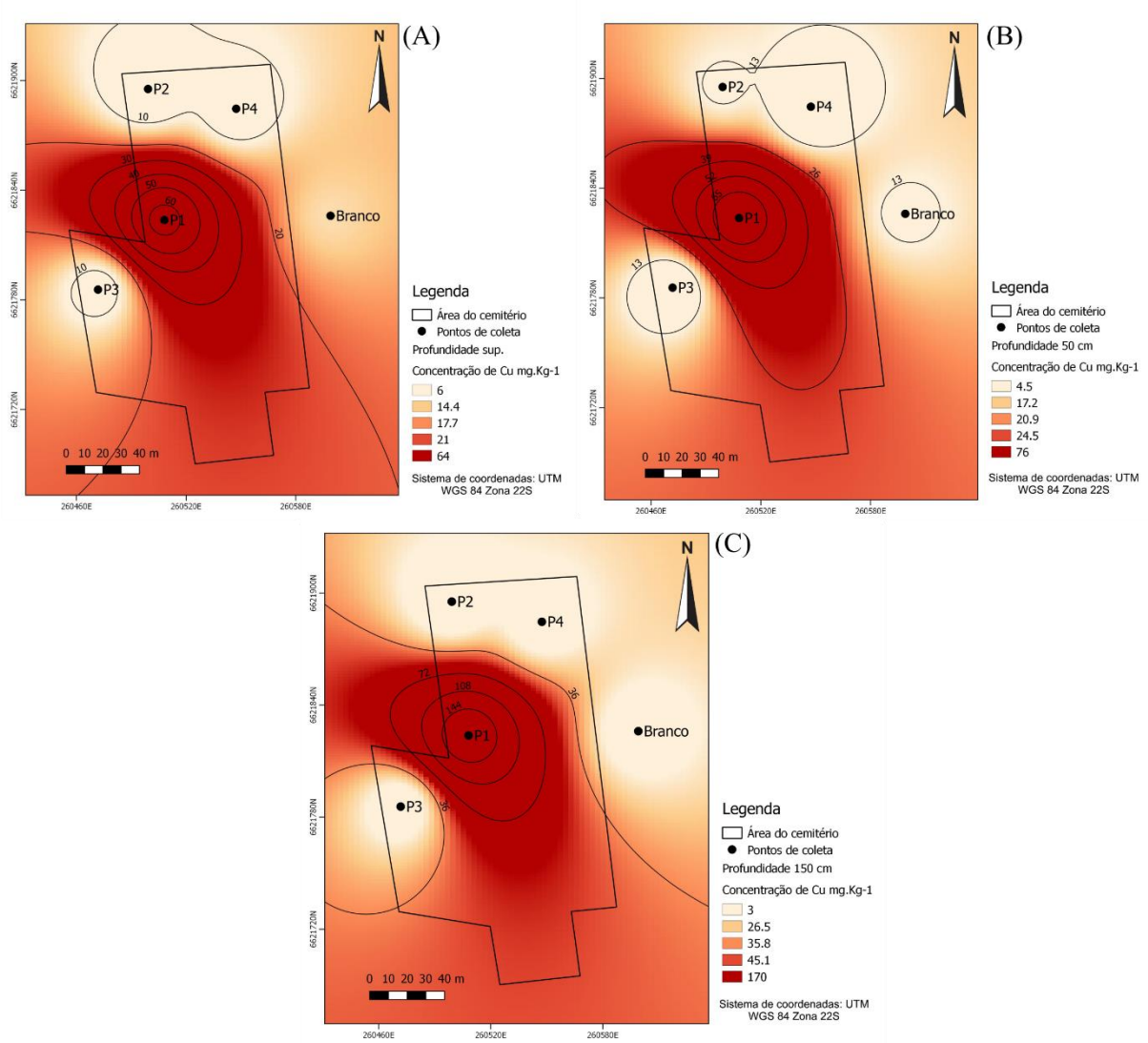
O VRQ de prevenção da Resolução CONAMA Nº 420/2009 é de 60 $mg.kg^{-1}$ superado em vários pontos do subsolo do empreendimento. A Portaria Nº 85/2014 da FEPAM fixa o valor de 9 $mg.kg^{-1}$ para as o grupo das rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense e seus solos, já Drever (1997) cita em seus estudos que a concentração natural de Cu para rochas graníticas não pode ultrapassar 20 $mg.kg^{-1}$. Kabata-Pendias e Pèndias (1984) dizem que a concentração média para solos sobre rochas graníticas fica em torno de 24 $mg.kg^{-1}$.

Sendo assim, pode-se dizer que ocorrem indícios de contaminação do solo por Cu no P1, visto que as concentrações vão aumentando com a profundidade, apresentando valores acima dos encontrados na literatura e VRQs fornecidos pelas diretrizes para esse tipo de solo e seus constituintes naturais.

Bortolassi (2012) encontrou valores acima do VRQ para o elemento Cu em todos os pontos de coleta realizados no Cemitério Pio XII em Erechim – RS, frisando que a origem dessas concentrações são oriundas principalmente dos adereços dos caixões como as alças metálicas e as tintas e vernizes utilizados como conservantes da madeira. Assim, o autor

justifica essas altas concentrações pelo gasto anual de 827.060 litros de formol além de altas concentrações de cobre, aço, concreto, plástico e tecidos sintéticos pelos setores fúnebres.

Figura 29 - Concentrações de Cu nas profundidades superficial(A), 50 cm (B) e 150 cm (C) em diferentes pontos.



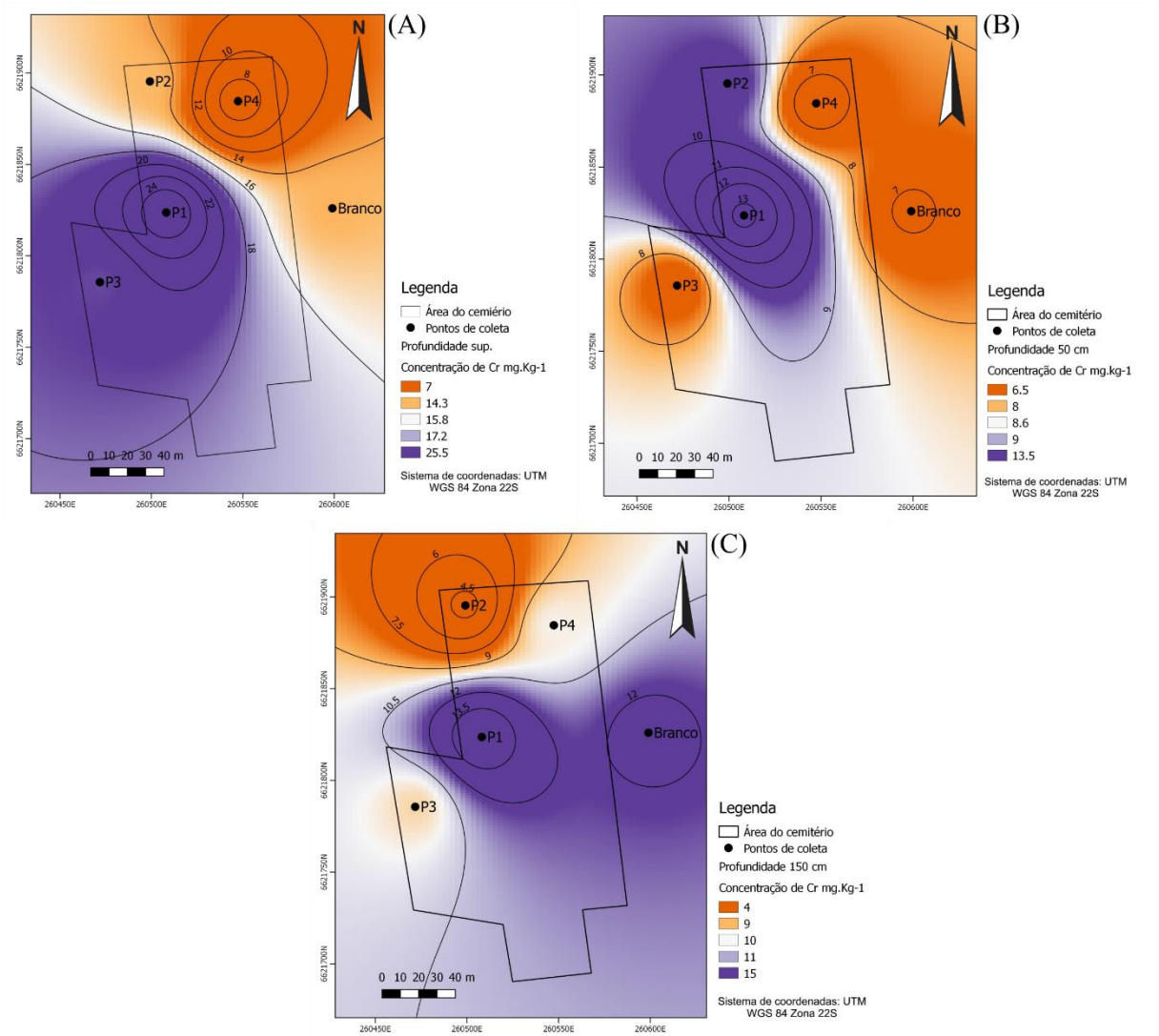
Fonte: Elaboração própria.

Neckel et al. (2016) encontram valor médio para Cu de 113,64 $mg.kg^{-1}$ em áreas ocupadas por três cemitérios no município de Carazinho-RS, extrapolando o valor de prevenção estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 420 de 2009 que é de 60 $mg.kg^{-1}$.

5.5.3 Cromo (Cr)

De acordo com os dados apresentados na Figura 30 (A), observa-se a maior concentração de Cr na camada superficial nas proximidades do P1 e P3 localizados na zona central e oeste respectivamente, com concentração de 25,5 mg.Kg^{-1} no P1. Já a Figura 30 (B) ilustra uma maior concentração desse elemento a uma profundidade de 50 cm nos pontos P1 e P2 mais especificamente na porção central e norte. Na Figura 30 (C), as maiores concentrações obtidas para as amostras coletadas a uma profundidade de 150 cm ficaram localizadas sobre os pontos P1 e o Branco.

