



**Índices Físicos do Solo e Alterações Químicas Decorrentes da
Ocupação por Necrópoles em Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul**

Physical Indexes of Soil and Chemical Alterations Due to
Occupation by Necropolis in Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

Leonardo Rosa da Silva¹; Milene Priebe e Silva¹; Mayara Bitencourt Leão¹; Ary Sá de Figueiredo¹;
Pedro Daniel da Cunha Kemerich¹; Gabriel D'Avila Fernandes² & José Luiz Silvério da Silva²

¹Universidade Federal do Pampa, Av. Pedro Anunciação n° 111, Vila Batista, 96570000, Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

²Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima n° 1000,

Cidade Universitária, Bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mails: leonardorosa.esa@gmail.com; milene.priebe@gmail.com; maybitencourt@gmail.com;
ary3eng@gmail.com; eng.kemerich@yahoo.com.br; enggabrielfernandes@gmail.com & silverioufsm@gmail.com

Recebido em: 05/02/2018 Aprovado em: 22/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_328_342

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 como infiltração e permeabilidade são muito importantes para a implantação ou regularização de cemitérios. O presente estudo teve como objetivos determinar a permeabilidade e a qualidade química do solo a fim de comparar com as resoluções do CONAMA 335/03 e CONAMA 420/09 e determinar o coeficiente de infiltração do solo na área do cemitério Municipal de Caçapava do Sul. 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. A análise granulométrica utilizou o procedimento descrito na ABNT-NBR/6502/95. Foram realizados sete ensaios de permeabilidade utilizando um permeâmetro Guelph modelo 2800. A obtenção dos valores de coeficiente de infiltração do solo seguiu o descrito pela ABNT-NBR/7229/93, onde também foram realizados sete ensaios. Para as análises químicas, dentre os elementos analisados, apenas o cádmio ultrapassou os valores de orientação de qualidade. O solo do presente estudo foi classificado como areia silto-argilosa. 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 L/m².dia enquadrando-se como solo semi-impermeável.

Palavras-chave: Cemitério; condutividade hidráulica; Guelph; infiltração

Abstract

Cemeteries are an environmental and sanitary problem, while at the same time they represent a public need. Many cemeteries were installed in unsuitable areas, resulting in the contamination of soil and water resources. Physical features of soil as infiltration and permeability are very important to deployment or regularization of cemeteries. This study aimed to determine the permeability and chemical quality to compare with resolutions of CONAMA 335/03 and CONAMA 420/09, and determine the coefficient of soil infiltration into soil occupied by the cemetery in the town of Caçapava do Sul-RS. We used the technique of Fluorescence Spectroscopy Energy Dispersive X-ray (ED-XRF) Bruker brand, model S1 Turbo SD to 7 different sites and 4 different depths of soil. For granulometric analysis the technique described by ABNT-NBR/6502/95. Seven tests were conducted using the Guelph permeameter, model 2800. For determining the coefficient of soil infiltration, the technique described by ABNT-NBR/7229/93, in 7 soil samples. The results showed that only cadmium exceeded higher levels than permitted by the legislation. The soil were classified as Sand Silt-Clay. The results pointed the permeability between $5,87 \cdot 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ and $1,94 \cdot 10^{-3}$, exceeding the limits of legislation, while the results of the infiltration is between 21 and 85 L/m².d, framing as Semi waterproof.

Keywords: Cemetery; hydraulic conductivity; Guelph; infiltration

1 Introdução

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).

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.* (2014) 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

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 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 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 constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm.s⁻¹, 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 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.

2 Metodologia

2.1 Localização e Caracterização da Área em 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 de 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 de 5 mil corpos sepultados. A localização e o acesso à área de estudo estão representados na figura 1.

2.2 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

Índices Físicos do Solo e Alterações Químicas Decorrentes da Ocupação por Necrópoles em Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

Leonardo Rosa da Silva; Milene Priebe e Silva; Mayara Bitencourt Leão;
Ary Sá de Figueiredo; Pedro Daniel da Cunha Kemerich; Gabriel D'Avila Fernandes & José Luiz Silvério da Silva

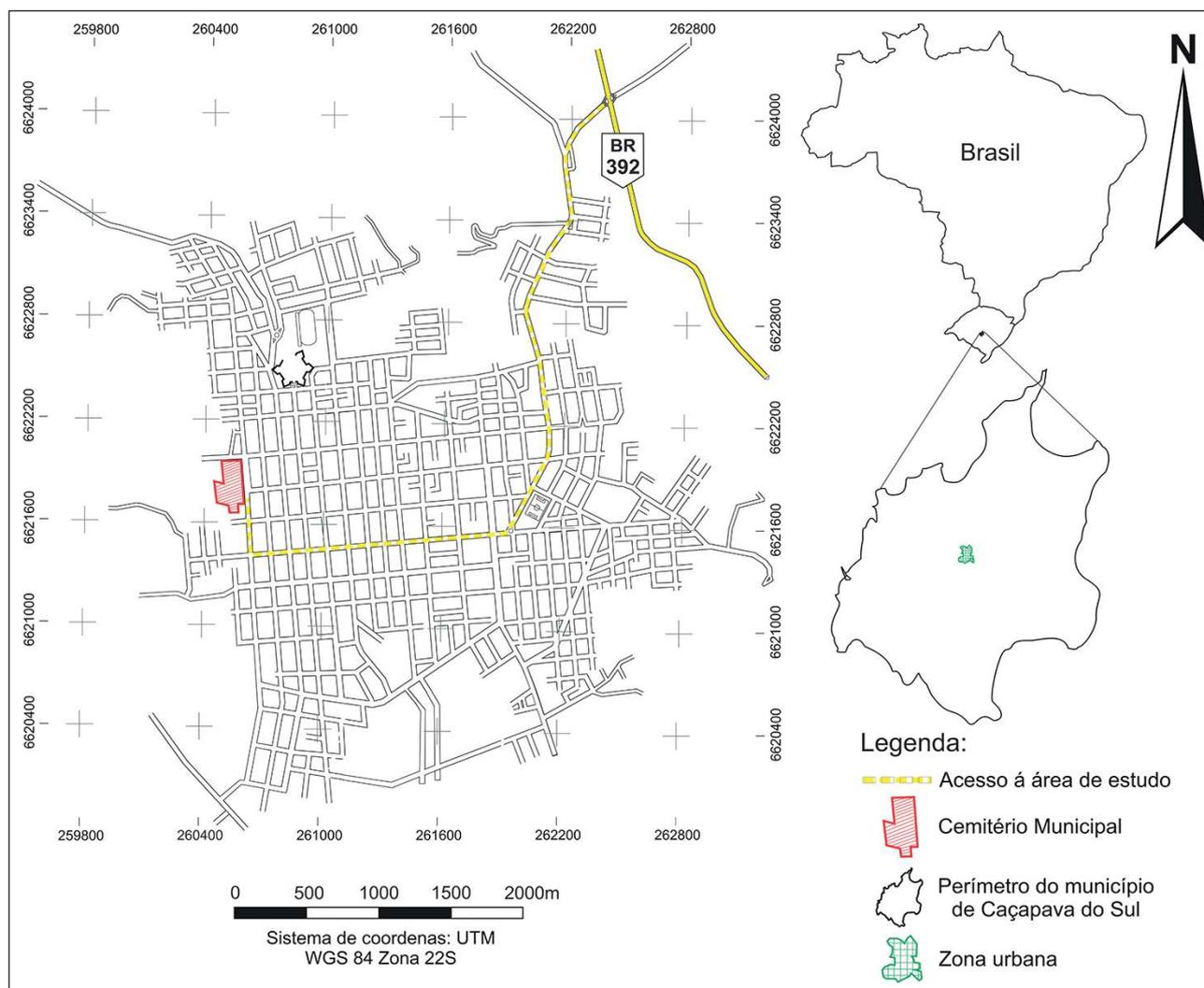


Figura 1 Mapa de localização e acesso ao cemitério municipal de Caçapava do Sul

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).

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 lítico 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).

2.3 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) (Figura 2). Todos os pontos foram localizados com o auxílio de um GPS da marca Garmin modelo Etrex 10.

