

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LEONARDO ROSA DA SILVA

**ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO E ALTERAÇÕES QUÍMICAS DECORRENTES DA
OCUPAÇÃO POR NECRÓPOLE EM CAÇAPAVA DO SUL - RS**

**Caçapava do Sul - RS
2016**

LEONARDO ROSA DA SILVA

**ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO E ALTERAÇÕES QUÍMICAS DECORRENTES DA
OCUPAÇÃO POR NECRÓPOLE EM CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich

**Caçapava do Sul - RS
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

d586Í da Silva, Leonardo Rosa
ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO E ALTERAÇÕES QUÍMICAS
DECORRENTES DA OCUPAÇÃO POR NECRÓPOLE EM CAÇAPAVA DO SUL
- RS / Leonardo Rosa da Silva.
56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E
SANITÁRIA, 2016.

"Orientação: Pedro Daniel da Cunha Kemerich".

1. Investigação Ambiental. 2. Cemitério. 3.
Hidrogeologia. 4. Geoquímica. I. Título.

LEONARDO ROSA DA SILVA

**ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO E ALTERAÇÕES QUÍMICAS DECORRENTES DA
OCUPAÇÃO POR NECRÓPOLE EM CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial
para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de Dezembro de
2016.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr^a. Cristiane Heredia Gomes
UNIPAMPA

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças para a concretização deste sonho.

A minha mãe guerreira Simony Francisco pelo apoio, compreensão, incentivo e por me proporcionar a realização deste sonho.

A minha namorada Milene Priebe pela paciência, pela ajuda e por me apoiar em tudo.

Ao professor Pedro Kemerich pela orientação.

A todos os professores do curso, por todo conhecimento transmitido durante o andamento da graduação.

A todo mundo que de alguma forma contribuiu para esta realização.

“Dias de luta, dias de glória”.

Alexandre Magno Abrão

RESUMO

Os cemitérios constituem um problema de natureza ambiental e sanitária, ao mesmo tempo em que representam uma necessidade pública. Quando mal planejados, ou instalados em locais inadequados, configuram um potencial risco de contaminação do solo e das águas. As características físicas do solo da área pretendida para implantação da necrópole, como infiltração e permeabilidade, representam fatores importantes a serem levados em consideração na implantação ou regularização de cemitérios, visto que a água que infiltra no solo é a principal responsável pelo transporte de possíveis contaminantes. O presente estudo teve como objetivos determinar a permeabilidade e a qualidade química do solo a fim de comparar com as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente 335/03 e Conselho Nacional de Meio Ambiente 420/09 e determinar o coeficiente de infiltração do solo na área do cemitério Municipal de Caçapava do Sul, município localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul. Foram realizados sete ensaios de permeabilidade utilizando um permeâmetro Guelph modelo 2800. A obtenção dos valores de coeficiente de infiltração se deram através do método da cova 30x30cm descrito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas 7229/93, onde também foram realizados sete ensaios. Para as análises químicas, utilizou-se um espectrômetro de fluorescência de raios-x (ED-XRF) da marca Bruker, modelo S1 Turbo SD, onde foram analisadas amostras em sete pontos em quatro diferentes profundidades. Os resultados demonstraram permeabilidade variando de $1,94 \cdot 10^{-3}$ a $5,87 \cdot 10^{-6}$ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$, estando em desconformidade com a legislação, enquanto a infiltração variou de 21 a 85 $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ apresentando absorção variando de média a semi-impermeável. Para as análises químicas, dentre os elementos analisados, apenas o cádmio ultrapassou os valores de orientação de qualidade.

Palavras-Chave: Cemitério, condutividade hidráulica, Guelph, infiltração.

ABSTRACT

Cemeteries are a problem of an environmental and sanitary nature, while at the same time they represent a public need. When poorly planned or installed in inappropriate locations, configure a potential risk of contamination of soils and waters. The physical characteristics of the soil of the area intended for deployment of the necropolis, as infiltration and permeability are important factors to be taken into consideration in the deployment or regularization of cemeteries, since the water that infiltrates into the soil is the main responsible for the transport of possible contaminants. The present study aimed to determine the permeability and chemical quality of the soil in order to compare with resolutions of National Council for the Environment 335/03 and National Council for the Environment 420/09 and determine the coefficient of soil infiltration in the Municipal Cemetery of Caçapava do Sul is a town and municipality located in the central region of the State of Rio Grande do Sul. Seven tests were conducted using a permeâmetro Guelph permeability model 2800. The infiltration coefficient values got via the method of grave 30x30cm described by Brazilian Association of Technical Standards 7229/93, where were also conducted seven trials. For the chemical analysis, we used a spectrometer x-ray fluorescence (ED-XRF) Bruker brand, model S1 Turbo SD, where samples were analyzed at seven points from four different depths. The results showed permeability ranging from $1,94.10^{-3}$ to $5,87.10^{-6}$ cm.s^{-1} , being in compliance with the legislation, while the infiltration ranged from 21 to 85 $\text{L/m}^2.\text{d}$ showing absorption ranging from average to low permeability. For the chemical analysis, among the elements analyzed, only cadmium exceeded quality guidelines values.

Keywords: Cemetery, hydraulic conductivity, Guelph, infiltration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil de umidade do solo.....	19
Figura 2 - Esquema de funcionamento do permeâmetro de Guelph.....	23
Figura 3 - Mapa de localização e acesso ao cemitério municipal de Caçapava do Sul.	27
Figura 4 - Cartograma da área do cemitério, com linhas de fluxo superficial de água, topografia e pontos de amostragem.....	29
Figura 5 - Coleta de solo com trado manual.....	30
Figura 6 - Amostras de solo dispostas para secagem.....	30
Figura 7 - Espectrômetro de fluorescência de raios-x da marca Bruker, modelo S1 Turbo SD.....	31
Figura 8 - Utilização do permeâmetro Guelph em campo.....	32
Figura 9 - Execução do ensaio de infiltração em campo.....	34
Figura 10 – Curva dos coeficientes de infiltração.....	34
Figura 11 - Cartogramas das concentrações de ferro nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	37
Figura 12 - Cartogramas das concentrações de Chumbo nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	38
Figura 13 - Cartogramas das concentrações de zinco nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	39
Figura 14 - Cartogramas das concentrações de magnésio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	40
Figura 15 - Cartogramas das concentrações de cálcio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	41
Figura 16 - Cartogramas das concentrações de alumínio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	42
Figura 17 - Cartogramas das concentrações de manganês nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	43
Figura 18 - Cartogramas das concentrações de cádmio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.....	44
Figura 19 - Cartograma de permeabilidade da área de estudo.....	46
Figura 20 - Cartograma de infiltração da área de estudo.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	12
1.2 Objetivos gerais.....	12
1.3 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Cemitérios	13
2.2 Tipos de cemitério	13
2.3 Necrochorume.....	15
2.4 Contaminação das águas subterrâneas por cemitério	16
2.5 Contaminação do solo por cemitério	17
2.6 Infiltração.....	18
2.6.1 Taxa de infiltração e capacidade de infiltração.....	19
2.6.2 Fatores que intervêm na capacidade de infiltração	19
2.7 Condutividade hidráulica	21
2.7.1 Fatores que influenciam a condutividade hidráulica	21
2.7.2 Permeâmetro de Guelph	22
2.8 Fluorescência de raios-x por dispersão de energia (ED-XRF)	24
2.9 Legislação vigente sobre cemitérios	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	26
3.1.1 Geologia, pedologia e hidrogeologia	27
3.1.2 Clima	28
3.2 Localização dos pontos de amostragem	28
3.3 Coleta e análise de solo	29
3.4 Determinação da permeabilidade.....	31
3.5 Determinação do coeficiente de infiltração.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 Análise química do solo.....	35
4.2 Permeabilidade	45
4.3 Coeficiente de infiltração	47
5 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Com a rápida expansão dos centros urbanos e o crescimento desordenado da população, aumenta, simultaneamente, a preocupação com questões ambientais. Dentre elas destaca-se a falta de áreas apropriadas para o sepultamento de corpos humanos, conhecidas como cemitérios.

A palavra cemitério, originária do grego *Koumeterian* e do latim *Coemeteriun*, significa dormitório, lugar onde se dorme, recinto onde se enterram ou se guardam os mortos e tem como sinônimos as palavras necrópole, carneiro, sepulcrário, campo-santo, cidade dos pés juntos e a última moradia (CAMPOS, 2007).

A decomposição dos corpos humanos ocorre em um período de dois anos ou mais, sendo resultado desta decomposição um líquido de cor castanho-acinzentada denominado necrochorume, em analogia ao chorume que é o líquido proveniente da decomposição dos resíduos orgânicos (CASTRO, 2008). Segundo Neira *et al.* (2008) o necrochorume é formado em média por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, duas delas altamente tóxicas: a putrescina e a cadaverina, sendo o necrochorume um dos principais causadores de contaminação nos aquíferos freáticos e solos em áreas de cemitérios.

Geralmente os cemitérios são instalados em áreas de pouco valor agregado e sem planejamento ambiental adequado. Segundo Silva & Malagutti (2008) os cemitérios nunca foram incluídos nas listas de fontes tradicionais de contaminação ambiental. Diversos estudos tentam identificar quais áreas são mais susceptíveis a contaminação, através da posição do lençol freático, formação litológica dentre outras.

A implantação de cemitérios em locais onde as características geológicas auxiliam os fenômenos conservativos dos corpos ou reduzem a retenção do contaminante na camada superficial, e onde o lençol freático é pouco profundo, pode contaminar as águas subterrâneas. Túmulos que encontram-se em estado de ruínas ou com rachaduras devido ao crescimento das raízes das árvores, e negligência dos proprietários, também favorecem a contaminação das águas subterrâneas (KEMERICH *et al.*, 2014)

A água que infiltra no solo é a principal responsável pelo transporte de possíveis contaminantes. Dentre os atributos físicos do solo, a taxa de infiltração de água, caracteriza-se como um dos mais importantes parâmetros para avaliar a

qualidade do solo. As propriedades que determinam a densidade do fluxo de água no solo são a condutividade hidráulica, que mede a habilidade do solo em conduzir água, e as características de retenção de água no solo, que expressam a sua habilidade em armazená-la (KLUTE & DIRKSEN, 1986). Assim, o conhecimento da condutividade hidráulica do solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para estudar a própria dinâmica da água, seja para estudar o transporte de elementos químicos, nutrientes e defensivos agrícolas, bem como seus impactos potenciais ao ambiente (HURTADO *et al.*, 2005).

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2003) nº 335 de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios horizontais e verticais especifica que o subsolo da área pretendida para implantação de cemitérios deverá ser constituída por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s, que caracteriza solos de baixa permeabilidade. Permeabilidades maiores que as previstas em lei podem causar contaminações do solo e da água nesses locais.

Desta maneira, a implantação ou regulamentação de cemitérios deve ser efetuada mediante a realização de diferentes estudos ambientais, sendo foco deste trabalho a investigação física e química do solo em área de necrópole.

1.1 Justificativa

Os cemitérios têm grande potencial contaminante de solos e águas. As legislações abordam especificações referentes a estes empreendimentos para minimizar impactos por eles causados, frente a isso, o estudo tem como justificativa trazer maiores conhecimentos técnicos da área ambiental, a fim de possibilitar a melhor gestão destas áreas. Ao identificar características físicas e químicas do solo, o qual é responsável pelo transporte de contaminantes, permite-se encontrar medidas corretas para remediar estes problemas.

1.2 Objetivos gerais

O presente trabalho tem como objetivo geral determinar os índices físicos e as características químicas do solo em uma área sob o uso de cemitério, no município de Caçapava do Sul – RS.

1.3 Objetivos específicos

Especificamente, a fim de se obter os resultados propostos, pretende-se:

- a) analisar parâmetros químicos do solo, a fim de comparar os valores obtidos com a resolução do CONAMA n° 420/09 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas;
- b) determinar a permeabilidade do solo e verificar se a área do cemitério municipal atende as recomendações das normas que regulamentam este tipo de empreendimento;
- c) determinar o coeficiente de infiltração de água no solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cemitérios

No Brasil, até a primeira década do século XIX, os mortos eram enterrados apenas trajando um manto cobrindo os corpos, já que os cuidados com a higiene não tinham se tornado praxe no Brasil imperial (FARIA, 1999).

Quando a preocupação com a higiene passou a ser tema central no império brasileiro, a partir da segunda metade do século XIX, visto que já era uma realidade na Europa, os governos passaram a aderir a esse novo padrão, reorganizando o espaço e a relação dos mortos com os vivos. Segundo Reis (1991) uma organização civilizada do espaço urbano requeria que a morte fosse higienizada, sobretudo, que os mortos fossem expulsos de entre os vivos e segregados em cemitérios extra-muros.

Nessa perspectiva, os cemitérios se afastaram das cidades, estabelecendo a divisão entre as cidades dos vivos e dos mortos. Hoje, em algumas cidades, a zona urbana cresceu tanto que de novo aproximou os mortos dos vivos. Esse padrão prevalece ainda nos dias atuais, mesmo surgindo outros tipos de cemitérios e práticas de enterramento.

2.2 Tipos de cemitério

Os cemitérios são monumentos à memória daqueles que morreram e que os familiares fazem questão de perpetuar (KEMERICH *et al.*, 2014).

Conseqüentemente, este tipo de construção adquiriu a condição de inviolabilidade no que tange à pesquisa científica nos seus diferentes aspectos. Entretanto, sociólogos, antropólogos, folcloristas e outros têm dado excelentes contribuições para um melhor conhecimento dos hábitos, costumes e práticas funerárias (MATOS, 2001).

No Brasil a Resolução nº 355 de 3 de abril de 2003, relata que existem dois tipos principais de cemitérios: os horizontais, parques ou jardins e verticais.

Segundo Campos (2007) os tipos de cemitérios existentes no Brasil e no mundo com suas vantagens e desvantagens são:

Cemitérios tradicionais: compostos por alamedas pavimentadas, túmulos semienterrados, mausoléus, capelas com altar, crucifixos e imagens, monumentos funerários revestidos de mármore e granitos, com pouca ou nenhuma arborização. Geralmente os corpos são enterrados diretamente no solo. Sua vantagem é que o corpo fica em contato com o solo, e sua decomposição é facilitada. Suas desvantagens são a possibilidade de contaminação de águas superficiais e subterrâneas, ocupação de grandes áreas, necessidade de solo adequado para esta finalidade, ambiente acinzentado que afeta a estética urbana e pode gerar impactos psicológicos em pessoas sensíveis, possível proliferação de insetos como os mosquitos transmissores de dengue e febre amarela, e artrópode como escorpiões encontrados em locais escuros, úmidos e abrigados.