Figura 30 - Concentrações de Cr nas profundidades superficial (A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos.



Fonte: Elaboração própria.

O ponto P1 apresentou concentrações superiores aos demais pontos nas três profundidades, mesmo assim essas concentrações não atingiram o limite estabelecido pela Portaria Nº 85/2014 da FEPAM (2014), que orienta como VRQ para o grupo de rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense de 40 $mg.kg^{-1}$, não isentando uma possível contaminação do solo por Cr, pois o P1 apresentou concentrações superiores aos demais em todas as profundidades.

Os autores Gomes et al. (2015) citam que concentrações anômalas de Cr em solos cemiteriais podem ser provenientes dos banhos de cromação realizados nos adornos dos caixões, das tintas e dos vernizes conservantes da madeira utilizadas nos caixões. Os autores Trindade et al. (2012) dizem que o Cr é um elemento essencial para os seres humanos, porém quando ingerido em altas concentrações torna-se tóxico as pessoas, neste caso a intoxicação causa a corrosão do aparelho digestivo, diarréias, náuseas, efeitos cutâneos, danos aos rins, ao fígado, aos pulmões, além de hemorragias internas e o desenvolvimento de carcinomas.

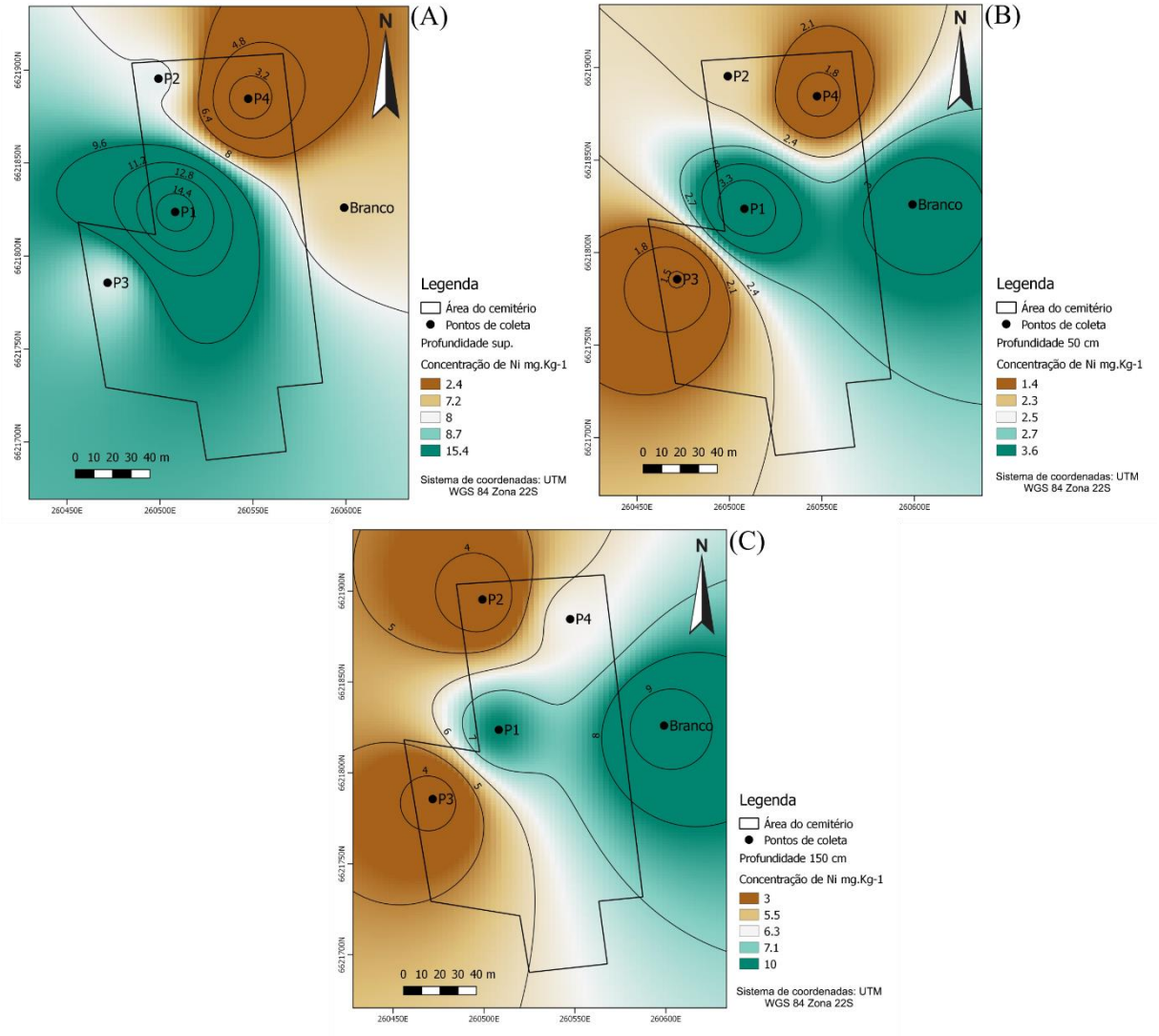
5.5.4 Níquel (Ni)

Com base na Figura 31 (A), pode-se observar uma pequena faixa de variação nas concentrações de Ni. No ponto P1 na camada superficial da área de estudo atingiu 15,4 $mg.Kg^{-1}$, valor esse encontrado superior ao VRQ orientado pela Portaria 85/2014 de 12 $mg.Kg^{-1}$.

Nas Figuras 31 (B) e (C), os maiores valores de concentração ocorreram entre o P1 e o Branco, mas neste caso os valores estão abaixo dos orientados pela portaria. Com exceção da camada superficial do P1, não ocorrem indícios de contaminação do solo por Ni, sendo que uma possível fonte para a ocorrência desse valor mais elevado do que o VRQ poderia ser oriunda dos materiais fúnebres que segundo Spongberg e Becks (2000) esses materiais podem liberar Ni. Todos os valores de concentração estão abaixo do valor de prevenção do CONAMA.

Kabata-Pendias e Pendias (1984) dizem que a concentração de Ni sobre rochas graníticas não deve ultrapassar 15 $mg.Kg^{-1}$. Gomes et al. (2016) encontraram em área ocupada por cemitério na zona urbana de Santa Maria-RS uma concentração de Ni de 61,69 $mg.Kg^{-1}$ e em outro cemitério no mesmo município localizado na zona rural, um valor de 63,81 $mg.Kg^{-1}$, valores esses acima do VRQ para rochas sedimentares pelíticas da depressão periférica estipulada pela Portaria 85/2014.

Figura 31 - Concentrações de Ni nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos.



Fonte: Elaboração própria.

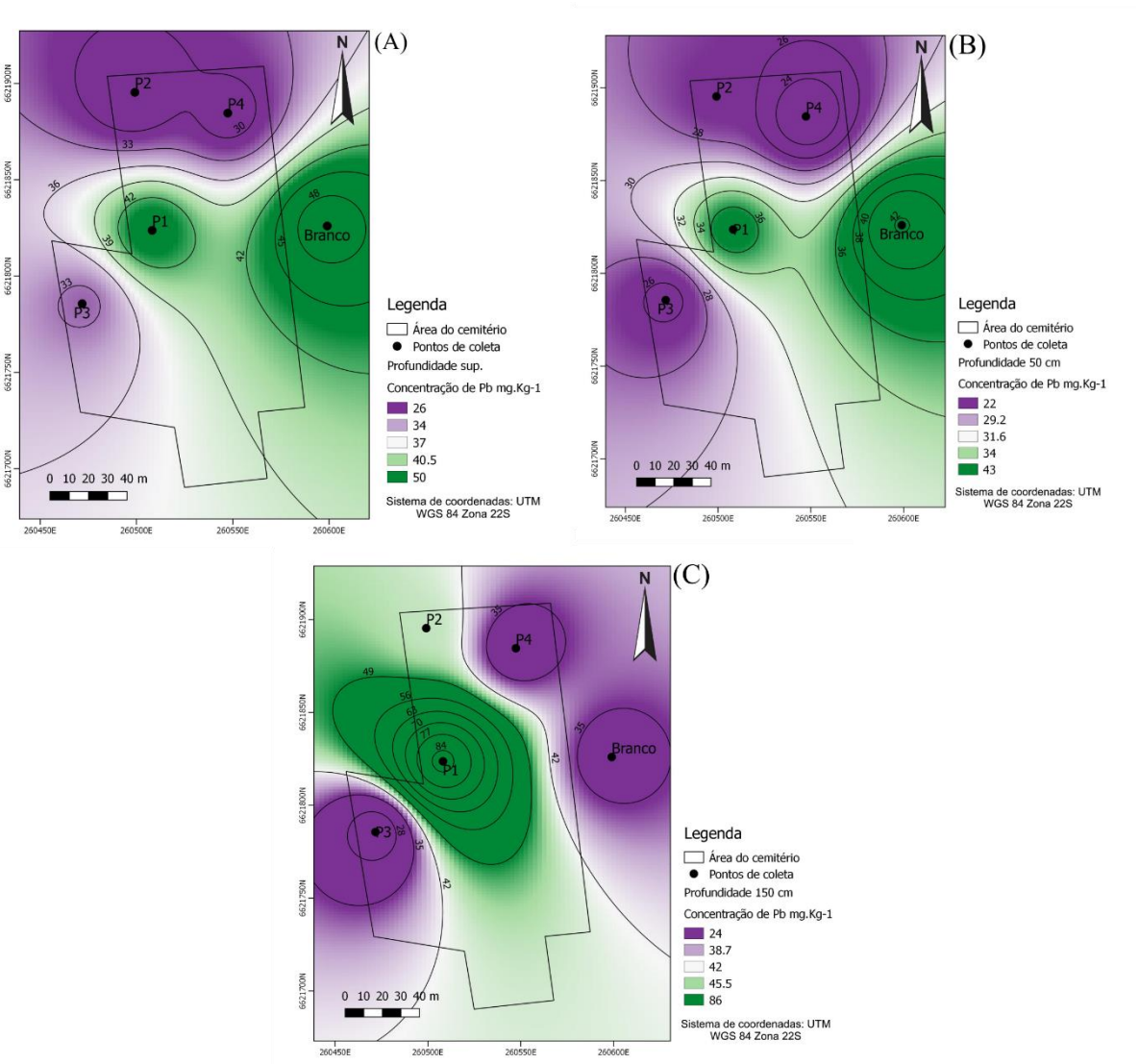
5.5.5 Chumbo (Pb)

