

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULHO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESTUDO DO POTENCIAL CONTAMINANTE DO CEMITÉRIO JARDIM,  
BOTUCATU - SP**

**LUIS AUGUSTO GOMES ROCHA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP  
Julho - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULHO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESTUDO DO POTENCIAL CONTAMINANTE DO CEMITÉRIO JARDIM,  
BOTUCATU - SP**

**LUIS AUGUSTO GOMES ROCHA**

Orientador: Prof. Dr. Alcides Lopes Leão

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ivana Cesarino

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP  
Julho - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R672e Rocha, Luis Augusto Gomes, 1985-  
Estudo do potencial contaminante do Cemitério Jardim,  
Botucatu - SP / Rocha, Luis Augusto Gomes. - Botucatu :  
[s.n.], 2016  
x, 68 f. : fots. color., ils.color., grafs. color.,  
tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016  
Orientador: Alcides Lopes Leão  
Coorientador: Ivana Cesarino  
Inclui bibliografia

1. Cemitérios. 2. Solos - Análise. 3. Solos - Percolação. 4. Metais pesados. I. Leão, Alcides Lopes. II. Cesarino, Ivana. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTUDO DO POTENCIAL CONTAMINANTE DO CEMITÉRIO JARDIM, BOTUCATU - SP

AUTOR: LUÍS AUGUSTO GOMES ROCHA

ORIENTADOR: ALCIDES LOPES LEÃO

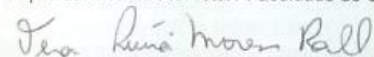
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ALCIDES LOPES LEÃO  
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Profa. Dra. RENATA CRISTINA BATISTA FONSECA  
Depto de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Profa. Dra. VERA LUCIA MORES RALL  
Departamento de Microbiologia e Imunologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

Botucatu, 25 de julho de 2016.

*“ Nietzsche, em Crepúsculo dos ídolos, já ressaltava que nossas verdadeiras experiências não são ditas, não são tagarelas. Para tudo aquilo que temos palavras, é porque já fomos além. Que as reais experiências, vivências, sentimentos, moram além das palavras...”*

Ú Â O E G A Í Â Z W B X D X	(?) ROSA
Ã Ã A Ç Í C R A W I Ó N A E	(?) MARIANA
Ó U L R Ü Ô I S A N Â Â Õ S	(?) ANA
Õ N E A O F C N A J Ó É Ô O	(?) JORGE
M P M I E D A F K A U I R J	(?) MARCELO
A O A R G V R B O Ò S L C X	(?) IVO
R S P A R H D I I Ê Ú I D S	(?) CAMILA
C L Ê M O Õ O I G O W G Ú Ç	(?) RODRIGO
E E F N J M Y A S O F I Ú Ã	(?) CRISTIANO
L V O C S I C N A R F A U M	(?) PAMELA
O D E O N A I T S I R C I L	(?) RENATA
O E I O S Ç Á Á H Ò O Y H D	(?) LIGIA
G U Ç T Õ F Â C O F S D L U	(?) FRANCISCO
Ò S Y N Ò M G H N Õ A Õ G M	(?) RICARDO
Ú V Q E Ó M B Ê E Ú Ú G Z Ó	(?) JOSE
Û P C M N A O U S A O M B Í	(?) MARIA
B B À I Ô R S Û T V Ô H Â T	(?) HONESTIDADE
N Q W C W I J Õ I Ê J R H U	(?) DEUS
Ó J Õ E I A E V D P B E D Í	(?) CONHECIMENTO
Q W À H Y N D A A R À N Ú Ê	(?) SAUDE
Z Õ K N U A U L D H Ü A Ú Â	(?) FABIO
L O Ò O D Ú A I E C U T Z Â	
Ç U U C Ã Õ S M N E T A C Í	
Û Q Y I D X P A T F R T Ã Ü	
O Á Ã Ú C B I C X Ê R Á Í A	

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por me conceder o dom da vida e, em especial, por ter conhecido a Rosa  
mais bela que vai existir nesse mundo!

A Mariana, pelo amor e as orações mais belas!

Ao meu amado avô... sua coragem e honestidade são ouro!

Minha segunda mãe, Tia Ana... Não sou muito, mas tudo que tenho devo à senhora! Te  
amo!

Camila, meu amor! Te amo, minha irmã! Obrigado por ter enfrentado junto a maior perda  
das nossas vidas e espero poder de alguma forma sempre cuidar de você.

Meu pai, meu exemplo de bom coração e honestidade! Te amo!

Pâmela, minha companheira! Espero passar muitos anos ao seu lado! Te amo!

Ao Ivo, Rodrigo e Cristiano, meus melhores amigos, obrigado por tudo!

Tio Marcelo, meu irmão! Sem o senhor pouca coisa teria feito!

Agradeço ao Professor Alcides, por ter confiado em mim e me dado a chance de tentar...

Ao Professor Iraê, por me mostrar a força de acreditar...

Ao Professor Dirceu, por ser um exemplo de integridade...

Às Professoras Renata e Vera, por mostrarem o amor à profissão...

Ao Professor Ribas, por me ensinar tudo que sei sobre Direito Ambiental...

Obrigado a todos que de alguma forma me ajudaram a superar os momentos difíceis!

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTO .....	IV
LISTA DE FIGURAS .....	VII
EQUAÇÕES .....	IX
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	8
2.1 ORIGEM DOS CEMITÉRIOS E SEPULTAMENTOS .....	8
2.2 HISTÓRICO DE BOTUCATU E DO CEMITÉRIO JARDIM .....	10
2.3 SEPULTAMENTO E NECROCHORUME .....	11
2.4 METAIS PESADOS EM SOLOS DE CEMITÉRIO .....	13
2.5 LEGISLAÇÃO INCIDENTE SOBRE CEMITÉRIOS .....	16
2.6 MODELAGEM NUMÉRICA DE SUPERFÍCIE .....	17
2.7 GEOESTATÍSTICA.....	18
2.8 ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	22
2.9 PROGRAMAS SIG – ArcGIS 10.3 e SURF 11.0.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	26
3.2 GEORREFERENCIAMENTO DOS DADOS.....	30
3.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO .....	31
3.4. SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO CEMITÉRIO MUNICIPAL .....	31
3.5 LOCALIZAÇÕES DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM E COLETA DE AMOSTRAS .....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E ACÚMULO DO FLUXO SUPERFICIAL .....	35

4.2 VALORES DOS METAIS PESADOS – CHUMBO, COBRE, CROMO E ZINCO .....	40
4.2.1 CHUMBO.....	41
4.2.2 COBRE.....	44
4.2.3 CROMO.....	48
4.2.4 ZINCO.....	52
5 CONCLUSÃO.....	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Extravasamento de necrochorume no cemitério Saudade, São Paulo. Fonte: Acervo pessoal Luis Augusto Gomes Rocha .....	12
Figura 2– Semivariograma experimental .....	20
Figura 3 – Modelos de semivariograma .....	21
Figura 4 – Direcionamento de Fluxo. Adaptado de Jenson e Domingue (1988) .....	24
Figura 5 – Área de drenagem. Adaptado de JENSON & DOMINGUE (1988).....	24
Figura 6 – Inserção regional do município.....	27
Figura 7 - Vista Cemitério Municipal Jardim - Botucatu - SP .....	28
Figura 8 – Inserção do Cemitério Jardim. Botucatu - São Paulo .....	29
Figura 9- Sistema de Posicionamento Global: Garmin modelo GPSMAP 62sc.....	30
Figura 10- Camada contendo região de drenagem em que ocorre acúmulo do fluxo superficial. SURFER® 11 .....	32
Figura 11- Camada setas orientadas exibindo direção e magnitude do escoamento superficial. SURFER® 11 .....	32
Figura 12 - Procedimento de coleta de amostras de solo em local com atividade cemiterial, Cemitério Jardim - Botucatu - SP.....	34

Figura 13- (a) mapa interpolado; (b) mapa de pontos amostrais; (c) gráfico do semivariograma e sua equação; (d) gráfico de validação cruzada dos dados e seu erro médio padrão.....	36
Figura 14 – Modelo Digital de elevação, Cemitério Jardim, Botucatu, SP.....	37
Figura 15 – Relevo sombreado, Cemitério Jardim, Botucatu.....	38
Figura 16 - Alocações dos pontos de amostras, o direcionamento e acúmulo do fluxo superficial, cemitério Jardim - Botucatu – SP.....	39
Figura 18 – Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de chumbo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm .....	42
Figura 19 – Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de chumbo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm .....	43
Figura 20 - Concentração média de chumbo em 9 pontos de amostragens.....	44
Figura 21 - Concentração média de chumbo em 6 diferentes profundidades. ....	44
Figura 22 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cobre no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm .....	46
Figura 23 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cobre no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm .....	47
Figura 24 - Concentração média de cobre em 9 pontos de amostragens.....	48
Figura 25 - Concentração média de cobre em 6 diferentes profundidades. ....	48
Figura 26 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cromo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm .....	50
Figura 27 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cromo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm .....	51
Figura 28 - Concentração média de cromo em 9 pontos de amostragens. ....	52
Figura 29 - Concentração média de cromo em 6 diferentes profundidades. ....	52
Figura 30 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de zinco no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm .....	54
Figura 31 – Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de zinco no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm .....	55
Figura 32 - Concentração média de zinco em 9 pontos de amostragens.....	56
Figura 33 - Concentração média de zinco em 6 diferentes profundidades.....	56

## **EQUAÇÕES**

Equação 1 - Equação de Semivariância .....	20
--	----

## **RESUMO**

A expansão urbana acarreta a necessidade de mitigações ambientais, em que um planejamento do uso do solo bem como seu processo de ocupação traz a necessidade também de estudos para viabilizar tais ações. Nesse processo de expansão, os cemitérios necessitam de maior atenção, visto que estudos dessas áreas já evidenciaram indícios de contaminações no solo. Atualmente, é consenso que atividades de sepultamento são responsáveis pela contaminação do solo e aquíferos subterrâneos através da percolação do necrochorume. O presente trabalho teve como objetivo analisar as concentrações dos metais pesados cobre, cromo, zinco e chumbo no solo de três tipos de áreas presentes no cemitério: zona com sepultamento, área sem atividades cemiteriais e fragmento florestal. Para o objetivo, foram efetuadas coletas de solo através de tradagens em nove pontos e seis profundidades. Para determinação da concentração dos metais, foi utilizado espectrofotometria de absorção atômica, no Centro de Assistência Toxicológica (CEATOX), do IB/UNESP. Os valores obtidos foram comparados aos valores de referência propostos pela CONAMA nº420/2009. Com os resultados obtidos, constatou-se que nenhum dos pontos amostrados apresentou concentração acima dos valores estipulados, porém foi possível visualizar acúmulo dos metais na área onde existe atividade cemiterial e estabelecer sua relação com o fluxo superficial e sub-superficial da água. O

fato de o local de estudo possuir uma área com fragmento florestal a jusante permitiu correlacionar as interações dos metais cobre e zinco em comparação com a área com sepultamentos.

Palavras-chave: Cemitério; Necrochorume; Cobre; Zinco; Chumbo;

## **ABSTRACT**

Urban expansion engenders the need for environmental mitigation, in which planning the processes of land use and cover generates the need of studies to enable such actions. In that expansion process, it is imperative that more attention is paid to cemeteries, since studies in the area have already evidenced soil contamination. There is currently a consensus that burial activity is responsible for soil and aquifer contamination through cemetery leachate percolation. The purpose of the present study was to examine the concentration of four heavy metals (copper, chromium, zinc, and lead) in three different types of area found in the cemetery: the burial grounds, an area with no cemeterial activity, and a forest fragment. To achieve that objective, soil samples were collected through boreholes in nine areas and six depths. The metal concentrations were determined through atomic absorption spectroscopy (AAS) at the Toxicology Assistance Center (Centro de Assistência Toxicológica, or CEATOX) in the IB/UNESP campus. The values obtained were then compared to the reference values used by the National Environment Council (CONAMA) n°420/2009. The final results showed that none of the samples had concentrations higher than the established values; however, it was possible to identify a higher concentration of the metals in the burial grounds and to determine its connection to the surface and subsurface water flow. As the study environment has a forest

fragment downstream, it was possible to correlate the copper and zinc interactions in comparison to the burial grounds.

Keywords: Cemetery; Cemetery Leachate; Copper; Zinc; Lead.

## **1 INTRODUÇÃO**

O século XXI é caracterizado pela procura por sustentabilidade, buscando manter o incremento da produtividade aliado à conservação do meio ambiente e desenvolvimento social. Esse conceito foi delineado a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (United Nations Conference on the Human Environment – UNCHE), realizada na cidade de Estocolmo (Suécia), entre 5 e 16 de junho de 1972, onde foram debatidas as atividades humanas em relação ao meio ambiente, lançando bases para questões sobre degradação ambiental, poluição e utilização consciente dos recursos naturais.

O incremento da produtividade é um dos principais objetivos do modelo econômico atual, podendo ser alcançado pela utilização de novas tecnologias ou pelo aumento dos insumos, sendo em ambos os casos necessário utilizar os recursos ambientais no processo de produção. Dessa forma, a utilização dos recursos ambientais reflete em uma cadeia de consequências, como desmatamento, poluição dos rios, ocupação/urbanização de áreas rurais, etc. Podemos, então, inferir que o processo de desenvolvimento da sociedade atual está intimamente ligado à utilização dos recursos naturais, resultando em impactos ambientais.



Nesse contexto, também deve ser levado em consideração a necessidade de mão de obra para a transformação dos insumos em bens de consumo, para obter o incremento da produtividade, causando o deslocamento populacional e, como resultado, a urbanização. Segundo Ojima (2012), a maioria das discussões públicas referentes à relação entre população e meio ambiente atém-se aos temas de tamanho e crescimento. Assim, segundo Xavier (2015), “qualquer alteração na ordem da urbanização altera sua urbanidade, sua função social, econômica e ambiental”.

De acordo com a autora, “problemas ambientais no contexto urbano são comuns, estando atrelados por ação e reação, e afetam a vida da população exposta às suas consequências, questões estas relacionadas em geral com o uso do solo e da água”. Como todas as espécies dependem desses dois elementos para sobreviver, compreender essas consequências é essencial, já que o mau uso desses recursos tem se tornado constante, trazendo problemas como escassez e racionamento de água, além de inúmeros pontos de contaminação do solo (GÜNTHER, 2006).

A alteração dos teores naturais dos metais pesados nos solos pela incorporação de biossólidos através de atividades de mineração, metalurgia, entre outras, é um dos tipos de possíveis degradações ambientais em centros urbanos. A contaminação superficial pode afetar diretamente as águas subterrâneas, uma vez que a percolação desses metais pode ser intensificada pelo escoamento das águas superficiais.

Kemerich (2010) afirmou que um grave problema para a proteção dos solos e das águas subterrâneas nos centros urbanos são os cemitérios, pois podem trazer sérias consequências ambientais. Particularmente, o autor ressalta que as águas subterrâneas podem ter a qualidade alterada devido à percolação das águas pluviais através dos túmulos e do solo, provocando a lixiviação de uma série de compostos químicos orgânicos e inorgânicos através da zona não saturada, sendo que alguns desses compostos podem atingir a zona saturada e, portanto, poluir o aquífero.

Estudos de Marinho (1998), Silva (2000), Pacheco & Matos (2001) e Rezende (2005) também relataram que, em áreas de cemitério, a principal causa de poluição subsuperficial é a percolação do necrochorume, o efluente gerado a partir da decomposição dos corpos.

Macedo (2009) explicou que, após o sepultamento, o corpo humano começa a se transformar e passa a ser um ecossistema de populações, formado por artrópodes, micro-organismos, entre outros. Esse sistema sofre putrefação, que é a

destruição dos tecidos por ação das bactérias e enzimas, resultando na dissolução gradual dos tecidos em gases ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ), líquidos ( $\text{NH}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ) e sais, que podem pôr em risco o meio ambiente e a saúde pública. Em termos físico-químicos, a composição desse corpo em decomposição é de, aproximadamente, 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas.

De acordo com Xavier (2015), além da problemática que envolve a contaminação de aquíferos, a descarga de resíduos de toda e qualquer espécie no solo pode causar danos a esse meio, impedindo-o de exercer suas funções ecossistêmicas. Por muito tempo, o solo foi considerado receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais, com base no suposto poder tampão e no potencial de autodepuração. Foi somente a partir da década de 1970 que se dispensou maior atenção à sua preservação (CETESB, 1999).

Pacheco (2000) ressaltou que as sociedades contemporâneas não se sentem à vontade, em geral, para tratar do assunto morte. No entanto, a literatura sobre o tema tem aumentado nos últimos tempos. Sociólogos, antropólogos e historiadores têm trazido contribuições sobre os costumes e hábitos funerários. Por outro lado, a relação entre cemitério e meio ambiente nunca foi incluída na lista de possíveis formas tradicionais de contaminação do solo e da água, seja pelo preconceito ao tema, seja pela crença de que os cadáveres, depois de enterrados, não trazem consequências.

Sendo assim, a percolação por necrochorume em áreas de cemitérios se torna potencialmente preocupante no que diz respeito à possível contaminação de solos e aquíferos e, portanto, exige uma investigação aprofundada e multidisciplinar, evitando assim potenciais riscos à saúde pública.