Cemitérios-Parque ou Jardim: são compostos por gavetas no solo, cobertos por gramados e árvores, isentos de construções tumulares. Os sepultamentos são feitos por tumulação e as sepulturas são identificadas por uma lápide de pequenas dimensões, ao nível do chão. As vantagens deste tipo de cemitério são que independente da classe social, a apresentação das sepulturas é uniforme, com aspecto menos austero que as necrópoles tradicionais, na maioria das vezes com belos gramados e muitas árvores. Como desvantagens apresentam falta de tratamento do necrochorume e dos gases, a influência nas águas subterrâneas e a utilização de várias gavetas a baixas profundidades.

Cemitérios verticais: são construídos de forma vertical acima do nível do solo, sem contato com a terra; os corpos são sepultados separadamente em gavetas, um do lado do outro, formando andares, a circulação de visitantes é feita por meio de escadas ou elevadores e corredores. Como vantagens apresentam uma utilização do espaço físico menor, ausência de interferência do necrochorume e resíduos nas

águas subterrâneas, baixa exigência quanto ao tipo de solo, facilidade de sepultamento e visitas em dias chuvosos. As desvantagens são a liberação de gases sem tratamento e a necessidade de maiores cuidados na construção, para evitar vazamentos de necrochorume e eventual emissão de odor.

2.3 Necrochorume

A composição do corpo de um homem adulto de aproximadamente 70 kg está relacionada na tabela 1.

Tabela 1 - Composição aproximada do corpo de um homem de 70 Kg

Substância	Quantidade
Carbono	16.000 g
Nitrogênio	1.800 g
Cálcio	1.100 g
Fósforo	500 g
Enxofre	140 g
Potássio	140 g
Sódio	100 g
Cloreto	95 g
Magnésio	19 g
Ferro	4,2 g
Água	70-74%

Fonte: Almeida & Macêdo (2005).

A decomposição dos corpos humanos ocorre em um período de dois anos ou mais, dependendo dos fatores ambientais locais. Conforme Reis Sobrinho (2002) o corpo de um homem de 70 kg libera quantidades de 30 a 40 litros de necrochorume, sendo mais significativa essa liberação nos períodos de 5 a 8 meses após o sepultamento.

O corpo humano, depois de sepultado, sofre o efeito de putrefação, seus tecidos são degradados por ação de bactérias e enzimas até a sua dissolução gradual em sais, líquidos e gases. O processo de degradação resulta em solução aquosa (de cor castanho-acizentada) liberada no solo, conhecida como necrochorume, principal responsável pela contaminação de cemitérios (PACHECO, 2012).

O necrochorume é composto em média por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, duas delas altamente tóxicas: a putrescina ($C_4H_{12}N_2$) e a cadaverina ($C_5H_{14}N_2$), que ao se degradarem em condições

anaeróbias formam íons de amônio (NH_4^+) (PACHECO, 2000). Conforme Matos (2001) outras características deste composto é a alta solubilidade em água e pH variando de 5 a 9, em temperaturas de 23° a 28°C.

Outro risco que acompanha o necrochorume são os organismos patogênicos que estão presentes nos corpos de pessoas que faleceram devido a algum tipo de doença infecto-contagiosa, contendo, assim, vários tipos de vírus e/ou bactérias, agentes transmissores de doenças como a febre tifóide, paratifóide, hepatite infecciosa dentre outros (CARNEIRO *et al.*, 2010).

O volume de necrochorume produzido por um cemitério é relativo ao número estimado de corpos sepultados, ao peso, sexo e idade de cada um dos corpos (CASTRO, 2008).

2.4 Contaminação das águas subterrâneas por cemitério

A contaminação dos aquíferos tem se tornado um dos problemas mais preocupantes nas questões de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, visto que são considerados reservatórios estratégicos para a humanidade. Para contornar esse problema são adotadas, em várias partes do mundo, principalmente nos países mais desenvolvidos, medidas preventivas, pois uma vez contaminado, a recuperação do aquífero é extremamente difícil e onerosa (CUTRIM & CAMPOS, 2010).

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, e fissuras ou fraturas presentes nas rochas (rachaduras, quebras, descontinuidades e espaços vazios) (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007).

A infiltração das águas da chuva nos túmulos promove o transporte de muitos compostos químicos (orgânicos e inorgânicos) para o solo, que, dependendo das características geológicas do terreno, podem alcançar o aquífero, podendo contamina-lo. Para a minimização desse risco é indispensável o monitoramento da qualidade da água nessas áreas (KEMERICH *et al.*, 2013).

O necrochorume pode entrar em contato com as águas subterrâneas, principalmente em áreas com intensa precipitação pluviométrica e com o nível do lençol freático próximo à superfície, num período que pode demorar de 1 a 4

semanas (PACHECO, 1986) ou, ainda, segundo Silva (1994), de 6 a 8 meses, dependendo das características físicas do solo.

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 venham a infiltrar no solo e, também, atinjam as fontes hídricas (KEMERICH *et al.*, 2014a). A contaminação da água e solo nas proximidades de cemitérios deve-se à falta de manejo adequado do empreendimento, uma vez que se fazem necessários o monitoramento e serviços de manutenção constantes.

2.5 Contaminação do solo por cemitério

Segundo a Embrapa (2006), o solo é uma camada superficial constituída de partículas minerais e orgânicas, distribuídas em horizontes de profundidade variável, resultante da ação conjunta de agentes intempéricos sobre as rochas e a adaptação destas às condições de equilíbrio do meio em que se encontram expostas, geralmente diferentes daquele que condicionou sua gênese, apresentando variabilidade espacial.

A falta de medidas de proteção ambiental no sepultamento de corpos humanos em covas abertas no solo, ao longo dos últimos séculos, fez com que a área de muitos cemitérios fosse contaminada por diversas substâncias, orgânicas e inorgânicas, e por microrganismos patogênicos. Essa contaminação ocorre quando os cemitérios são implantados em locais que apresentam condições ambientais desfavoráveis (SILVA & MALAGUTTI, 2010).

Os cemitérios influenciam na contaminação de águas subterrâneas, principalmente quando são insuficientes estudos sobre a geologia, hidrologia e saneamento antes de sua implantação. Segundo Kemerich *et al.* (2014b) os problemas estruturais dos cemitérios podem ser considerados os principais agentes causadores da contaminação do solo e da água subterrânea com patógenos e metais pesados, em virtude de sua aplicação sem prévio estudo ambiental e da má conservação dos túmulos.

Em solos com alta umidade, há um processo conhecido como saponificação, pelo qual ocorre a quebra das gorduras corporais e à liberação de ácidos graxos.

Esse composto liberado exibe alta acidez, o que inibe a ação de bactérias putrefativas, retardando, assim, o mecanismo de decomposição do cadáver e tornando o mecanismo tanto mais duradouro quanto mais contaminante (KEMERICH *et al.*, 2012a). Já nos solos arenosos a reduzida capacidade de retenção de água permite o arejamento das sepulturas o que acaba prolongando o processo de putrefação, pois as bactérias decompositoras trabalham em anaerobiose. Em períodos chuvosos ocorrem infiltrações nos túmulos, e em solos argilosos, devido sua baixa permeabilidade, os corpos ficam submergidos em água parada ou de pouca corrente, ocasionado também o processo de saponificação (ALCÂNTARA, 2010).

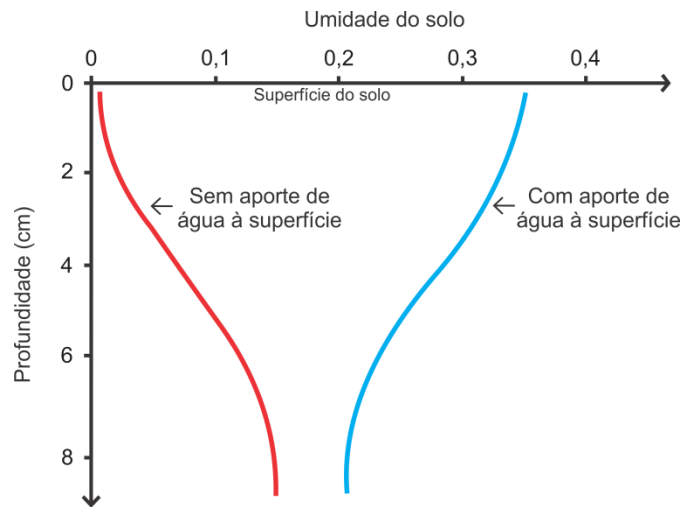
2.6 Infiltração

Infiltração é o processo de passagem de um líquido da superfície para o interior do solo, esse processo depende de alguns fatores, como a disponibilidade de líquido para infiltrar, o tipo de solo, as características da superfície do solo e do volume de líquido e ar inicialmente presentes no interior do solo (BRANDÃO, 2006).

Segundo Barbosa (2004) no interior do solo, o espaço disponível para a água se acumular e se movimentar é determinado pelos vazios existentes entre os grãos que compõem a estrutura do solo. O parâmetro capaz de especificar a máxima retenção de água no solo é a sua porosidade. O teor de umidade do solo será sempre menor ou igual à porosidade. O grau de saturação do solo é definido pela relação entre o volume de água e o volume de vazios da amostra.

À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto houver aporte de água, o perfil de umidade evolui e tende à saturação em toda a profundidade, sendo a superfície, naturalmente, o primeiro nível a saturar. Quando cessa o aporte de água à superfície, a umidade no interior do solo se redistribui, evoluindo para um perfil inverso com os menores teores de umidade próximos à superfície e os maiores nas camadas mais profundas (FIGURA 1).

Figura 1 - Perfil de umidade do solo.



Fonte: Adaptado de Barbosa Júnior (2012).

Dentre as conhecidas propriedades físicas existentes do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao seu movimento, entre estes se destacam a infiltração e redistribuição de água no perfil do solo.

2.6.1 Taxa de infiltração e capacidade de infiltração

A taxa (velocidade) de infiltração é definida como a lâmina de água (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo, representando, portanto, a taxa de variação da infiltração acumulada ao longo do tempo (BRANDÃO, 2006).

O conceito de capacidade de infiltração é aplicado para diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela superfície, em termos de lâmina por tempo, da taxa real de infiltração que acontece quando há disponibilidade de água para penetrar no solo (BRANDÃO, CECÍLIO, PRUSKI E SILVA, p.17-18).

2.6.2 Fatores que intervêm na capacidade de infiltração

A infiltração é um processo que depende, em maior ou menor grau, de diversos fatores, dentre eles destacam-se:

Fatores relacionados à superfície: interferem no movimento da água através da interface ar-solo. O tipo de cobertura da superfície do solo é fator determinante no

processo de infiltração. Áreas urbanizadas apresentam menores taxas de infiltração que áreas agrícolas, por terem altas percentagens de impermeabilização da superfície do solo, o que limita a sua capacidade de infiltração. Além disso, o sistema radicular das plantas cria caminhos preferenciais que favorecem o movimento da água (PRUSKI *et al.*, 1997).

Densidade do solo e de partículas: a densidade do solo é um atributo que reflete primariamente o arranjo das partículas do solo, que por sua vez, define as características de seu espaço poroso. Assim, qualquer ação que possa influenciar o arranjo das partículas refletirá diretamente nos valores da densidade do solo (SANTILLO, 2015).

A densidade de partículas é definida como a relação entre a massa de sólidos de um solo seco e o volume de partículas do solo (CARTER, 1993). A densidade de partículas não difere grandemente entre os solos, pois é dependente da constituição mineralógica dos mesmos.

Textura e estrutura do solo: A textura e a estrutura são características que influenciam expressivamente a movimentação da água no solo, uma vez que determinam a quantidade de macroporos presentes em seu perfil, os quais são de extrema importância na condutividade hidráulica do solo. Também interferem expressivamente na infiltração a forma dos poros e a sua continuidade (SANTILLO, 2015).

Porosidade do solo: entre as partículas do solo ou mesmo entre agregados existem espaços porosos oriundos do arranjo, distribuição e orientação das partículas do solo, que podem armazenar água e ar, necessários para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, dos microrganismos e animais do solo. O volume total de poros é denominado de porosidade total do solo. A porosidade total do solo pode ser dividida em microporosidade e macroporosidade. O movimento do ar e da água no solo ocorre através dos macroporos. Enquanto que, nos microporos, o movimento do ar é dificultado, e o da água fica restrito principalmente a capilaridade (HILLEL, 1980).

A quantidade e a maneira como os poros estão distribuídos no solo afetam diretamente a infiltração de água no solo (ELTZ *et al.*, 1989). A distribuição do tamanho de poros afeta a capacidade de armazenamento e o movimento da água no solo (HILLEL, 1980).

2.7 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica ou permeabilidade é definida como a propriedade que um solo apresenta de permitir o fluxo de água através dele. Seu significado físico é definido por “volume de líquido que flui perpendicularmente a uma unidade de área de um meio poroso sobre influência de um gradiente hidráulico unitário.” (DELLEUR, 1999, p. 969).

É função tanto das características do meio, como porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas, quanto das características do fluido, como peso específico e viscosidade.

2.7.1 Fatores que influenciam a condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica em solos saturados é substancialmente maior que em solos não saturados, pois o excesso de água nos poros faz com que a água flua. De acordo com Carvalho (2002), em meios não saturados, a condutividade hidráulica varia com a umidade do solo e com o potencial matricial no ponto considerado. Assim, o grau de saturação é um fator com influência relevante sobre os valores de condutividade hidráulica.

A porosidade exerce grande influência sobre a condutividade hidráulica. A correlação entre índice de vazios ou porosidade com a condutividade hidráulica é comumente relatada na literatura sobre mecânica dos solos (BETIM *et al.*, 2013). A condutividade hidráulica está fortemente relacionada a macroporosidade, por exemplo, em um ensaio de permeabilidade, uma fratura (macroporo) irá influenciar nos valores da condutividade hidráulica, um dos motivos pelo qual é comum obter valores discrepantes para este parâmetro (MESQUITA *et al.*, 2002).