De acordo com os dados apresentados na Figura 32 (A) observa-se uma concentração mais elevada de Pb no P1 na camada superficial chegando ao valor de 44,9 mg.kg^{-1}, o mesmo acontece a uma profundidade de 50 cm (Figura 32 (B)) onde o predomínio de maior concentração também ocorre no P1. Na profundidade de 150 cm (Figura 32 (C)) pode ser visto um aumento na concentração de Pb no P1 referente as menores profundidades atingindo o valor de 85,6 mg.kg^{-1}. Além disso os demais pontos também apresentaram altas concentrações de Pb extrapolando os limites dos VRQs estabelecidos pela Portaria Nº 85/2014 que é de 18 mg.kg^{-1}. Drever (1997) estipula valor médio de acordo com as características naturais de rochas

graníticas de 17 mg.kg^{-1}, assim como Kabata-Pendias e Pendias (1984) que cita a concentração natural de Pb em solos sobre rochas graníticas de cerca de 21 mg.kg^{-1}.

Diante disso há indícios de contaminação do solo na área de estudo por Pb, salientando-se que as concentrações mais elevadas obtidas para o P1, essa contaminação pode ser devido a utilização do Pb na formação de ligas metálicas utilizadas nas alças dos caixões (BORTOLASSI, 2012). O mesmo autor cita o Pb como um metal pesado e tóxico utilizado na construção civil, em baterias e munição.

Figura 32 - Concentrações de Pb nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos.



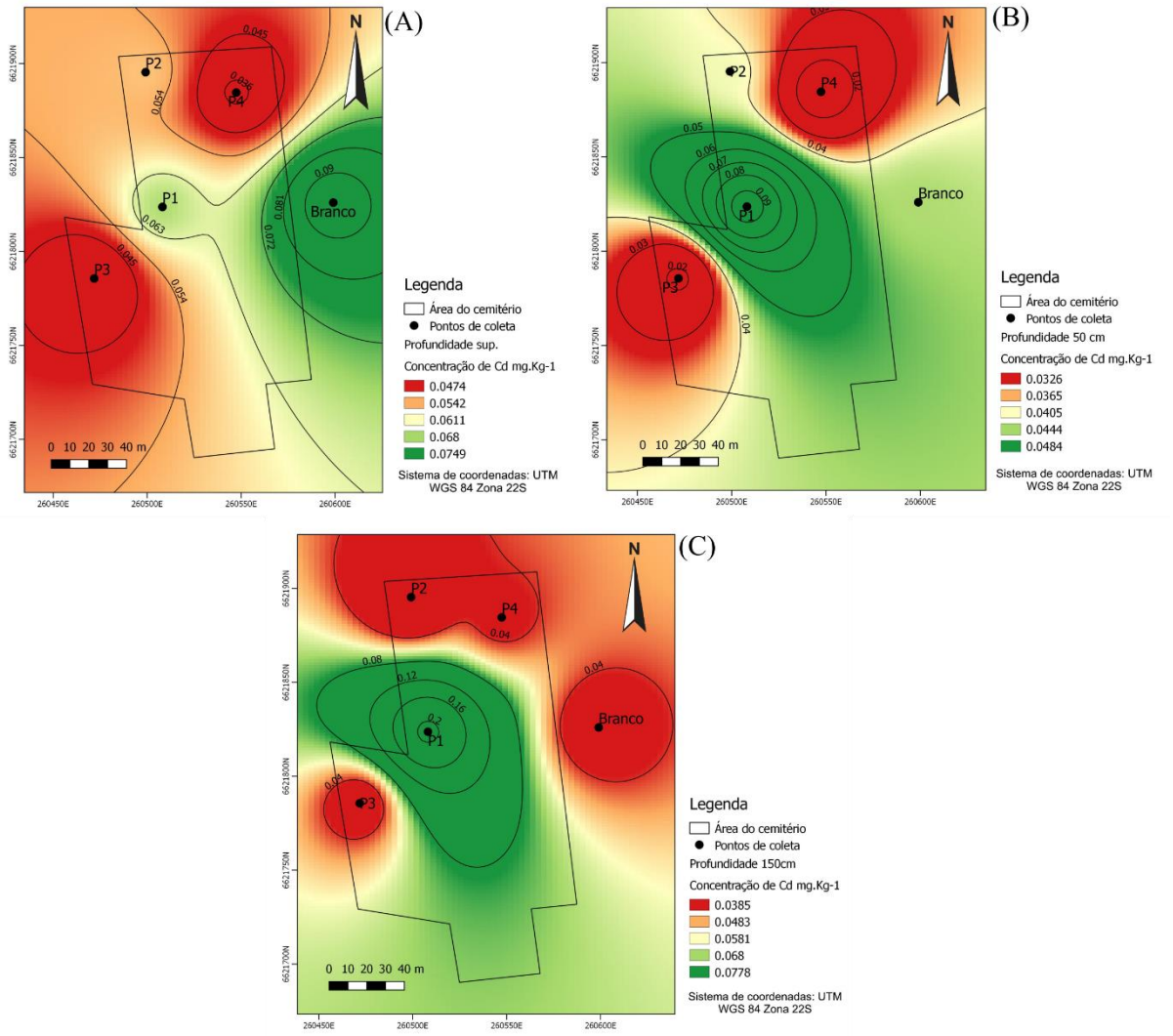
Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao risco que altas concentrações de Pb representam para a sociedade, Trindade et al. (2012) dizem que o Pb não é um elemento essencial para nutrição dos seres vivos, pois é encontrado em baixas concentrações na natureza, mas quando absorvido de forma demasiada pelos seres vivos, torna-se cancerígeno apresentando um alto risco para a população.

5.5.6 Cádmio (Cd)

A Figura 33 mostra as variações nas concentrações de Cd nas três diferentes profundidades.

Figura 33 - Concentrações de Cd nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos.



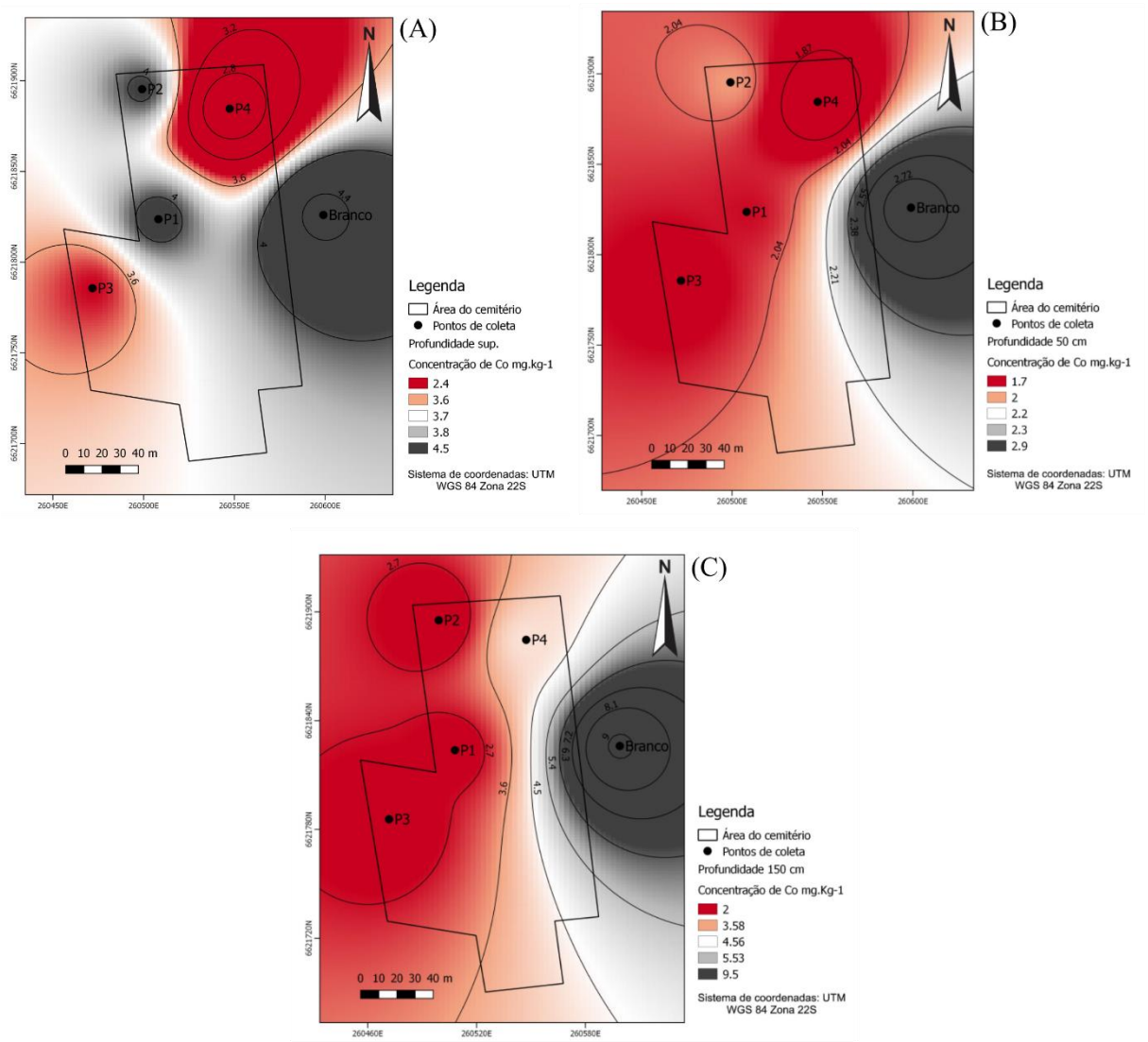
Fonte: Elaboração própria.