2.4 Coleta e Análise Química do Solo

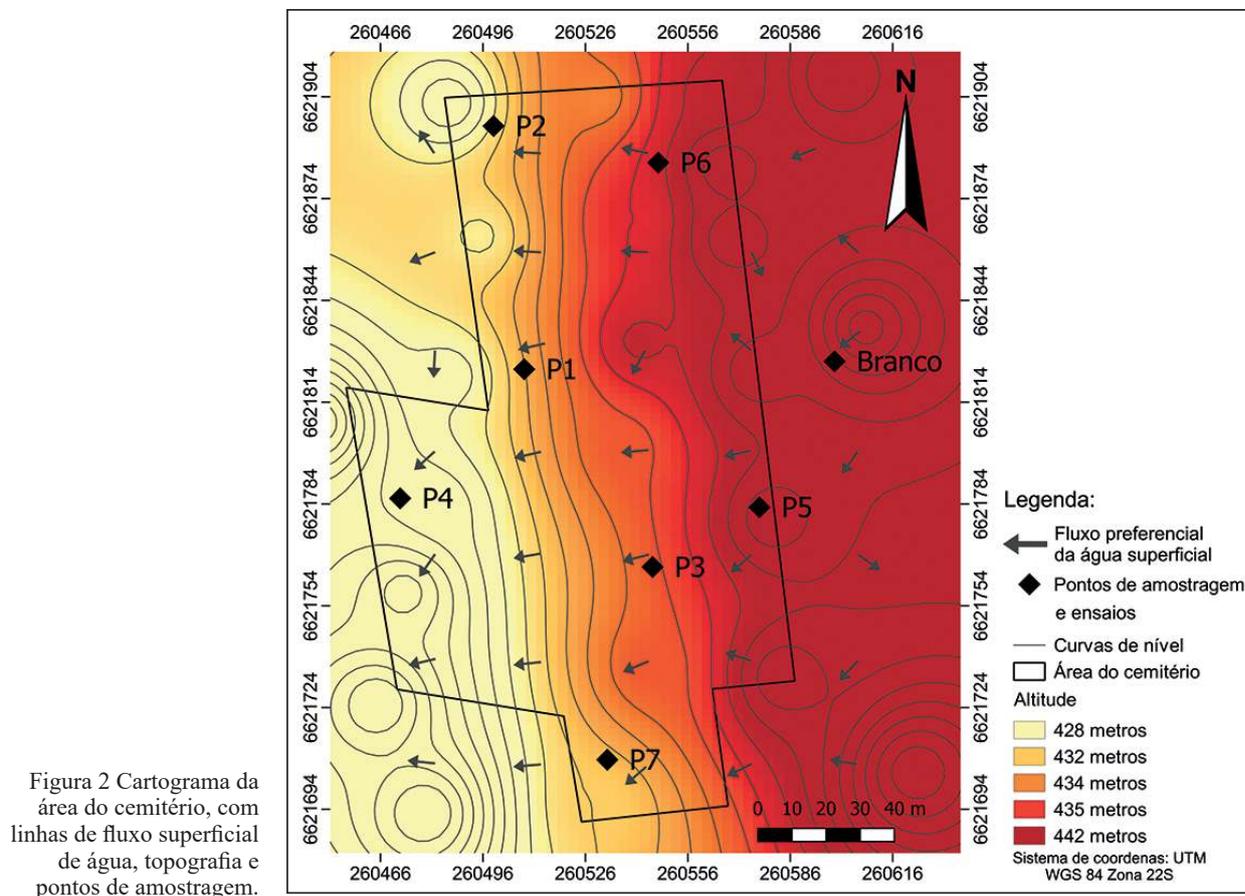
Foram considerados sete pontos de amostragem que receberam a nomenclatura de Branco, P1, P2, P3, P4, P5, P6 apresentados na figura 2. A tradagem para coleta das amostras de solo foi realizada seguindo o proposto por Kemerich *et al.* (2012), utilizando um trado manual Sonda Terra de 4m de comprimento e 100mm de diâmetro. 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.

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. As análises foram realizadas utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios-x da marca Bruker, modelo S1 Turbo SD.

Os elementos presentes nas amostras foram qualificados, quantificados e comparados com os limites máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 420/09 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas.

2.5 Análise Granulométrica

No ensaio de granulometria, foi realizada uma combinação de sedimentação e peneiramento para o ponto denominado P6, conforme a NBR 7181/2016, utilizando um conjunto de peneiras com os diâmetros 8mm, 4,75mm, 2mm, 1mm, 0,50mm,



0,250mm, 0,125mm, 0,062mm e fundo, sendo possível, então, a realização dos cálculos e plotagem do gráfico com a ajuda do *Software* Excel 2013. Devido ao tamanho da área optou-se por realizar este ensaio em apenas um ponto, nas profundidades de 0cm, 50cm, 100cm, 150cm e 200cm, ponto que apresentou características semelhantes aos produtos de intemperismo da Suíte Granítica Caçapava do Sul, enquanto os demais pontos podem ter sofrido alteração como aterros, devido a topografia acidentada do terreno.

2.6 Determinação da Permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade foram realizados próximos aos pontos de coleta de solo, na profundidade de 30cm, com exceção do ponto Branco que foi substituído pelo ponto P7, onde o ensaio foi realizado na extremidade sul da área do cemitério (Figura 2), 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, seguindo a metodologia descrita por Santos (2005). O cálculo da condutividade hidráulica se deu através da expressão descrita por Soil Moisture Corp (1991) e foi comparado com os valores estabelecidos na resolução do CONAMA 335/03 que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.

2.7 Determinação do Coeficiente de Infiltração

Os ensaios de infiltração foram realizados próximos aos pontos dos ensaios de permeabilidade conforme figura 2, já mencionada anteriormente, totalizando 7 ensaios com nomenclatura de P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7.

A metodologia utilizada foi a descrita pela ABNT-NBR/7229/93, a qual também apresenta faixas de variação de coeficientes de infiltração de acordo com a constituição provável dos solos. A abertura de uma cava deve ser de seção quadrada de 30cm de lado e 30cm de profundidade, onde 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 cavas com água até a altura de 15cm e cronometrar o período de rebaixamento de 15cm até 14cm. Com os tempos determinados é possível obter os coeficientes de infiltração do solo ($L/m^2.dia$) na curva apresentada na figura 3.

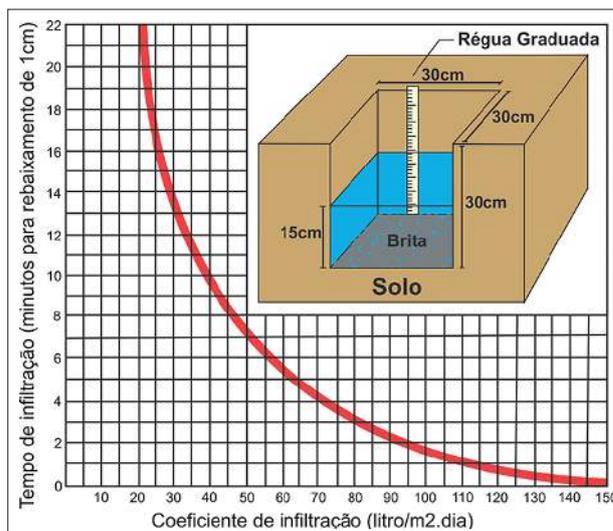


Figura 3 Curva dos coeficientes de infiltração.

Fonte: Adaptado da ABNT-NBR/7229/93.

3 Resultados

3.1 Análises 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). A Figura 4 apresenta os elementos analisados com suas concentrações, em $mg.kg^{-1}$, nas respectivas profundidades.

O elemento 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 5). A geoquímica do Fe 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 420/09 do CONAMA não orienta valores de prevenção para o Fe em solo, apenas para águas subterrâneas.