Xavier (2015) descreveu que a ausência de instrumentos legais norteadores influenciou a implantação dos cemitérios sem levar em consideração os critérios geológicos (características litológicas e estrutura do terreno) e hidrogeológicos (nível do lençol freático), o que constitui uma das causas de deterioração da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

Com base no tema exposto, este trabalho teve como objetivo amostrar três áreas com uso distinto – com inumações, área livre de inumações e fragmento florestal – no Cemitério Municipal Jardim, determinando e comparando o potencial de contaminação química do solo por cobre, cromo, zinco e chumbo em decorrência do tipo de ocupação no cemitério.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 ORIGEM DOS CEMITÉRIOS E SEPULTAMENTOS**

A palavra cemitério vem do latim *Coemeterium*, derivado do grego *Koimetérion*, a partir do verbo *Kimáo*, que significa “dormitório”, “pôr a jazer” ou “fazer deitar”. Significa o recinto onde se enterram e guardam os mortos.

Segundo Xavier (2015), estudos arqueológicos vêm desvendando, através de testemunhos e outros documentos, as práticas funerárias de muitas civilizações antigas, que evoluíram desde as cavernas até os dias atuais à luz das circunstâncias e crenças sociais, religiosas e econômicas.

Ainda em Xavier (2015), foi descrito que os sepultamentos datam da Pré-História, quando os homens enterravam os corpos da tribo por questões de segurança, pois o corpo exposto poderia atrair predadores. Com o tempo, esse processo foi inserido em práticas religiosas, sendo que algumas culturas realizavam o sepultamento ou embalsamento de indivíduos com importância social, como reis e sacerdotes.

Os atos de sepultamento e práticas do cristianismo foram largamente aceitos e utilizados após a aceitação da religião pelo imperador Constantino,

no século IV. Os cristãos passaram a sepultar os seus mortos nas catacumbas de Roma e, depois, fora da cidade, às margens das vias de trânsito.

Com a introdução da religião, a relação entre a morte e a vida foi sendo alterada, o que resultou na transferência dos cemitérios das áreas afastadas para o interior e imediações de igrejas, mosteiros e conventos.

Pacheco (2000) afirmou que essa proximidade trouxe a contaminação dessas áreas, que, por sua vez, localizavam-se próximas às áreas urbanas, trazendo o risco de contaminações para a população local. Devido aos relatos de contaminações oriundas do contato dos cemitérios com centros urbanos, ocorreu uma mobilização da comunidade médica visando conscientizar a nobreza da época, o que resultou em uma ordem de Luís XVI, em 1776, proibindo os sepultamentos nas igrejas, mosteiros, conventos e capelas da França, com exceção dos corpos de entidades eclesiásticas.

Segundo Xavier (2015), os problemas sanitários oriundos dos cemitérios afetaram vários países como Portugal, França e Alemanha e, “aos poucos, foi surgindo a consciência dos perigos causados por estes tipos de sepultamentos tanto nos interiores quanto nos arredores das vilas e cidades”. Em meados do século XIX, vários decretos condicionariam a construção de cemitérios públicos mais afastados das vilas e cidades. Todavia, com o vínculo criado entre a religião e as práticas de sepultamento, a alteração nos costumes estava imersa em preconceito, conservadorismo e expressões religiosas, o que dificultou a aceitação dos sepultamentos longe de solo santo (igrejas e mosteiros).

No Brasil, os costumes, resultado da colonização cristã dos portugueses, trouxeram as mesmas preocupações. Segundo Campos (2007), os médicos acreditavam que os sepultamentos deveriam ocorrer em locais afastados das cidades, longe das fontes de água, em terrenos arejados. Após o manifesto da comunidade médica e a conscientização da sociedade, foi promulgada, em 1º de outubro de 1828, a lei imperial que determinou a localização dos cemitérios afastados das vilas e cidades.

Dessa forma, segundo Pacheco (2000), foi oficializada a primeira necrópole pública na cidade de São Paulo, o Cemitério da Consolação, no ano de 1858, longe dos vivos por razões de salubridade pública. Nos anos seguintes, surgiram outros vários, tanto públicos, quanto particulares. No entanto, esses cemitérios, que antes se localizavam em áreas afastadas, nos dias atuais encontram-se totalmente

inseridos nos centros urbanos devido ao crescimento populacional e, novamente, constituem uma preocupação de saúde pública.

## **2.2 HISTÓRICO DE BOTUCATU E DO CEMITÉRIO JARDIM**

Botucatu (22°53'09"S; 48°26'42"W e altitude média 786m) é um município brasileiro localizado na região centro-oeste do Estado de São Paulo, distante 221 km do oceano Atlântico e 235 km da capital, com uma população estimada em 2015 de aproximada de 127.308 mil habitantes (IBGE, 2015).

Botucatu, segundo Barbosa (2011), significa bons ares (lbytu-katu) na língua indígena tupi. O autor descreveu que o município é envolvido em lendas urbanas e seu povoamento ocorreu entre o Ribeirão Lavapés e a Praça Coronel Moura, onde se concentrava parte da tribo dos índios Caiouás.

Os primeiros sinais do crescimento vieram em 1830, quando fazendeiros decidiram subir a cuesta e povoar as terras ainda desabitadas. Em 23 de dezembro de 1843, o Capitão José Gomes Pinheiro Veloso doou as terras para a criação do Patrimônio da Freguesia de Sant'Anna de Botucatu. Considera-se a data, para efeitos históricos, como a fundação de Botucatu. Em 19 de fevereiro de 1846, criou-se a Freguesia do Distrito do Cimo da Serra de Botucatu. Em 14 de abril de 1855, a freguesia foi elevada à categoria de vila e houve a emancipação político-administrativa. Em 20 de abril de 1866, foi criada a comarca de Botucatu. Em 16 de março de 1876, por fim, a vila foi elevada à categoria de município.

Com o crescimento da região, foi aberto para enterramentos, em 1893, o Cemitério Portal das Cruzes. Até o advento da República, em 1889, católicos e protestantes mantinham seus próprios cemitérios. Com a separação entre Igreja e Estado, a proclamação do primeiro governo republicano estimulou os municípios a adequarem as necrópoles à nova realidade. Em Botucatu, o antigo cemitério católico localizava-se na confluência da Rua Marechal Deodoro com a Rua General Telles, ocupando todo o espaço onde hoje está o Fórum da Comarca, nos fundos da antiga igreja Matriz. O cemitério presbiteriano, por sua vez, estava estabelecido na Boa Vista. Essas duas necrópoles encerrariam suas atividades aos poucos a partir do momento em que o Portal das Cruzes foi entregue, em 1893.

O cemitério Católico finou-se quando funcionários da municipalidade, em 1899, promoveram o traslado dos despojos que restavam. O presbiteriano, por sua vez, foi desativado em 1906, quando a Mesa Synodal anunciou que passaria a usar o Portal das Cruzes.

Com a expansão da cidade, surgiu a possibilidade da implementação de uma nova necrópole no bairro Jardim Aeroporto. Dessa forma, foi criado em 1986 o Cemitério Jardim, com 71.000 m<sup>2</sup>, possuindo no ano de 2016 mais de 8.000 sepultamentos.

### **2.3 SEPULTAMENTO E NECROCHORUME**

Conforme Macedo (2004), após o falecimento, o corpo humano passa a ser um ecossistema de populações que podem pôr em risco o meio ambiente e a saúde pública. Almeida e Macedo (2005) demonstram também que, quando em estado de putrefação, o corpo humano é decomposto através da dissolução gradual dos tecidos em gases, líquidos e sais. Os gases produzidos são H<sub>2</sub>S (Sulfeto de Hidrogênio ou Ácido Sulfídrico, quando dissolvido em água), CH<sub>4</sub> (gás metano), NH<sub>3</sub> (amônia), CO<sub>2</sub> (gás carbônico) e H<sub>2</sub> (gás hidrogênio).

O odor desagradável que emana do cadáver é causado por alguns desses gases e pela pequena quantidade de substâncias do grupo mercaptano (POUNDER, 1995), que contém sulfeto de hidrogênio ligado a carbono saturado. O líquido que resulta do processo de putrefação é denominado necrochorume (Figura 1), rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, apresentando coloração castanho-acinzentada, é polimerizável, possui um cheiro acre e fétido e traz um grau variado de patogenicidade (SILVA, 2000; MATOS, 2001). Possui densidade média de 1,23 g/cm<sup>3</sup>, portanto, é mais denso que a água (1g/cm<sup>3</sup>), mas nela bastante solúvel, e pH variando de 5 a 9 em temperatura de 23° a 28° C. É constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas degradáveis, além de diversas diaminas, sendo as tóxicas as mais preponderantes, por exemplo, a putrescina (1,4 Butanodiamina – C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>) e a cadaverina (1,5 Pentanodiamina – C<sub>5</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>), que podem ser degradadas, gerando amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (SILVA, 1998). Segundo Silva (1995), se considerarmos um cadáver de 70 Kg, o necrochorume liberado intermitentemente equivale a 0,60 litros para cada quilo.



*Figura 1 - Extravasamento de necrochorume no cemitério Saudade, São Paulo. Fonte: Acervo pessoal Luis Augusto Gomes Rocha*

Segundo Silva (1995) e Silva (1998), além da eliminação do necrochorume pelos corpos, outros poluentes, como óxidos metálicos (Titânio - Ti, Cromo - Cr, Cádmio - Cd, Chumbo - Pb, Ferro - Fe, Manganês - Mn, Mercúrio - Hg, Níquel - Ni e outros), podem contaminar o local, sendo oriundos da lixiviação dos diversos adereços das urnas mortuárias, acessórios de embalsamamento, entre outros.

Bergamo (1954) defendeu a necessidade de estudos geológicos e sanitários das áreas de cemitérios e a verificação das possibilidades de contaminação das águas subterrâneas e superficiais, que podem significar riscos às populações residentes nas adjacências de cemitérios.

Matos & Pacheco (2002) estudaram a ocorrência e o transporte de micro-organismo no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. As amostras de água do aquífero livre apresentaram, principalmente, bactérias heterotróficas, bactérias proteolíticas e clostrídios sulfito-redutores. Também foram encontrados enterovírus e adenovírus. O estudo verificou que as bactérias são transportadas alguns metros, diminuindo em concentração com o

aumento da distância da fonte de contaminação, porém os vírus parecem ter uma mobilidade maior, alcançando, no mínimo, algumas dezenas de metros no aquífero.

Almeida (2006) avaliou a ocorrência de micro-organismo no aquífero freático localizado no cemitério da Várzea em Recife (PE). Os resultados obtidos foram indicativos da contaminação microbiana por necrochorume.

Dent & Knight (2007) realizaram uma avaliação hidrogeoquímica e microbiológica de águas subterrâneas em aquíferos de nove cemitérios, com uma variação considerável de diferentes solos e de configurações hidrogeológicas. Após o estudo, enfatizaram que cemitérios devem ser tratados como um tipo de aterro sanitário porque os resíduos orgânicos são colocados abaixo do nível da superfície e cobertos com terra, mas um excesso desse material pode sobrecarregar e se acumular em subsuperfície.

Silva & Malagutti Filho (2009) avaliaram áreas potencialmente impactadas por necrochorume no cemitério municipal de Vila Rezende, em Piracicaba (SP). Foi concluído que as prováveis plumas de contaminação têm ligação com a profundidade do nível freático e com o tempo de sepultamento.

Pacheco & Matos (2001) ressaltaram que, devido à heterogeneidade da composição química do necrochorume, podem ser encontrados números elevados de bactérias degradadoras de matéria orgânica (bactérias heterotróficas), proteínas (bactérias proteolíticas) e lipídios (bactérias lipolíticas). Encontram-se também bactérias que são normalmente excretadas por humanos (e animais), pois vivem nos tratos intestinais, como *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, e a *Streptococcus faecalis*, que, ao serem ingeridas, provocam diarreias e dores abdominais.

## **2.4 METAIS PESADOS EM SOLOS DE CEMITÉRIO**

A ocorrência natural de metais pesados em solos depende, principalmente, do material de origem sobre o qual o solo se formou, dos processos de formação, da composição e proporção dos componentes de sua fase sólida. Esses metais ocorrem de forma natural, mas com a atividade antrópica ocorre sua deposição, alterando assim seus valores iniciais. Essas atividades são oriundas de processos



industriais ou deposição de biossólidos como áreas de descartes, aterros sanitários ou cemitérios.

Estudos como o de Spongberg e Becks (2000) descreveram concentrações elevadas de Cr, Cu, Pb, Ni e Zn em solos de cemitérios quando comparados a áreas fora do território da necrópole. Os autores concluíram que alguns metais associados às práticas funerárias atuais e passadas podem acumular nas profundidades de sepultamento, pois metais como Pb, Cu, e Zn são largamente empregados na fabricação de urnas funerárias.

Outra pesquisa, conduzida por Jonker e Olivier (2012), comparou amostras de dentro e fora do cemitério, avaliando 31 elementos, dentre eles Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, e Cd em uma profundidade entre 100 e 280 centímetros na área de sepultamento e 100 centímetros na área natural, chegando à conclusão de que os cemitérios podem ser considerados fontes antropogênicas de contaminação mineral.

Um outro exemplo é o estudo de Barros (2008), que pesquisou o cemitério Santa Cândida em Curitiba nas profundidades de 0 a 20, 20 a 80 e 80 a 120 centímetros, resultando em valores alterados para os metais Cr, Ni e Pb nas áreas próximas aos locais de sepultamento. Nesse estudo, foi descrito que o solo funciona como filtro na retenção dos metais, dos micro-organismos e das substâncias resultantes do processo de decomposição. Porém, quando a textura do solo é arenosa, esses produtos podem percolar após uma precipitação e contaminar águas subterrâneas.

Segundo Barros (2008), os parâmetros do solo que controlam os processos de retenção, sorção e dessorção dos metais pesados são os seguintes: (i) os valores de pH e Eh (potencial de redução) em ambientes com baixa aeração; (ii) capacidade de troca catiônica (CTC); (iii) fração granulométrica fina (<0,02 mm) (depende do tipo do mineral); (iv) matéria orgânica; (v) óxidos e hidróxidos.

A deposição gradual dos metais pesados oriundos das atividades antrópicas altera o ciclo biológico normal, interferindo na composição da fauna e da flora do meio. A alteração provoca mudanças nas características físicas, químicas e biológicas do solo e das águas, impossibilitando muitas vezes sua utilização ou contaminando o indivíduo que, mesmo de forma não intencional, utiliza esses recursos. Alguns metais pesados são substâncias altamente tóxicas e são utilizados em atividades industriais, mineração, lavouras, causando alterações no meio ambiente.

Um desses metais oriundos de atividades antrópicas é o chumbo, elemento tóxico não essencial que se acumula no organismo, sendo um dos metais mais antigos usado. Cunha (2003) descreveu que cerca de 300 milhões de toneladas de chumbo já foram expostas no meio ambiente, sendo o sexto metal de maior utilidade industrial. Óxido, carbonato, sulfato e cromato de chumbo são utilizados na indústria de baterias, predominantemente na indústria automobilística, de cabos e aço, solda, na fabricação de tintas e pigmentos, na indústria química, em cerâmicas e vidros, em medicamentos, cosméticos e em compostos para estabilização de PVC.

Em seu estudo, Cunha (2003) informou que o chumbo afeta virtualmente todos os órgãos e sistemas do organismo. Os mecanismos de toxicidade propostos envolvem processos bioquímicos fundamentais que incluem a habilidade de inibir ou imitar a ação do cálcio e de interagir com proteínas. Ainda segundo o autor, a contaminação por chumbo apresenta-se de forma gradual, apresentando sinais que progridem até o surgimento de quadros clínicos de encefalopatia com alterações neurológicas como distúrbios de comportamento (paranoia, delírios e alucinações), alterações da marcha e do equilíbrio (denotando já um comprometimento de cerebelo), agitação psicomotora e, em situações de exposição a altas concentrações, alterações de consciência como obnubilação, estupor e coma, precedidos, em alguns casos, de convulsões.

Outro metal a ser destacado é o cobre, que, segundo Azevedo (2003), é um dos principais metais presentes no corpo humano, participando de atividades proteicas, como a tirosinase, a citocromo oxidase e a ceruloplasmina. Apesar da grande importância no corpo humano, sendo necessários de 2 a 5 mg de cobre por dia, seu excesso é nocivo, podendo provocar degeneração hepato-lenticular ou doença de Wilson, apresentando sintomas como dilatação da cápsula do fígado, dores ao correr, mudança na cor da pele para amarela e tremores fortes nos dedos.

Em conjunto, destaca-se o cromo, metal encontrado naturalmente, segundo Ferreira (2003), em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, animais e plantas, sendo que sua forma mais abundante é o minério de cromita. Ainda de acordo com o autor, as concentrações no solo geralmente variam entre 2 e 60 mg kg<sup>-1</sup>. O teor de cromo em ambientes não contaminados por atividades humanas é de cerca de 1 µg/L na água e 0,1 µg/m<sup>3</sup> no ar. As fontes de água podem conter teores de cromo superiores aos padrões nacionais e internacionais para água potável em regiões

onde ocorrem depósitos significativos de cromo. A maior parte das emissões para o ambiente é de origem antropogênica, principalmente emissões industriais, como produção da liga ferrocromo.

Por fim, é pertinente salientar o zinco, metal encontrado em vários minerais, sendo que os principais são a esfaletira (ZnS) e a smithsonita (ZnCO<sub>3</sub>), utilizadas em várias atividades industriais e na agricultura como aditivos em fertilizantes. Segundo Moore e Ramamoorthy (1984), o principal uso para o zinco é na galvanização de produtos de ferro (proporcionando cobertura resistente à corrosão), baterias, fertilizantes, aros e rodas de veículos, tintas, plásticos, borrachas, cosméticos e produtos farmacêuticos. Segundo Cançado (1997), a absorção excessiva desse metal pode resultar em sintomas como vômitos, diarreias e cólicas.