Na camada superficial Figura 33 (A) ocorreram concentrações mais elevadas que as que foram encontradas no ponto Branco. Já nas amostras coletadas nas profundidades de 50 cm (Figura 33 (B)) e 150 cm (Figura 33 (C)) os maiores valores de concentração foram registrados no P1. Visto que a Portaria Nº 85/2014 da FEPAM estipula VRQ de 0,40 mg.kg^{-1}, a área de estudo não apresenta indícios de contaminação do solo por Cd.

5.5.7 Cobalto (Co)

A Figura 34 apresenta a variação nas concentrações de Co para as 3 profundidades onde foram coletadas amostras.

Figura 34 - Concentrações de Co nas profundidades superficial (A), 50 cm (B) e 150 cm (C) em diferentes pontos.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 34 (A), são apresentadas as concentrações de Co na camada superficial do solo, mostrando uma baixa concentração para esse elemento nos cinco pontos, atingindo o valor máximo de 4,47 $mg.kg^{-1}$ exatamente no ponto Branco. As amostras coletadas a uma profundidade de 50 cm Figura 34 (B) as concentrações obtidas foram ainda mais baixas, com valor máximo de 2,82 $mg.kg^{-1}$ também no ponto Branco. Já a uma profundidade de 150 cm (Figura 34 (C)) apesar de terem sido obtidas concentrações um pouco maiores que nas camadas superiores de solo, os valores obtidos, ainda assim podem ser considerados como baixas concentrações, sendo o maior valor no ponto Branco de 9,11 $mg.kg^{-1}$. Assim todos os valores obtidos para o Co nos cinco pontos, nas três diferentes profundidades ficaram abaixo do VRQ estabelecido pela Portaria 85/2014 da FEPAM, que é de 13 $mg.kg^{-1}$ e também o valor de 25 $mg.kg^{-1}$ de prevenção sugerido pela Resolução CONAMA Nº 420/2009.

Aubert e Pinta (1977) dizem que em rochas ácidas ou neutras como granitos e seus produtos do intemperismo as concentrações naturais de Co não ultrapassam o valor de 10 $mg.kg^{-1}$. Sendo assim a área de estudo ocupada pelo cemitério municipal de Caçapava do Sul-RS não apresenta fatores geológicos que indiquem a contaminação do solo por Co.

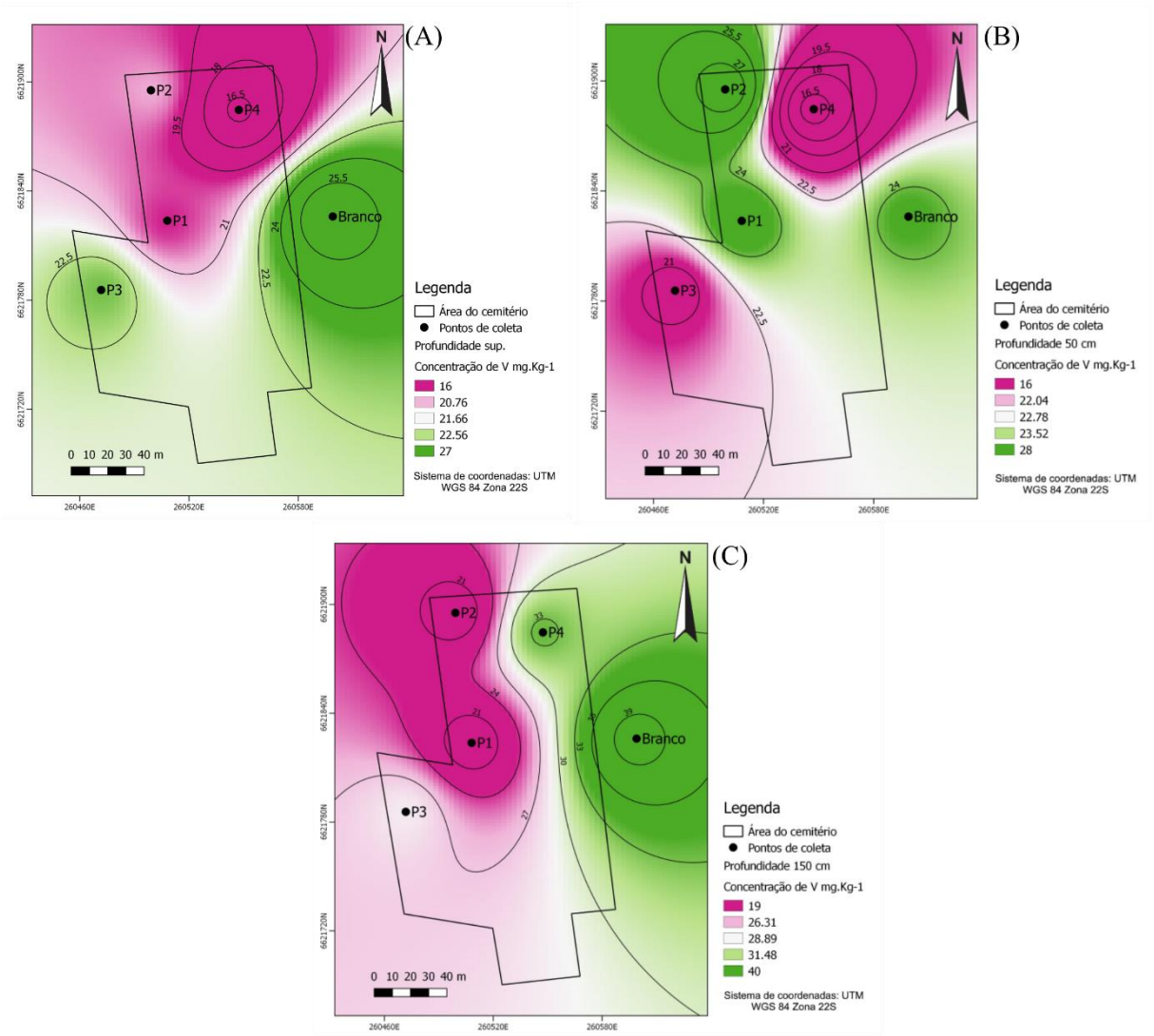
5.5.8 Vanádio (V)

Conforme os dados apresentados na Figura 35, pode-se perceber a variação nas concentrações de V, em todos os pontos nas profundidades superficial (A), em 50 cm (B) e 150 cm (C) de profundidade as concentrações estiveram abaixo do VRQ solicitado pela Portaria Nº 85/2014 de 48 $mg.kg^{-1}$, onde o valor mais alto encontrado para o V no presente estudo foi de 40 $mg.kg^{-1}$ no ponto Branco a uma profundidade de 150 cm. O CONAMA não estabeleceu VRQ de prevenção para o V em solos.

Em seus estudos de solos ocupados por cemitério no município de Seberi-RS, Kemerich et al. (2014a) encontraram concentrações para o V em diferentes pontos e profundidades menores do que o Limite de Detecção (<L.D.) do aparelho Shimadzu EDX-720.

Aubert e Pinta (1977) citam que as concentrações de V em rochas ácidas como no caso de rochas graníticas e seus produtos de intemperismo conforme a área do presente estudo, as concentrações são muito baixas variando entre 30 e 40 $mg.kg^{-1}$, visto que os valores obtidos para as concentrações de V estiveram abaixo desses limites estipulados na literatura e pelas diretrizes, não ocorreu nenhum indício de contaminação do solo por V.

Figura 35 - Concentrações de V nas profundidades superficial(A), 50 cm(B) e 150 cm(C) em diferentes pontos.



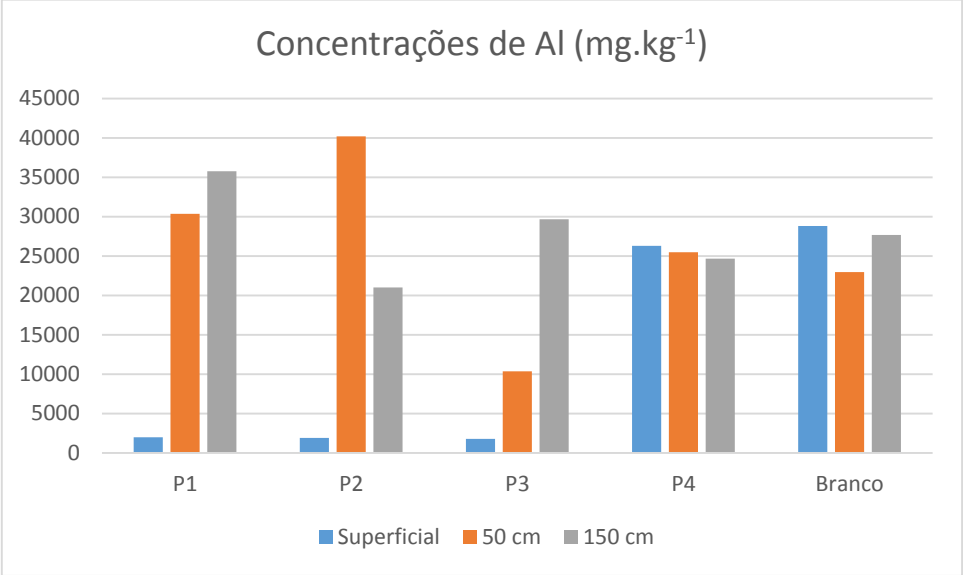
Fonte: Elaboração própria.