O tamanho das partículas constituintes do solo determina a granulometria. As taxas de infiltração de água no solo e a capacidade de retenção de água são amplamente influenciadas pela composição granulométrica dos solos. Quanto menor forem as partículas constituintes dos solos, menores serão os canais de fluxo de água, conseqüentemente menor será a condutividade hidráulica.

O quadro 1 apresenta valores típicos de coeficientes de permeabilidade de solos segundo a granulometria.

Quadro - 1 Valores típicos de coeficiente de permeabilidade e tipo de solo.

Coeficiente de Permeabilidade K (cm.s^{-1})	Grau de Pemeabilidade Tarzagli & Peck (1967)	Tipo de Solo Mello & Teixeira (1967)
10^9 a 1	Alta	Pedregulhos e Areia
1 a 10^{-1}	Alta	Areias
10^{-1} a 10^{-3}	Média	Areias
10^{-3} a 10^{-5}	Baixa	Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos
10^{-5} a 10^{-7}	Muito Baixa	Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos
$<10^{-7}$	Praticamente Impermeável	Argilas

Fonte: Santos, 2005.

A composição do solo influencia na permeabilidade de forma mais determinante quando composto por argila, enquanto que para areia, silte e cascalho essa influência é menor. Assim, a permeabilidade guarda forte relação com a mineralogia da fração argila, a qual influenciará na agregação do solo (BETIM *et al.*, 2013).

Algumas características dos fluidos podem influenciar a condutividade hidráulica, dentre elas destacam-se a viscosidade, densidade e concentração do percolado (DAS, 2008).

2.7.2 Permeâmetro de Guelph

O permeâmetro de Guelph foi desenvolvido por Reynolds e Elrick (1983), e em 1985 foi aperfeiçoado pelos mesmos, na Universit of Guelph no Canadá.

A principal característica desse equipamento é que, diferentemente dos métodos empregados para determinar a condutividade hidráulica (K) na zona saturada, por exemplo, onde a carga da coluna d'água varia com o tempo, o permeâmetro de Guelph trabalha com carga constante (CELLIGOI *et al.*, 2006).

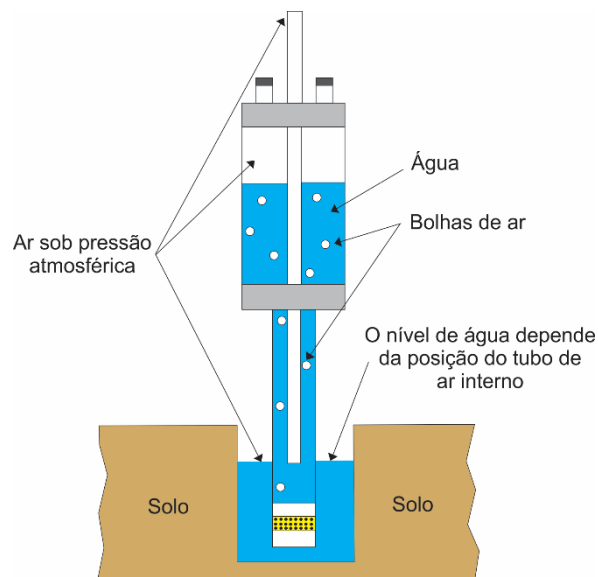
O equipamento é constituído por tubos concêntricos, o tubo central tem a função de permitir a entrada de ar e regular o nível de água dentro do furo (FIGURA 2). O equipamento permite medições em qualquer posição no perfil, em um orifício aberto por trado no solo, sendo possível a identificação de diferentes valores de permeabilidades.

O reservatório do Guelph permite armazenar água e medir a variação desta durante o ensaio em campo. Para solos com permeabilidades baixas utiliza-se

apenas o reservatório interno, já para altas permeabilidades é necessário a combinação do reservatório interno com um reservatório externo para uma melhor precisão nos resultados.

O equipamento possui algumas vantagens, dentre as quais a leveza do aparelho, a facilidade de operação, a rapidez dos ensaios e o volume reduzido de água utilizada.

Figura 2 - Esquema de funcionamento do permeâmetro de Guelph.



Fonte: Adaptado de Santos (2005).

O conhecimento do valor da taxa de infiltração, associado às dimensões do furo e da altura da coluna d'água no seu interior, permite o cálculo da condutividade hidráulica *in situ*, através da seguinte equação, segundo Soil Moisture Corp (1991):

$$K = [(0,0041)(X)(R_2) - (0,0054)(X)(R_1)] \quad (1)$$

ou

$$K = [(0,0041)(Y)(R_2) - (0,0054)(Y)(R_1)] \quad (2)$$

onde:

K = condutividade hidráulica, em cm/s;

R_1 ; R_2 = taxas de infiltração estabilizadas correspondentes a H_1 (5cm) e H_2 (10cm) respectivamente, em cm/s;

$X; Y$ = constantes correspondentes à área do tubo (reservatório d' água) utilizado, em cm^2 ;

0,0041 e 0,0054 = valores adimensionais que podem ser obtidos através de Soil Moisture Corp (1991): foram utilizados os resultados dos ensaios de Oliva (2006) e Trindade (2009), os quais determinaram a permeabilidade da zona não saturada.

2.8 Fluorescência de raios-x por dispersão de energia (ED-XRF)

Esta técnica vem sendo utilizada principalmente para amostras sólidas, permitindo a determinação simultânea ou sequencial da concentração de vários elementos, sem a necessidade de destruição da amostra, ou seja, de modo instrumental, sem nenhum pré-tratamento químico. Apresenta uma alta velocidade analítica para análise de amostras de interesse agroindustrial, geológico e ambiental quando se utiliza tubos de raios-x na excitação.

O equipamento detecta estes raios-x e qualitativamente, determina quais elementos estão presentes no material. O princípio do método é muito simples, utiliza-se uma fonte de radiação x para ionizar os níveis internos dos átomos constituintes da amostra, por efeito fotoelétrico (BOLZAN, 2015). Na reorganização do átomo e regresso ao estado fundamental, estes átomos podem libertar o excesso de energia através da emissão de um fóton x, de energia igual à diferença de energia de ligação dos níveis entre os quais se deu a transição. Esta radiação é característica para cada elemento. A detecção e análise deste espectro permitem a identificação e quantificação dos elementos constituintes da amostra.

2.9 Legislação vigente sobre cemitérios

A resolução que normatiza os cemitérios brasileiros é a CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003, havendo necessidade de revisão da Resolução nº 368, de 28 de março de 2006 e da Resolução nº 402, de 17 de novembro de 2008, que dispõem sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.

Os cemitérios instalados antes da vigência da Resolução nº 335 devem se adaptar às suas regras, sendo que os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente deverão estabelecer, os critérios para a adequação, conforme menciona o

artigo 11, cuja redação foi dada pela Resolução CONAMA nº 402 de 2008 (WEBER, 2010).

O subsolo da área pretendida para implantação da necrópole deve ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático. Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático (BRASIL, 2003. Art. 5, Parágrafo 1º, inciso III). Permeabilidades abaixo da estabelecida pela lei, em solos rasos em área de cemitérios, favorecem a percolação de poluentes para as águas subterrâneas.

O perímetro e o interior dos cemitérios devem ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor, de maneira segura, o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra (BRASIL, 2003. Resolução 335. Art.5, Parágrafo 1º, inciso II).

A Resolução proíbe a instalação de cemitérios em áreas de preservação permanente ou em áreas que exijam desmatamento de mata atlântica primária ou secundária, em estágio médio ou avançado de regeneração, em terrenos predominantemente cáusticos, que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos, em áreas de manancial para abastecimento humano, bem como naquelas que tenham seu uso restrito pela legislação vigente.

A resolução nº 402 de 2008 do CONAMA não traz nenhuma referências ou quaisquer estudos sobre teores de contaminantes biológicos, orgânicos ou inorgânicos mínimos permitidos nestes locais. Assim, os parâmetros a serem seguidos serão os estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 420 de 2008 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas.

Nos cemitérios construídos mais recentemente, o risco de contaminação é bem menor. Desde 2003, a legislação estipula, entre outros itens, que cemitérios não podem ocupar áreas de preservação ambiental, nem terrenos sob os quais o lençol freático passa a menos de 5 metros de profundidade, além de dispor sobre normas para construção dos jazigos a fim de evitar a infiltração do necrochorume no solo (CHRISTANTE, 2011).

Para amenizar os impactos causados pelos cemitérios, as normas condicionam este tipo de empreendimento à realização do EIA/RIMA. Para que este relatório seja fornecido, é feito o estudo prévio de viabilidade, identificando as

condições do local, tipo de solo, localização e profundidade do lençol freático. Além disso, a obra deve ser feita verificando outros fatores de importância que o terreno em questão necessite, para a implantação de um cemitério (WEBER, 2010).

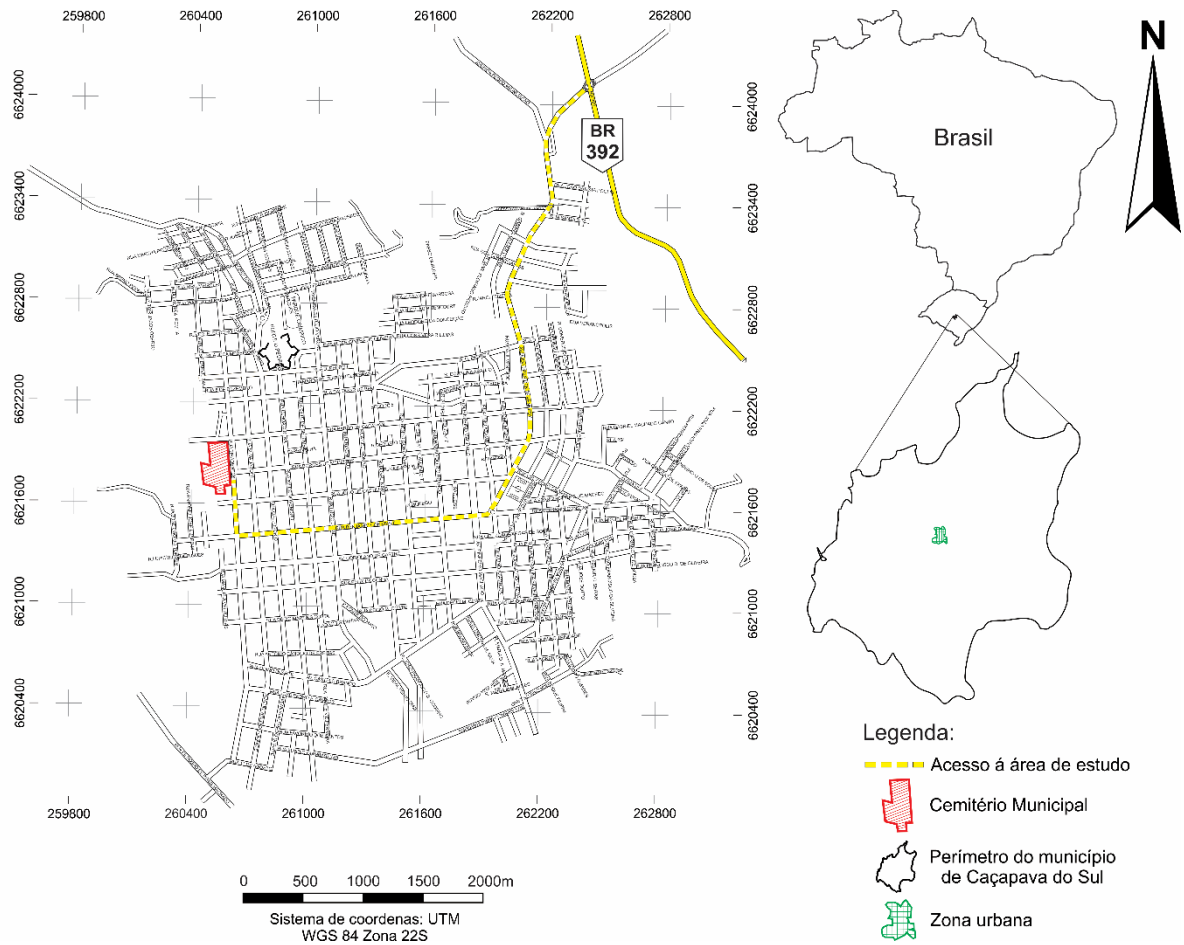
3 METODOLOGIA

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

Caçapava do Sul localiza-se no centro do estado do Rio Grande do Sul, na latitude 30°30'44" S e longitude 53°29'29" O, com altitude de 450 metros acima do nível médio do mar, abrangendo uma área de 3.047,1 Km² e com população de 33.650 habitantes (IBGE 2010).

O cemitério municipal de Caçapava do Sul situa-se na região central do município e se caracteriza por ser um cemitério horizontal tradicional com área 17.142 m², composto por sepulturas conhecidas como jazigos, construções pré-existentes, acima do nível do terreno, compostas por gavetas onde são sepultados os corpos. Os dados do cemitério foram perdidos devido a um incêndio no local de banco de dados, porém, estima-se que há mais 5 mil corpos sepultados. A localização e o acesso à área de estudo estão representados na figura 3.

Figura 3 - Mapa de localização e acesso ao cemitério municipal de Caçapava do Sul.



Fonte: autor.

3.1.1 Geologia, pedologia e hidrogeologia

O local de estudo está situado sobre o Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS). Segundo Bitencourt (1983) é um corpo intrusivo com aproximadamente 250 km² aflorantes, possui forma oval e é constituído por sienogranitos a granodioritos. Principalmente nas bordas do corpo, as rochas do CGCS são bastante fraturadas, sendo comuns falhas normais de direção NW-SE, com planos subverticais e falhas de direção N-NE com deslocamentos laterais, responsáveis pelo desenvolvimento das zonas cataclásticas (BITENCOURT, 1983).

Uma zona milonitizada de aproximadamente 600 metros de espessura é caracterizada na borda noroeste do CGCS. Nesta zona que tem orientação em torno de N10 e acompanha o limite NW do CGCS.

Quanto a pedologia, existem dez unidades de mapeamento de solos, de acordo com a classificação da Embrapa (1999). O tipo de solo do local em estudo é oriundo do substrato (material de origem) Granítico. Classificado como neossolo litólico distrófico típico, suas características são de solo raso (variando de alguns centímetros até 20 metros), bem drenado, textura média, ocorre em relevo ondulado e fortemente ondulado. Possui uma textura média, possuindo muitos grãos do tipo areia, de quartzo/feldspato alcalino/plagioclásio, além de silte/argila oriundo dos minerais félsicos.