## **2.5 LEGISLAÇÃO INCIDENTE SOBRE CEMITÉRIOS**

No processo de instalação de um empreendimento, existe a necessidade de evitar ou mitigar qualquer eventual dano ambiental que ele possa causar. Tais possíveis passivos ambientais elevam os custos da implantação e ainda alteram significativamente seu cronograma, acarretando sérios prejuízos e, muitas vezes, comprometendo a própria viabilidade. Com um dispositivo norteador, o empreendedor poderá minimizar essas surpresas pós-planejamento adotando um estudo de viabilidade ambiental e, dessa forma, avaliar a viabilidade técnico-financeira da iniciativa, obtendo as características ambientais da área em função das restrições definidas nos dispositivos legais.

Muitos cemitérios antigos, como o de Botucatu, não contavam com legislação pertinente no seu período de implantação, carecendo de regularização. Essa necessidade de regularizar foi descrita em Kemerich (2010), que relatou os potenciais perigos de contaminação desses empreendimentos.

No processo de regularização dessas áreas, a legislação abrange a análise de aspectos ambientais e urbanísticos, tais como o Estatuto da Cidade; Plano Diretor Estratégico; Plano Regional Estratégico; uso e ocupação do solo; legislação sobre passeios públicos; ambientais; recursos hídricos; drenagem e saneamento ambiental; uso racional da água e reuso; remoção e recomposição de vegetação; áreas

contaminadas; parâmetros de incomodidade e proteção de patrimônio histórico e cultural. Essa legislação incidente deve respeitar as três esferas do poder judicial, ou seja, as legislações de âmbito federal, estadual e municipal.

A base inicial é pautada dentro da Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei Federal n° 6938, de 31 agosto de 1981, conforme artigo 9º, inciso III, que determina a realização de avaliação ambiental como um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e dentro da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n.º 237/97, que normatizou os procedimentos para Licenciamento Ambiental. Em consonância também estão as Resoluções CONAMA n.º 335/03, 368/06 e 402/08, que dispõem sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.

Em consonância, elenca-se uma instrução normativa CONAMA n.º 420/09, que estabelece os critérios e valores orientadores (Tabela 1) de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e as diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

*Tabela 1- Valores de referência de metais no solo para Pb, Cu, Cr e Zn*

<b>Metal</b>	<b>Valor de referência para solos (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
Cobre	60
Cromo	75
Zinco	300
Chumbo	72

*Fonte: Instrução normativa CONAMA 420/09.*

Segundo Rocha (2013), os marcos legislativos têm por objetivo regularizar os passivos ambientais, caracterizando e atestando a viabilidade ambiental. Visa-se, assim, minimizar e/ou eliminar as alterações negativas e incrementar os benefícios trazidos pela manutenção do empreendimento.

## **2.6 MODELAGEM NUMÉRICA DE SUPERFÍCIE**

Segundo Ostman (1987), “um modelo numérico de terreno é a representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real”. Assim, uma figura que represente graficamente uma

região necessita de informações vinculadas à superfície real, isto é, um conjunto de pontos amostrados com coordenadas espaciais de latitude, longitude e altitude determinadas num dado referencial.

Conforme Pettinati (1983) explica, a elaboração do modelo matemático de uma superfície consiste no agrupamento dos pontos que descreveram a superfície real em unidades lógicas, denominadas estruturas de dados, e na determinação de funções de interpolação, de forma que todo o conjunto simule, de modo idealizado, o comportamento da superfície original. Segundo Diniz (2002), qualquer forma contínua de representação das variações do relevo no espaço armazenada em formato digital para uso em computadores é chamada de Modelo Digital do Terreno (MDT). Para a representação de uma superfície real no computador, é indispensável a elaboração e criação de um MDT, que pode estar representado por equações analíticas ou por uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno.

## **2.7 GEOESTATÍSTICA**

A variabilidade espacial de algumas características do solo vem sendo estudada desde o início do século, quando, utilizando procedimentos baseados na estatística clássica, necessitava-se de grandes quantidades de dados amostrais para descrever a distribuição espacial da característica em estudo. Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo, sendo necessário levar em consideração a distância entre os valores das observações. Nesse momento, surge o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

A diferença básica entre a estatística e a geoestatística consiste em que a primeira requer valores das amostras independentes espacialmente, enquanto a segunda requer valores das amostras correlacionados (dependentes) no espaço (STURARO, 1993). A geoestatística permite estabelecer um modelo de semivariograma que melhor descreva a variabilidade espacial dos dados, utilizando no processo de interpolação um método que possibilite a geração de uma superfície contínua para a área estudo, expressa através de mapas de isolinhas.

Os métodos geoestatísticos, por serem baseados em modelos matemáticos, propiciam, assim, uma avaliação da variável juntamente com a inevitável incerteza (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Segundo Journel e Huijbregts (1978), um dos métodos mais utilizados na geoestatística é o de tendência ou de krigagem universal. Siqueira (2008), em seu estudo, descreveu que uma das formas de se calcular ajustes no semivariograma é a krigagem, criada pelo pesquisador Daniel G. Krige, que utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo sem tendência e com variância mínima.

Para a interpolação das informações através dessa técnica, é preciso ajustar os dados a um modelo matemático que melhor represente sua variabilidade espacial. O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte à técnica de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975). O semivariograma pode ser estimado através da seguinte equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

*Equação 1- Equação de Semivariância*

Em que  $\gamma^*(h)$  é a semivariância estimada;  $N(h)$  representa o número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$  separadas por um vetor  $(h)$ . Na denominação geoestatística,  $Z(x_i)$  é descrito como variável regionalizada (CLARK, 1979).

O semivariograma busca a distância  $(h)$  entre  $x_i$  e  $x_i+h$ , podendo não a encontrar se os dados possuírem efeito pepita puro. Se  $\gamma^*(h)$  depende somente da distância e não da orientação, o semivariograma é então denominado de isotrópico Landim (2002).

A dependência espacial manifesta-se como uma correlação entre as amostras, que diminui à medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta e desaparece completamente quando a distância entre os pontos amostrais é suficientemente grande, os quais, neste caso, são considerados estatisticamente independentes (VIEIRA, 2000).

O gráfico do semivariograma (Figura 2) é ajustado conforme os parâmetros abaixo:

1. Efeito pepita ( $C_0$ ): teoricamente,  $\gamma^*(0)=0$ , ou seja, o valor do semivariograma para a distância  $h=0$  deve ser zero (0). Porém, esse fato não ocorre na prática.
2. Patamar ( $C_0 + C_1$ ): à medida que a distância ( $h$ ) aumenta, também aumenta a semivariância  $\gamma(h)$ , até um valor máximo em que ela se estabiliza. A distância ( $h$ ) na qual a semivariância  $\gamma(h)$  se estabiliza é denominada alcance ( $a$ ) e é a distância limite de dependência espacial, que representa o raio de um círculo, em que os valores são tão semelhantes que podem ser considerados correlacionados (VIEIRA et al., 1983).

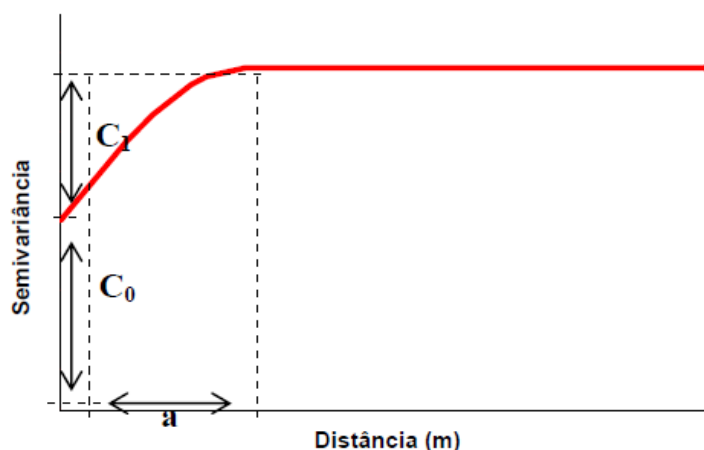


Figura 2– Semivariograma experimental

O gráfico do semivariograma experimental  $\gamma^*(h)$ , calculado pela equação (1), é formado por uma série de valores, aos quais é necessário ajustar uma função. É importante que o modelo ajustado represente a tendência de  $\gamma^*(h)$  em relação a ( $h$ ). O procedimento de ajuste de um modelo teórico ao semivariograma é um dos aspectos mais importantes da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas e não é direto e automático, mas sim interativo, pois, nesse processo, o usuário faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório, sendo, para isso, necessário elaborar várias direções, com o intuito de detectar anisotropias (VIEIRA, 2000).

Na anisotropia, o fenômeno estudado apresenta estruturas de variabilidade espacial diferentes conforme a direção (X ou Y) tomada dentro da área de

estudo (ORTIZ, 2003). Para isso, são comparados semivariogramas estimados principalmente para as direções  $0^\circ$  no eixo X,  $90^\circ$  no eixo Y, e  $45^\circ$  e  $-45^\circ$  nas duas diagonais. Quando o semivariograma não apresentar estruturas de variabilidade espacial nas diferentes direções, o fenômeno é isotrópico (ALMEIDA & RIBEIRO, 1996; CAMARGO, 1997; CARVALHO, 1991). Ribeiro Junior (1995) descreveu ainda que, para um fenômeno isotrópico, a área de influência (alcance) de uma amostra é circular.

A anisotropia pode ainda ser dividida em dois tipos: anisotropia geométrica e anisotropia zonal. A primeira ocorre quando a variabilidade é diferente de uma direção para a outra, mas mantém o mesmo patamar (CAMARGO, 1997; CARVALHO, 1991). Nesse caso, pode-se corrigir os dados através de transformação linear das coordenadas dos eixos anisotrópicos (STURARO, 1993).

Os modelos mais utilizados para ajuste são: esférico, exponencial e gaussiano (figura 4), sendo a aplicação dos cálculos de geoestatística dependentes dos valores aplicados ao modelo durante o ajuste (VIEIRA et al., 1981). Sendo assim, um ajuste errôneo nessa fase implica em erros durante todo o restante do processo de análise espacial.

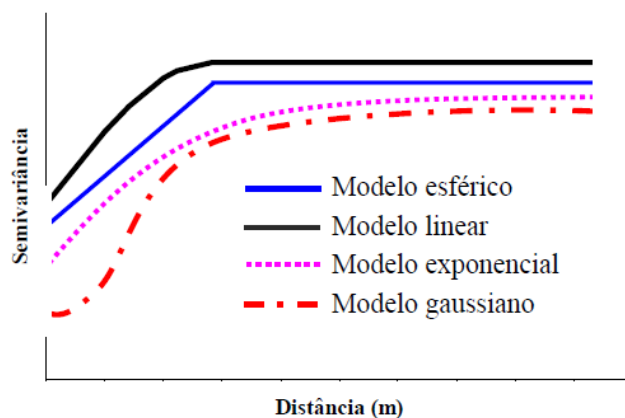


Figura 3 – Modelos de semivariograma

A diferença entre a krigagem e os métodos tradicionais de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos a diferentes amostras. Krigagem é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado (VIEIRA, 2000). Além disso, o



procedimento é um estimador exato com propriedades de não tendenciosidade e variância mínima.

Com isso, é importante a incorporação de procedimentos geoestatísticos em SIG's (sistema de informação geográfica), baseados em técnicas de krigagem, porque essa associação melhora os métodos tradicionais de tais sistemas, devido à qualidade do estimador e, principalmente, pela informação de acurácia fornecida nesse modelo inferencial (RIBEIRO JUNIOR, 1995).

Usando a krigagem, é possível obter a variância da estimativa que é a característica que diferencia esse método dos demais. Essa técnica é importante, pois, além de permitir a estimativa de valores sem tendência para os locais em que não foram medidos, ainda se pode conhecer a confiança associada a essas estimativas (VIEIRA, 2000).

## **2.8 ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Foi descrito no estudo de Tucci (2007) que o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da terra é o escoamento superficial. Sua origem é proveniente das águas pluviais e, em alguns países, do degelo da neve. Segundo Menezes (2010), o “início do processo de escoamento superficial acontece quando a taxa de precipitação supera a taxa de infiltração e retenção de água do solo”, sendo o escoamento superficial considerado como a água que circula sobre a superfície do solo, escorrendo para as depressões do terreno e canalículos e se agrupando até despejar em canais, córregos, rios e lagos.

Fangmeier (2005) descreveu que as águas superficiais acompanham o escoamento subsuperficial, já que o relevo do local influencia a velocidade e a direção do escoamento. O autor explicou que a qualidade da água dos lagos e rios é altamente relacionada à quantidade do escoamento superficial e à qualidade dos sedimentos e nutrientes associados. Dessa forma, quanto maior o volume e a taxa de escoamento superficial, maiores os riscos de degradação dos solos, arraste de sedimentos, alagamentos, destruição de estruturas urbanas, destruição de habitats aquáticos e redução da capacidade de armazenamento de reservatórios (RAUHOFFER et al., 2001; SARTORI et al., 2005a; MAEDA, 2008).

Outra informação importante é a relação do escoamento subterrâneo com escoamento superficial, uma vez que os sistemas de interconexão do lençol freático com as águas da superfície ocorrem pelos exutórios, que são o escoamento superficial e a evapotranspiração (TAJRA, 2001). Quando se relaciona escoamento superficial com cemitérios, encontra-se uma instrução normativa do CONAMA n° 368, de 2006, que descreve critérios para adequação das necrópoles. O artigo segundo dispõe que “o perímetro e o interior do cemitério deverão 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”.

Essa preocupação por parte do órgão ambiental é explicada por Leli (2012) que, em seu estudo, descreveu que a dinâmica da água superficial pode provocar erosões e aporte de sedimentos dentro e fora dos limites do empreendimento e que esse escoamento pode provocar destruição de sepulturas e o conseqüente transporte de contaminantes em pontos onde a inclinação do terreno é maior, podendo percolar necrochorume ou metais pesados para o lençol freático.

Diante desse fato, Menezes (2010) explicou que a simulação dinâmica do escoamento superficial pode contribuir para o planejamento e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas, bacias hidrográficas e alterações de áreas urbanas que sofrem constantes mudanças de uso e cobertura da terra.

Uma forma de prever o escoamento superficial é a utilização de ferramentas de modelagem hidrológicas baseadas em algoritmos usados para a obtenção dessas variáveis descritas por Jenson e Domingue (1988), que são baseadas na análise do Modelo Digital de Elevação.

O processo de determinação do escoamento inicia-se com a análise da matriz do relevo do modelo digital de elevação. Cada pixel é analisado, existindo oito direções de saída válidas, relativas às oito células adjacentes em que o fluxo poderia escoar. Vulgarmente referido como um modelo de fluxo de oito-sentidos (D8) (Figura 4 e 5), esse procedimento segue uma abordagem apresentada em Jenson e Domingue (1988).

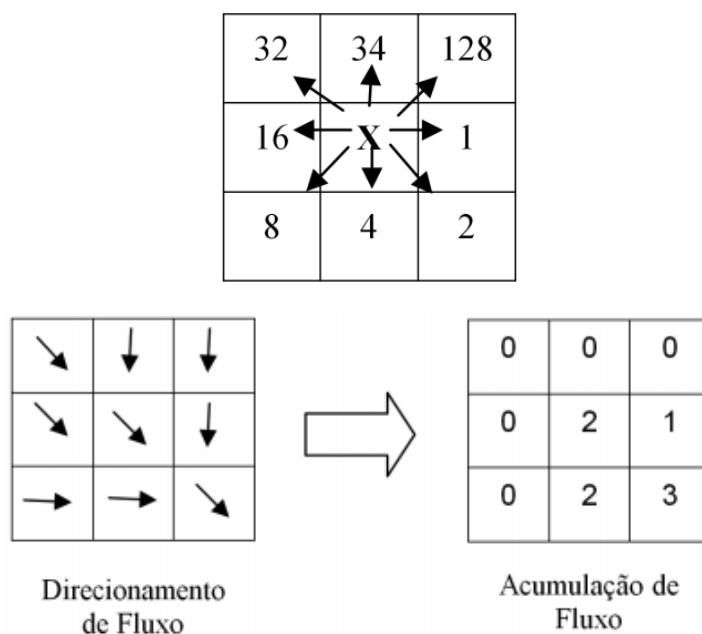


Figura 4 – Direcionamento de Fluxo. Adaptado de Jenson e Domingue (1988)

Dessa maneira, a direção de fluxo é dada pela direção da água que fluirá para o pixel de menor valor de cada pixel que o circunda. Caso todos os pixels vizinhos tenham valores mais altos do que a célula do centro, o valor de direcionamento de fluxo será considerado negativo, ou seja, sem direcionamento de fluxo definido, ocorrendo acúmulo.