5.5.9 Alumínio (Al)

Pode-se observar na Figura 36 a faixa de variação das concentrações de Al. Observou-se uma baixa concentração na camada superficial nos pontos P1, P2 e P3. No ponto Branco as concentrações apresentaram-se de forma elevada em comparação com o P1, P2 e P3 nas camadas superficiais e P3 a uma profundidade de 50 cm. Apenas na amostra obtida a 50 cm no P2 e na profundidade de 150 cm no P1 apresentaram valores significativamente superior aos valores encontrados para o Branco. Kabata-Pendias e Pendias (1984) citam que a quantidade natural de alumínio presente em solos sobre rochas graníticas fica entre 7,2 e 8,2 % da

quantidade de solo amostrado. O Al é um dos componentes dos minerais feldspatos alcalinos que formam a matriz das rochas graníticas (LEIZ; AMARAL, 1983).

Figura 36 - Concentrações de Al em diferentes pontos e diferentes profundidades.



Fonte: Elaboração própria.

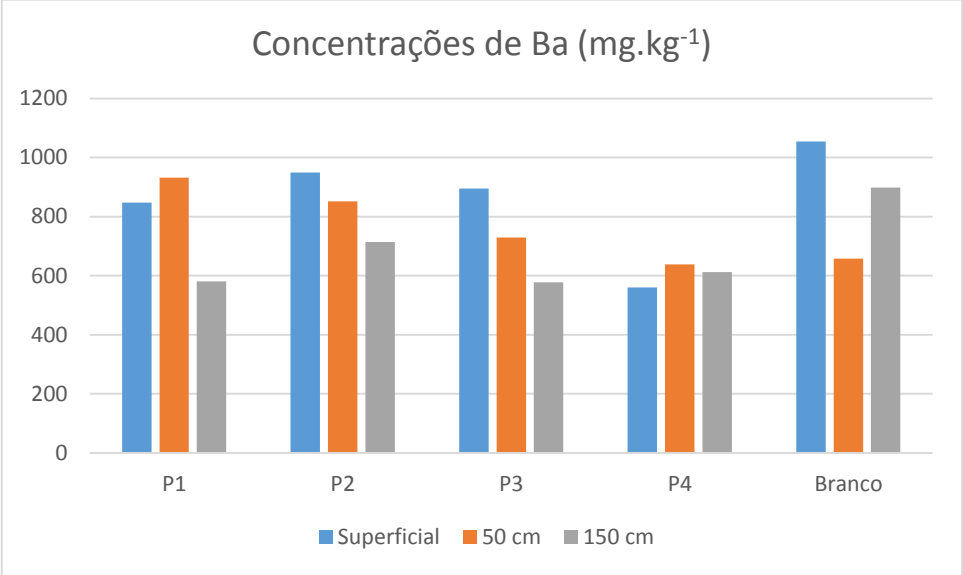
Neckel et al. (2016) encontraram uma concentração média para o Al em solos de três distintos cemitérios no município de Carazinho-RS com solos de rochas vulcânicas de 62.080 $mg.kg^{-1}$, salientando a falta de VRQ estabelecido pelas portarias para qualificar o seu potencial de contaminação do solo. No presente estudo foram encontrados valores inferiores aos de Neckel et al. (2016), sendo que no P1 a uma profundidade de 150 cm e no P2 a uma profundidade de 50 cm foram os valores mais elevados encontrados sendo de aproximadamente 36.000 e 40.000 $mg.kg^{-1}$ respectivamente.

5.5.10 Bário (Ba)

Na Figura 37 podem ser observadas as faixas de variabilidade nas concentrações do Ba. Observa-se que os valores obtidos apresentaram-se de forma elevada contrapondo os valores apresentados na literatura para esse tipo de formação geológica, Drever (1997) diz que em rochas graníticas, que assemelham-se com a área de estudo o valor encontrado para Ba ficaria em torno de 600 $mg.kg^{-1}$, pode ser visto que apenas no P1 e P3 a uma profundidade de 150 cm

e no P4 em todas as profundidades as concentrações obtidas para o Ba condizem com valores encontrados na literatura.

Figura 37 - Concentrações de Ba em diferentes pontos e diferentes profundidades.



Fonte: Elaboração própria.

A Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009) fixa o valor de referência para prevenção a contaminação do solo por Ba em 150 $mg.kg^{-1}$ e o valor de investigação em áreas industriais de 750 $mg.kg^{-1}$. Kemerich et al. (2012b) encontraram em solo ocupado por cemitério no município de Seberi-RS em solo de alteração de rochas vulcânicas, concentrações variando entre 2.500 e 14.500 $mg.kg^{-1}$ em distintas profundidades, valores estes sendo muito superiores aos encontrados no presente estudo.

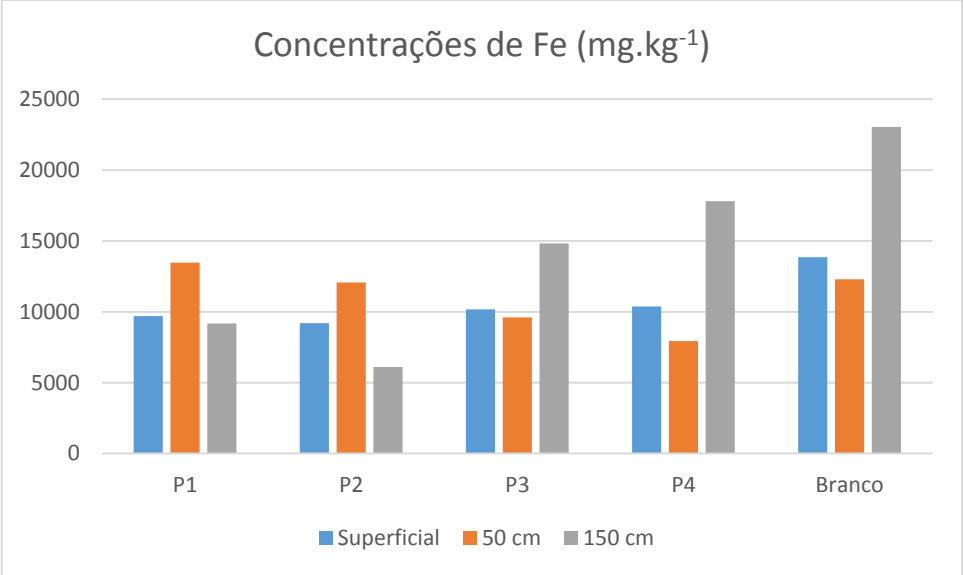
De acordo com Teixeira (2003) o Ba é tóxico, e sua ingestão mesmo que em pequenas concentrações podem ser letais, pois é utilizado em venenos para ratos, pigmentos para pintura, vidros e cerâmicas. Sendo assim, em áreas ocupadas por cemitérios sua concentração pode ser em parte oriunda de tintas e vernizes utilizados na pintura dos caixões.

Na descrição e identificação do perfil do solo no P4 foram encontradas micas brancas e pretas, Betejtin (1966) diz que na composição das micas pode ser encontrado o Ba na forma Ba^{2+}. Assim o intemperismo desse material pode contribuir nas concentrações encontradas para o Ba nos pontos P1, P2, P3, P4 e também no ponto Branco oriundos de solos graníticos.

5.5.11 Ferro (Fe)

Os valores obtidos para Fe não apresentaram anomalias, pois nos quatro pontos nas distintas profundidades (Figura 38), observa-se uma homogeneidade para as concentrações de Fe, essas concentrações ficaram abaixo das obtidas para o ponto Branco, pois a uma profundidade de 150 cm o ponto Branco apresentou um valor superior aos demais. Devido a não ter um valor de referência estabelecido pela legislação, observa-se uma dificuldade em comparar esses valores obtidos com concentrações naturais de Fe no solo.

Figura 38 - Concentrações de Fe em diferentes pontos e diferentes profundidades.



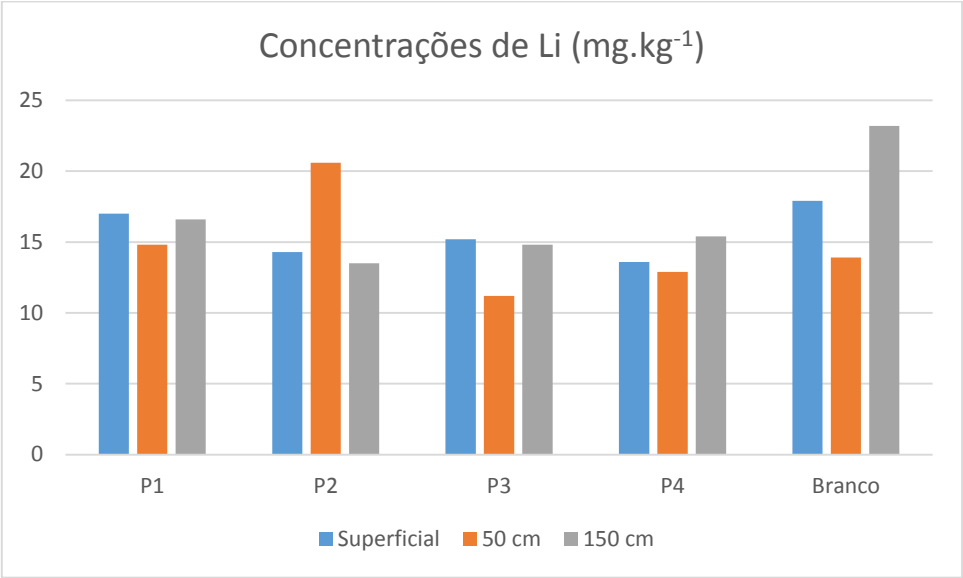
Fonte: Elaboração própria.

5.5.12 Lítio (Li)

A Figura 39 apresenta a faixa de variação das concentrações de Li que apresentaram uma pequena variação nos cinco pontos incluindo o Branco. Neste caso não ocorreu contaminação do solo por Li na área de estudo.

Os autores Kabata-Pendias e Pendias (1984) e, Aubert e Pinta (1977) sugerem que a concentração de Li em solos de origem de rochas graníticas deve ficar entre 15 e 45 $mg.kg^{-1}$. Neste caso os valores obtidos para Li na área de estudo, ficaram entre os valores médios sugeridos pela literatura, sendo assim indicando que solo não está contaminado por Li.