Índices Físicos do Solo e Alterações Químicas Decorrentes da Ocupação por Necrópoles em Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

Leonardo Rosa da Silva; Milene Priebe e Silva; Mayara Bitencourt Leão;
Ary Sá de Figueiredo; Pedro Daniel da Cunha Kemerich; Gabriel D'Avila Fernandes & José Luiz Silvério da Silva

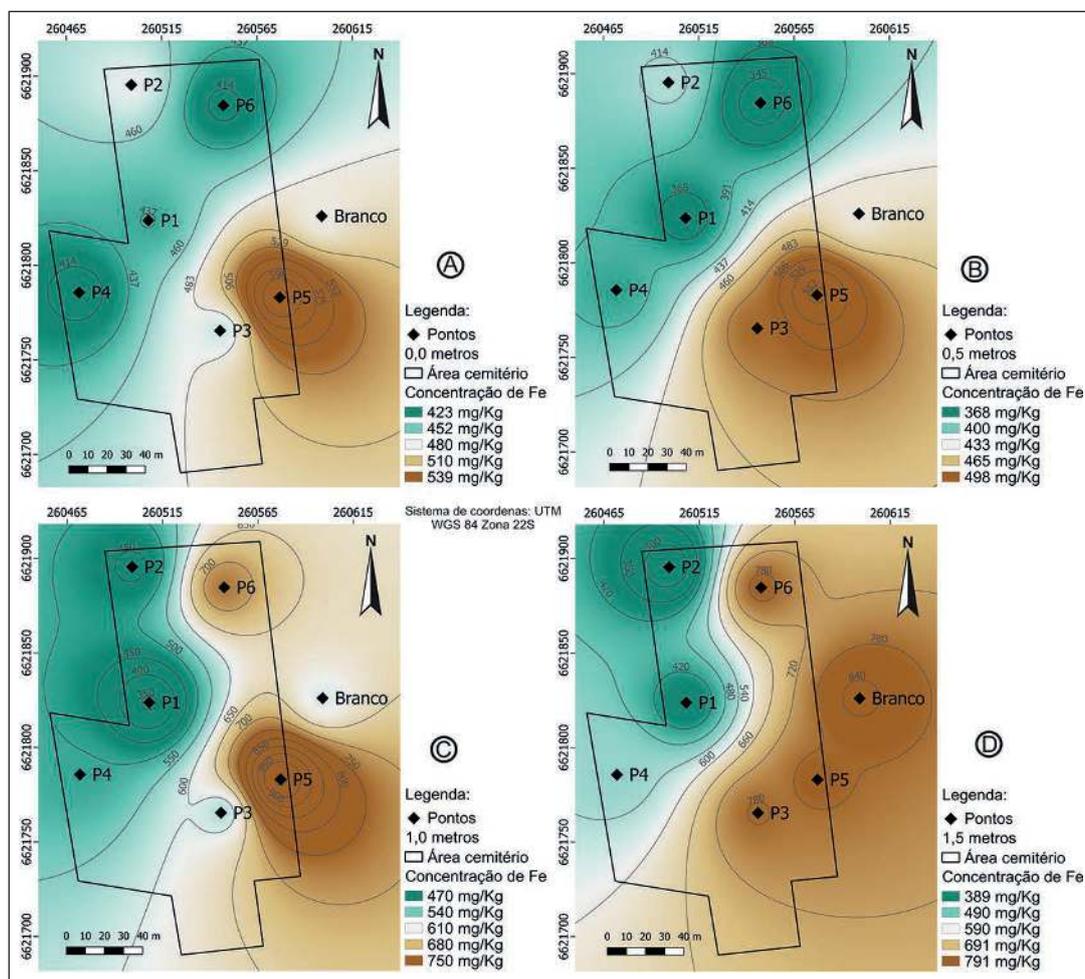
	(metros)	Concentrações mg kg ⁻¹								
		Mg	Al	Ca	Mn	Fe	Zn	Cd	Pb	
Pontos de Amostragem	Branco	Profundidade								
		0	349,5	2220	180	10,5	483	1,5	19,5	1,5
		0,5	238,5	1920	141	12	438	1,5	28,5	<L.D.
	P1	1	534	2265	321	10,5	600	1,5	24	<L.D.
		1,5	262,5	2760	111	9	853,5	1,5	25,5	<L.D.
		0	403,5	1560	1500	10,5	436,5	1,5	25,5	3
	P2	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
	P3	0	267	1845	994,5	7,5	480	1,5	21	<L.D.
		0,5	246	1740	199,5	7,5	418,5	1,5	22,5	<L.D.
		1	321	2025	160,5	9	441	<L.D.	18	1,5
	P4	1,5	334,5	1950	165	3	262,5	<L.D.	16,5	1,5
		0	709,5	2190	322,5	6	474	1,5	18	3
		0,5	273	2130	193,5	16,5	495	1,5	18	<L.D.
	P5	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	<L.D.
		0	769,5	1650	1755	6	405	1,5	18	<L.D.
P6	0,5	405	2205	111	9	381	<L.D.	15	<L.D.	
	1	258	2250	150	15	501	<L.D.	18	1,5	
	1,5	322,5	2085	262,5	12	517,5	1,5	16,5	1,5	
P7	0	307,5	1755	282	12	619,5	1,5	27	<L.D.	
	0,5	321	1800	90	6	555	<L.D.	24	<L.D.	
	1	564	2715	70,5	7,5	1006,5	1,5	16,5	1,5	
P8	1,5	493,5	2340	91,5	6	798	1,5	21	<L.D.	
	0	409,5	2850	154,5	1,5	409,5	<L.D.	18	<L.D.	
	0,5	<L.D.	2850	151,5	1,5	333	<L.D.	18	1,5	
P9	1	262,5	2865	120	4,5	729	1,5	18	<L.D.	
	1,5	408	3060	144	7,5	795	1,5	15	<L.D.	

* (<L.D.) menor que o limite de detecção do equipamento.

Figura 4 Elementos analisados com suas concentrações nas respectivas profundidades.

O chumbo variou desde abaixo do limite de detecção do equipamento a 6 mg.kg⁻¹ em P1 na profundidade 1,5m (Figura 6). A resolução 420/09 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.

O zinco no ponto branco e em P3 apresentou concentração de 1,5 mg.kg⁻¹ em todas as profundidades analisadas, enquanto os outros pontos variaram desde abaixo do limite de detecção do equipamento a 1,5 mg.kg⁻¹, exceto P1 na profundidade 1,5m que obteve a maior concentração encontrada de 3 mg.kg⁻¹ (Figura 7). A resolução 420/09 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).



Índices Físicos do Solo e Alterações Químicas Decorrentes da Ocupação por Necrópoles em Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

Leonardo Rosa da Silva; Milene Priebe e Silva; Mayara Bitencourt Leão; Ary Sá de Figueiredo; Pedro Daniel da Cunha Kemerich; Gabriel D'Avila Fernandes & José Luiz Silvério da Silva