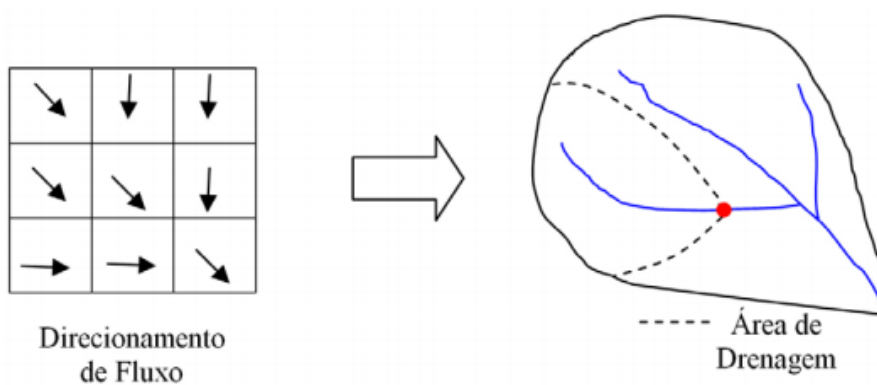


Figura 5 – Área de drenagem. Adaptado de JENSON & DOMINGUE (1988)

## 2.9 PROGRAMAS SIG – ArcGIS 10.3 e SURF 11.0

Segundo Oliveira (2012), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas destinados à aquisição, ao armazenamento, à manipulação, à análise e à apresentação de dados referenciados espacialmente, sendo muito utilizados na área do geoprocessamento. O SIG é uma das tecnologias da informação que transforma o modo de conduzir uma pesquisa e pode oferecer contribuições à sociedade, permitindo coletar e analisar a informação mais rapidamente do que já foi possível com técnicas tradicionais de pesquisa. Como tecnologia inovadora, auxilia tanto em análises de sistemas naturais quanto em sistemas sociais.

Um dos exemplos de programa em ambiente SIG é o ArcGIS®, plataforma desenvolvida pela empresa *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), com a finalidade de gerenciamento, análise e disseminação de dados geográficos. Através de conhecimentos geográficos, esse sistema pode operar em diversos setores, auxiliando na gestão de projetos bem definidos. Ainda segundo Oliveira (2012), o ArcGIS® usa modelos inteligentes para representar e relacionar dados geográficos e fornece todas as ferramentas necessárias para criar e trabalhar com esses dados. Isso inclui ferramentas para todas as tarefas SIG, tais como edição e automação de dados, mapeamento e tarefas baseadas em mapa, gerenciamento de dados, análise geográfica e de dados e implantação de aplicações na internet.

Outro exemplo de um programa em ambiente SIG é a base SURFER®, composta por um pacote de programas comerciais desenvolvidos pela *Golden Software Inc.*, que pode ser utilizada para a confecção de mapas de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos. É uma importante ferramenta para compilação de mapas, reduzindo o tempo desse processo através de algoritmos matemáticos para gerar vetores, otimizando o trabalho do usuário.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo está inserida no município de Botucatu (22°53'09"S; 48°26'42"W e altitude média 786m), localizado na região centro-oeste do Estado de São Paulo), com área total de 1.482,642 km<sup>2</sup>. O município possui elevado gradiente de altitude, entre 400 a 500 m na região mais baixa (depressão periférica) e entre 700 a 900 na região serrana (Planalto Ocidental). Está inserido no bioma cerrado e de mata atlântica, apresentando clima temperado quente (mesotérmico), verão quente e úmido com elevada precipitação e inverno seco (ESCOBEDO et al., 2011). O município é circundado pelos municípios de Anhembi, Bofete, Pardinho, Itatinga, Avaré, Pratânia, São Manuel, Dois Córregos e Santa Maria da Serra (Figura 6). Possui uma população estimada em 2015 de aproximada de 127.308 mil habitantes (IBGE, 2015).

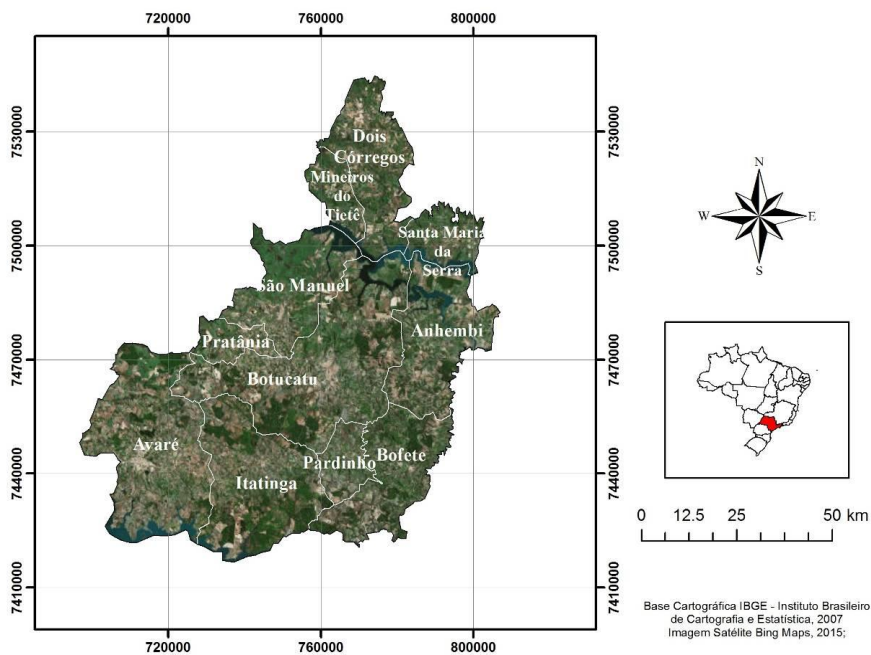


Figura 6 – Inserção regional do município

A área de estudo, Cemitério Municipal Jardim, localiza-se no bairro Jardim Aeroporto, situado a 854 m altitude, fundado no ano de 1986, contendo atualmente cerca de 8 mil sepultamentos, recebendo em média 5 corpos por mês em uma área de 71.000 m<sup>2</sup>, conforme ilustra a Figura 8. Na área estudada, existem basicamente dois tipos de sepulturas, in lóculo (aquelas em que os corpos estão em contato direto com solo) e carneira (placas pré-moldadas onde são sepultados os corpos).



*Figura 7 - Vista Cemitério Municipal Jardim - Botucatu - SP*

A jusante do cemitério existe um fragmento vegetal coberto por vegetação nativa classificada como Floresta Estacional Semidecidual do bioma Mata Atlântica, em estágio secundário inicial de regeneração, apresentando algumas espécies típicas como a Embaúba (*Cecropia hololeuca*), o Jequitibá branco (*Cariniana estrellensis*), a Figueira branca (*Ficus cestrifolia*), a Sangra d'água (*Croton urucurana*), o Guapuruvu (*Schizolobium paraíba*), o Jerivá (*Syagrus romanzofianum*) e Ingá do brejo (*Inga vera*), além de um riacho permanente de pequeno porte, com áreas alagadas no entorno (MACEDO, 2011).



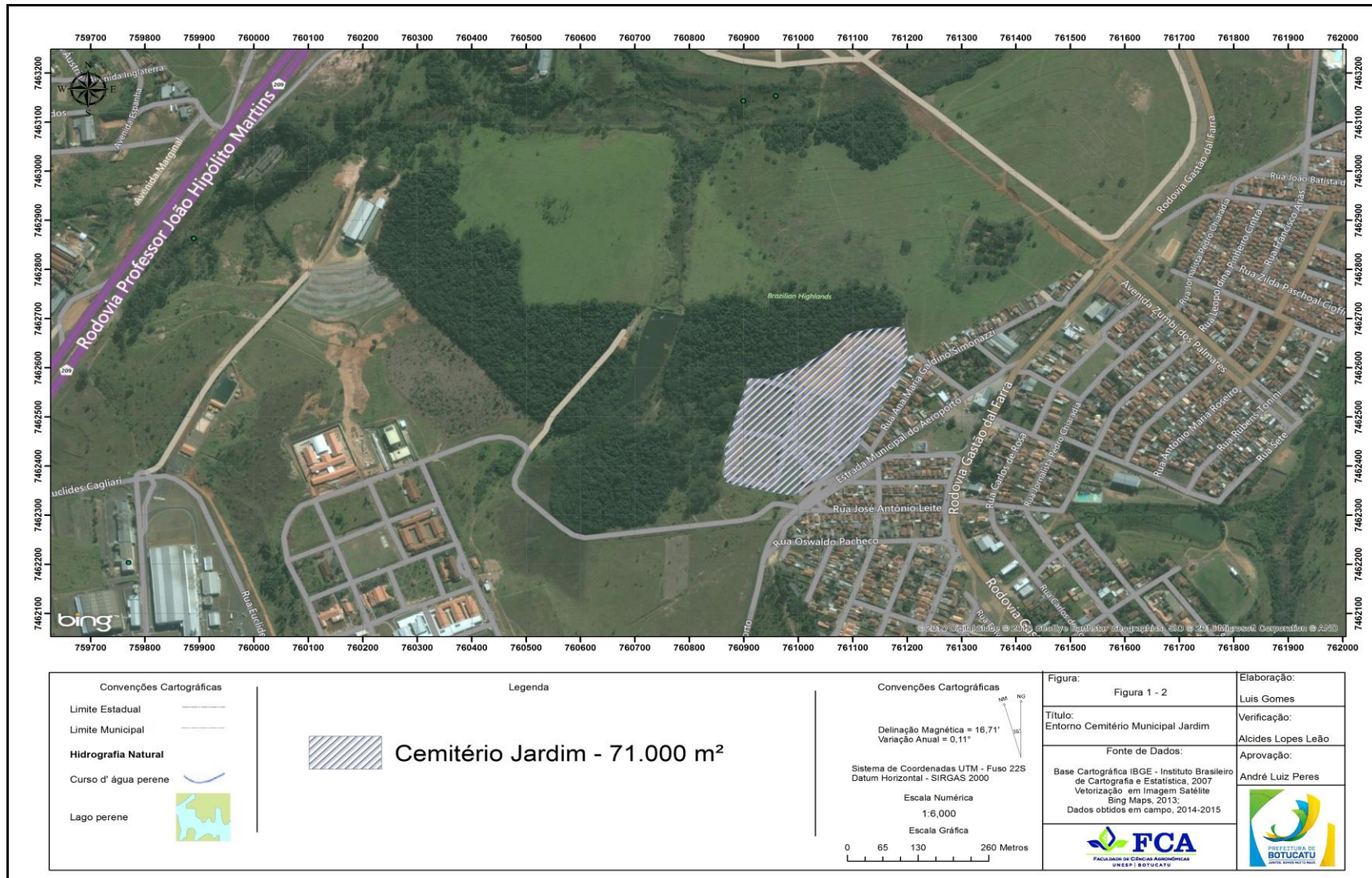


Figura 8 – Inserção do Cemitério Jardim, Botucatu - São Paulo



### 3.2 GEORREFERENCIAMENTO DOS DADOS

Para georreferenciar os limites do cemitério e coletar dados da sua superfície, foi utilizado GPS Garmin, modelo GPSMAP 62sc. O modelo conta com bússola de 3 eixos e compensação de inclinação, altímetro barométrico, câmera de 5 megapixels, auxiliando a tomada de fotos com localização geográfica. Sua antena de captação possui tecnologia helix quádrupla, que reduz o tempo de aquisição de satélites e fornece um erro máximo de 3,66 metros.



*Figura 9- Sistema de Posicionamento Global: Garmin modelo GPSMAP 62sc*

Para o caminhamento, foi utilizada a metodologia apresentada em Pereira (2010), em que se amostrou em direções fixas, com pontos direcionais pré-definidos, resultando em uma amostragem de 1575 pontos. As coordenadas para cada ponto foram obtidas no mesmo sistema de referência – SIRGAS-2000, que atende às recomendações descritas por Landim (2002). Os mapas plotados foram normatizados para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) – SIRGAS-2000 Fuso 22S, tendo assim suas unidades expressa em metros.

Após esse procedimento, os dados do dispositivo foram descarregados através do software MapSource (Garmin v. 6.16.), resultando em um arquivo de texto, que foi ajustado em colunas de latitude, longitude e altitude no software Excell™ (Microsoft v. 2007).

### **3.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO**

Para a elaboração do modelo digital de elevação (MDE), foram realizadas as etapas apresentadas em Landim (2002), utilizando os pontos e valores assumidos pela variável estudada (no caso em questão, a altimetria), buscando-se obter um mapa da distribuição espacial através de um algoritmo de interpolação.

Os dados coletados com o GPS e posteriormente exportados para planilha do Excel foram, então, importados para o SURFER® 11, criando uma matriz (*XYZ Data Files*) contendo latitude, longitude e altitude. Em seguida, foi processada a matriz resultando em uma camada (“*Shape*”) de pontos.

Esse “*Shape*” de pontos foi aberto no programa ArcGIS® e interpolado pelo método de krigagem ordinária e ajustado pelo modelo Gaussiano, buscando atender às premissas descritas em Landim (2003), que relatou “que o coeficiente de Pearson é adimensional e varia entre -1 e 1, onde valores acima de 0.75 correspondem a ajustes satisfatórios em modelos de interpolação pelo método de krigagem ordinária”. Após o processamento utilizando Krigagem, seu produto final é o MDE caracterizando toda a topografia da área de estudo.

### **3.4. SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO CEMITÉRIO MUNICIPAL**

Para a elaboração do modelo de direcionamento do escoamento superficial bem como do acúmulo do fluxo preferencial, utilizaram-se os dados coletados com o GPS e importados para o SURFER® 11, criando uma matriz (*XYZ Data Files*) contendo latitude, longitude e altitude. Em seguida, foi gerada uma camada que delimita a região de drenagem em que ocorre acúmulo do fluxo superficial, baseada na metodologia de Jenson e Domingue (1988). Em conjunto, foi gerada outra camada com as setas direcionais definidas pelo programa como “setas orientadas exibindo direção e magnitude do escoamento superficial”. Por fim, esses “*shapes*” foram exportados para serem utilizados pelo programa ArcGIS® (ESRI v 10.3), gerando os mapas finais.

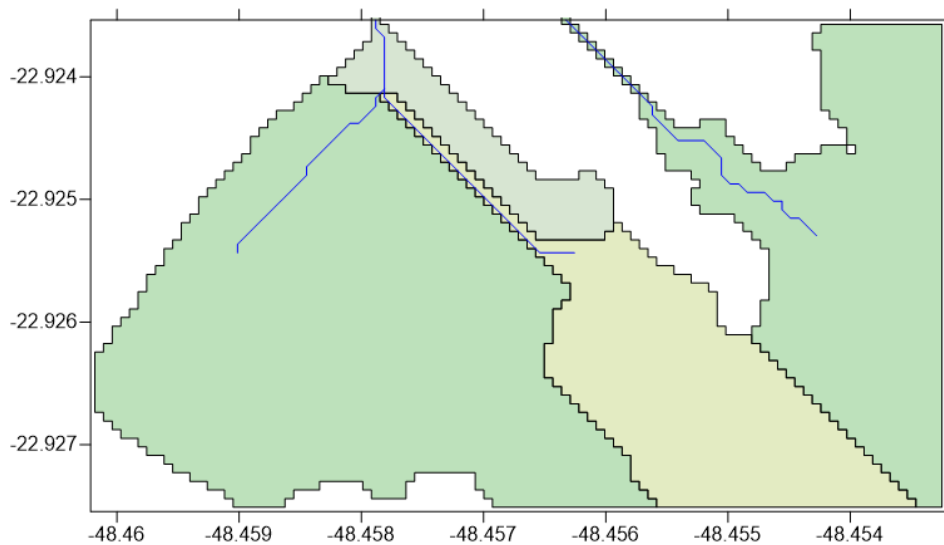


Figura 10- Camada contendo região de drenagem em que ocorre acúmulo do fluxo superficial. SURFER® 11

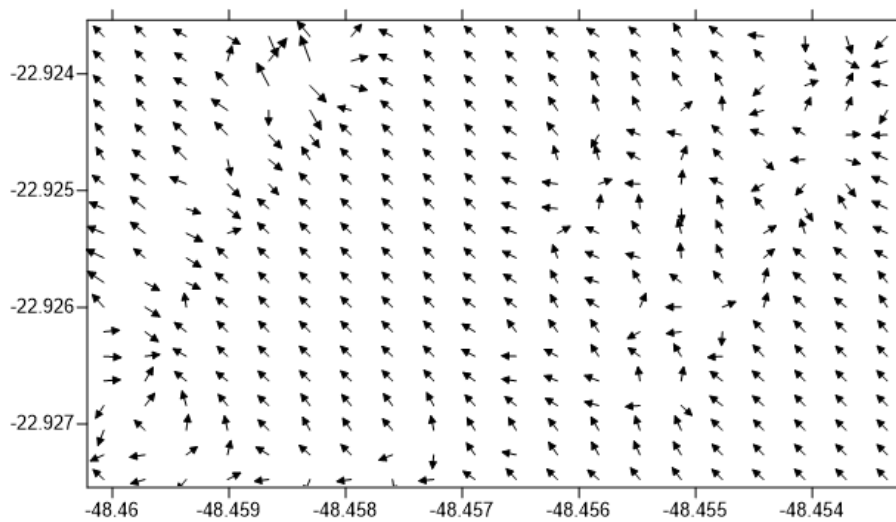


Figura 11- Camada setas orientadas exibindo direção e magnitude do escoamento superficial. SURFER® 11

### 3.5 LOCALIZAÇÕES DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM E COLETA DE AMOSTRAS

A amostragem do solo se baseou em Kemerich (2012). Foi realizada a tradagem para coleta das amostras em função da topografia existente no cemitério e do fluxo preferencial de água superficial, determinado com o auxílio do software ArcGIS 10.3 e Surfer 11, da Golden Software, utilizando-se o método de interpolação matemática *Krigagem*. Foram considerados 9 pontos de coleta (Figura 14), denominados: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9. Os pontos P1, P2 e P3 localizam-se na área de maior elevação e sem atividade de sepultamento; os pontos P4, P5 e P6 encontram-se em áreas de sepultamento seguindo a linha do acúmulo de escoamento superficial; os pontos P7, P8 e P9 encontram-se no fragmento florestal a jusante da área do cemitério, sendo este local o de menor ponto de elevação.