Figura 39 - Concentrações de Li em diferentes pontos e diferentes profundidades.



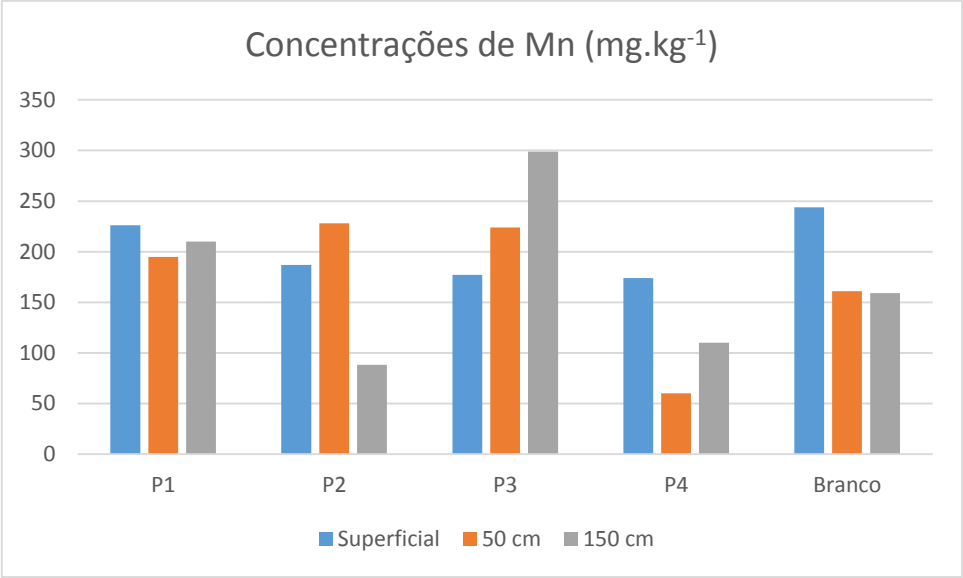
Fonte: Elaboração própria.

5.5.13 Manganês (Mn)

A Figura 40 mostra as concentrações obtidas para o Mn, onde observa-se uma peculiaridade do ponto P3, onde a camada superficial está com uma concentração baixa, aumentando gradativamente para as camadas mais profundas do solo de 50 e 150 cm. Diante desse cenário, apenas na profundidade de 150 cm no P3 apresentou um valor significativamente superior aos demais obtidos para as concentrações de Mn nas demais amostras. Na descrição do perfil do P4 foram encontrados materiais grumosos, sendo que possivelmente esses materiais sejam constituídos por óxido de manganês na forma mineral. Os quais podem ter sido formados pelo processo de oxidação no solo.

Os autores Neckel et al. (2016) citam que o Mn é um elemento tóxico capaz de contaminar o solo, com possibilidade de atingir a água subterrânea colocando em risco a população que reside nas proximidades e utiliza desse recurso para suprimento de suas necessidades. A Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009) estipulou como VRQ para investigação em água subterrânea 400 $\mu g.L^{-1}$.

Figura 40 - Concentrações de Mn em diferentes pontos e diferentes profundidades.

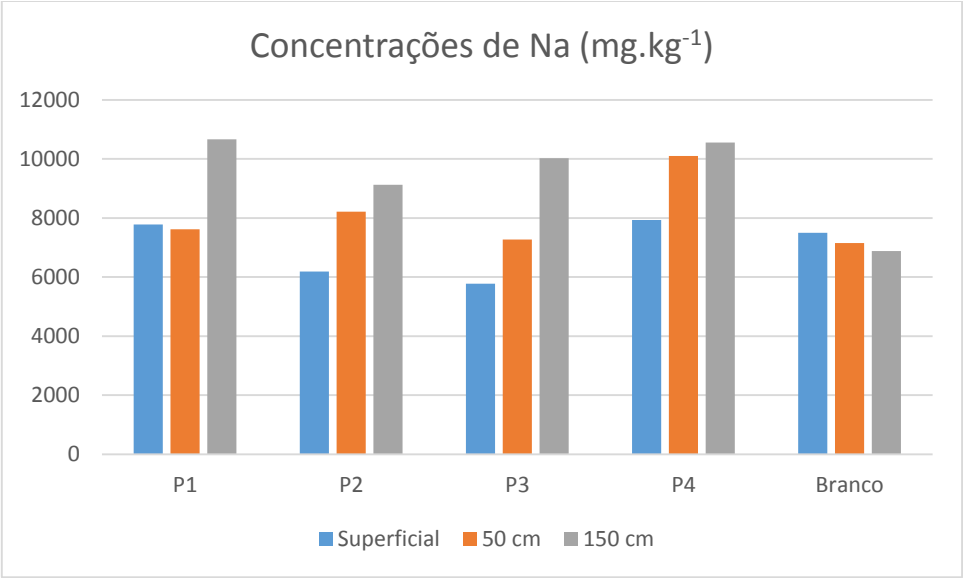


Fonte: Elaboração própria.

5.5.14 Sódio (Na)

De acordo com a Figura 41 pode ser observado a concentração de Na nos diferentes pontos em diferentes profundidades.

Figura 41 - Concentrações de Na em diferentes pontos e diferentes profundidades.



Fonte: Elaboração própria.

Cabe salientar, com exceção do ponto Branco, um aumento das concentrações da camada superficial do solo para as camadas mais profundas, sendo um indício de contaminação do solo por necrochorume. Conforme Rodrigues et al. (2003); Silva e Malagutti Filho (2009a); Xavier et al. (2015) o líquido oriundo da decomposição dos corpos humanos é rico em sais. Além disso no P4 na profundidade de 150 cm foi possível obter água oriunda do subsolo. Indica a ocorrência que o nível freático da água estava muito próximo da superfície do terreno, apresentando um alto risco a contaminação da água subterrânea.

Observou-se que os elementos Zn, Cu e Pb no solo apresentaram concentrações mais elevadas que os VRQs. Na água apenas o Mn no Poço 3 ficou acima do valor de prevenção estipulado pela Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009).

Desta forma considerando-se os valores orientadores para a qualidade do solo e da água subterrânea em área ocupada com atividade antrópica com potencial de contaminação, com vista a prevenção da qualidade natural, classificou-se pela Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009, p. 5) o solo como Classe 3 “Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI”.

A partir da Tabela 10 pode-se observar a correlação estatística entres os elementos químicos presentes em solo de origem granítica quantificados. Os autores Dancey e Reidy (2013) classificam a correlação de Pearson entre as variáveis com valores de r entre 0,1 e 0,3 como uma correlação fraca, valores entre 0,4 e 0,6 como moderada, e os que apresentam correlação considerada forte, com valores entre 0,7 e 1,0.

Diante disso observa-se na Tabela 10 que os elementos Cu e Zn apresentaram uma forte correlação entre si, neste caso os dois apresentando concentrações elevadas, possivelmente provenientes de materiais fúnebres, o Ni e o Cr comportaram-se da mesma forma. O Cd apresentou uma forte correlação com o Zn e com o Pb. Também pode-se destacar os elementos Fe e Li, onde ambos apresentaram correlação classificada como forte com o Co e com o V.

Tabela 10- Correlação estatística de Pearson aplicada para os elemento de solo quantificados.

Elementos	prof.	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	Co	V	Al	Ba	Fe	Li	Mn	Na
Prof.	1,00														
Zn	0,01	1,00													
Cu	0,19	*0,78	1,00												
Cr	-0,45	0,44	0,41	1,00											
Ni	-0,24	0,31	0,33	*0,89	1,00										
Pb	0,18	0,65	0,84	0,31	0,37	1,00									
Cd	0,03	*0,82	0,92	0,43	0,35	*0,88	1,00								
Co	0,07	0,09	-0,15	0,33	0,61	-0,01	-0,06	1,00							
V	0,44	0,13	-0,20	0,05	0,21	-0,16	-0,13	0,71	1,00						
Al	0,54	0,40	0,24	-0,45	-0,45	0,22	0,28	-0,12	0,30	1,00					
Ba	-0,49	0,31	-0,12	0,51	0,41	-0,06	0,06	0,42	0,26	-0,28	1,00				
Fe	0,35	0,18	-0,16	0,06	0,21	-0,18	-0,08	*0,74	*0,94	0,33	0,17	1,00			
Li	0,15	0,42	0,12	0,37	0,47	0,16	0,19	*0,71	*0,70	0,36	0,43	0,65	1,00		
Mn	-0,19	0,23	0,22	0,40	0,20	0,13	0,33	-0,04	0,14	0,05	0,22	0,15	0,22	1,00	
Na	0,65	0,07	0,33	-0,32	-0,23	0,26	0,21	-0,35	-0,06	0,56	-0,70	-0,05	-0,12	-0,19	1,00

Fonte: Elaborada no *Action*; *Correlações significativas com $p<0,05$; N = 4

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados obtidos no presente trabalho, observou-se em vários pontos da área do cemitério que o lençol freático é raso. Existe uma ampla variabilidade granulométrica do meio subterrâneo, com características arenosas (saibro de granito) compondo o solo até a rocha sã (granito) o que influencia na direção dos fluxos subterrâneos. A partir dos resultados obtidos nos testes de permeabilidade do solo e para o coeficiente de infiltração, percebeu-se que o substrato apresenta características heterogêneas da rocha e seus produtos de intemperização. A instalação de cemitérios em locais impróprios onde essas características facilitam a percolação do lixiviado, torna-se uma preocupação devido a facilidade com que esses contaminantes possam atingir o lençol freático. Assim, diversos parâmetros como características hidrogeológicas e geológicas da área são de suma importância para mitigação de impactos ambientais adversos causados por cemitérios

No caso dos contaminantes atingirem a água subterrânea, ocorre uma dissipação através da direção do fluxo da água, o que é uma grande preocupação do ponto de vista ambiental e sanitário, sendo que o lixiviado de cemitério tem variado grau de patogenicidade. Além disso, a preocupação com a saúde pública aumenta devido às captações ilegais de água subterrânea como no caso de poços clandestinos sob a área de influência desses empreendimentos, onde a população pode estar em contato com esses patógenos.