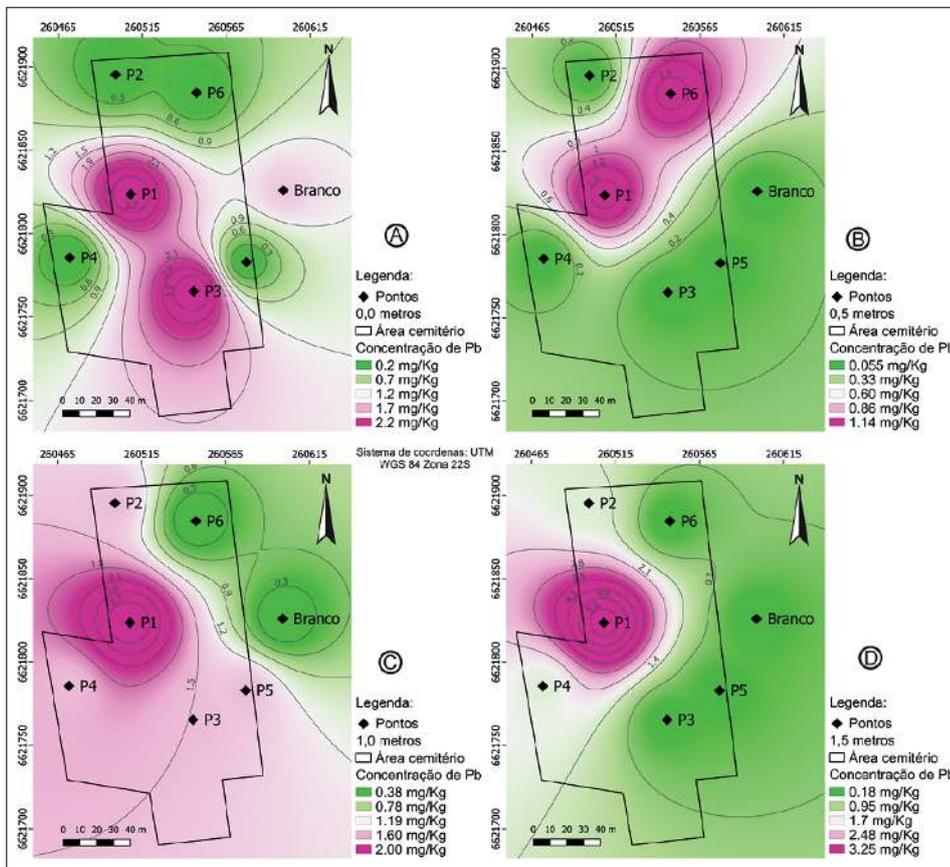


Figura 6 Cartogramas das concentrações de chumbo nas profundidades de (A) 0,0 metros, (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.

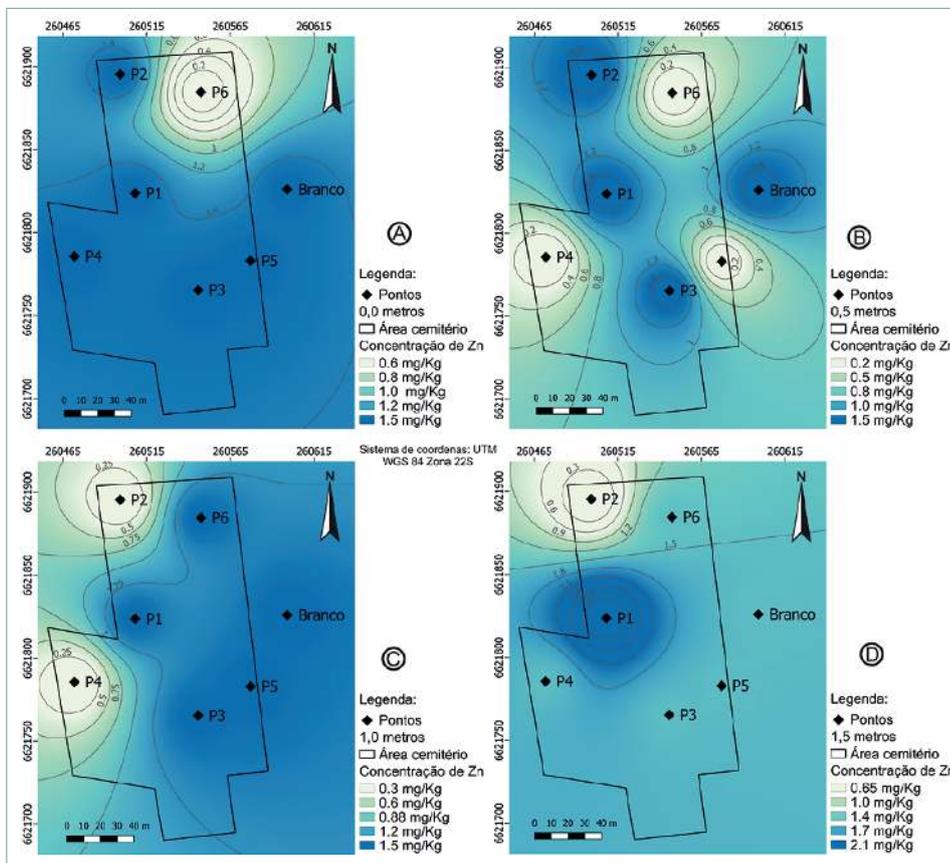


Figura 7 Cartogramas das concentrações de zinco nas profundidades de (A) 0,0 metros, (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.

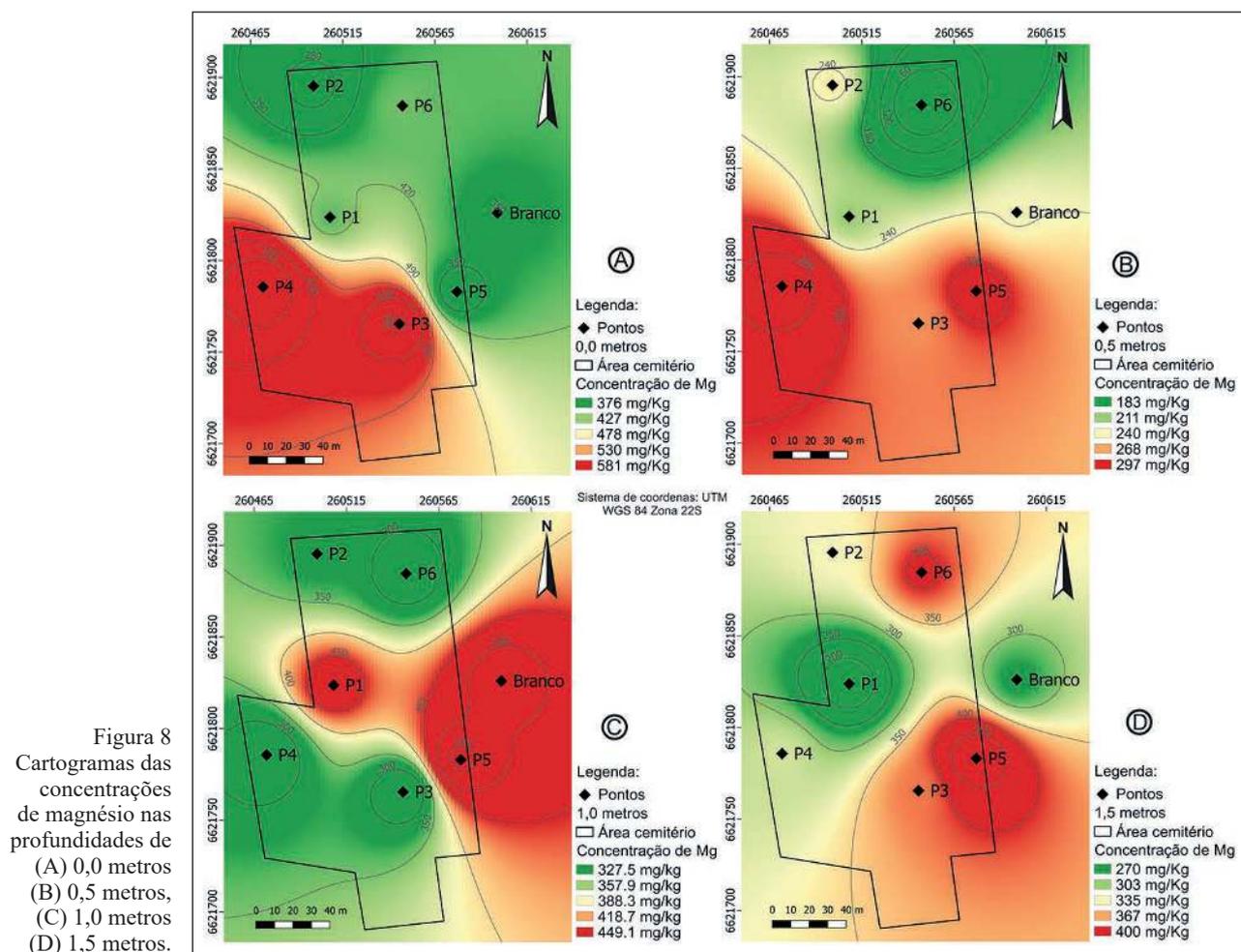
As concentrações de magnésio variaram desde abaixo do limite de detecção do equipamento em P6 na profundidade 0,5m a 769,5 mg.kg⁻¹ detectada na superfície do solo do ponto P4 (Figura 8), enquanto os valores de cálcio detectados nas amostras obtiveram valores mais altos na superfície de P1, P2 e P4 com 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 mg.kg⁻¹ (Figura 9). Segundo Silva (2011) estes íons básicos (Cálcio e Magnésio) tornam os solos menos ácidos, ou quando em excesso, mais alcalinos. A resolução 420/09 do CONAMA não orienta valores para estes elementos.