Para a coleta das amostras, foi utilizado um trado holandês manual Sonda Terra de 150 centímetros de comprimento. Cada amostra coletada foi armazenada em sacos plásticos e recebeu identificação correspondendo à localização do ponto de amostragem e à profundidade da coleta. Em cada um dos pontos amostrados foram coletadas seis amostras a cada 50 cm de profundidade, iniciando-se com a amostra superficial em 0 cm, chegando até 300 cm. É pertinente salientar que as coletas realizadas nos locais com atividade de inumação respeitaram a busca por material até o nível do caixão (aproximadamente 150 cm), continuando as coletas das amostras posteriores (150 a 300 cm) após o procedimento de exumação do loco (Foto 12). Para evitar alterações nos resultados, o trado foi lavado com água destilada, esterilizado com álcool 70% e seco com maçarico portátil ao fim de cada coleta de amostra.

As amostras foram transportadas até o Centro de Assistência Toxicológica (CEATOX), do IB/UNESP Botucatu, para a análise da concentração de cinco metais – bário (Ba), cobre (Cu), cromo (Cr), zinco (Zn) e chumbo (Pb) – por espectrofotometria de absorção atômica (ATHANASOPOULOS, 1993). Os valores obtidos foram comparados aos valores de referência propostos pela CONAMA nº420/2009 (Brasil, 2009).



*Figura 12 - Procedimento de coleta de amostras de solo em local com atividade cemiterial, Cemitério Jardim - Botucatu - SP*

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E ACÚMULO DO FLUXO SUPERFICIAL

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido pela Krigagem ordinária, resultando em uma correlação de 0.95 entre os pontos amostrados e os pontos projetados, sendo classificado, segundo Landim (2003), como um modelo satisfatório.

O efeito pepita, citado no item 2.7, é representado pela variabilidade da propriedade em estudo em espaçamentos menores ao amostrado, em que, quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial de um dado atributo (VIEIRA, 1983). Neste estudo, o valor fornecido pela modelagem foi de 1.36, o que comprova a grande dependência espacial dos dados coletados.

Para a krigagem ordinária, a média apresentou-se assimétrica negativa, em um valor de -0.01034 metros (tabela 2), explicado pelo fato de o GPS utilizado possuir erro médio de 3,66 metros, sendo que essa faixa de variação pode ocorrer de forma superior ou inferior à altitude real do ponto cotado. É pertinente salientar que o erro médio é comumente usado como parâmetro estatístico para se avaliar a acurácia da estimativa (VOLTZ & WEBSTER, 1994), de forma que, quanto mais os valores estimados se aproximarem dos observados, menor o valor do erro e melhor a estimativa. Após a modelagem, o erro médio foi 1.82 metros, representando um ótimo ajuste em relação ao erro fornecido pelo equipamento, o que resultou em um modelo topográfico fiel e atual do Cemitério Jardim.

*Tabela 2- Valores estatísticos obtidos pela Krigagem Ordinária – Cemitério Jardim – Botucatu - SP*

Função de regressão	
$0.903222177827286 * x + 83.6204948056721$	
Erros de Predição	
<b>Pontos amostrais</b>	1575 de 1575
<b>Média</b>	-0.01034
<b>Raiz do valor quadrático da média</b>	1.51399
<b>Média Padronizada</b>	-0.00803
<b>Desvio Padrão</b>	1.279
<b>Erro médio</b>	1.182
<b>Correlação</b>	0.95

Os mapas finais foram gerados pelo programa ArcGIS® (ESRI v 10.3), gerando um MDE em escala vermelho-verde, bem como relevo sombreado com exagero vertical de quatro vezes, facilitando a visualização do relevo da área de estudo (Figuras 13 e 14).

A partir do MDE, derivou-se a região de drenagem em que ocorre acúmulo do fluxo superficial, sendo que a camada gerada pelo SURFER® 11 foi exportada e georeferenciada no programa ArcGIS® (ESRI v 10.3), gerando os mapas finais com as alocações dos pontos de amostras, o direcionamento e acúmulo do fluxo superficial (Figura 15).

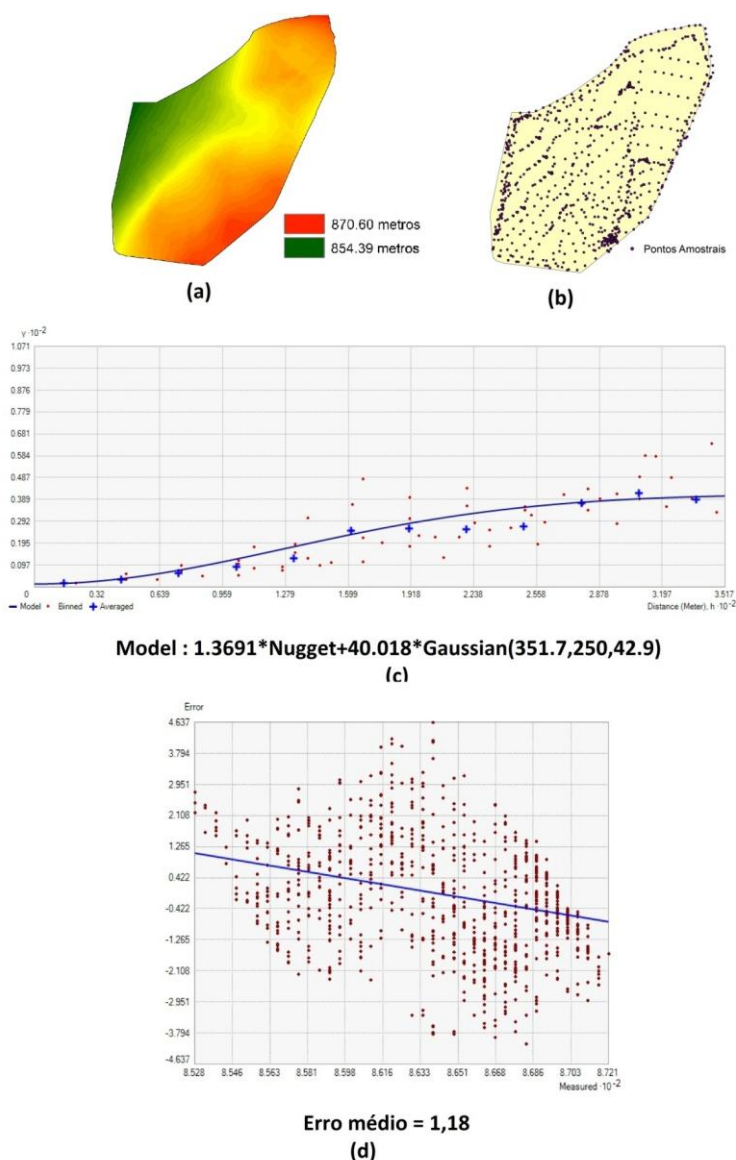


Figura 13- (a) mapa interpolado; (b) mapa de pontos amostrais; (c) gráfico do semivariograma e sua equação; (d) gráfico de validação cruzada dos dados e seu erro médio padrão



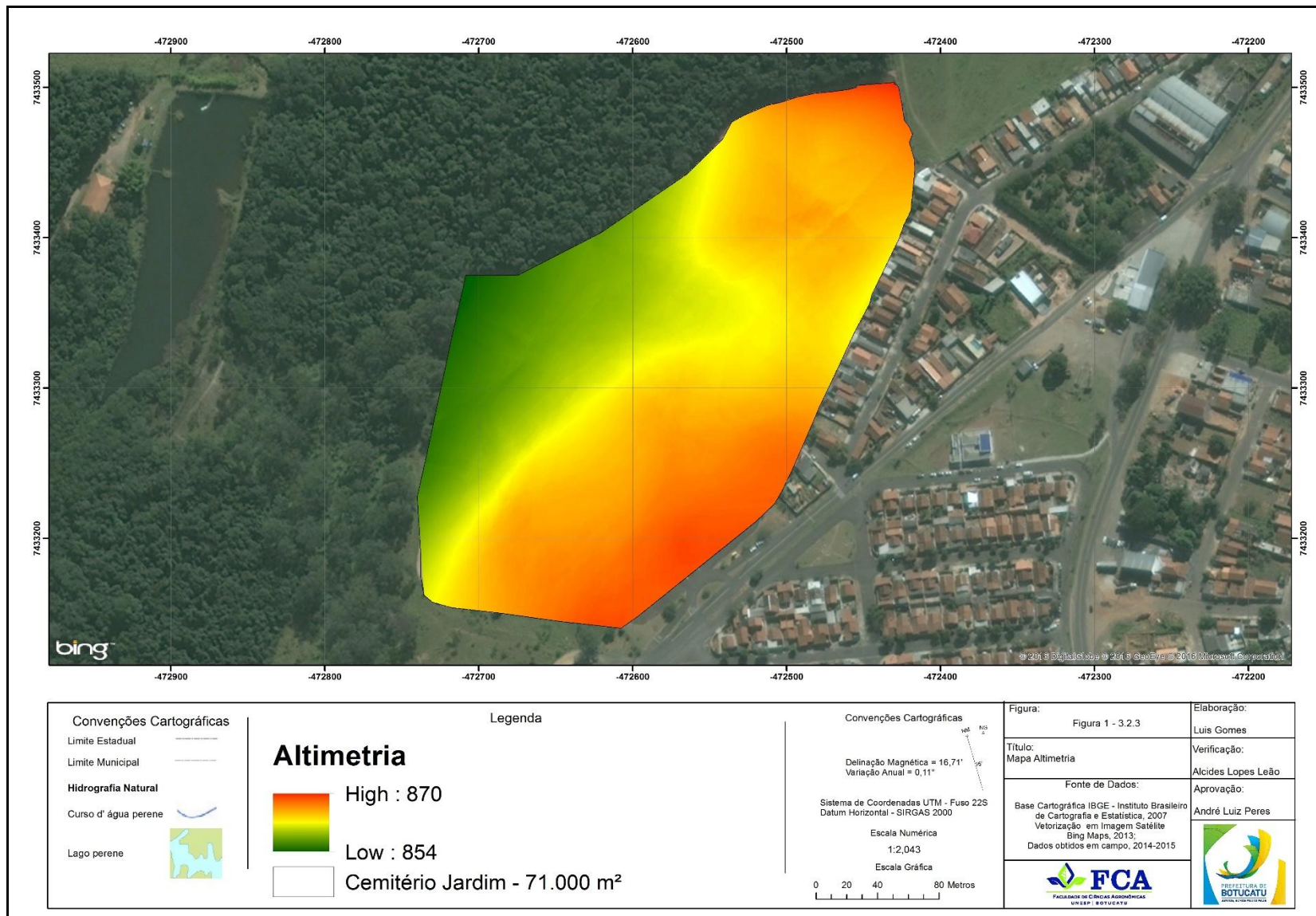


Figura 14 – Modelo Digital de elevação, Cemitério Jardim, Botucatu, SP



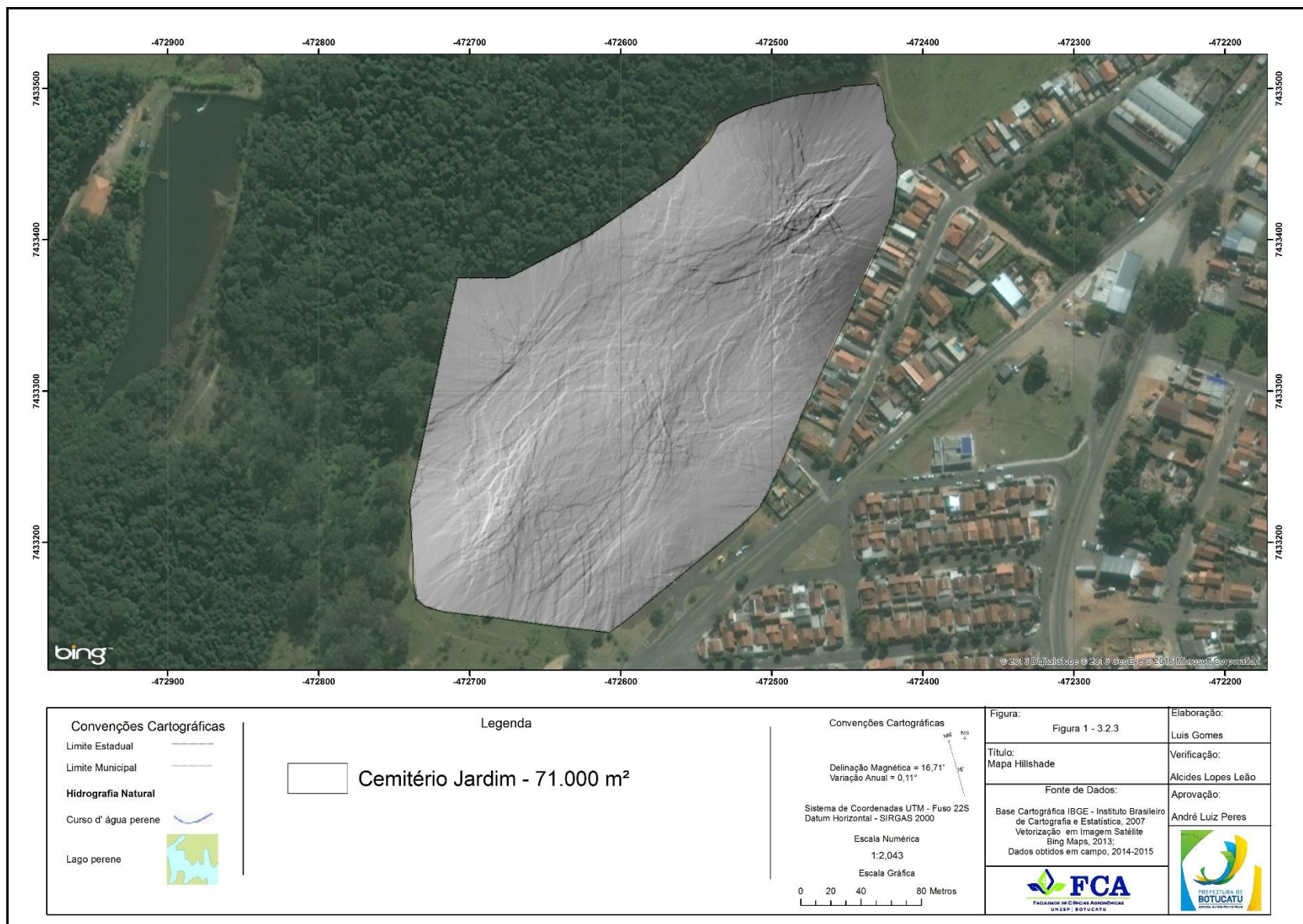


Figura 15 – Relevo sombreado, Cemitério Jardim, Botucatu

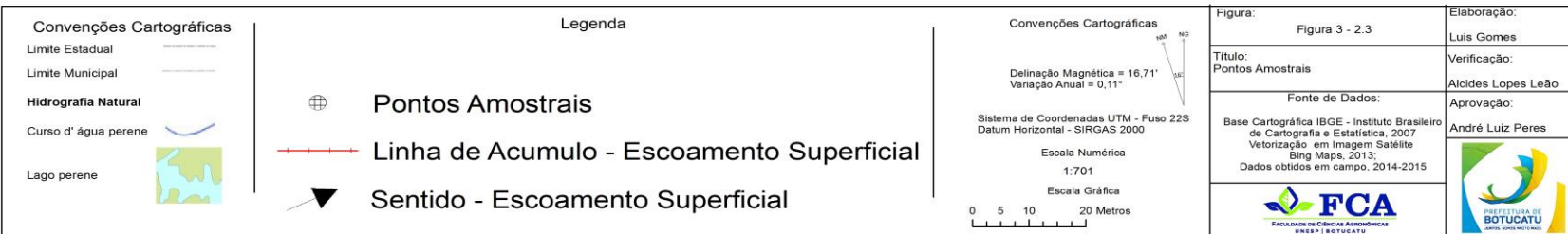


Figura 16 - Alocações dos pontos de amostras, o direcionamento e acumulo do fluxo superficial, cemitério Jardim - Botucatu – SP

## 4.2 VALORES DOS METAIS PESADOS – CHUMBO, CROBRE, CROMO E ZINCO

A Tabela 2 ilustra a concentração dos metais em todos os pontos e profundidades analisados.