O município possui seis domínios hidrogeológicos, a área em estudo está sobre o Domínio Cristalino, composto basicamente por rochas da Suíte Granítica de Caçapava do Sul, tendo um comportamento hidrodinâmico típico de aquífero fissural. As vazões produzidas nos poços são baixas, em função da falta de circulação da água (CPRM, 2005).

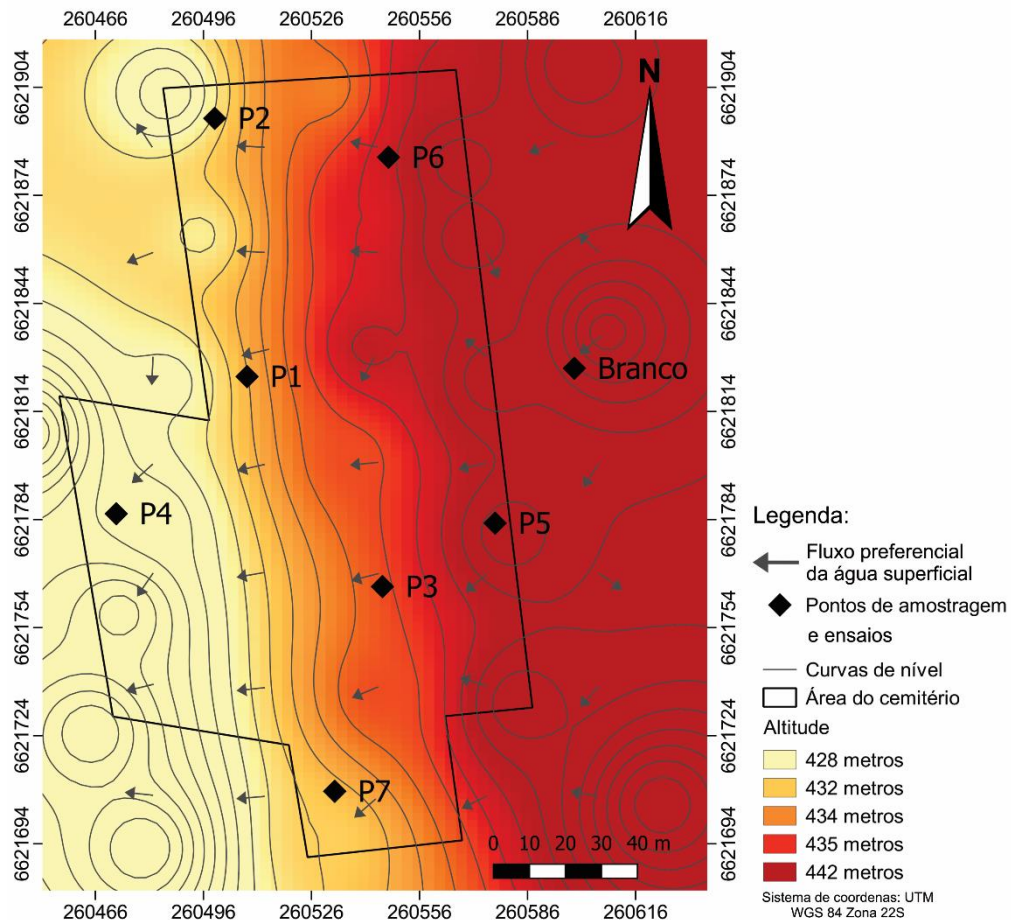
3.1.2 Clima

O clima do município de Caçapava do Sul, nos anos de 1961 a 1990, segundo Embrapa (2010), apresenta temperatura máxima no mês de janeiro (22,1 °C) e temperatura mínima nos meses de junho e julho (12,2 °C). A temperatura média, no período analisado, é de 17,1 °C. A média anual de precipitação registrada é de 128mm. No mês de julho ocorrem os maiores índices pluviométricos (157mm), no mês de abril são registradas as menores precipitações (97mm).

3.2 Localização dos pontos de amostragem

Os pontos de amostragem da área em estudo foram escolhidos de acordo com a topografia existente, locais sem impermeabilização do solo e fluxo preferencial das águas superficiais, determinados com o auxílio do *software* Qgis 2.18.1 utilizando-se o método de interpolação matemática *Inverse Distance Weighted* (IDW). Todos os pontos foram localizados com o auxílio de um GPS da marca Garmin modelo Etrex 10 (FIGURA 4).

Figura 4 - Cartograma da área do cemitério, com linhas de fluxo superficial de água, topografia e pontos de amostragem.



Fonte: Autor.

3.3 Coleta e análise de solo

Foram considerados sete pontos de amostragem que receberam a nomenclatura de Branco, P1, P2, P3, P4, P5, P6 apresentados na figura 4. A metodologia para coleta das amostras de solo foi realizada seguindo o proposto por Kemerich *et al.* (2012b), utilizando um trado manual Sonda Terra de 4m de comprimento e 100mm de diâmetro (FIGURA 5). Cada amostra coletada foi armazenada em sacos plásticos e recebeu identificação correspondendo à localização do ponto de amostragem e a profundidade da coleta. Nos 7 pontos analisados foram coletadas amostras a cada 0,5m de profundidade, iniciando-se com a amostra superficial em 0m até a profundidade de 1,5m, totalizado 4 amostras por ponto. Para evitar alterações nos resultados o trado era lavado com água deionizada ao fim de cada coleta de amostra.

Figura 5 - Coleta de solo com trado manual.



Fonte: Arquivo pessoal.

Após a coleta, os solos foram secos em temperatura ambiente para evitar alterações (FIGURA 6). A análise química foi realizada através da fluorescência de raios-x, para isso foram pesados 30g de amostras e moídas manualmente, objetivando reduzir ao máximo a granulometria para redução dos desvios do feixe de raios-x e assim não influenciar na eficiência das determinações.

Figura 6 - Amostras de solo dispostas para secagem.



Fonte: Arquivo pessoal.

As análises foram realizadas utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios-x da marca Bruker, modelo S1 Turbo SD (FIGURA 7). Este equipamento é

composto por um tubo de raio-x do tipo cerâmica metálica de 1 W que vai de 2 a 60 μA . Utiliza-se um ânodo de Ag, que permite a medição de 25 elementos proporcionando análise elementar rápida e precisa, sendo capaz de detectar elementos como alumínio (Al), magnésio (Mg), cobre (Cu), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), bromo (Br), entre outros, em nível de ppm. Possui um detector SDD (Silicon Deriva Detector) de 10 mm² com refrigeração termoelétrica, com uma resolução de ~ 145 eV a MnK α , o que permite manter uma velocidade de contagem 100.000 contagens por segundo (BAZAES, 2013).

O equipamento gera um relatório com os resultados das concentrações e o desvio padrão. Para isto, em cada análise o equipamento realiza três leituras.

Os elementos presentes nas amostras foram qualificados, quantificados e comparados com os limites máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA n^o 420/2009 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas.

Figura 7 - Espectrômetro de fluorescência de raios-x da marca Bruker, modelo S1 Turbo SD.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.4 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 (FIGURA 4), totalizando sete ensaios, onde cada ponto recebeu a nomenclatura de P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7.

O método utilizado foi o de carga constante, utilizando um permeâmetro Guelph modelo 2800 (FIGURA 8).

Figura 8 - Utilização do permeâmetro Guelph em campo.



Fonte: Arquivo pessoal.

Seguindo a metodologia descrita por Santos (2005), que compreende as seguintes etapas:

- a) escolha do local, (de preferência plano);
- b) perfurar o solo (com auxílio de trado) com 30cm de profundidade, posicionando o permeâmetro sobre a perfuração de forma que o aparelho fique em nível vertical;
- c) injetar 5cm 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 a formação do solo;
- d) após estabilização da taxa de infiltração, repete-se o procedimento anterior, porém, injetando uma coluna de 10cm de água, esta unidade de tempo quem determina é o pesquisador, onde 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 se deu através da expressão descrita por Soil Moisture Corp (1991).

3.5 Determinação do coeficiente de infiltração

Os ensaios de infiltração foram realizados próximos aos pontos dos ensaios de permeabilidade conforme figura 4, já mencionada anteriormente. Totalizando também 7 ensaios com nomenclatura de P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7.

A metodologia utilizada foi a descrita pela NBR 7229/93, que determina a abertura de uma cava de seção quadrada de 30cm de lado e 30cm de profundidade. É importante raspar o fundo e os lados da cova, de modo que fiquem ásperos, retirar da cova todo material solto e cobrir o seu fundo com uma camada de 5cm de brita nº 1.

Após preparar as cavas deve-se iniciar o teste de infiltração propriamente dito. O procedimento inicial consiste em manter as cavas cheias de água durante 4 horas, no dia seguinte, devem-se encher as cavas com água e aguardar a total infiltração e em seguida deve-se encher novamente as covas com água até a altura de 15cm e cronometrar o período de rebaixamento de 15cm até 14cm (FIGURA 9).

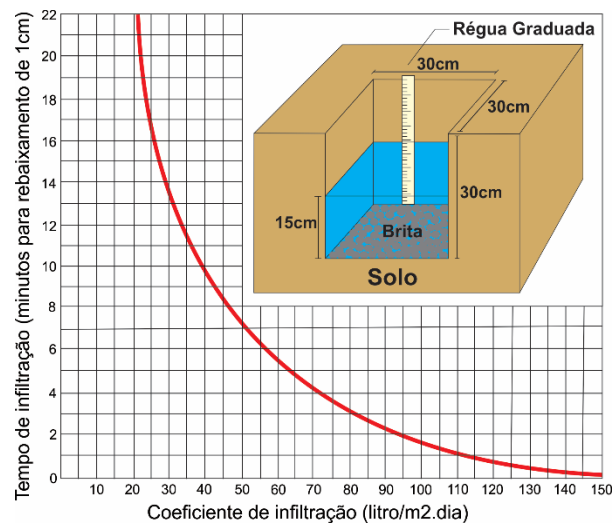
Figura 9 - Execução do ensaio de infiltração em campo.



Fonte: Arquivo pessoal.

Quando o intervalo de tempo para rebaixamento de 1cm 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 os coeficientes de infiltração do solo ($L/m^2.dia$) na curva apresentada na figura 10.

Figura 10 – Curva dos coeficientes de infiltração.



Fonte: Adaptado da NBR 7229 (1993).

O quadro 2, reproduzido da NBR 7229 (1993), apresenta faixas de variação de coeficientes de infiltração de acordo com a constituição provável dos solos.

Quadro 2 - Faixas de variação de coeficientes de infiltração de acordo com a constituição provável dos solos.

Constituição provável do solo	Coefficiente de infiltração (L/m ² .dia)	Absorção relativa
Rochas, argilas compactadas de cor branca cinza ou preta, variando de rochas alteradas e argilas mediamente compactadas de cor avermelhada.	menor que 20	Impermeável
Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom mediamente compactadas, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas.	20 a 40	Semi-impermeável
Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areias argilosas ou siltes argilosos de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60	Vagarosa
Areia ou silte argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 a 90	Média
Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos.	maior que 90	Rápida

Fonte: NBR 7229 (1993).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise química do solo

Solo contaminado é aquele que apresenta concentrações de determinado elemento químico acima do esperado em condições naturais. A contaminação por metais pesados é oriunda de atividade antrópica ou de acumulação resultante de processos biogeoquímicos ocorridos na natureza (McBRIDE, 1994). Um exemplo são os cemitérios, onde os caixões construídos de madeira não são a principal fonte de contaminação do solo, a menos que, estejam presentes, conservantes da madeira, fontes de metais pesados, principalmente Cromo, ou à base de organoclorados, como pentaclorofenol e/ou tribromofenol. As madeiras não tratadas se decompõem rapidamente, permitindo uma rápida disseminação de líquidos humorosos, por outro lado, caixões de metal, normalmente não utilizados em sepultamentos, podem causar contaminação do solo por elementos como o ferro, cobre, chumbo e zinco durante vários anos (BARROS *et al.*, 2008).

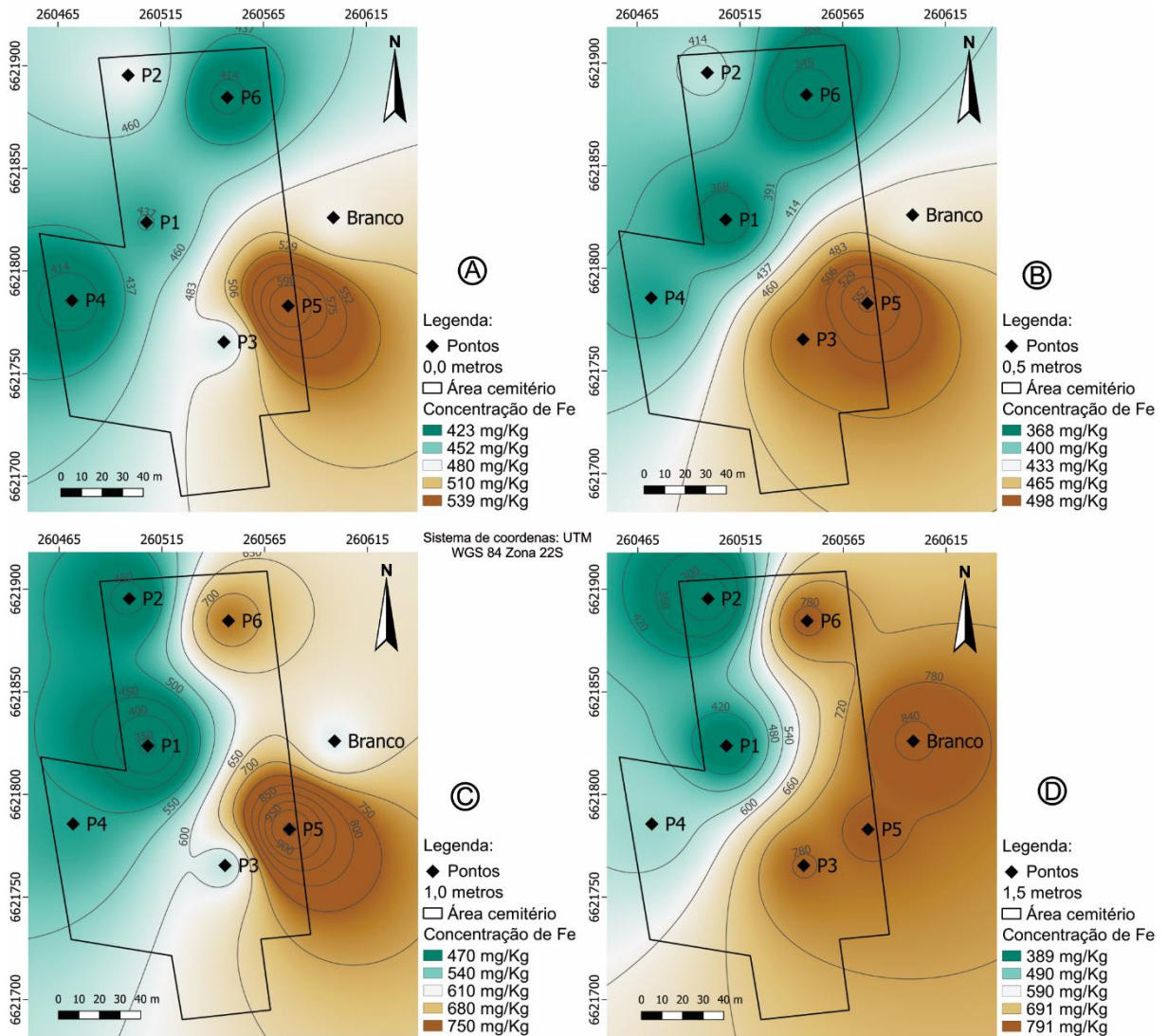
O quadro 3 apresenta os elementos analisados com suas concentrações na respectivas profundidades.