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 10). Segundo (Hem, 1970), o Al 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 420/09 do CONAMA não orienta valores para o Al em solo, apenas para águas subterrâneas.

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 mg.kg⁻¹ em P6 nas profundidades 0m e 0,5m a 16,5 mg.kg⁻¹ em P3 na profundidade 0,5m (Figura 11). Agourakis (2006) afirma que o Mn, apesar de ser essencial aos seres vivos em baixas concentrações, é particularmente tóxico quando em concentrações elevadas.

O cádmio 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 12).



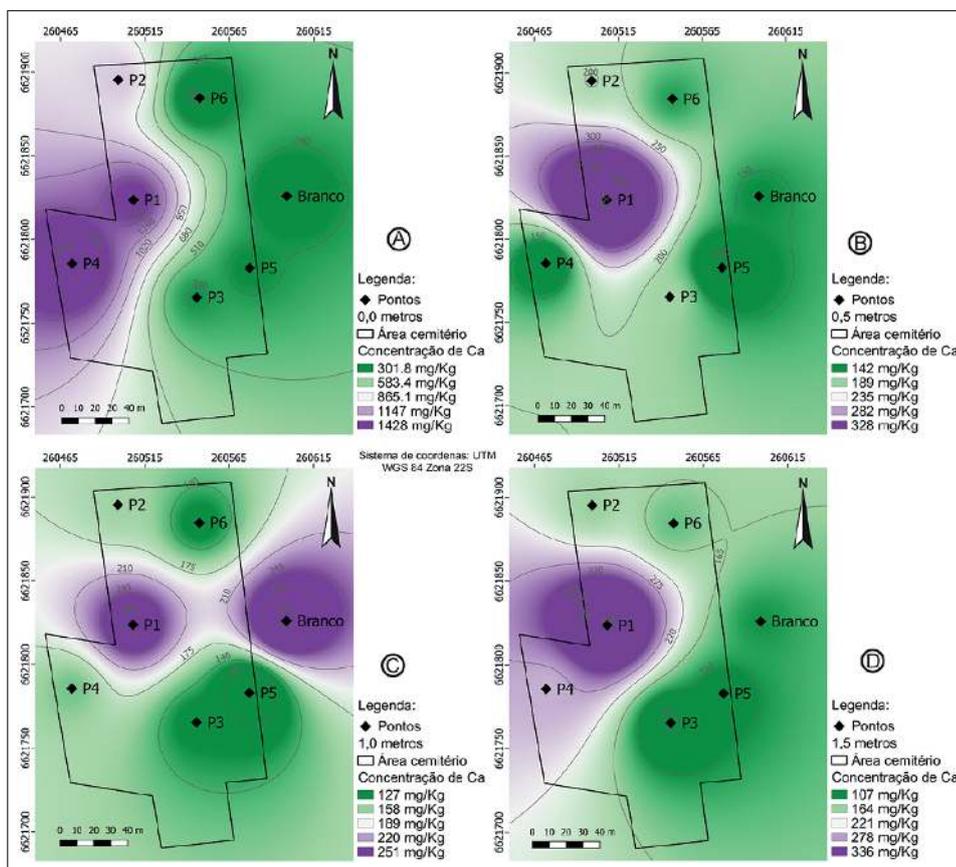


Figura 9
 Cartogramas das concentrações de cálcio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.

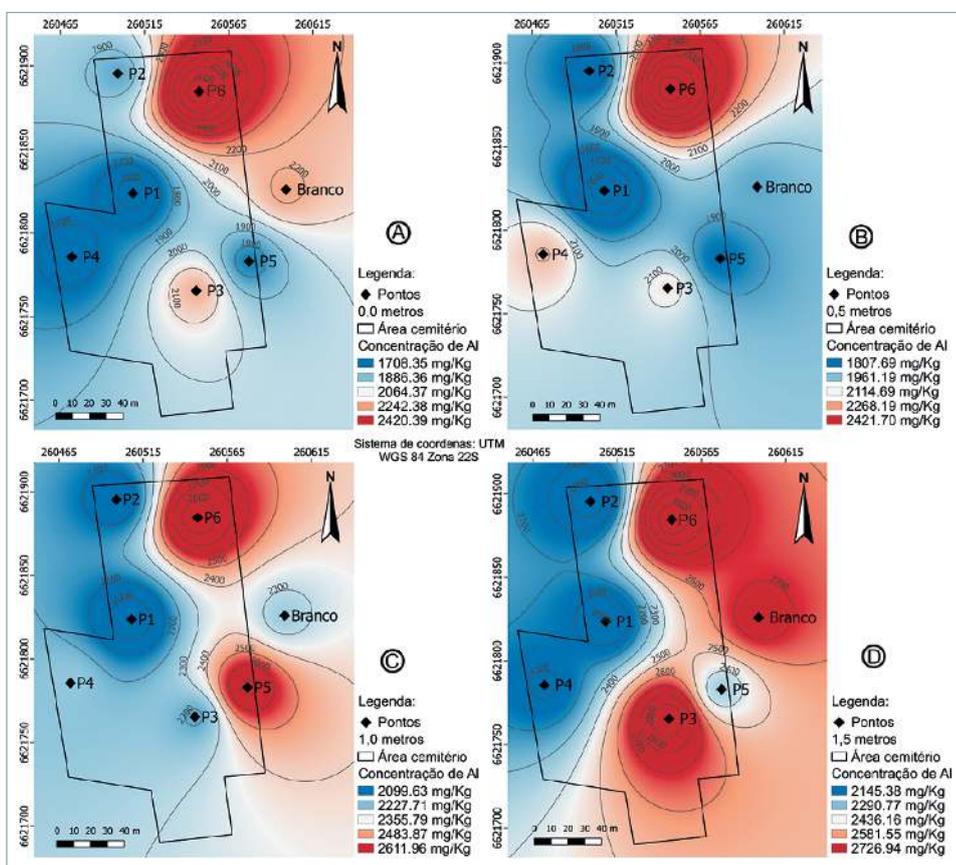


Figura 10
 Cartogramas das concentrações de alumínio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros.

Os valores de prevenção orientados para o Cd na resolução 420/09 do CONAMA é de 1,3 mg.kg⁻¹, o que significa que os valores encontrados na área em estudo ultrapassam esta orientação, porém, a maior concentração encontrada foi no ponto branco, o que indica que o cádmio pode ser de origem geológica. Conforme Lei *et al.*, (2010) o 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.

A portaria da FEPAM n° 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 Zn e Pb são de 31 mg.kg⁻¹ e 18 mg.kg⁻¹ respectivamente, estando dentro dos valores estabelecidos pela portaria,

enquanto para o Cd estabeleceu-se 0,4 mg.kg⁻¹, estando em desacordo tanto na resolução 420/09 do CONAMA quando na portaria da n° 85 da FEPAM.