Diante desses fatores salienta-se a importância em gerar um estudo prévio como a determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, identificação de locais com menor permeabilidade e identificação de solos argilosos com uma maior capacidade de adsorção antes de começar um projeto para implantação de cemitérios, e de outras atividades potencialmente poluidoras. Cabe ressaltar a realização de outros estudos complementares visando obter o máximo de informações possíveis para relacionar com as alterações nas características naturais dos solos e da água subterrânea que não estejam em conformidades com a legislação e o licenciamento dessa atividade.

Uma vez que alguns íons metálicos foram identificados nos solos e águas em desconformidade com a legislação em um cemitério do tipo horizontal, visando a prevenção da saúde pública, sugere-se a instalação de poços de monitoramento quali-quantitativo.

Sugere-se a elaboração de diretrizes específicas para a caracterização do meio subterrâneo considerando-se a sua formação, a profundidade e a flutuação do nível da água subterrânea associada as suas características sazonais e ainda, considerando-se a distância dos corpos de água superficiais.

Uma importante medida a ser implantada na mitigação desses impactos adversos seria a utilização da cremação, onde o corpo humano é reduzido a cinzas por meio da combustão. Nesse processo ocorre a captação e queima dos gases gerados, onde a principal virtude é a não geração do necrochorume, que é a principal fonte de contaminação oriunda da decomposição do corpo humano. Outra alternativa que pode ser implantada visando a mitigação desses impactos é o uso de cemitérios verticais onde a Resolução CONAMA Nº 335/2003 (BRASIL, 2003) a qual exige que ocorra a impermeabilização de base, evitando a percolação do necrochorume nos corredores de visita. Assim, evitando-se que fontes potenciais de contaminação da atmosfera e do meio subterrâneo entrem em contato com população e também ocorra a inativação dos gases gerados durante a putrefação. No caso da necessidade de instalação de cemitérios tradicionais sugere-se que sejam construídas sepulturas acima do nível do nível do solo e fora da zona de flutuação do lençol freático.

7. CONCLUSÕES

Com a elaboração do presente trabalho pode-se perceber que a escolha de uma área para implantação de atividade de cemitério deve ser realizada com muito cuidado, não visando apenas o menor custo financeiro, mas sim a sustentabilidade para que o uso de áreas impróprias não venham a comprometer a qualidade do meio ambiente e de vida das pessoas que vivem nas proximidades desses locais. Assim foi possível classificar o solo como Classe 3 pela Resolução do Nº CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009), identificando uma possível contaminação do solo por Zn, Cu e Pb e da água por Mn.

A partir dos resultados obtidos nos testes de permeabilidade do solo e para o coeficiente de infiltração, percebeu-se que o substrato apresenta características heterogêneas da rocha e seus produtos de intemperização. Também foi observado em relação a permeabilidade do solo, que a área do presente estudo não está em conformidade com a legislação expondo ao risco de contaminação o subsolo.

Com uso da técnica da geofísica utilizando-se método da eletrorresistividade foi possível identificar a composição do subsolo da área de estudo, identificando-se através da resistividade obtida a rocha sã, seus produtos de intemperismo e a zona saturada em água subterrânea. Cabe salientar que em alguns perfis onde foram identificadas a zona saturada do subsolo, também foram encontradas resistividade anômalas com valores muito baixos, que tem por característica uma zona saturada em água e sais. Diante disso surge a hipótese de contaminação do subsolo por necrochorume devido ao mesmo ser rico em água e sais.

Em relação a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação com a utilização do método GOD, mostrou-se uma importante ferramenta preliminar para diagnosticar áreas impróprias para implantação de atividades potencialmente contaminantes. Neste caso, o presente trabalho apresentou vulnerabilidade extrema de acordo com o sistema GOD, desta forma configurando a área como imprópria para utilização na atividade cemiterial, estando assim vulnerável a contaminação da água subterrânea, expondo a população do entorno do empreendimento que utiliza desse recurso ao risco.

Com o estudo químico de qualidade água percebeu-se uma alteração na concentração do Mn. Foi o único elemento que não esteve em conformidade com os valores orientadores de qualidade da água.

Com o uso das técnicas de Espectrometria foi possível identificar alterações químicas no solo para as concentrações dos elementos Zn, Cu, Pb, Ba e Na, sendo que esses elementos não estiveram de acordo com os VRQs estabelecidos pela FEPAM e pelo CONAMA. A

presença desses elementos em concentrações elevadas possibilita uma exposição da população que reside nas proximidades e o meio ambiente ao risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229:** Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15495-1:** Poços de monitoramento de águas subterrâneas de aquíferos granulares. Parte 1 – Projetos e construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 25p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15495-2:** Poços de monitoramento de águas subterrâneas de aquíferos granulares. Parte 2 – Desenvolvimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 24p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 7181:** Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.

ABRÃO, M. E. A. S. **Avaliação da Contaminação de Águas Subterrâneas a partir de Cemitérios: O Caso do Cemitério Santo Amaro em Campo Grande – MS.** 2007. 99f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (Centro de Ciências Exatas e Tecnologia), Campo Grande, 2007.

ALCANTARA, L. A.; SANTOS, S. A.; SILVA, R. F.; KEMERICH, P.D.C. Contaminação de Recursos Naturais por Necrópoles. **Disciplinarum Scientia**. Série Ciências Naturais e Tecnológicas, v. 11, p. 17-28, 2010.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R.J.; HACKETT G. DRASTIC: **A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings**. Chicago: Environmental Protection Agency, 1987. 58p.

ALMEIDA, A. M.; MACÊDO, J. A. B. Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO AMBIENTAL - UM CONVITE A INTERDISCIPLINARIDADE, 2005, Juiz de Fora/MG. **Anais...** Juiz de Fora/MG: IVA, 2005.

AUBERT, H.; PINTA, M. **Trace Elements in Soils.** New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1977. 395p.

AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Águas Subterrâneas. In: OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A de. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 8.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; ZANELLO, S.; ROMANO, E. N. L.; LUCIANO, P. R. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1763-1773, 2008.

BETEJTIN, A. **Curso de Mineralogia.** Moscu: Editorial Paz, 1966. 731p.

BITENCOURT, M. F. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: Geologia e relações com o corpo granítico. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre/RS: SBG, 1983. p. 37-48.

BORBA, W. F. **Avaliação do Risco de Contaminação do Aquífero Serra Geral no Aterro Sanitário em Seberi, RS.** 2016. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

BORBA, W. F., FERNANDES, G. D. A. ; TERRA, L. G. ; LÖBLER, C. A. ; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca à Contaminação do Aquífero na Bacia do Rio Passo Fundo no Estado do Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 39, 145-154, 2016.

BORTOLASSI, C. C. **Cemitérios: Fontes Potencialmente Poluidoras.** 2012. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido.** Brasília: MMA, 2007. 40f

BRASIL. Resolução CNRH Nº 15, de 11 de janeiro de 2001. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília, DF, 11 jan. 2001. Disponível em: <file:///C:/Users/PC-Cliente/Downloads/resolucao_15--.pdf>. Acesso em: 23 de fev. 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 335, de 3 de abril de 2003: Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 3 abr. 2003. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2003_335.pdf>. Acesso em: 23 de nov. 2015.

BRASIL. Resolução Conama nº 402, de 18 de novembro de 2008: Altera os artigos 11 e 12 da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 18 nov. 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_402.pdf>. Acesso em: 06 de fev. 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 28 dez. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 12 dez. 2014. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 10 fev. 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 07 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 07 abr. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em: 10 Mar. 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 460, de 30 de dezembro de 2013. Altera a Resolução CONAMA n o 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 30 dez. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>. Acesso em: 10 set. 2017.

CAMPOS, A. P. S. **Avaliação do Potencial de Poluição no solo e nas Águas Subterrâneas Decorrente da Atividade Cemiterial.** 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Programa de Pós Graduação em Saúde Pública-USP. São Paulo. 2007.

CARDOSO, M. D. **Análise da deformação na borda noroeste do Complexo Granítico Caçapava do Sul.** 2005. 66f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2005.

CASTRO, D.L. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza - CE. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 251-271, 2008.

CEDERSTROM, D. J. **Água subterrânea: Uma introdução.** Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança para o Progresso, 1964. 280p.

CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA MUNOZ, S. I. Metais Presentes no Chorume Coletado no Aterro Sanitário de Ribeirão Preto e sua Relevância para a Saúde Pública. **Cadernos de Saúde Pública (ENSP. Impresso)**, v. 23, p. 939-947, 2007.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000.** CPRM: Brasília, 2006.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Noções básicas sobre poços tubulares; cartilha informativa.** CPRM: Recife, 1998. 22p.

DA SILVA, T. M. **Otimização e validação de método para determinação de histamina em pescado.** 2008. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais (Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos), Belo Horizonte, 2008.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**. 5ª ed. Porto Alegre: Penso, 2013. 608p.

DOMINGUES, T. C. G. **Teores de metais pesados em solo contaminado com resíduos de sucata metálica, em função de sua acidificação**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Agronômico de Campinas, Campinas, 2009.

DREVER, J. I. **The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments**. Prentice Hall: Upper Saddle River, 1997. 436p.

EMBRAPA**. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, v. 412, 1999.

FAMBRINI, G.L. 2003. **O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozóico III) a norte do rio Camaquã, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2003. 293f. Tese (Doutorado em Geoquímica)- Instituto de Geociências-USP. São Paulo. 2003.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Arquivos digitais para uso em SIG - base cartográfica digital do RS 1:250.000.** 2005. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso em: 12 jul. 2016.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Resolução FEPAM Nº 06 de 17 de julho de 2012**. Atualiza os códigos de ramos, unidades de porte e medidas de porte das atividades e empreendimentos de infraestrutura. RS, 17 jul. 2012. Disponível em: < https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=243673>. Acesso em: 02 mar. 2017.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Portaria FEPAM Nº 85/2014** - Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAM, 2014.