Quadro 3 - elementos analisados com suas concentrações na respectivas profundidades.

		(metros)	Concentrações mg kg ⁻¹							
Pontos de Amostragem	Branco	Profundidade	Mg	Al	Ca	Mn	Fe	Zn	Cd	Pb
		0	349,5	2220	180	10,5	483	1,5	19,5	1,5
		0,5	238,5	1920	141	12	438	1,5	28,5	0
		1	534	2265	321	10,5	600	1,5	24	0
	1,5	262,5	2760	111	9	853,5	1,5	25,5	0	
	P1	0	403,5	1560	1500	10,5	436,5	1,5	25,5	3
		0,5	213	1560	561	6	357	1,5	21	1,5
		1	484,5	1935	289,5	4,5	345	1,5	21	3
		1,5	160,5	1995	555	4,5	360	3	21	6
	P2	0	267	1845	994,5	7,5	480	1,5	21	0
		0,5	246	1740	199,5	7,5	418,5	1,5	22,5	0
		1	321	2025	160,5	9	441	0	18	1,5
		1,5	334,5	1950	165	3	262,5	0	16,5	1,5
	P3	0	709,5	2190	322,5	6	474	1,5	18	3
		0,5	273	2130	193,5	16,5	495	1,5	18	0
		1	252	2190	121,5	9	582	1,5	18	1,5
		1,5	379,5	2970	49,5	4,5	784,5	1,5	19,5	0
	P4	0	769,5	1650	1755	6	405	1,5	18	0
		0,5	405	2205	111	9	381	0	15	0
		1	258	2250	150	15	501	0	18	1,5
1,5		322,5	2085	262,5	12	517,5	1,5	16,5	1,5	
P5	0	307,5	1755	282	12	619,5	1,5	27	0	
	0,5	321	1800	90	6	555	0	24	0	
	1	564	2715	70,5	7,5	1006,5	1,5	16,5	1,5	
	1,5	493,5	2340	91,5	6	798	1,5	21	0	
P6	0	409,5	2850	154,5	1,5	409,5	0	18	0	
	0,5	0	2850	151,5	1,5	333	0	18	1,5	
	1	262,5	2865	120	4,5	729	1,5	18	0	
	1,5	408	3060	144	7,5	795	1,5	15	0	

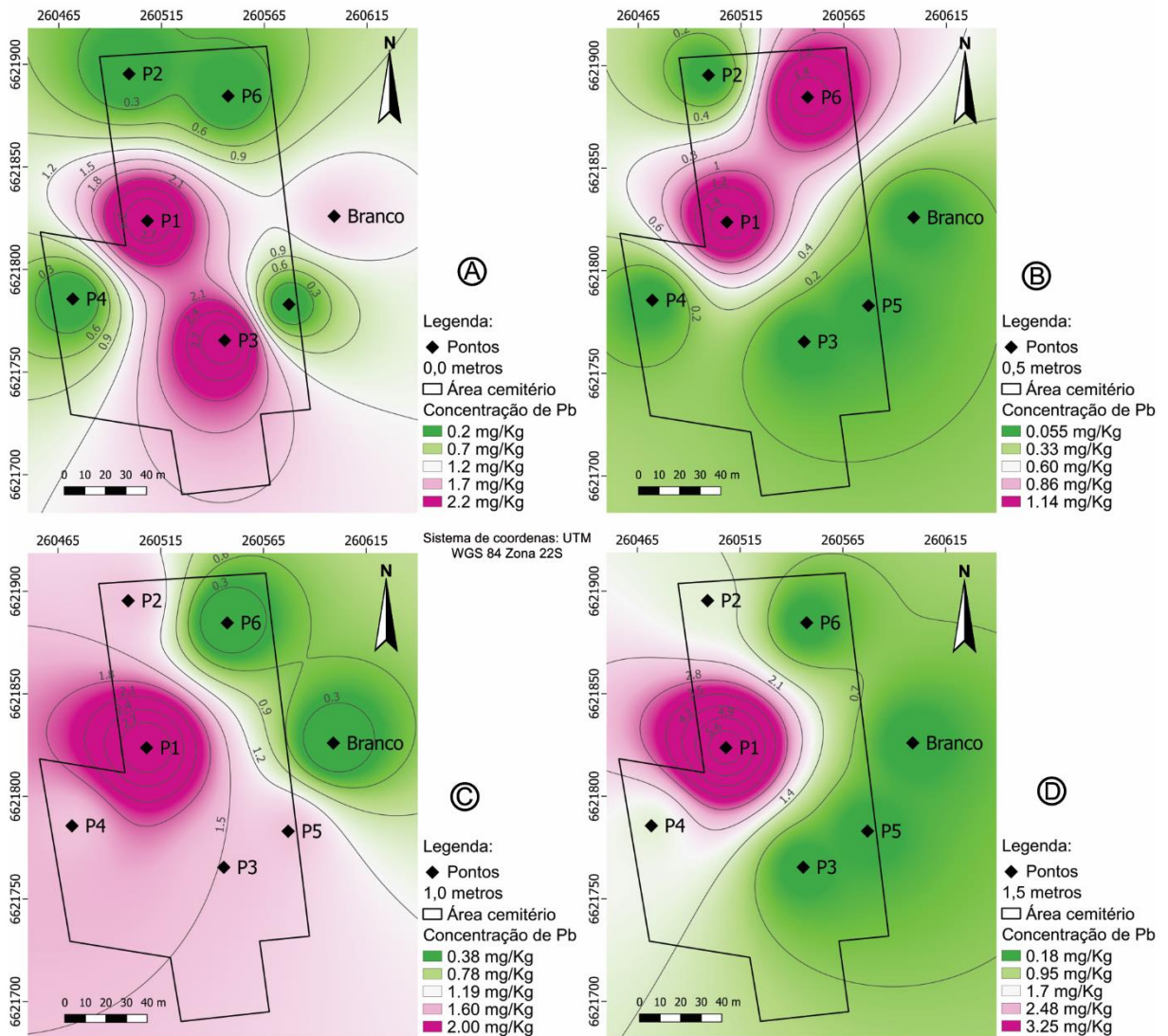
O Ferro variou de 262,5 mg.kg⁻¹ em P2 na profundidade 1,5m a 1006,5 mg.kg⁻¹ em P5 na profundidade 1m (FIGURA 11). A geoquímica do ferro é muito complexa no ambiente terrestre, e é fortemente determinada pela diversidade de seus estados de oxidação (RUSSEL, 1994 *apud* KEMERICH *et al.*, 2014). A resolução 420/2009 do CONAMA não orienta valores de prevenção para o ferro em solo, apenas para águas subterrâneas.

Figura 11 - Cartogramas das concentrações de ferro nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.



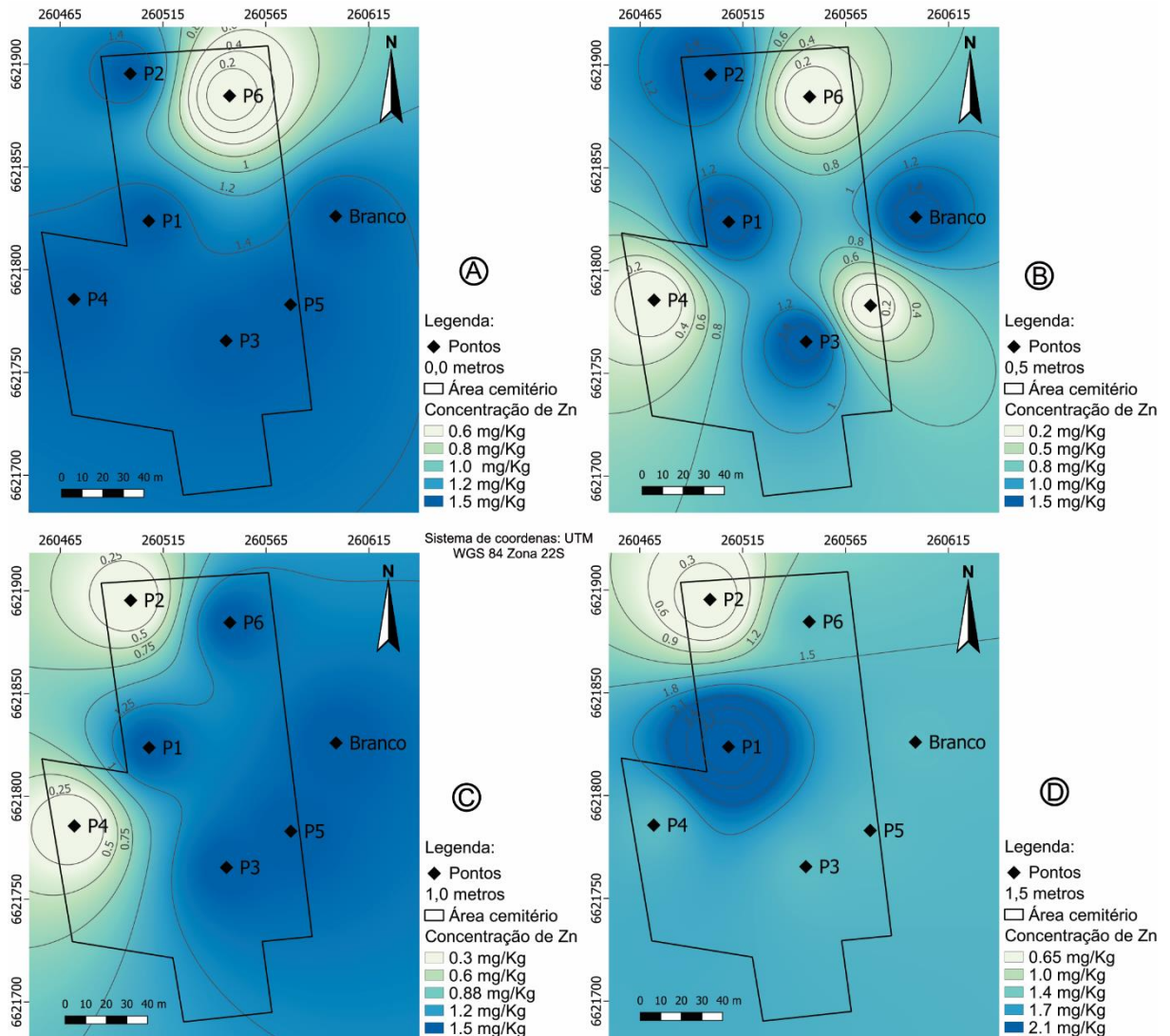
O chumbo variou desde abaixo do limite de detecção do equipamento a 6 mg.kg^{-1} em P1 na profundidade 1,5m (FIGURA 12). A resolução 420/2009 do CONAMA orienta como valor de prevenção 72 mg.kg^{-1} , indicando que os valores encontrados estão abaixo dos orientados pela Resolução do CONAMA, e, conforme ATSDR (1993) e Who (1995) *apud* Paoliello (2001) fatores como pH, composição mineralógica, matéria orgânica, substâncias coloidais, oxi-hidróxidos e concentração influenciam o transporte e disponibilidade deste elemento.

Figura 12 - Cartogramas das concentrações de Chumbo nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.



O zinco no ponto branco e em P3 apresentou concentração de $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ em todas as profundidades analisadas, enquanto os outros pontos variaram desde abaixo do limite de detecção do equipamento a $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, exceto P1 na profundidade 1,5m que obteve a maior concentração encontrada de 3 mg.kg^{-1} (FIGURA 13). A resolução 420/2009 do CONAMA orienta como valores de prevenção até 300 mg.kg^{-1} , o que indica que os valores encontrados no solo do cemitério em estudo estão de acordo com esta resolução, porém em altas concentrações, esse metal é potencialmente tóxico (LI *et al.*, 2002).

Figura 13 - Cartogramas das concentrações de zinco nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.



As concentrações de magnésio variaram desde abaixo do limite de detecção do equipamento em P6 na profundidade 0,5m a $769,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ detectada na superfície do solo do ponto P4 (FIGURA 14), enquanto os valores de cálcio detectados nas amostras obtiveram valores mais altos na superfície de P1, P2 e P4 com concentrações 1500 , $994,5$ e 1755 mg.kg^{-1} respectivamente. A concentração mais baixa situou-se em P3 na profundidade 1,5m com $49,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ (FIGURA 15). Segundo Silva (2011) estes íons básicos (Cálcio e Magnésio) tornam os solos menos ácidos, ou quando em excesso, mais alcalinos. A resolução 420/2009 do CONAMA não orienta valores para estes elementos.

Figura 14 - Cartogramas das concentrações de magnésio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.