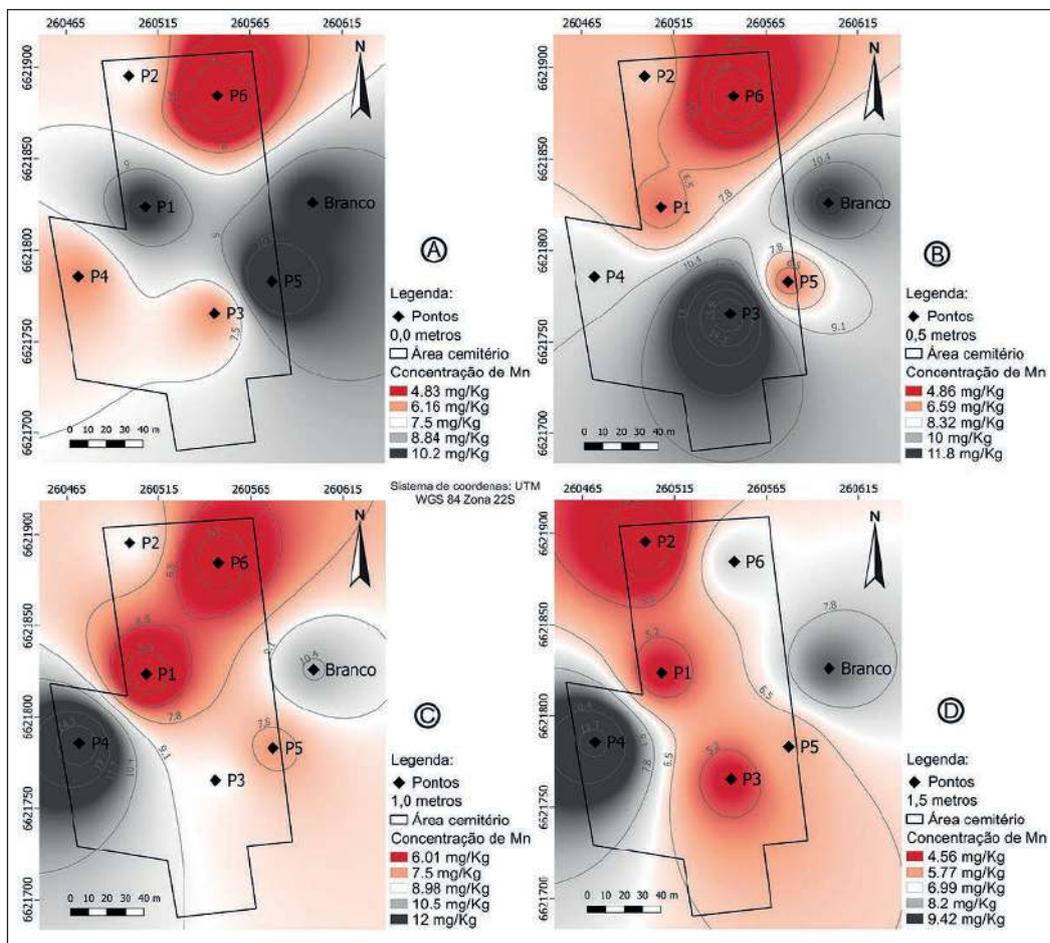
3.2 Análise Granulométrica

Considerando as frações retidas em cada uma das peneiras e o ensaio de sedimentação, pode-se classificar as amostras de solo do ponto P6, de acordo com a ABNT-NBR/6502/95, como areia silto-argilosa. Tal classificação foi obtida a partir da análise gráfica da granulometria para as diferentes profundidades, conforme figura 13, que demonstra que o somatório das frações de areia muito fina, fina, média, grossa e muito grossa, resultam em, pelo menos, 50% de cada amostra.

3.3 Permeabilidade

O grau de permeabilidade nos pontos estudados variou de médio a muito baixo conforme Terzaghi & Peck (1967), apresentando características de solo constituído por areias, areias finas siltsas

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



Índices Físicos do Solo e Alterações Químicas Decorrentes da Ocupação por Necrópoles em Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

Leonardo Rosa da Silva; Milene Priebe e Silva; Mayara Bitencourt Leão; Ary Sá de Figueiredo; Pedro Daniel da Cunha Kemerich; Gabriel D'Avila Fernandes & José Luiz Silvério da Silva

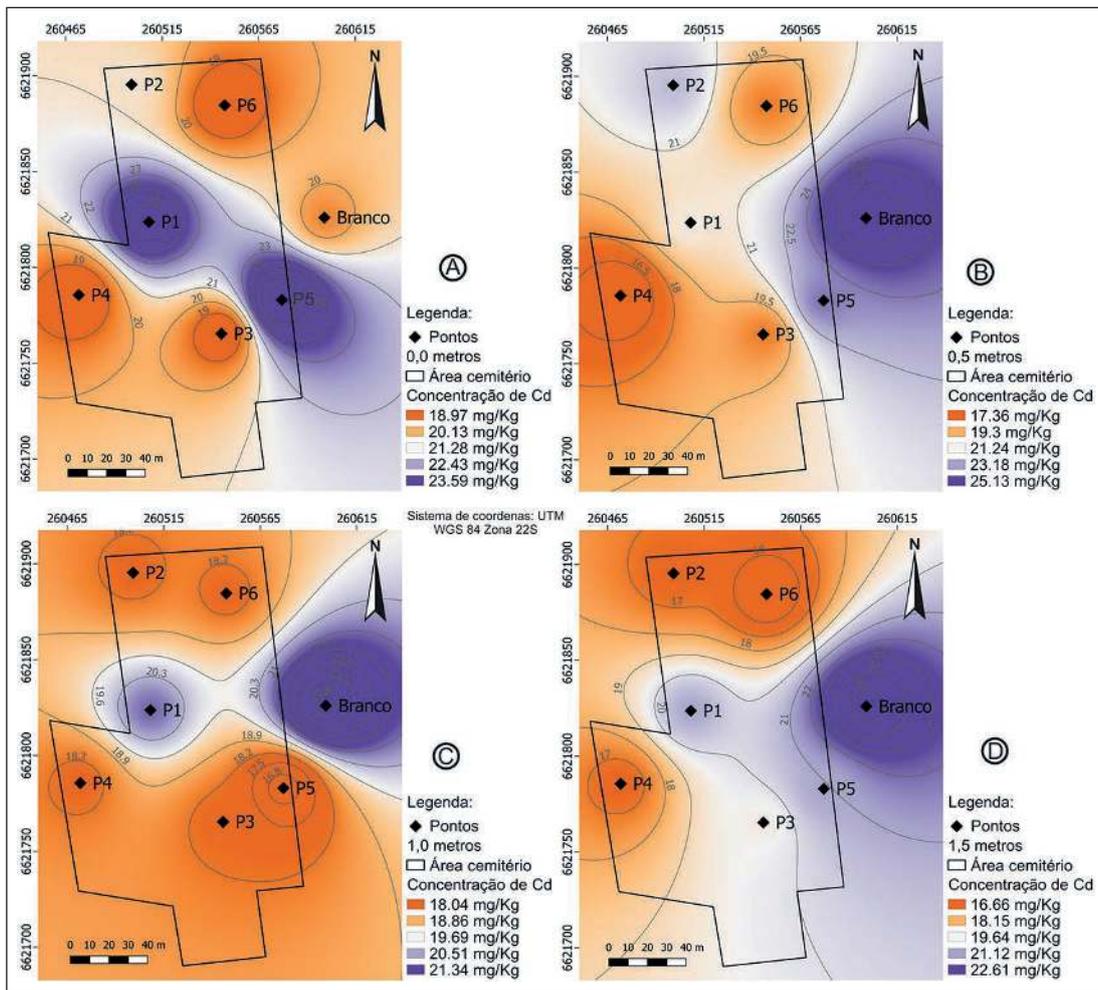


Figura 12 Cartogramas das concentrações de cádmio nas profundidades de (A) 0,0 metros (B) 0,5 metros, (C) 1,0 metros (D) 1,5 metros