*Tabela 3 – Concentração dos metais (mg/Kg<sup>-1</sup>) nos pontos de amostragem no Cemitério Jardim, Botucatu – São Paulo*

P1					P2				
Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco	Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco
0 - 50	1,98	1,57	2,22	0,76	0 - 50	1,74	2,15	1,61	0,83
50 - 100	2,39	1,62	2,57	1,07	50 - 100	2,64	1,85	2,92	1
100 - 150	2,66	1,51	2,24	0,35	100 - 150	2,17	1,15	2,17	0,73
150 - 200	2,58	1,99	1,96	1,02	150 - 200	2,35	2,05	2,12	0,97
200 - 250	2,92	2,38	2,65	1,05	200 - 250	2,25	1,9	2,41	0,65
250 - 300	2,38	1,26	1,63	0,21	250 - 300	2,29	1,18	1,71	0,2
P3					P4				
Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco	Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco
0 - 50	1,65	2,43	1,51	0,94	0 - 50	2,43	2,45	2,29	0,89
50 - 100	2,89	1,49	2,65	1,12	50 - 100	3,06	2,38	3,37	1,07
100 - 150	2,13	1,57	1,79	0,54	100 - 150	3,09	1,65	3,16	0,11
150 - 200	2,55	2,64	2,54	1	150 - 200	3,24	2,81	3,31	1,26
200 - 250	2,86	2,21	2,76	0,85	200 - 250	3,11	2,77	3,67	1,21
250 - 300	2,49	1,31	1,98	0,23	250 - 300	3,14	1,85	2,61	0,21
P5					P6				
Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco	Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco
0 - 50	2,47	2,43	2,81	0,99	0 - 50	2,59	2,31	2,37	1,01
50 - 100	2,89	2,51	3,43	1,11	50 - 100	3,08	2,61	3,51	1,57
100 - 150	3,23	2,74	3,17	0,35	100 - 150	3,19	3	3,2	0,47
150 - 200	3,44	3,02	3,39	1,32	150 - 200	3,51	3,15	3,48	1,39
200 - 250	3,36	2,86	3,77	1,17	200 - 250	3,27	2,94	3,51	1,21
250 - 300	3,31	2,08	2,8	0,63	250 - 300	3,22	2,12	1,79	0,79
P7					P8				
Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco	Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco
0 - 50	1,97	1,49	2,23	0,95	0 - 50	1,88	1,47	1,61	0,99
50 - 100	2,34	1,56	2,58	0,96	50 - 100	2,32	1,46	2,17	0,87
100 - 150	2,65	1,49	2,32	0,77	100 - 150	2,59	1,43	2,39	1,02
150 - 200	2,56	1,99	2	1,13	150 - 200	2,51	1,94	2,01	1,06
200 - 250	2,9	2,33	2,75	0,35	200 - 250	2,8	2,29	2,85	0,81

P7					P8				
Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco	Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco
250 - 300	2,35	1,2	1,69	0,55	250 - 300	2,26	1,16	1,78	0,63

P9				
Perfil (cm)	Chumbo	Cobre	Cromo	Zinco
0 - 50	1,93	1,41	2,24	1,01
50 - 100	2,26	1,54	2,63	0,92
100 - 150	2,62	1,47	2,35	1
150 - 200	2,53	1,97	2,09	1,01
200 - 250	2,82	2,29	2,83	0,77
250 - 300	2,34	1,15	1,79	0,59

### 4.2.1 CHUMBO

As Figura 17 e 18 apresentam a variação da concentração de chumbo na área ocupada pelo cemitério Jardim entre os pontos P1 e P9, nas profundidades 0 a 300 cm. Na área estudada, considerando todos os 9 pontos amostrados, a concentração do metal não ultrapassou os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 para solos ( $72 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Morgental (1978) descreveu valores gerais de concentrações de chumbo variando de 1,5 a  $1.300 \text{ mg kg}^{-1}$  e estabeleceu o valor  $16 \text{ mg kg}^{-1}$  como valor médio, tanto para sedimentos de corrente, quanto para solos.

Em seu estudo, Cunha (2003) informou que o chumbo afeta virtualmente todos os órgãos e sistemas do organismo. Os mecanismos de toxicidade propostos envolvem processos bioquímicos fundamentais que incluem a habilidade de inibir ou imitar a ação do cálcio e de interagir com proteínas. Ainda segundo o autor, a contaminação por chumbo apresenta-se de forma gradual, apresentando sinais que progridem até o surgimento de quadros clínicos de encefalopatia com alterações neurológicas como distúrbios de comportamento (paranoia, delírios e alucinações), alterações da marcha e do equilíbrio (denotando já um comprometimento de cerebelo), agitação psicomotora e, em situações de exposição a altas concentrações, alterações de consciência como obnubilação, estupor e coma, precedidos, em alguns casos, de convulsões.

Nas profundidades amostradas de 0 a 150 cm, os maiores valores encontram-se nas regiões onde ocorreram sepultamentos; já os menores estão

onde não ocorreram sepultamento, exceto pelo perfil de 50 a 100 cm, em que o menor valor encontrado está alocado no fragmento florestal a jusante do cemitério.

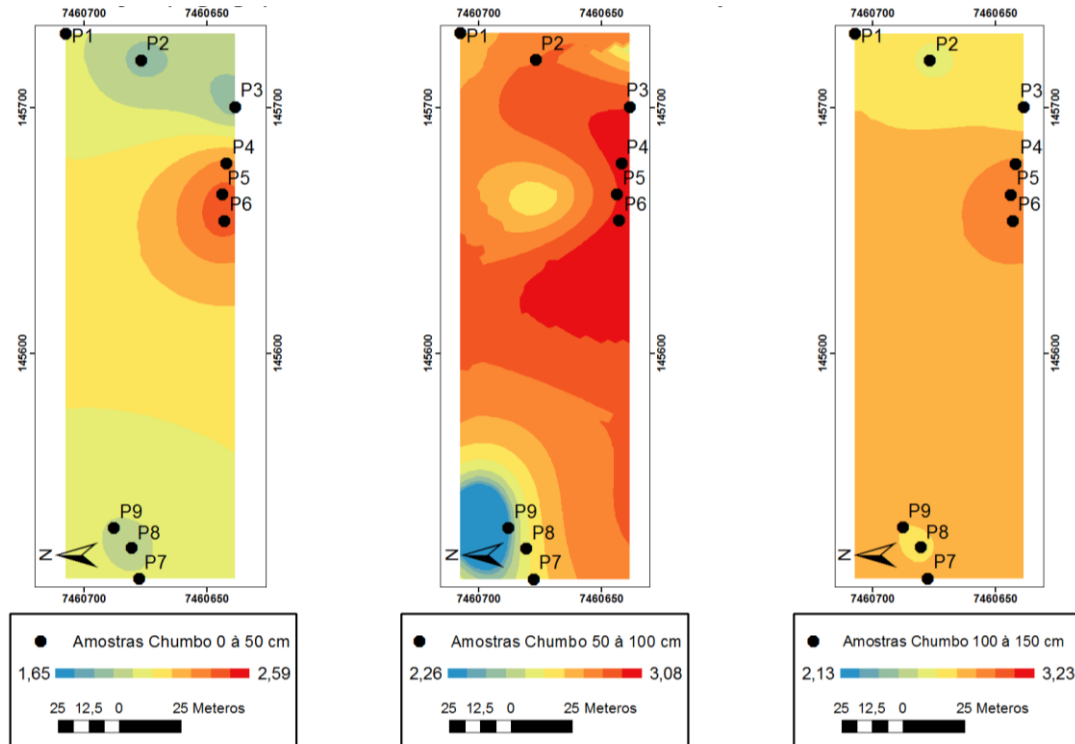


Figura 17 – Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de chumbo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm

Na profundidade de 150 a 300 cm (Figura 18), foram encontrados os valores mais elevados na área de sepultamento, com o maior valor na profundidade 200 a 250 cm, com  $3,36 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esse mesmo perfil de amostragem apresentou maiores valores no estudo de Kemerich (2012), o que pode ser explicado pela sua proximidade ou até pelo contato direto com o caixão.

Os menores valores novamente foram encontrados na área sem atividades de sepultamento e na área do fragmento florestal, valor de concentração de  $2,25 \text{ mg kg}^{-1}$ .



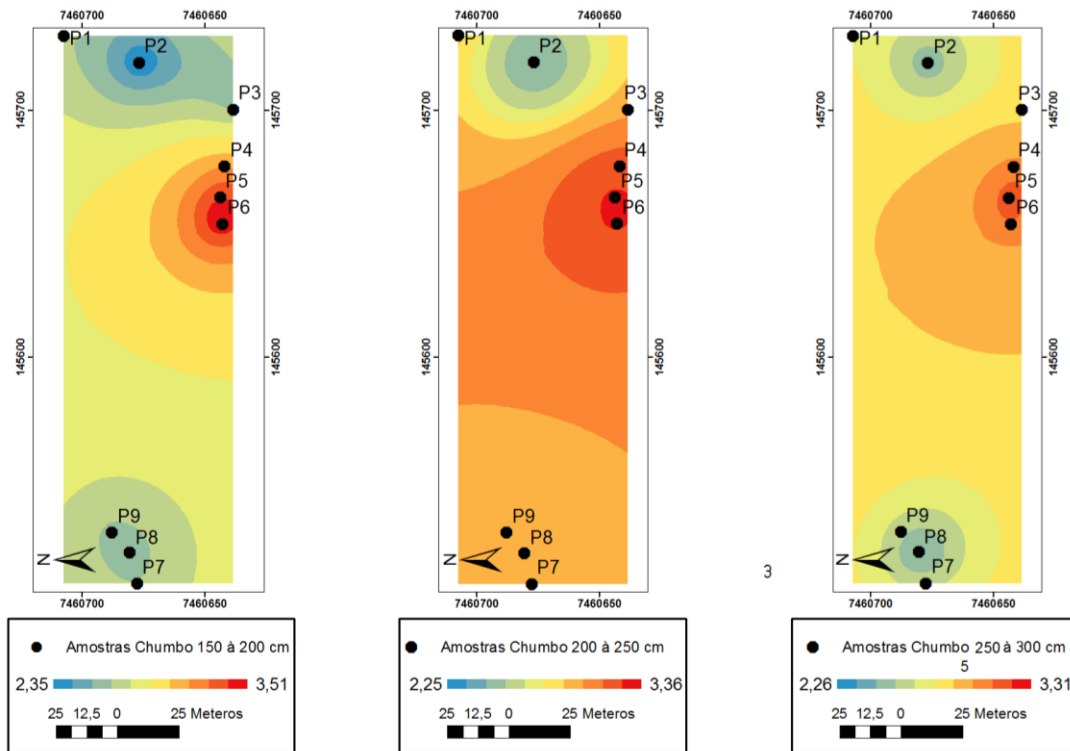


Figura 18 – Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de chumbo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm

A Figura 19 ilustra a concentração média de chumbo nos 9 diferentes pontos de amostragem, sendo os maiores valores médios encontrados no ponto 6, com concentração que varia de 2,59 a 3,51  $\text{mg kg}^{-1}$ ; já os menores valores médios foram encontrados no ponto 2, cuja concentração variou de 1,74 a 2,64  $\text{mg kg}^{-1}$ . A Figura 19 ilustra a concentração média de chumbo em 6 diferentes profundidades, sendo os maiores valores médios presentes na profundidade 150 a 200 cm, variando de 2,35 a 3,51  $\text{mg kg}^{-1}$ , já as menores concentrações médias encontram-se na profundidade 0 a 50 cm, com variação de 1,65 a 2,59  $\text{mg kg}^{-1}$ .

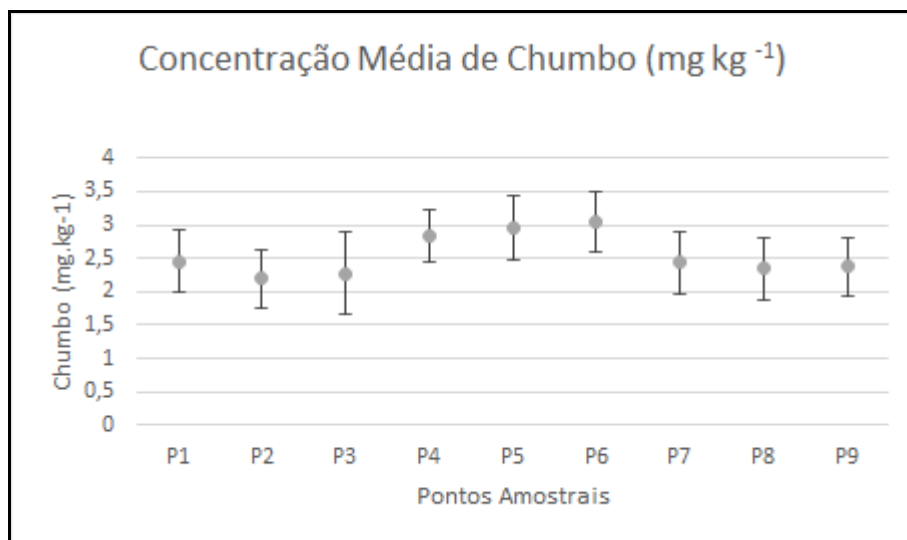


Figura 19 - Concentração média de chumbo em 9 pontos de amostragens.

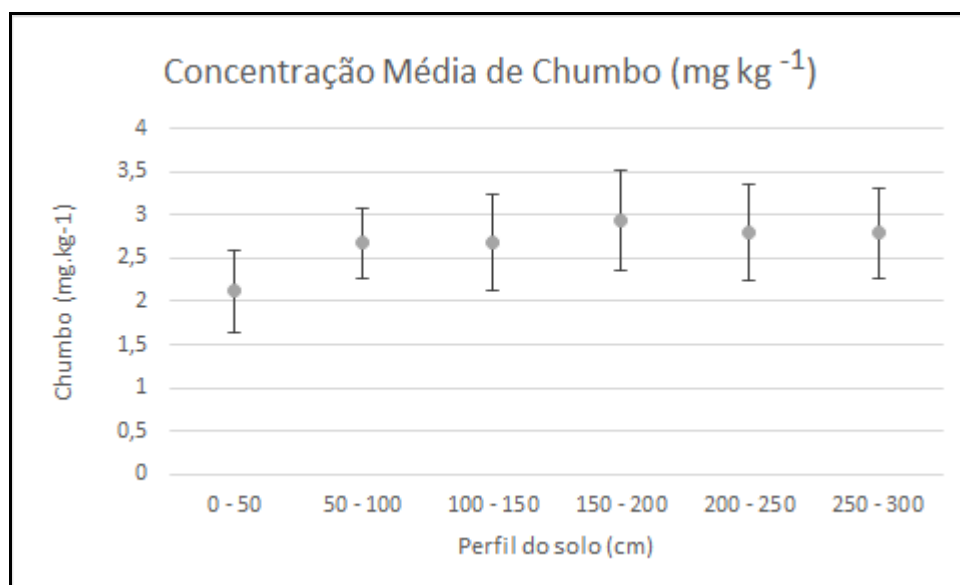


Figura 20 - Concentração média de chumbo em 6 diferentes profundidades.

#### 4.2.2 COBRE

As Figuras 21 e 22 apresentam os teores de cobre na área ocupada pelo cemitério Jardim nos pontos P1 a P9, sendo que nenhum ponto amostrado excedeu os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, que apresenta  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  como valor máximo permitido.

Segundo Azevedo (2003), o cobre é um dos principais metais presentes no corpo humano, participando de atividades proteicas, como a tirosinase, a citocromo oxidase e a ceruloplasmina, sendo necessários de 2 a 5 mg de cobre por dia. Apesar da grande importância no corpo humano, seu excesso é nocivo, podendo provocar degeneração hepato-lenticular ou doença de Wilson, apresentando sintomas como dilatação da cápsula do fígado, dores ao correr, mudança na cor da pele para amarela e tremores fortes nos dedos.

Segundo Sodré (2001), o cobre também atende aos critérios de essencialidade para plantas e micro-organismos, sendo classificado como micronutriente com concentração média no solo de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , com variações na faixa de 1 a  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ . Sua acumulação no solo pode ser oriunda de resíduos urbanos e industriais, pesticidas e fertilizantes, entre outros. Ainda segundo o autor, em grandes concentrações esse metal pode proporcionar efeitos tóxicos ao tecido vegetal e causar a deficiência de outros nutrientes essenciais através de interações antagônicas.

No perfil amostrado entre 0 a 150 cm, os maiores valores encontram-se na região dos sepultamentos, tendo o perfil de 50 a 100 cm apresentando a maior concentração de  $2,61 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os menores valores foram registrados nas amostras com origem no fragmento florestal, podendo essa variação ser explicada pela diferença de temperatura existente entre os locais, pois, segundo Mittiazzo (2001), características edafoclimáticas como temperatura e presença de matéria orgânica influenciam a disponibilidade de cobre.



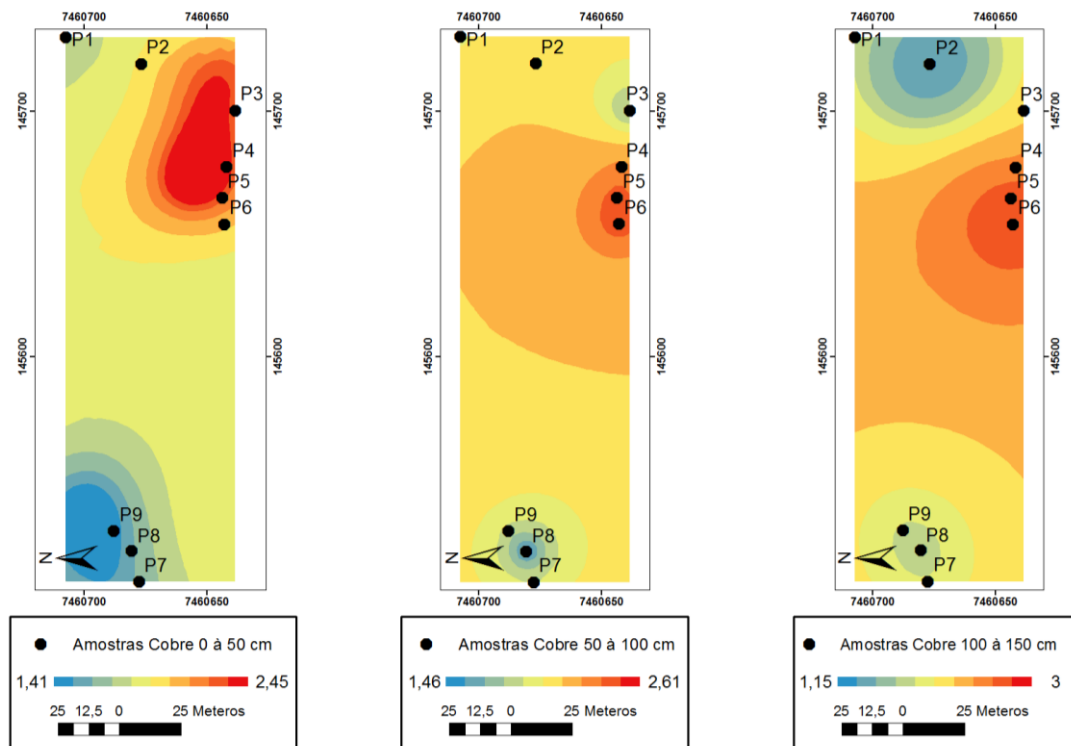


Figura 21 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cobre no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm

No perfil de 150 a 300 cm (Figura 22), os maiores valores de cobre foram encontrados na região onde ocorreram sepultamento, sendo o perfil de 150 a 200 cm com maior valor,  $3,15 \text{ mg kg}^{-1}$ . Essa particularidade pode ser explicada pela presença de adornos nos caixões que têm em sua constituição principal ligas de cobre (liga de cobre e estanho) e latões (liga de cobre e zinco), que, sem as medidas adequadas de proteção contra a corrosão, são progressivamente degradados (FONTINHA, 2008). É interessante destacar que no perfil de profundidade 250 a 300 cm a concentração de cobre apresentou uma grande retração, fato que pode ser explicado pela ação dos ácidos húmicos oriundos da decomposição dos corpos nas covas amostradas, pois, de acordo com Abreu (2001), a presença de ácido húmico forma complexos estáveis com o cobre, tornando esse elemento indisponível.