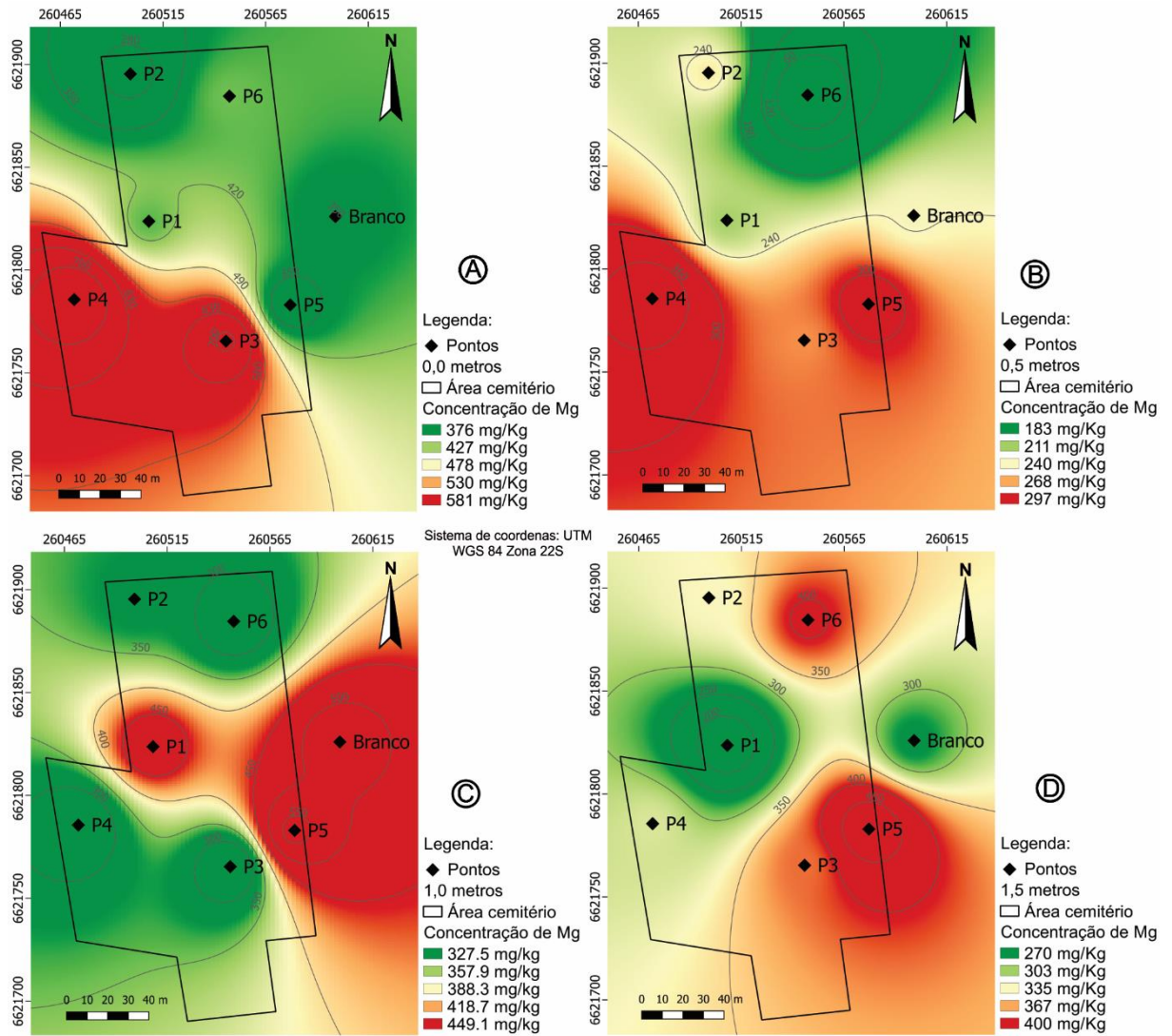
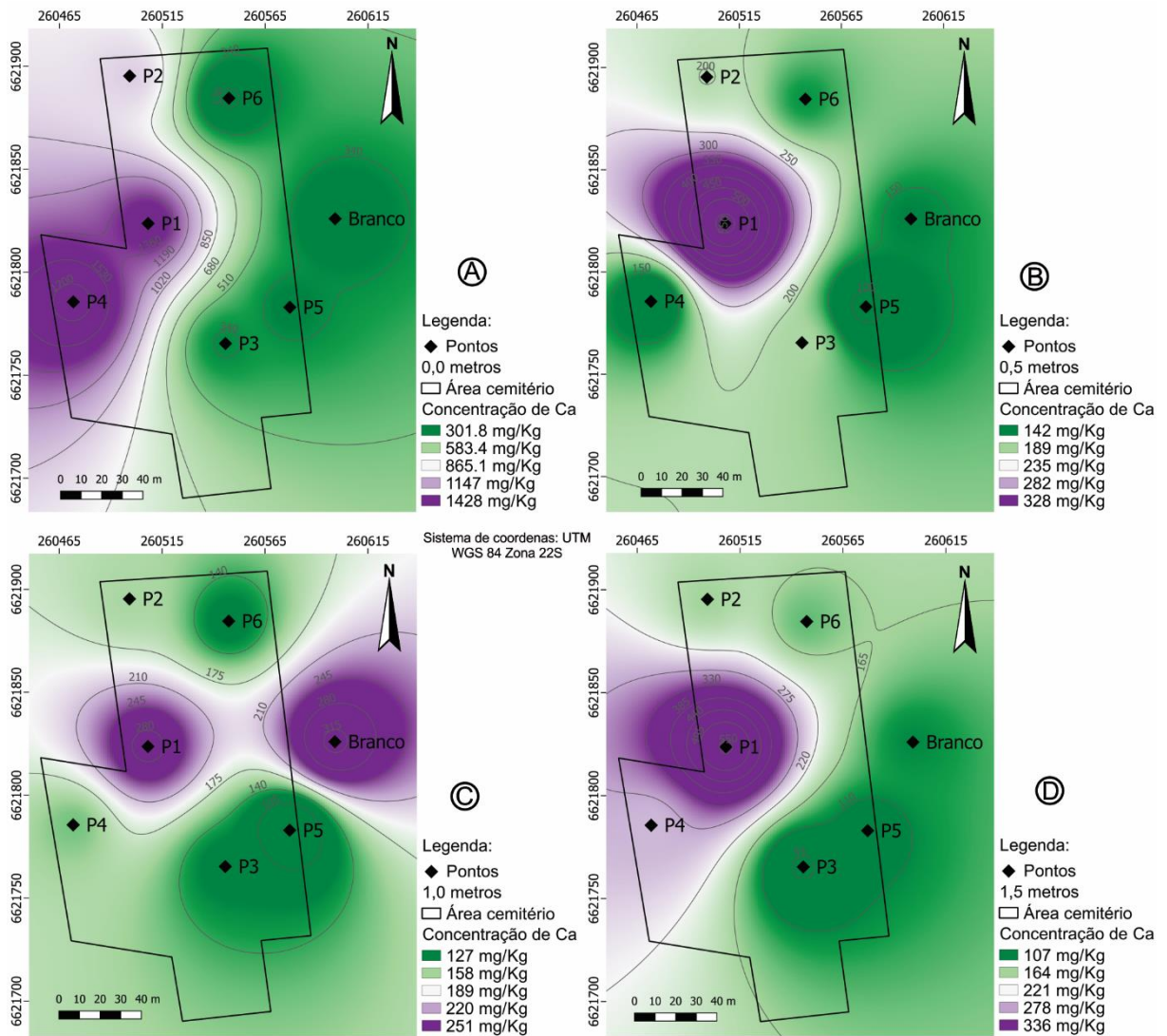
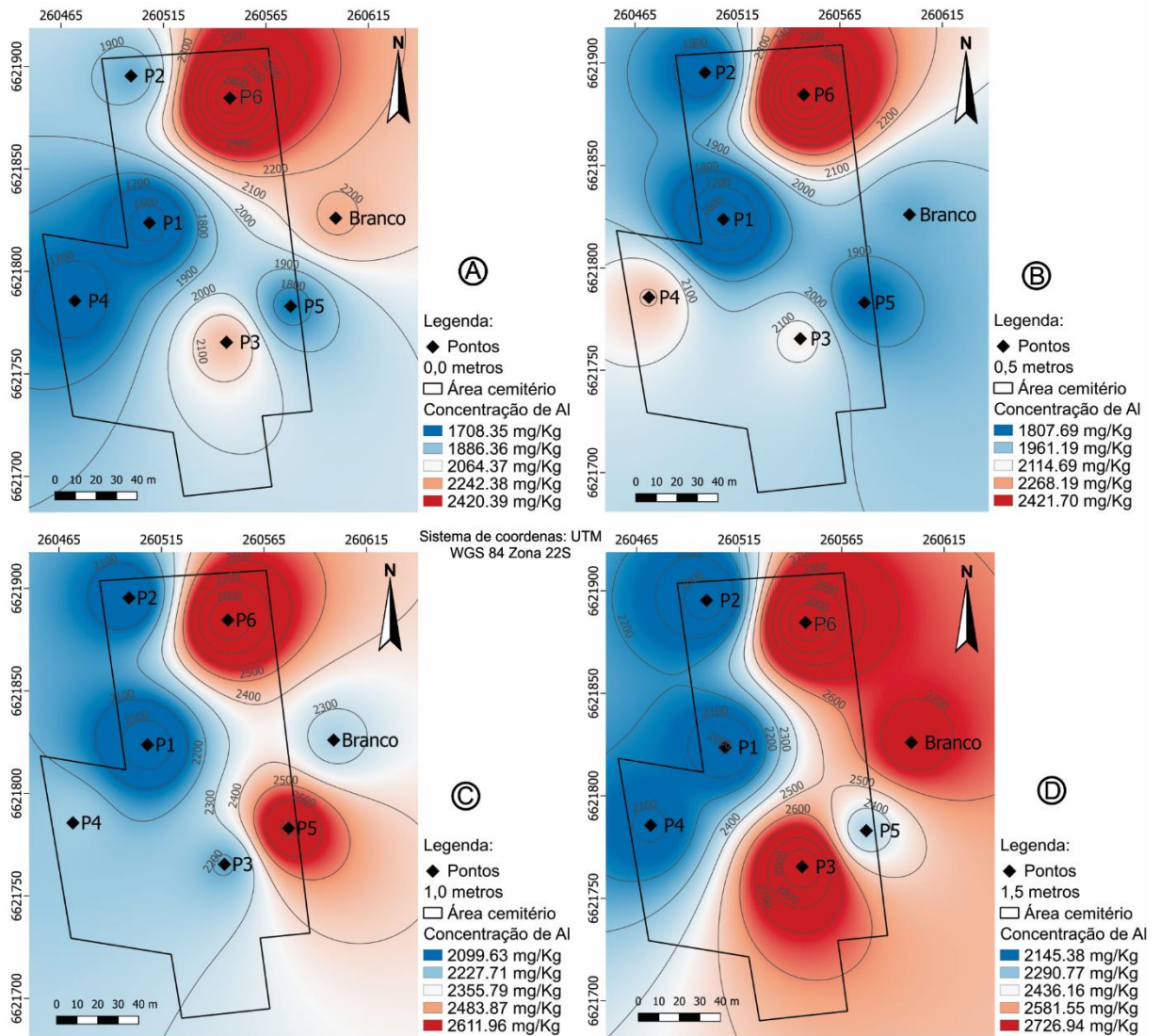


Figura 15 - Cartogramas das concentrações de cálcio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.



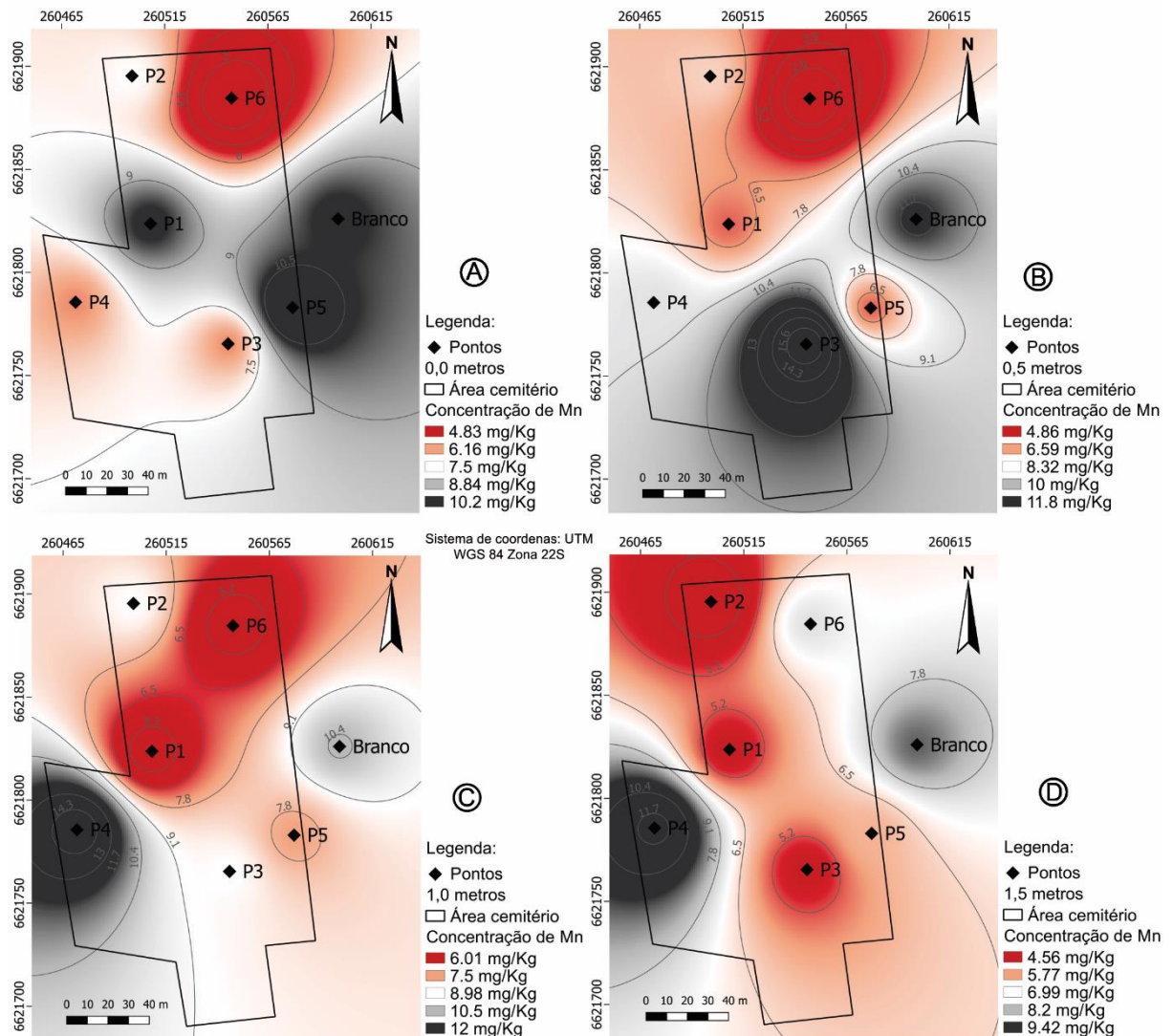
O alumínio apresentou as maiores concentrações dentre os elementos analisados, variando desde 1560 mg.kg^{-1} em P1 nas profundidades 0m e 0,5m a 3060 mg.kg^{-1} em P6 na profundidade 1,5m (FIGURA 16). Segundo (HEM, 1970), o alumínio ocorre em abundância em granitos, o que pode justificar as maiores concentrações para este elemento tendo em vista a composição geológica da área em estudo. A resolução 420/2009 do CONAMA não orienta valores para o alumínio em solo, apenas para águas subterrâneas.