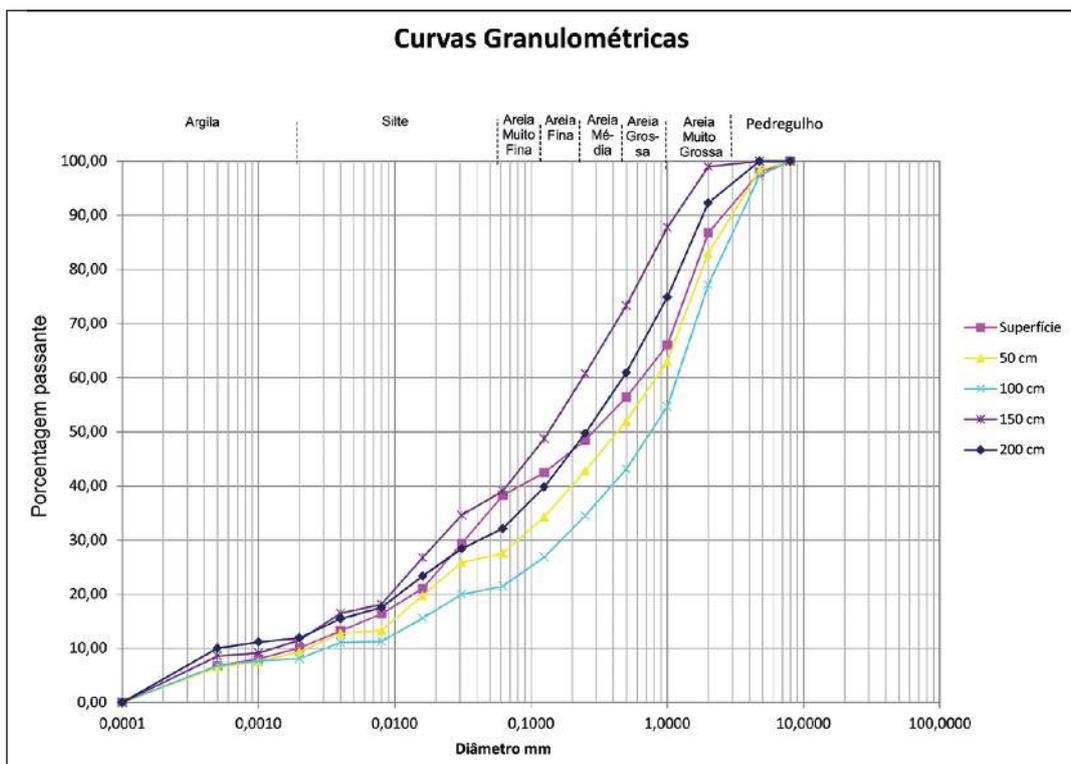


Figura 13 Análise granulométrica do P6.

e argilosas e siltes argilosos, segundo Mello & Teixeira (1971), o que condiz com o tipo de solo da região, neossolo distrófico, visto que apresentam texturas argilosas, siltosas e médias (EMBRAPA, 1999). Estes resultados coincidem com a análise granulométrica realizada, onde o solo da área do cemitério foi classificado como areia silto-argilosa.

Em P1 foi identificada a maior permeabilidade com valor de $1,94.10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ seguido por P4 com $1,86.10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$, 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 $10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$. A menor condutividade hidráulica foi encontrada em P3 com $5,87.10^{-6} \text{ cm.s}^{-1}$, 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 $5,3.10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ para solo constituído por areia siltosa, $1,1.10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$ para solo arenoso e $2,7.10^{-7} \text{ cm.s}^{-1}$ 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 $7,7.10^{-3}$ e $7,3.10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$.

A figura 14 apresenta um cartograma com os sete pontos ensaiados com suas respectivas permeabilidades na área do cemitério municipal de Caçapava do Sul.

Apesar dos testes apresentarem baixos valores de permeabilidade, apenas P3 está em conformidade com a resolução do CONAMA 335/03, 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.

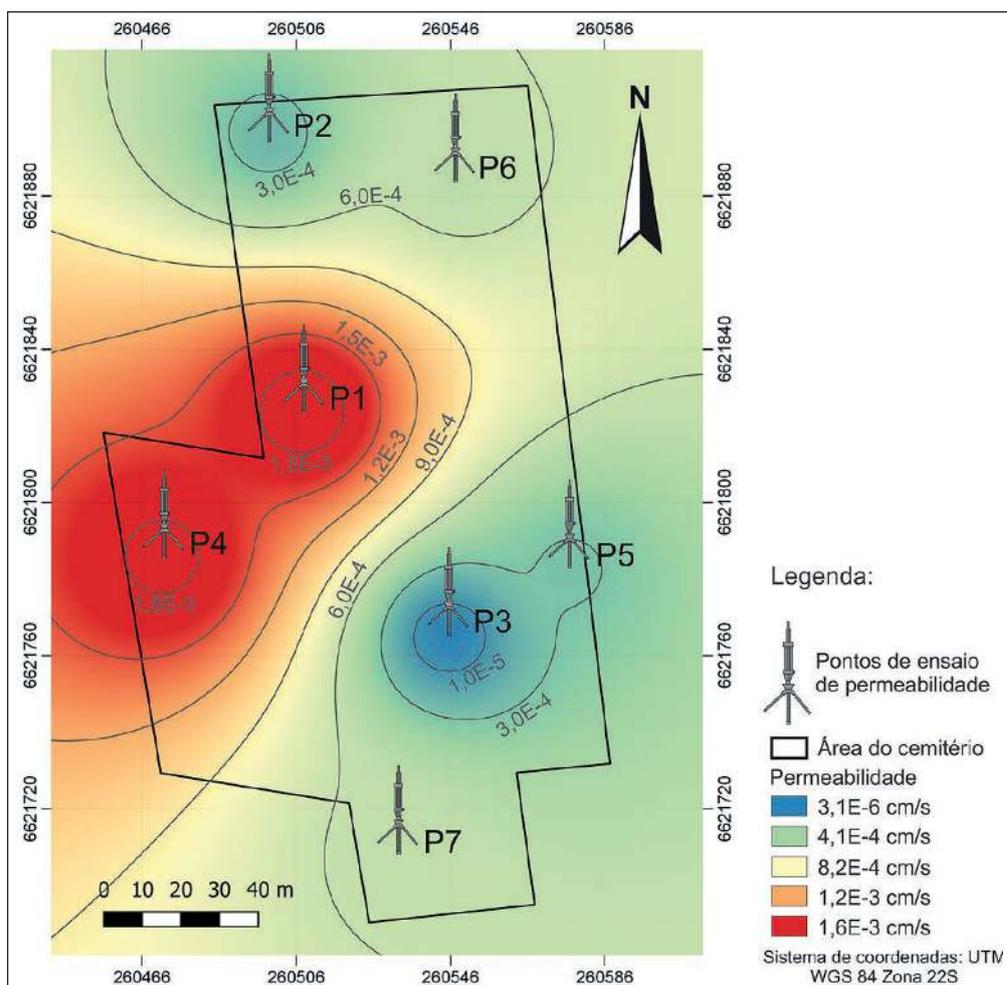


Figura 14
Cartograma de permeabilidade da área de estudo.

3.4 Coeficiente de Infiltração

A figura 15 apresenta um cartograma ilustrando os locais da área do cemitério onde os testes de infiltração foram realizados e os coeficientes de infiltração obtidos.

A infiltração variou de 21 a 85 L/m².dia, onde P1 e P5 apresentaram os maiores coeficientes, ambos com 85 L/m².dia e P4 com 63 L/m².dia, estes pontos apresentaram absorção relativa classificada como média, onde suas características são de solos arenosos a silte-argilosos. Os pontos 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. Em P7 foi encontrado o menor coeficiente de infiltração com valor de 21 L/m².dia.

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. Porém, na área de estudo alguns pontos como no caso do P7 apresentam características diferentes da composição natural do solo, sendo provável que tenha ocorrido aterro neste local, assim, dificultando a infiltração de água no solo. Outro fator que pode ter influenciado na baixa infiltração neste ponto pode ser a retenção específica, que, segundo Heat (1982) é a água que fica retida na superfície dos poros de determinados materiais, sendo que, no ensaio de infiltração o ponto é saturado um dia antes da execução do teste.