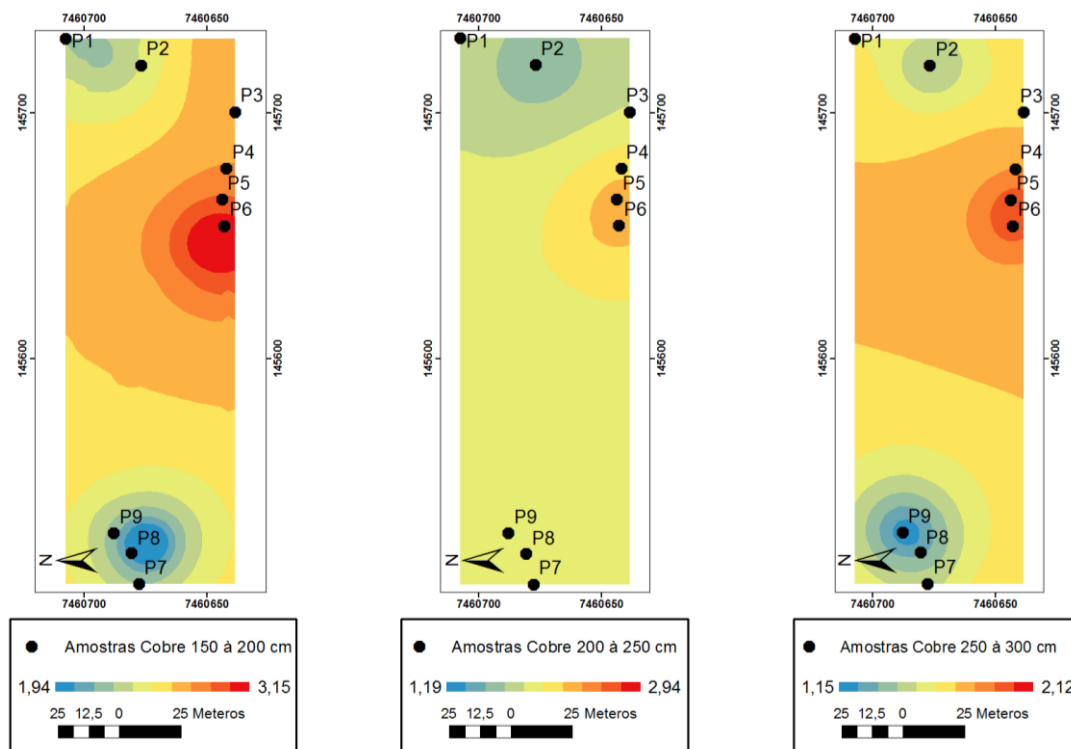


Figura 22 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cobre no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm

A Figura 23 ilustra a concentração média de cobre nos 9 diferentes pontos de amostragem, sendo o maior valor médio encontrado no ponto 6, coincidindo com o fluxo preferencial da água superficial, cuja concentração varia de 2,12 a 3,15  $\text{mg kg}^{-1}$ , já o menor valor médio foi encontrado no ponto 2, com concentração que variou de 1,15 a 2,15  $\text{mg kg}^{-1}$ . A Figura 24 ilustra a concentração média de cobre em 6 diferentes profundidades, sendo os maiores valores médios presentes na profundidade 150 a 200 cm a uma concentração que variou de 1,94 a 3,15  $\text{mg kg}^{-1}$ , enquanto as menores concentrações médias encontraram-se na profundidade 250 a 300 cm, com uma variação de 1,15 a 2,12  $\text{mg kg}^{-1}$ .

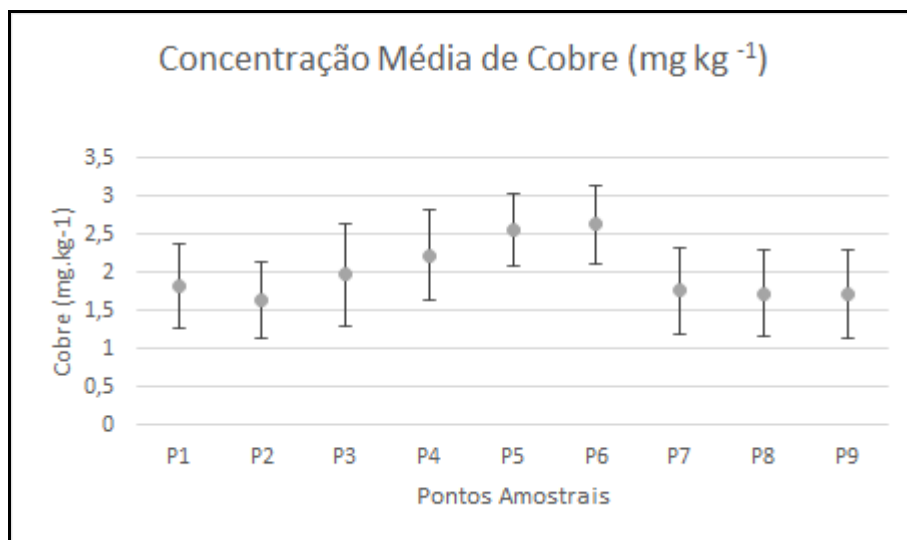


Figura 23 - Concentração média de cobre em 9 pontos de amostragens.

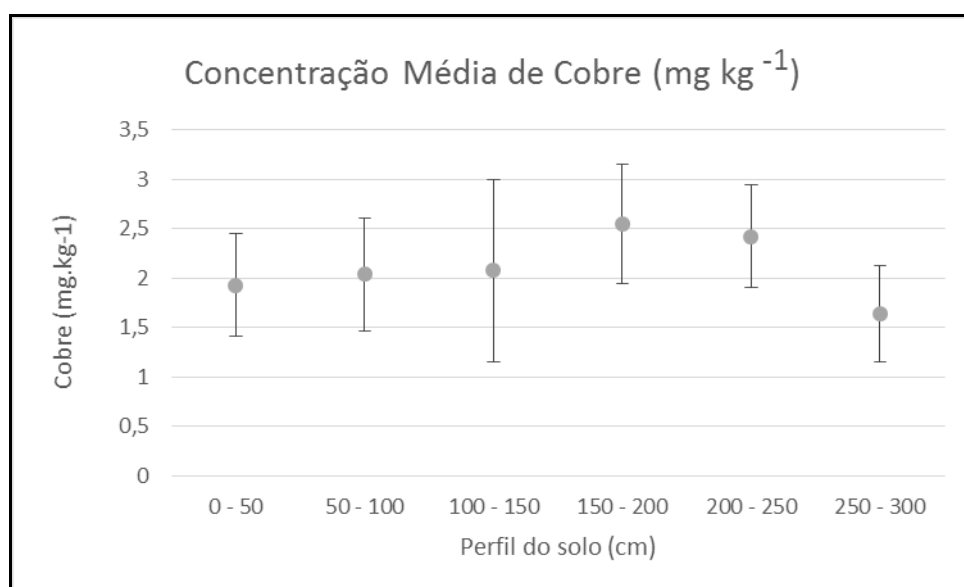


Figura 24 - Concentração média de cobre em 6 diferentes profundidades.

### 4.2.3 CROMO

As Figuras 25 e 26 apresentam os teores de cromo na área ocupada pelo cemitério Jardim nos pontos P1 a P9. Nenhum dos pontos amostrados excedeu os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, que apresenta 75 mg kg<sup>-1</sup> como valor máximo permitido.

Conforme estudo de Ferreira (2003), o cromo é encontrado naturalmente em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, animais e plantas, sendo sua forma mais abundante o minério de cromita. Ainda segundo o autor, as concentrações no solo geralmente variam entre 2 e 60 mg kg<sup>-1</sup>. O teor de cromo em ambientes não contaminados por atividades humanas é de cerca de 1 µg/L na água e 0,1 µg/m<sup>3</sup> no ar. As fontes de água podem conter teores de cromo superiores aos padrões nacionais e internacionais para água potável em regiões onde ocorrem depósitos significativos de cromo. A maior parte das emissões para o ambiente é de origem antropogênica, principalmente emissões industriais, como produção da liga ferrocromo.

Conforme Mácedo (2004), o cromo é um elemento essencial, mas também pode ser tóxico para o ser humano podendo causar dermatites de contato, ulcerações crônicas na pele e perfurações no septo nasal e falência renal aguda caracterizada por perda de proteínas e sangue na urina.

Segundo Schirmer (2009), o cromo no solo está em sua maioria na forma de óxido insolúvel Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de baixa mobilidade, com uma pequena quantidade ocorrendo nas formas solúveis de Cr<sup>6</sup> e Cr<sup>3</sup>, tendo sua mobilidade dependente do teor de argila, matéria orgânica e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

O elemento químico cromo é extremamente usado na metalurgia (a fim de aumentar a resistência do material à corrosão), em ligas metálicas (aço inoxidável) e em ambientes cemiteriais, sendo encontrado nas peças de adorno e alças de caixões oriundos do processo de cromagem (deposição sobre uma peça, geralmente metálica, de uma capa protetora de cromo, por meio de eletrodeposição).

No perfil amostrado de 0 a 150 cm, as maiores concentrações de cromo ocorreram no local de sepultamento, com valores de 3,51 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto os menores valores ocorreram na área do fragmento florestal e área sem atividades de sepultamento, sendo possível visualizar acúmulo de cromo 75% maior na área onde ocorre sepultamento em comparação com as demais áreas.

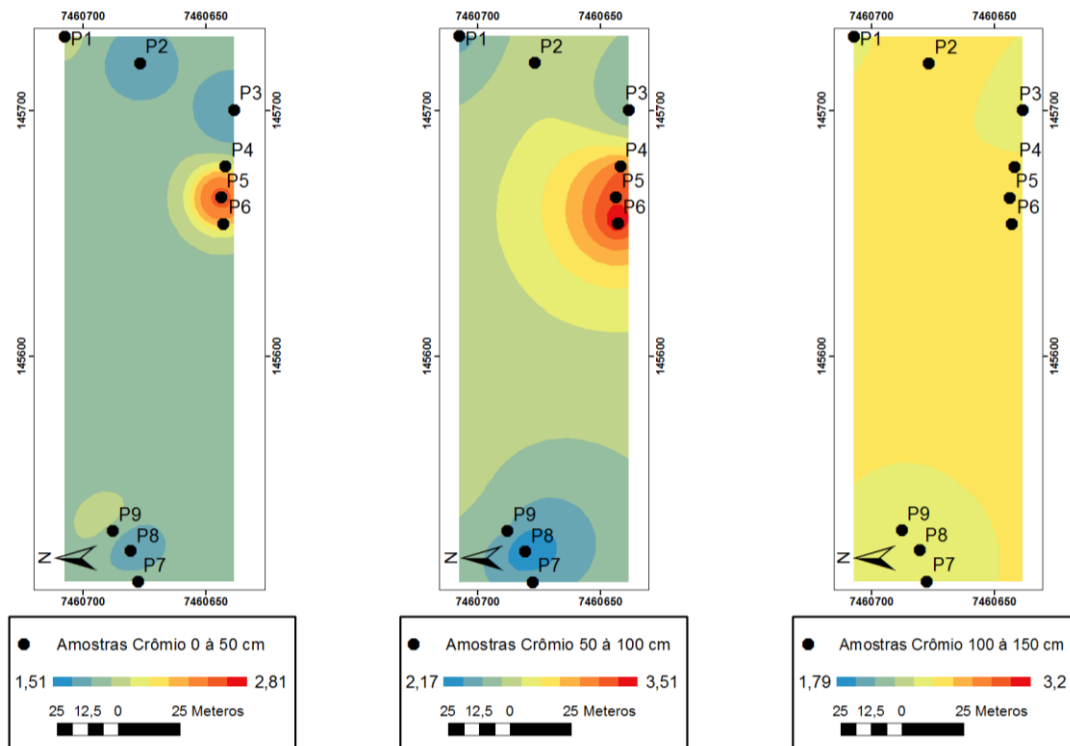


Figura 25 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cromo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm

A Figura 26 ilustra as concentrações de cromo nas profundidades de 150 a 300 cm, sendo que a profundidade de 200 a 250 cm apresenta os maiores valores de concentração, coincidindo com o estudo de Kemerich (2012), que também apresentou os maiores valores nesse perfil. Nesse grupo, os menores valores de concentração foram encontrados no perfil de profundidade entre 150 e 200 cm, o que mostra que a maior ocorrência do metal é provocada pela introdução do sepultamento.

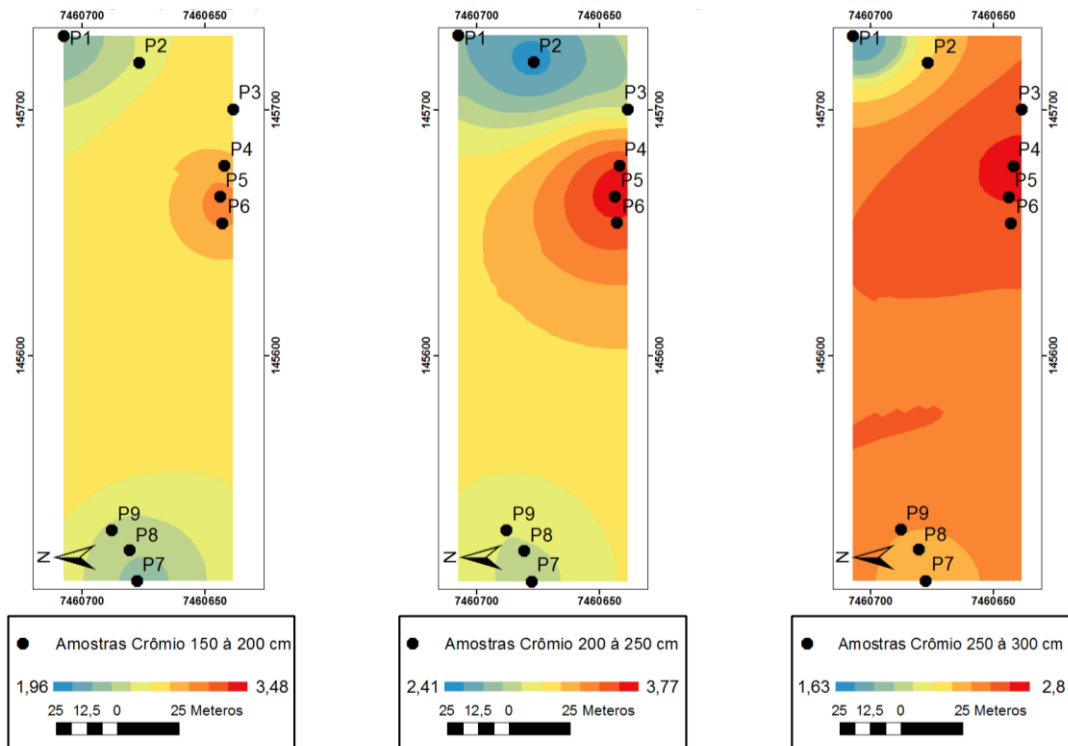


Figura 26 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cromo no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm

A Figura 27 ilustra a concentração média de cromo nos 9 diferentes pontos de amostragem, sendo os maiores valores médios encontrados no ponto 5, com concentração que varia de 2,8 a  $3,77 \text{ mg kg}^{-1}$ , já os menores valores foram encontrados no ponto 3, cuja concentração variou de 1,51 a  $2,76 \text{ mg kg}^{-1}$ . A Figura 26 ilustra a concentração média de cromo em 6 diferentes profundidades, sendo os maiores valores médios presentes na profundidade de 200 a 250 cm, variando de 2,41 a  $3,77 \text{ mg kg}^{-1}$ , já as menores concentrações médias encontram-se na profundidade 250 a 300 cm, com variação de 1,63 a  $2,8 \text{ mg kg}^{-1}$ . O ponto 3 tem uma menor influência do fluxo preferencial, pois está localizado no ponto mais alto do terreno, já o ponto 5 está sob forte influência do escoamento superficial.