Figura 16 - Cartogramas das concentrações de alumínio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.



Segundo Nascimento (2006), as principais formas de ocorrência de manganês no solo são aquelas em que ele se encontra participando da estrutura dos minerais e como complexos associados à matéria orgânica. Este elemento variou de $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ em P6 nas profundidades 0m e 0,5m a $16,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ em P3 na profundidade 0,5m (FIGURA 17). Agourakis (2006) afirma que o manganês, apesar de ser essencial aos seres vivos em baixas concentrações, é particularmente tóxico quando em concentrações elevadas.

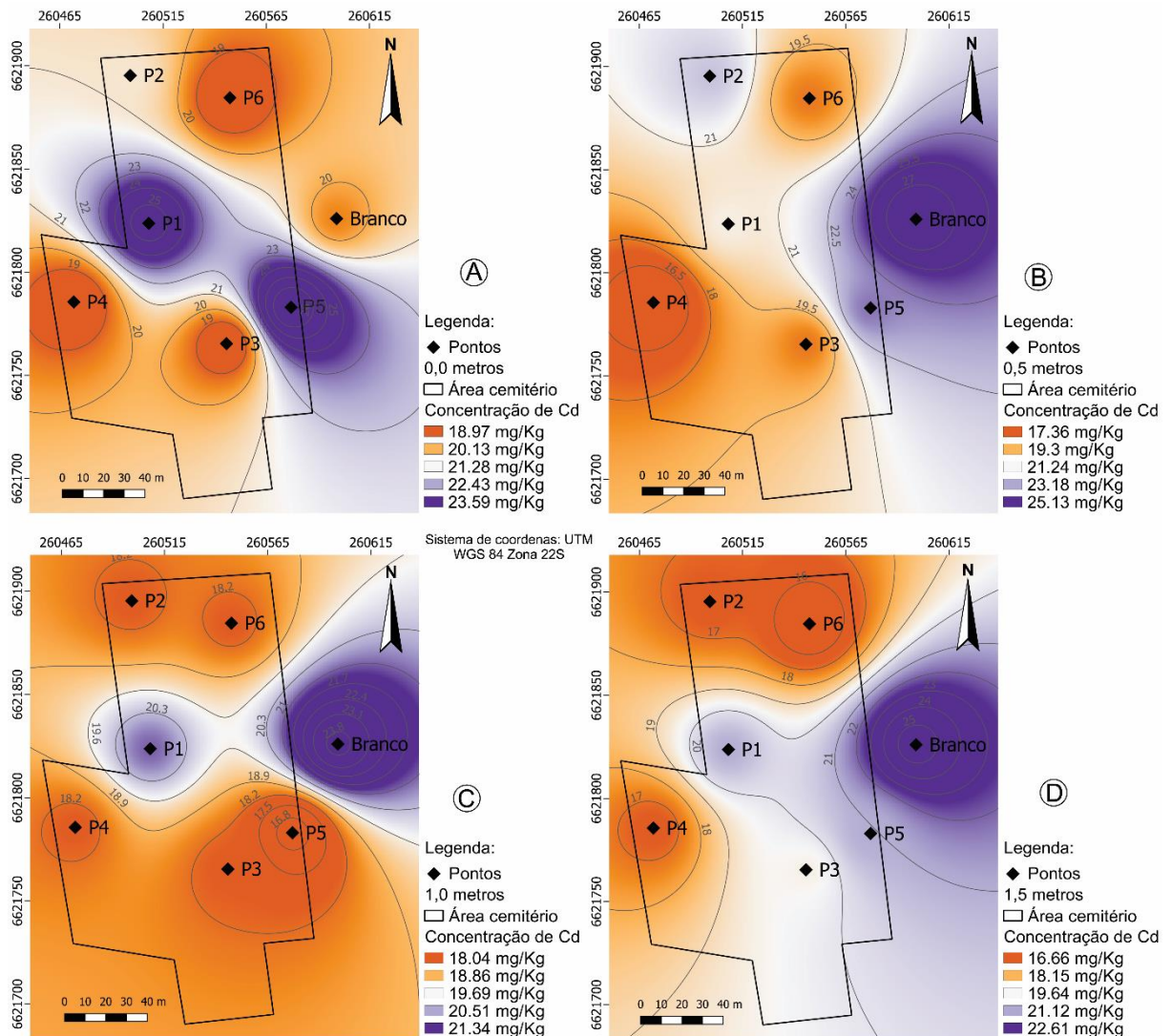
Figura 17 - Cartogramas das concentrações de manganês nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.



O Cádmiio pode ser adsorvido pelo solo por meio de forças eletrostáticas simples ou pode estar intimamente associado a óxidos, a carbonatos e à matéria orgânica (ANDERSEN *et al.*, 2002). Este elemento no solo da área em estudo variou de 15 mg.kg⁻¹ em P4 na profundidade 0,5m a 28,5 mg.kg⁻¹ na profundidade 0,5m do ponto Branco (FIGURA 18). Os valores de prevenção orientados para o cádmio na Resolução 420/2009 do CONAMA é de 1,3 mg.kg⁻¹, o que significa que os valores encontrados na área em estudo ultrapassam esta orientação, o que pode ser um grande problema. Conforme LEI *et at.*, (2010) o cádmio (Cd) é um elemento sem função biológica conhecida e é considerado um dos metais mais perigosos no

ambiente, pois pode afetar seres humanos e outros seres vivos em concentrações relativamente baixas e também possui alta mobilidade nos solos.

Figura 18 - Cartogramas das concentrações de cádmio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.



A portaria FEPAM nº 85 de 2014 determinou as concentrações de metais pesados para cinco grupos de solos originados nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do estado do Rio Grande do Sul, onde o grupo Rochas Cristalinas do Escudo Sul-riograndense foi utilizado para orientação devido a geologia do local. Os valores de referência de qualidade para os elementos Zinco e Chumbo são de 31 mg.kg^{-1} e 18 mg.kg^{-1} respectivamente, estando dentro dos valores estabelecidos pela portaria, enquanto para o Cádmio estabeleceu-se 0,4

mg.kg⁻¹, estando em desacordo tanto na Resolução do CONAMA quando na portaria da FEPAM.

4.2 Permeabilidade

A partir dos ensaios de condutividade hidráulica realizados na área de estudo, foram obtidos os resultados demonstrados na tabela 2, os quais serão discutidos a seguir.

Tabela 2 - Resultados do teste de condutividade hidráulica.

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

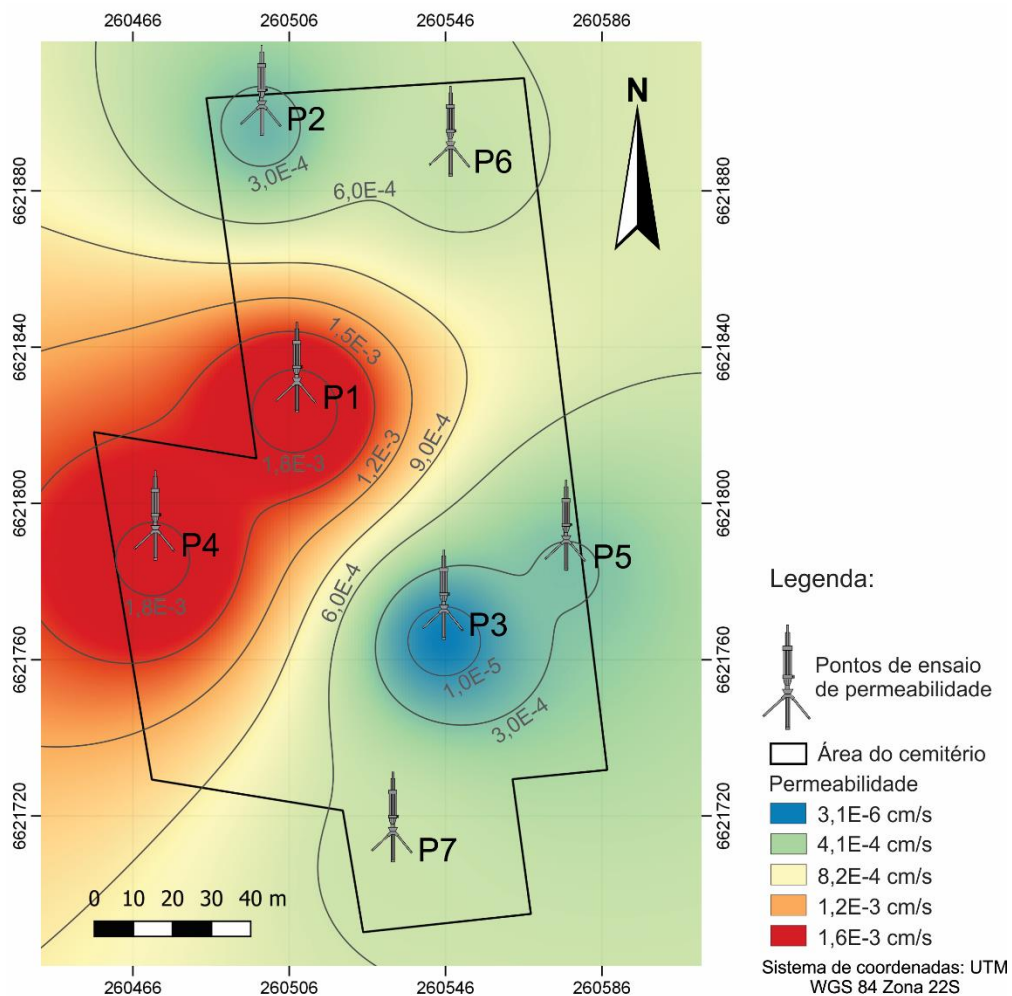
O grau de permeabilidade nos pontos estudados variaram de médio a muito baixo conforme Tarzaghi & Peck (1967), apresentando características de solo constituído por areias, areias finas siltosas e argilosas e siltes argilosos, segundo Mello & Teixeira (1967) (QUADRO 1), o que condiz com o tipo de solo da região, neossolo distrófico, visto que apresentam texturas argilosas, siltosas e médias (EMBRAPA, 1999).

Em P1 foi identificado a maior permeabilidade com valor de 1,94.10⁻³ cm.s⁻¹ seguido por P4 com 1,86.10⁻³ cm.s⁻¹, sendo classificados como solos de permeabilidade média, ambos locais provenientes de aterramento, o que pode justificar a maior permeabilidade nestes pontos, já que os componentes constituintes destas áreas apresentaram texturas arenosas. Em P2, P5, P6 e P7 a condutividade hidráulica foi classificada como baixa, apresentando valores na ordem de 10⁻⁴ cm.s⁻¹. A menor condutividade hidráulica 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. Estudos realizados por Jesus *et al.* (2013) em Bauru - SP revelaram permeabilidades de

$5,3 \cdot 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ para solo constituído por areia siltosa, $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$ para solo arenoso e $2,7 \cdot 10^{-7} \text{ cm.s}^{-1}$ para solo proveniente de areia silto-argilosa e Sousa & Celligoi (2011) em Londrina - PR, utilizando o mesmo método, mostraram resultados de condutividade hidráulica variando de média a baixa com valores entre $7,7 \cdot 10^{-3}$ e $7,3 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$, o que evidencia um certo padrão no método utilizado para as diferentes texturas dos solos estudados.

A figura 19 apresenta um cartograma com os sete pontos ensaiados com suas respectivas permeabilidades na área do cemitério municipal de Caçapava do Sul.

Figura 19 - Cartograma de permeabilidade da área de estudo.