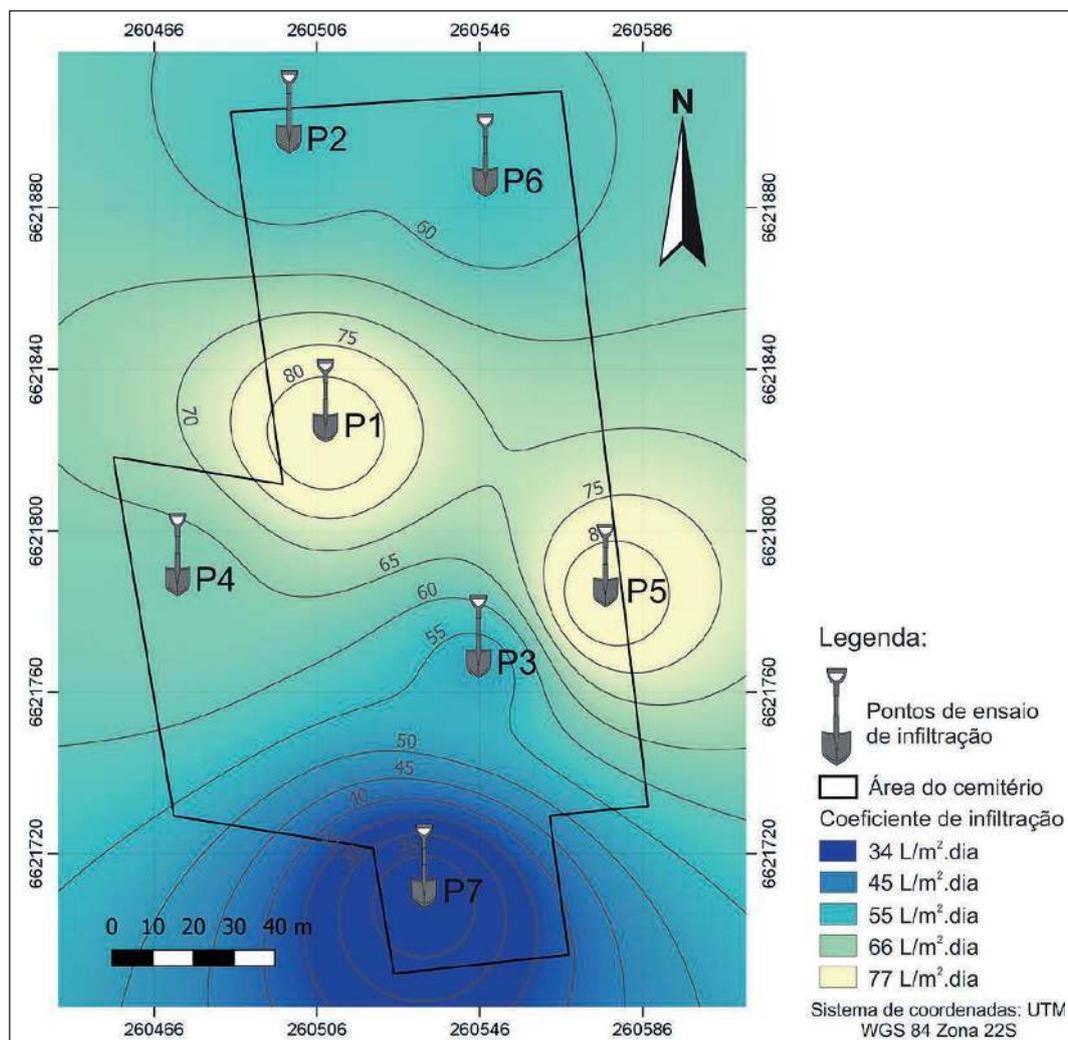


Figura 15
Cartograma de infiltração da área de estudo.

4 Conclusões

A partir dos resultados encontrados no ensaio de granulometria obteve-se a classificação do tipo areia silto-argilosa, além disso, o cemitério municipal de Caçapava do Sul encontra-se em uma área de condutividade hidráulica variando de média a muito baixa (Terzaghi & Peck, 1967). Neste cemitério os valores de condutividade hidráulica foram de até 10^{-3} $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$, 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 a sua composição textural.

Dentre os elementos químicos analisados apenas o Cádmio apresentou concentrações acima do valor máximo permissível pela resolução 420/09 do CONAMA. Porém, este elemento pode ter como origem a formação geológica e não o cemitério.

5 Referências

- ABNT. 2016. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo – Análise Granulométrica: NBR 7181/16. Rio de Janeiro, 12p.
- ABNT. 1993. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: NBR 7229/93. Rio de Janeiro, 15p.
- ABNT. 1995. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas e Solos: NBR 6502/95. Rio de Janeiro, 18p.
- Agourakis, D.C.; Camargo, I.M.C.; Coirim, M.B. & Flues, M. 2006. Comportamento de zinco e manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo. *Química Nova*, 29(5): 960.
- Andersen, M.K.; Raulund Rasmussen, K.; Hansen, H.C.B. & Strobel, B.W. 2002. Distribution and fractionation of heavy metals in pairs of arable and afforested soils in Denmark. *European Journal of Soil Science*, 53(3): 491-502.
- Barros, J.I.; Melo, V.F.; Zanello, S.; Romanó, E.N. L. & Luciano, P. R. 2008. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 1763-1773.
- Bitencourt, M.F. 1983. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1: 37-48.
- CONAMA. 2003. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 335 de 03 de Abril de 2003 – Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res03/res33503.xml>> Acesso em: Abr./2016.
- CONAMA. 2009. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 420 de 28 de Dezembro de 2009 - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: Abr./2016.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SIAGAS. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>> Acesso em: Jul./2016.
- Cutrim, A.O. & Campos, J.E.G. 2010. 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*, 29(3): 401-411.
- EMBRAPA. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 412p.
- FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. 2014. Portaria 85/2014. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria085-2014.pdf>> Acesso em: Jul./2016.
- Heat, R.C. 1982. Basic Groundwater Hydrology. Denver: Water supply paper 2240 USGS, 1982. 86p.
- Hem, J.D. 1970. Chemical behavior of mercury in aqueous media. In Mercury in the Environment. Washington, DC: US Government Printing Office. 713: 19-24.
- Hurtado, A. L. B.; Cichota, R. & Vanlier, Q. J. 2005. Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 301-307.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Contagem da População 2010 - Dados digitais. Disponível em: <www.ibge.gov.br/censo2010> Acesso em: Mai./2016.
- Jesus, L.S.; Fernandes, J.B. & Giacheti, H.L. 2013. 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.
- Kemerich, P.D. C.; Borba, W.F.; Silva, R.F.; Barros, G.; Gerhardt, A.E. & Flores, C.E.B. 2012. Valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério. *Revista Ambi-Água*, 7: 140-156.
- Kemerich, P.D.C.; Silva, J.L.S.; Borba, W.F.; Flores, C.E.B. Barros, G.; Gerhardt, A.E.; Rodrigues, A.C.R.; Silva, R.F.; Flores, B.A. & Ucker, F.E. 2014. 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*, 13(1): 2875-2889.
- Klute, A. & Dirksen, Ch. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: METHODS OF SOIL ANALYSIS: PART 1-PHYSICAL AND MINERALOGICAL METHODS (2 ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, p.687-734.
- Lei, M.; Zhang, Y.; Khan, S.; Qin, P.F. & Liao, B.H. 2010. 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(4): 215-222.
- Li, X.; Chen, B.; Feng, G. & Christie, P. 2002. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants. 17th WCSS, Thailand, p.14-21.
- McBride, M.B. 1994. *Environmental chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 272p.
- Mello, V.F.B. & Teixeira, A.H. 1971. *Mecânica dos Solos*. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 205p.
- Nascimento, S.C.; Hypolito, R. & Ribeiro, A.A. 2006. Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica. *Eng. Sanit. Ambient*, 3: 196-202.
- Paoliello, M.; Chasin, A.A. & Bahia, B.G.D.E. 2001. Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos. *Cadernos de Referência Ambiental*, 3, Bahia, 2001.
- Santos, M.M. 2005. *Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina - PR*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 159p.
- Silva, R.C.A. & Araújo, T.M. 2003. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana - BA. *Ciência & Saúde Coletiva*, 8(4): 1019-1028.
- Silva, R.W.C. & Malagutti, W.F. 2008. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, Cubatão, 9: 26-35.
- Silva, S.A.S. 2011. *Atributos químicos e microbiológicos em latossolo amarelo sob sistemas agroflorestais e floresta secundária em Bragança*. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 100p.
- Soil Moisture Equipment Corporation. 1991. *Guelph permeameter model 2800* (User manual). Santa Barbara: Soil Moisture Equipment Corporation, 27p.
- Sousa, R.V.B. & Celligoi, A. 2011. Avaliação da condutividade hidráulica do solo em área agrícola e florestada na cidade de Londrina - PR através do permeâmetro Guelph. *Boletim de Geografia*, 29(2): 123-133.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B. 1967. *Soil mechanics in Engineering Practice*. New York, John Willey, 510 p.