FEITOSA, E. C.; OLIVEIRA, R. G.; DEMETRIO, J. G. A. Métodos Geofísicos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p. cap.4.2.

FERNANDES, G. D. A.; BORBA, W. F.; LASTA, L.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Uso do sistema GOD para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação em Marau - RS. In: 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2016, Bento Gonçalves - RS. **Anais...** Vº Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2016.

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 (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias), Lages, 2013.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**. Washington: Ground¬water Management Advisory GW.MATE WB, 2002. 114p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Washington: Groundwater Management Advisory GW.MATE WB, 2006. 114p.

GALLAS, J. D. F.; TAIOLI, F.; MALAGUTTI FILHO, W.; PRADO, R. L.; DOURADO, J. C. Métodos e Técnicas Geofísicas de Superfície e Comparação entre seus Resultados na Delimitação de Área Afetada por Ruptura em Teto de Túnel Urbano. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 19, n.01, p. 33-46, 2001.

GOMES, L. G. **Estimativa dos Perfis de Permeabilidade e de Porosidade Utilizando Rede Neural Artificial**. 2002. 48f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) –Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

GOMES, B. C. V.; VASCONCELLOS, N. J. S.; KUMMER, G.; PEREIRA, M. M. S. M.; IZARIO FILHO, H. J.; SALAZAR, R. F. S. Potencial toxicológico de metais presentes em solos de cemitérios de Santa Maria - RS. **Revista Ambiente e Agua**, v. 11, p. 145-155, 2016.

GOOGLE. Google Earth. **Version Pro**. 2016. Imagens do município de Caçapava do Sul - RS. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 15 jul. 2016.

HEATH, R. C. **Basic ground-water hidrology**. Denver: Water supply paper 2240 USGS, 1982. 86p.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. United States: Third Edition, Geologigal Survey, 1985. 267f.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade à contaminação de aquíferos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p. cap.5.4.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010.** Disponível em: < http://www.cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 abr. 2016.

JESUS, L. S.; FERNANDES, J. B.; GIACHETI, H. L. **Investigação da condutividade hidráulica dos solos de uma área de aterro de resíduos sólidos urbanos por meio de ensaios de campo e laboratório**. Ciência & Engenharia, p. 21-28, 2013.

KABATA-PENDIAS, A. K.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants.** Florida: CRC Press, 1984. 315f.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. 3 ed., Victoria, Australia, 2002. p. 262.

KEMERICH, P.D.C.; UCKER, F. E.; BORBA, W. F.; BORBA, W. F. Cemitérios Como Fonte de Contaminação Ambiental. **Scientific American Brasil**, v. 1, p. 78-81, 2012a.

KEMERICH, P.D.C.; BORBA, W. F.; BORBA, W. F.; SILVA, R. F.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B. Valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 140-156, 2012b.

KEMERICH, P. D. C.; BORBA, W. F.; FLORES, B. A.; PRETTO, P. R.; DESCOVI FILHO, L. Gestão Ambiental em Área Ocupada por Cemitério na Cidade de Seberi-RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 13, p. 2795-2802, 2013.

KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; BORBA, W. F.; FLORES, C. E. B.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; RODRIGUES, A. C.; SILVA, R. F. FLORES, B. A.; UCKER, F. E. Concentrações de metais em solo ocupado por cemitério - uso da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva - EDXRF. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, p. 2875-2889, 2014a.

KEMERICH, P.D.C.; BIANCHINI, D. C.; FANK, J. C.; BORBA, W. F.; WEBER, D. P.; UCKER, F. E. A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, p. 3777-3785, 2014b.

KEMERICH, P.D.C.; SCHMACHTENBERG, N.; GRAEPIN, C.; BORBA, W. F.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B.; BARROS, G.; FRANÇA, J. R. Potencial de contaminação do solo em cemitério na cidade de Seberi RS**. Ciência e Natura**, v. 35, p. 119-125, 2014c.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. **Geologia Geral.** São Paulo: Editora Nacional, 1980. 543p.

LLERA, J. M. P.; AZCOITI, J. M F. **Cambio Climático y Agua Subterránea Visión para los Próximos Decênios.** Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2008. 88p.

MACEDO, J. A. B. **Águas & águas.** Belo Horizonte: CRQ /MG, 2004.1000p.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final**. Porto Alegre: CPRM, 2005.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER, A. V. **Introdução a Geologia de Engenharia**. 5ª ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2014. 454p.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p. cap.2.1.

MATOS, B. A. **Avaliação da Ocorrência e do Transporte de Microrganismos no Aquifero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo.** 2001. 172f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia)- Instituto de Geociências-USP, São Paulo. 2001.

MELLO, V. F. B; TEIXEIRA, A. H. **Mecânica de solos**. São Carlos: Escola de Engenharia, 1962. 171p.

MENEZES, A. M. C.; MOREIRA, C. A.; ILHA, L. M.; SCHWEIG, C. Estudo geofísico de vazamento de combustíveis em posto de abastecimento. **Geociências (São Paulo. Online)**, v. 30, p. 601-609, 2011.

MIGLIORINI, R.B. **Cemitérios como fonte de poluição de aqüíferos. Estudo do cemitério de Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo**. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo. 74p., 1994.

MOREIRA, C. A. **Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares**. 2009. 167f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas-UNESP, Rio Claro. 2009.

MOURA, H. P.; MALAGUTTI FILHO, W. Métodos da eletroresistividade e da polarização induzida aplicados na área de disposição de resíduos urbanos: Aterro controlado de Rio Claro - SP. **Geociências (São Paulo),** v. 22, p. 129-139, 2003.

NEIRA, D. F.; TERRA, V. R.; PRATTE, S., R.; BARBIERI, R. S. Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Natureza On Line**, Espírito Santo, v.6, p.36-41, 2008.

NECKEL, A.; GONCALVES JUNIOR, A. C.; SILVA, C. C. O. A.; PASSINI, A. F. C.; BERTOLDI, T. Problema toxicológico ambiental: metais pesados no solo dos cemitérios da cidade de Carazinho/RS-Brasil. In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2016, Campina Grande. **Anais...** VII Congresso Brasileiro de Gestão, 2016. v. 7. p. 1-5.

PACHECO, A.; 2000 **Cemitérios e meio ambiente**. São Paulo, 102 p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

PACHECO, A. **Meio ambiente & cemitérios**. São Paulo: Senac, 2012. 191p.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces do Brasil: Capital ecológico, uso e conservação.** 4ª ed. São Paulo: Escrituras, 2002. 732p.

REBOUÇAS, A. C. Importância da água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p. cap. 1.2.

RODRIGUES J. A.; TRAJANO, A. S. A.; NAVAL, L. P.; SILVA, G. G.; QUEIROZ, S. C. B. Avaliação preliminar do comportamento do aquífero freático no cemitério São Miguel do Município de Palmas. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville/SC. **Anais...** Joinville/SC: ABES, 2003.

SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F. dos S. Solos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A de. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 6.

SANTOS, M. M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina - PR**. 2005. 159f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas-UNESP, Rio Claro. 2005.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. . In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p. cap. 5.1.

SEMA. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Mapa das bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: SEMA, 2004.

SCHERER, C.M.S.; PAIM, P.S.G.; MELO, M.A. Estratigrafia de alta resolução em sucessões flúvio-eólicas: o exemplo do Alogrupo Guaritas (Bacia do Camaquã) na localidade da Pedra Pintada, Rio Grande do Sul, Brasil. In: I Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias. Porto Alegre, **Anais...** I Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias, p. 99-104. 2003.

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão Estratigráfica da bacia do Paraná. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre - RS. **Anais...** XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1974.

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

SILVA, R. W. da C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios: fontes potenciais de contaminação. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.44, p.24-29, 2009a.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. . O emprego de métodos geofísicos na fase de investigação confirmatória de cemitérios contaminados**. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 327-336, 2009b.

SILVA, A. B. Hidrogeologia em Meios Cársticos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 2008. 812p. cap.3.3.

SILVA, F. V. **Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas por Atividade Cemiterial na Cidade de Maceió**. 2012. 153f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Centro de Tecnologia-UFAL, Alagoas. 2012.

SOIL MOISTURE EQUIPMENT CORPORATION**. Guelph permeameter model 2800 (User manual)**. Santa Barbara: Soil Moisture Equipment Corporation, 1991. 27p.

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

SOUSA, R. V. B.; CELLIGOI, A. **Avaliação da condutividade hidráulica do solo em área agrícola e florestada na cidade de Londrina (PR) através do permeâmetro Guelph**. Boletim de Geografia, v. 29, n. 2, p. 123-133, 2011.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TAVARES, S. R. de L. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013. 57p.

TEIXEIRA, S. A. **Medicina holística: a harmonia do ser humano**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. 2 ed., New York: Cambridge University Press, 2004. p. 774.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A. J. Disposição de Resíduos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A de. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 21.

TERZAGUI, K.; PECK, R. B. **Soil Mechanics and Engineering Practice**. Wiley, New York 1967.

TRINDADE; HORN, A. H.; RIBEIRO, E. V. Concentrações de Metais Pesados em Sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: Geoquímica e Classificação de Risco Ambiental. **Geonomos**, v. 20, p. 64-75, 2012.

VRBA J.; ZAPOROZEC A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability**. (International contributions to hydrogeology). Germany, Heise Hannover, 1994. 156 p.

XAVIER, C. C.; AMORIM, M. R.; VALENTINI, C, M, A.; FARIA, R. A. P. G. Análise do Potencial de Contaminação dos Cemitérios em Cuiabá-MT: Estudo de caso Parque Bom Jesus de Cuiabá e Cemitério São Gonçalo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p. 450-461, 2015.

ZYCHOWSKI, J. Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses - a review. **Catena,** p. 29-37, 2012.