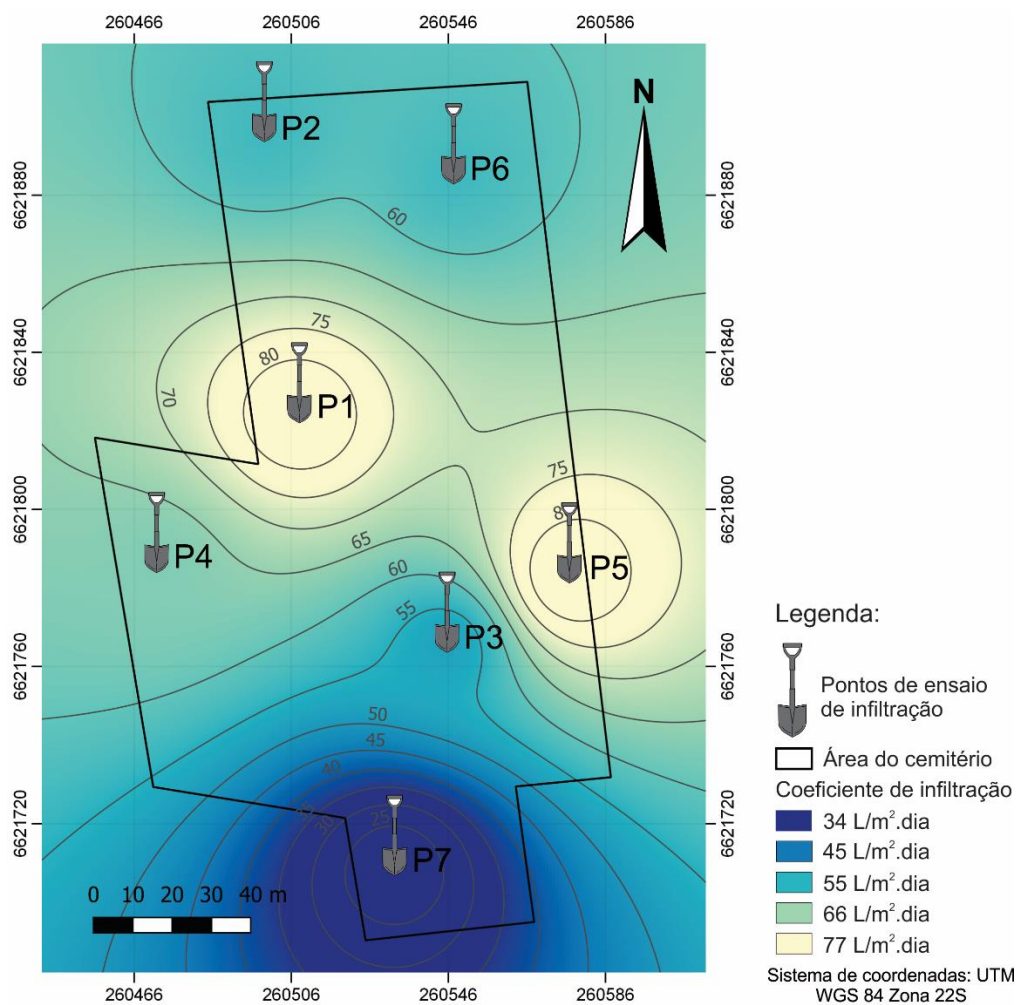
Apesar dos testes apresentarem baixos valores de permeabilidade, apenas P3 está em conformidade com a resolução do CONAMA 335/2003, que estipula valores iguais ou menores a $10^{-5} \text{ cm.s}^{-1}$ para solos em áreas de cemitérios. Fator

preocupante devido os cemitérios serem considerados fonte de impactos ambientais para águas subterrâneas e superficiais.

4.3 Coeficiente de infiltração

A figura 20 apresenta um cartograma ilustrando os locais da área do cemitério onde os testes de infiltração foram realizados e os coeficientes de infiltração obtidos.

Figura 20 - Cartograma de infiltração da área de estudo.



A infiltração variou de 21 a 85 L/m².dia (TABELA 3), onde P1 e P5 apresentaram os maiores coeficientes, ambos com 85 L/m².dia e P4 com 63 L/m².dia. Os três pontos apresentaram absorção relativa classificada como média, onde suas características são de solos arenosos a silte-argilosos (QUADRO 2). P3, P2 e P6 mostraram absorção relativa classificada como vagarosa com valores de

52,5, 57 e 57 L/m².dia respectivamente, classificando-se como solos constituídos por argilas arenosas ou siltosas, variando de areias argilosas ou siltes argilosos (QUADRO 2). Em P7 foi encontrado o menor coeficiente de infiltração com valor de 21 L/m².dia enquadrando-se como solo semi-impermeável variando de argila a argilas pouco siltosas ou arenosas.

Segundo Silva & Araújo (2003), quanto maior a capacidade de infiltração da água, 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 ao espalhamento de plumas contaminantes. Já os terrenos argilosos, que são de baixíssima permeabilidade, dificultam o fluxo de fluidos, sejam eles contaminantes ou não.

Tabela 3 - Resultados dos testes de Infiltração.

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

5 CONCLUSÕES

O cemitério municipal de Caçapava do Sul encontra-se em uma área de condutividade hidráulica variando de média a muito baixa (TARZAGHI & PECK, 1967). Neste cemitério constataram-se valores de condutividade hidráulica de até 10⁻³ cm.s⁻¹, estando em desconformidade com a resolução do CONAMA 335/03.

O coeficiente de infiltração apresentou, em sua maior parte, baixa absorção, o que é um ponto positivo, tendo em vista o potencial poluidor deste empreendimento.

Pode-se observar que o cemitério municipal está localizado em uma área que favorece a lixiviação de possíveis contaminantes para o solo e água devido as sua composição textural.

Dentre os elementos químicos analisados apenas o cádmio apresentou concentrações acima do valor máximo permissível. Porém é necessário um estudo aprofundado do solo desta região para comprovar se a origem deste elemento no solo é de origem antropológica.

REFERÊNCIAS

ABNT-NBR **7229 (1993)**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro.

AGOURAKIS, D. C., de Camargo, I. M. C., Coirim, M. B., & Flues, M. **Comportamento de zinco e manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo**. *Química Nova*, 29(5), 960, 2006.

ALCÂNTARA, Larissa Azambuja et al. **Contaminação de recursos naturais por necrópoles**. *Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas*, v. 11, n. 1, p. 17-28, 2010.

ALMEIDA, Adriano M., MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Parâmetros Físico-Químicos de Caracterização da Contaminação do Lençol Freático por Necrochorume**. 2005 12 f. Dissertação – Instituto Viana Júnior, Juiz de Fora, 2005.

ANDERSEN, M. K., Raulund Rasmussen, K., Hansen, H. C. B., & Strobel, B. W. **Distribution and fractionation of heavy metals in pairs of arable and afforested soils in Denmark**. *European Journal of Soil Science*, 53(3), 491-502, 2002.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. **Condutividade hidráulica saturada e não saturada de Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 403-407, 2004.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Hidrologia aplicada**. 2002. 2012. p. 56.

BARROS, J. I.; MELO, V. DE F.; ZANELLO, S.; ROMANÓ, E. N. DE 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*, Vol.32, p.1763-1773, 2008.

BAZAES CASANOVA, Aliosha Andro W. **Comparación de corrección teórica de efecto matriz, análisis de interferencias y corrección por compensación para equipos portátiles de fluorescencia de rayos x en minerales y suelos**. 2013.

BETIM, Luiza Silva et al. **Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Córrego Palmital Viçosa/MG**. 2013.

BITENCOURT, M. F. **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico**. Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, v. 1, p. 37-48, 1983.

BOLZAN, Marcelo Veber. **Estudo da Utilização de Resíduos da Mineração de Calcário na Produção de Blocos de Concreto para Construção Civil**, Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Mineração da Faculdade Federal do Pampa – UNIPAMPA, 2015.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, Minas Gerais, Ed. UFV, 2009. 120 p.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 335 de 03 de Abril de 2003** – Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res03/res33503.xml>> Acesso em: 16 de Abr. de 2016.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº420, de 28 de Dezembro de 2009** - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 14 de Abr. de 2016.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº402, de 17 de Novembro de 2008** - Altera os artigos 11 e 12 da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=590>> Acesso em: 15 de abr. de 2016.

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) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2007.

CARTER, M. R. **Soil sampling and methods of analysis**. Canadian Society Soil Science, 1993. p. 823.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. Piracicaba, 2002. 86p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

CASTRO, David L. de. **Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza – CE**. Revista Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 251-271, 2008.

CELLIGOI, André *et al.* **Utilização do Permeâmetro Guelph na determinação da Condutividade Hidráulica da Zona não Saturada do Aquífero Freático nas Imediações do Lixão de Londrina-PR**. Águas Subterrâneas, 2006.

CHRISTANTE, L. **Poluição após a morte**. 2011. Disponível em: http://www.unesp.br/aci_ses/revista_unesp-ciencia/acervo/25/quem-diria Acesso em: 04 de abr. de 2016.

CPRM - **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais**. 2005. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SIAGAS.

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

DAS, B. M. **Advanced soil mechanics**. 3 ed. London and New York: Taylor & Francis, 2008. 567p.

DELLEUR, J. W. **The Handbook of Groundwater Engineering**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. 969 p.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. **Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses**. Groundwater Monitoring & Remediation, v. 9, n. 3, p. 184-193, 1989.

ELTZ, F. L. F., PEIXOTO, R. T. G., JASTER, F. **Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruna Álico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.13, p.249-167, 1989.

EMBRAPA, Pesquisa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de classificações de solos**, 1979 Rio de Janeiro, 235 p.

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

FARIA, Sheila de Castro. **Viver e morrer no Brasil colônia**. São Paulo: Moderna, 1999, p.56.

FERNANDES, M. M. **Mecânica dos Solos - Conceitos e Princípios Fundamentais**. Porto: FEUP, 2006. 450p.

FINEZA, A. G. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro – MG**. 2008, 54 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008.

HEM, J. D. **Chemical behavior of mercury in aqueous media. In Mercury in the Environment** (Vol. 713, pp. 19-24). Washington, DC: US Government Printing Office. 1970.

HURTADO, Ana Lúcia Berretta; CICHOTA, Rogerio; VAN LIER, Q. de J. **Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação**. Bras. Ci. Solo, v. 29, p. 301-307, 2005.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Academic Press, Orlando, 1980, 385p.

JESUS, Lucas Scarpanti de; FERNANDES, Jeferson Brito; GIACHETI, Heraldo Luiz. **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.

KEMERICH, P; D; da C. et al. **Variação Espacial da Qualidade da Água Subterrânea em Área Ocupada por Cemitério tipo Parque Jardim**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 9, n. 3, 2012.a.

_____. **Valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério**. Revista Ambi-Água, v. 7, p. 140-156, 2012.b.

_____. **Potencial de Contaminação do Solo em Cemiterio na Cidade de Seberí-RS**. Ciência e Natura, v. 35, n. 2, p. 119, 2013.

_____. **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. 13, n. 1, p. 2875-2889, 2014.a.

_____. **A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil.** Revista Monografias Ambientais (Fechada para submissões por tempo indeterminado), v. 13, n. 4, p. 3777-3785, 2014.b.

KLUTE, A.; DIRKSEN, Ch. **Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods.** Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods, n. methodsofsoilan1, p. 687-734, 1986.

LEI, M., Zhang, Y., Khan, S., Qin, P. F., & Liao, B. H. **Pollution, fractionation, and mobility of Pb, Cd, Cu, and Zn in garden and paddy soils from a Pb/Zn mining area.** *Environmental monitoring and assessment*, 168(1-4), 215-222, 2010.

LI, X., CHEN, B., FENG, G., & CHRISTIE, P. **Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants.** 17th WCSS, Thailand, 2002.

MATOS, B.A. **Avaliação da Ocorrência e do Transporte de Microrganismos no Aquífero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo.** 2001.172 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo 2001.

McBride, M. B. (1994). **Environmental chemistry of soils.** Oxford university press.

MESQUITA, Maria da Glória Bastos de et al. **More adequate probability distributions to represent the saturated soil hydraulic conductivity.** *Scientia Agricola*, v. 59, n. 4, p. 789-793, 2002.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, **Portaria nº 518, de 25 de Março de 2004**, Disponível em: http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518.pdf acesso em: 01 de abr. de 2016.

NASCIMENTO, S. C., Hypolito, R., & Ribeiro, A. A. **Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica.** *Eng. Sanit. Ambient*, 3, 196-202, 2006.

NEIRA, D. F.; et al.; **Impactos do Necrochorume nas Águas Subterrâneas do Cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil**. *Natureza on-line*, 2008.

OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro – SP**. 196 f. (Dissertação de Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro, 196f. 2006.

PACHECO, Alberto. **Cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento**. *Revista do SPAM*, v. 4, n. 17, p. 25-31, 1986.

PACHECO, ALBERTO. **Meio ambiente & cemitérios**. São Paulo: Editora Senac, 2012.

PACHECO, A.; BATELLO, E. **A influência de fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios**. *Revista Engenharia e Arquitetura*, v. 2, n. 1, p. 32-39, 2000.

PAOLIELLO, M., Chasin, A. A., & da Bahia, B. G. D. E. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. In *Cadernos de Referencia Ambiental*, 003. CRA, 2001.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N. ANTUNES, V. L. **Infiltração de água no solo**, 1997. 26p. (Caderno Didático, 25).

REIS, JOÃO JOSÉ. **A morte é uma festa: ritos fúnebres e revolta popular no Brasil do século XIX**. Companhia das Letras, 1991.

REIS SOBRINHO, B. M. **Cemitério e Meio Ambiente**. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental). Universidade Católica do Salvador – BA, 2002, p12.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; TOPP, G. C. ***A Reexamination of the Constant head well Permeameter Method for Measuring Saturated Hydraulic Conductivity Above the Water Table***¹. *Soil Science*, v. 136, n. 4, p. 250, 1983.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. 2. ed. São Paulo. McGraw – Hill. v. 2, p. 1048- 1060, 1994.

SANTILLO, TECNOLÓGICAS–HENRIQUE. **Velocidade de Infiltração da água no solo Irrigado por pivô central no município de Silvânia-GO**, Monografia apresentada à Universidade Estadual de Goiás – CCET, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, 2015.

SANTOS, Maurício Moreira dos. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. 2005.

SILVA, L. M. **Degradação Ambiental Causada por Cemitérios**. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA. 1994.

SILVA, Robson Willians da Costa; MALAGUTTI FILHO, Walter. **Emprego do imageamento elétrico no estudo da contaminação por cemitérios**. Geociências (São Paulo), v. 29, n. 3, p. 343-354, 2010.

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

SILVA, S. A. S. da. **Atributos químicos e microbiológicos em latossolo amarelo sob sistemas agroflorestais e floresta secundária em Bragança**. 2011. 100f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.

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

SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa; CELLIGOI, André. **Avaliação da condutividade hidráulica do solo em área agrícola e florestada na cidade de Londrina (PR) através do permeâmetro Guelph**. doi: 10.4025/bolgeogr.v29i2.11184. Boletim de Geografia, v. 29, n. 2, p. 123-133, 2011.

TRINDADE, Samuel Guizeline. **Subsídios para implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro/SP**. 2009.

WEBER, D. P. **Análise da normatização acerca da implantação de cemitérios**. 2010. 39f. Dissertação (Especialização em Gestão Ambiental) – Área de Ciências Naturais e Tecnológicas, Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2010.

ZHANG, Zhuanfang F.; GROENEVELT, Pieter H.; PARKIN, Gary W. **The well-shape factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph Permeameter**. Soil and Tillage Research, v. 49, n. 3, p. 219-221, 1998.