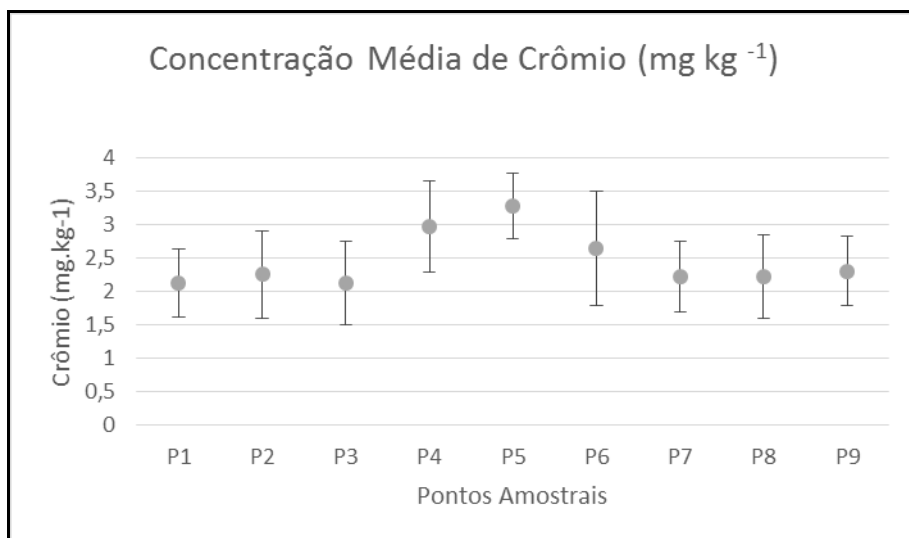


Figura 27 - Concentração média de cromo em 9 pontos de amostragens.

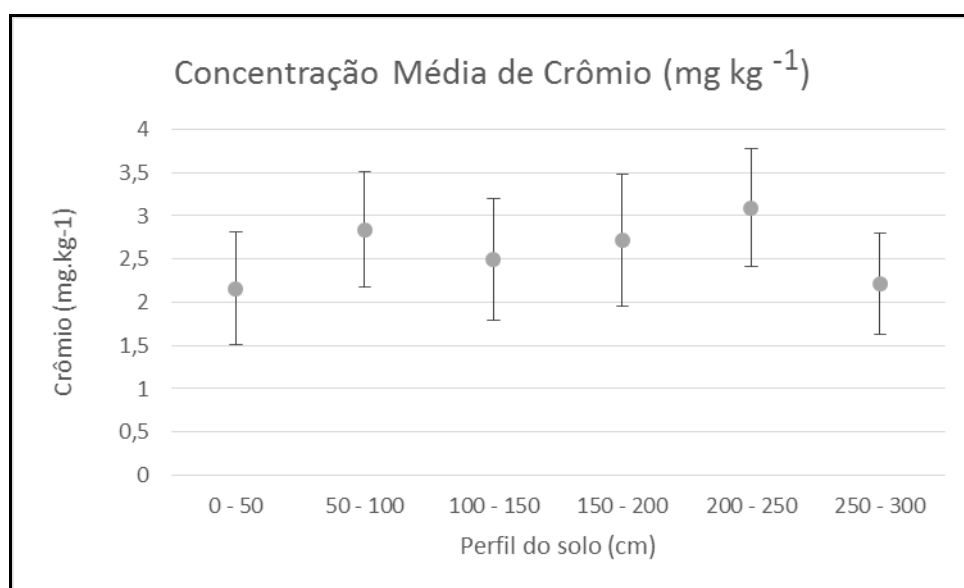


Figura 28 - Concentração média de cromo em 6 diferentes profundidades.

#### 4.2.4 ZINCO

As Figuras 29 e 30 apresentam os teores de zinco na área ocupada pelo cemitério Jardim nos pontos P1 a P9, sendo que nenhum ponto amostrado

excedeu os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, que apresenta  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  como valor máximo permitido.

O zinco é encontrado em vários minerais, sendo os principais a esfaletira ( $\text{ZnS}$ ) e a smithsonita ( $\text{ZnCO}_3$ ), utilizadas em várias atividades industriais e na agricultura, como aditivos em fertilizantes.

Segundo Moore e Ramamoorthy (1984), o principal uso para o zinco é na galvanização de produtos de ferro (proporcionando cobertura resistente à corrosão), baterias, fertilizantes, aros e rodas de veículos, tintas, plásticos, borrachas, cosméticos e produtos farmacêuticos. Segundo Cançado (1997), a absorção excessiva desse metal pode resultar em sintomas como vômitos, diarreias e cólicas.

Na Figura 29, o perfil amostrado é o de 0 a 150 cm, sendo que as maiores concentrações de Zinco ocorreram no local do fragmento florestal, com valores de  $1,01 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto os menores valores ocorreram na área de sepultamento, com valores de concentração em  $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esses valores podem ser explicados pelo fato de o zinco estar diretamente ligado ao teor e à composição da fração argila, do conteúdo de matéria orgânica e das condições físicoquímicas dos solos Segundo Benedet (2014), quanto maior a presença de matéria orgânica, maior a tendência da disponibilidade e mobilidade desse elemento no solo.



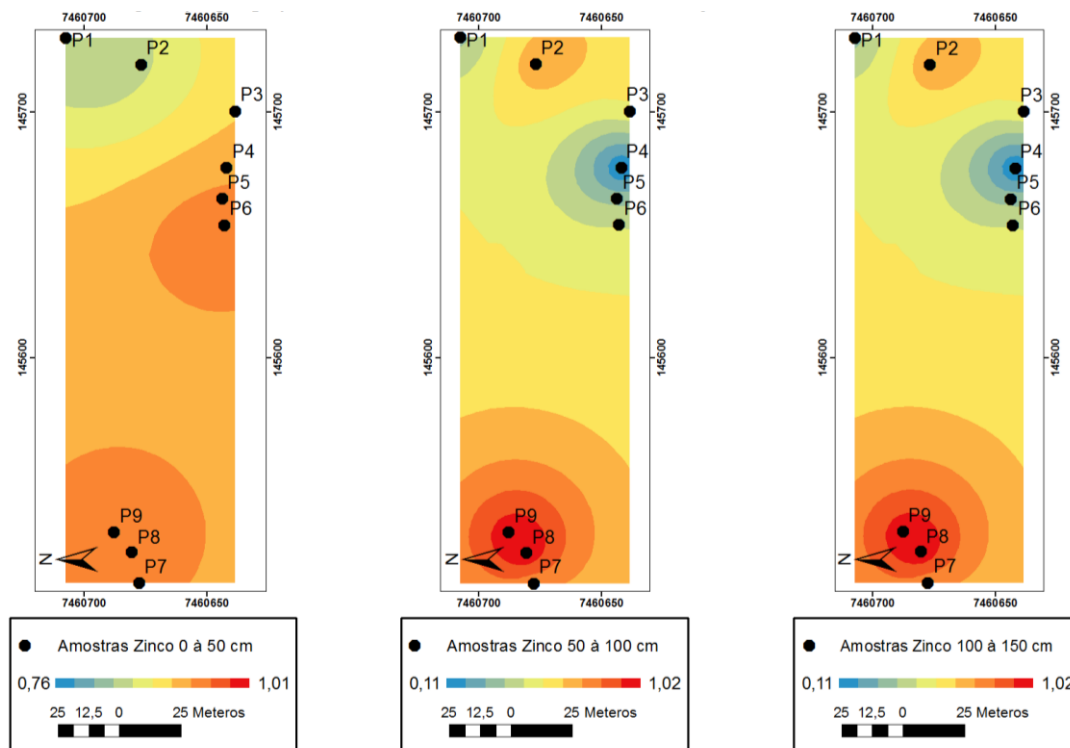


Figura 29 - Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de zinco no Cemitério Jardim nas profundidades entre 0 e 150 cm

A Figura 30 ilustra a distribuição das concentrações de zinco nas profundidades entre 150 e 300 cm. É possível identificar uma inversão de concentração do metal, que passou de maior valor na área do fragmento florestal para o local dos sepultamentos, sendo essa mudança esperada, pois nos pontos de sepultamento existe uma concentração de matéria orgânica, colaborando assim com as informações descritas por Benedet (2014), que mostram a relação direta de micro-organismo e matéria orgânica na disponibilização desse elemento. A alteração nos valores de zinco próximo a fragmentos já era esperada, pois estudos como os de Soares (2001) descrevem uma maior retirada de zinco pelas raízes dos indivíduos arbóreos em fragmentos quando comparada aos demais metais como cobre, chumbo e cromo.

Foi encontrado como maior valor  $1,39 \text{ mg kg}^{-1}$  no perfil de 200 cm, enquanto o menor valor de concentração ocorreu entre 250 e 300 cm, com  $0,20$  a  $0,79 \text{ mg kg}^{-1}$ . Essas informações coincidem com estudo desenvolvido por Kemerich (2012), em que os maiores valores ocorreram a 200 e o menor a 300 cm.

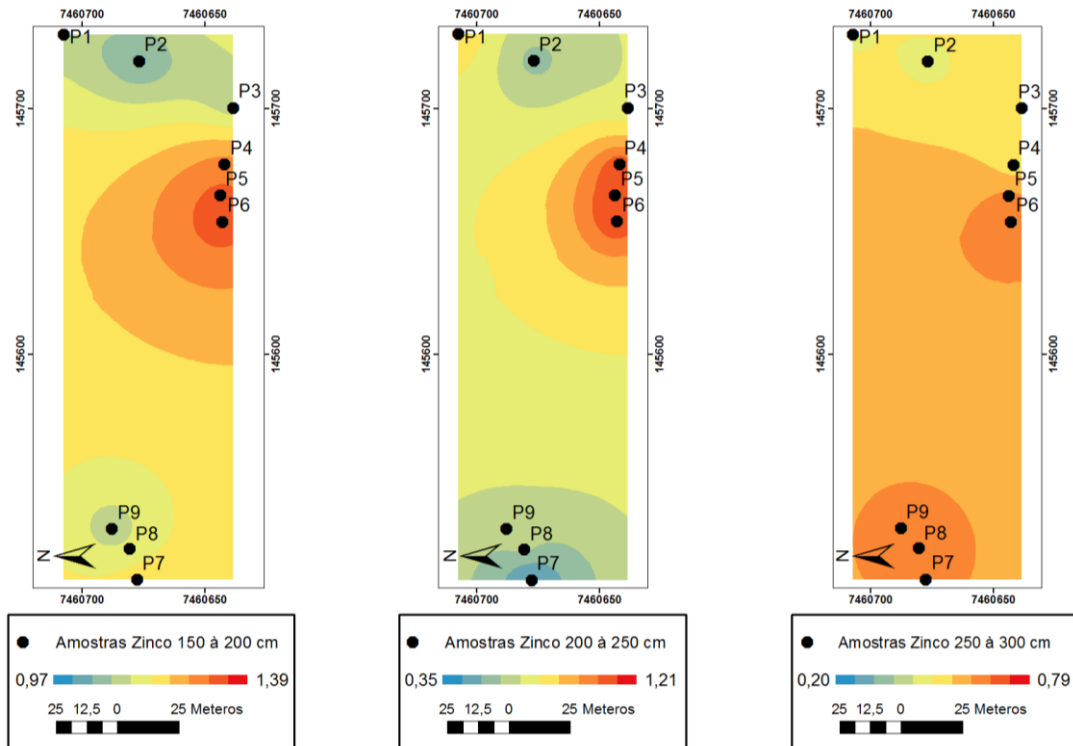


Figura 30 – Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de zinco no Cemitério Jardim nas profundidades entre 150 e 300 cm

A Figura 31 ilustra a distribuição das concentrações médias de Zinco nos 9 diferentes pontos de amostragem, sendo os maiores valores médios encontrados no ponto 6, com concentração que variou de 0,47 a 1,57  $\text{mg kg}^{-1}$ , já os menores valores médios foram encontrados no ponto 2, a uma concentração que variou de 0,2 a 2  $\text{mg kg}^{-1}$ . A Figura 32 ilustra a concentração média de Zinco em 6 diferentes profundidades, sendo os maiores valores médios presentes na profundidade de 50 a 100 cm, a uma concentração que varia de 0,87 a 1,57  $\text{mg kg}^{-1}$ , já as menores concentrações médias encontram-se na profundidade 250 a 300 cm, com uma variação de 0,2 a 0,79  $\text{mg kg}^{-1}$ .

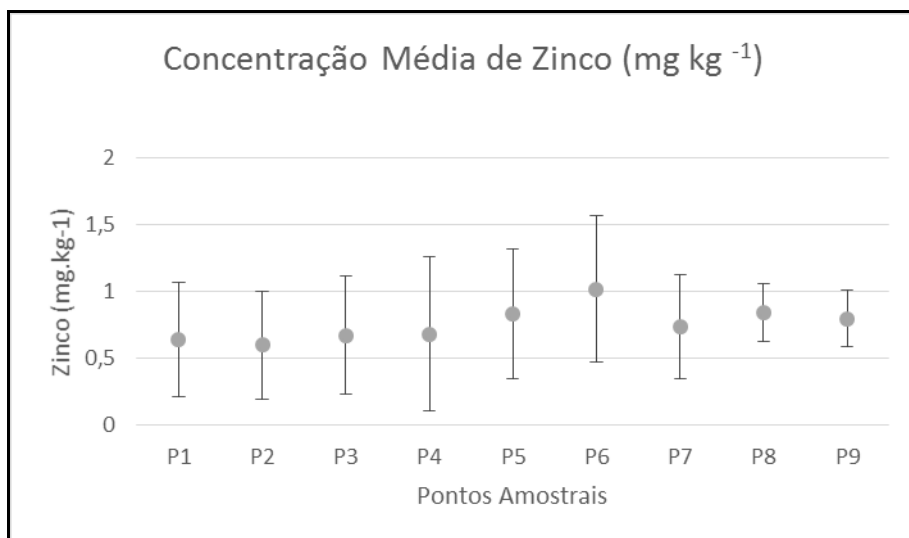


Figura 31 - Concentração média de zinco em 9 pontos de amostragens.

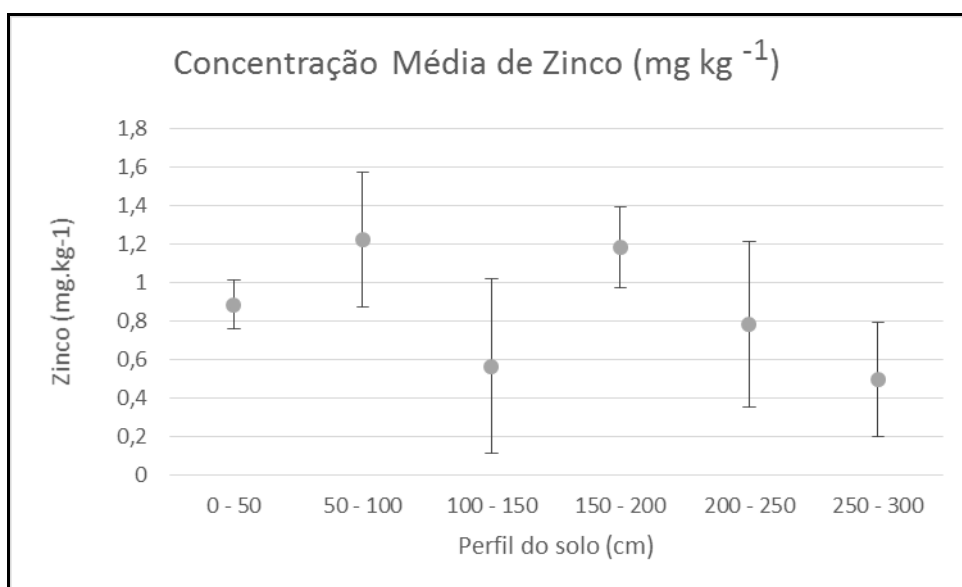


Figura 32 - Concentração média de zinco em 6 diferentes profundidades.

## 5 CONCLUSÃO

O uso da krigagem como interpolador mostrou-se adequado para atender os parâmetros variográficos na validação, ampliando a escala da informação. Esse fato é fundamental para a gestão das atividades cemiteriais, pois a interpolação de dados foi capaz de transpor a acurácia das ferramentas utilizadas nas coletas de dados para a composição do modelo digital de elevação e conseguinte a determinação do fluxo preferencial de escoamento.

Através do estudo foi possível verificar que nenhum metal apresentou valores acima dos recomendados pela instrução normativa CONAMA nº 420 de 2009.

Diante dos resultados apresentados, foi possível constatar que a atividade cemitério corrobora para a deposição de metal pesado no solo do cemitério.

Foi possível visualizar a influência do fluxo preferencial no processo de arraste de partículas, em que os pontos de maior influência do escoamento apresentaram as maiores concentrações de metais.

Verificou-se que a presença de fragmentos florestais no entorno do cemitério tem a capacidade de absorver parte dos metais pesados funcionando como “biofiltro”.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; FERREIRA, M. E.; BORKET, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. Van; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafós, 2001.

ALMEIDA, A. M. de e MACÊDO J. A. B. Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume. In: **Seminário de Gestão Ambiental**. Anais..., Juiz de Fora: Instituto Viana Junior, 2005. CD-ROM.

ATHANASOPOULOS, N. Flame methods manual for atomic absorption. **Victoria: GBC Scientific Equipment**, 1993, p.1-11.

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

BARBOSA, André Luiz Souza; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. Aeroporto de Botucatu: Projeto sustentável e turismo. **Revista LABVERDE**, n. 3, 2011, p. 55-76.

BARCELOS, J. H. **Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo.** 1984. 190 f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1984.

BASILICI, G. & DAL' BO, P.F.F. Anatomy and controlling factors of a Late Cretaceous aeolian sand sheet: the Marília and the Adamantina formations, NW Bauru Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 226, 2010, p. 71-93.

BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no triângulo mineiro e sua correlação com áreas adjacentes.** 2003. 183 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

BATEZELLI, A.; SAAD, A.R.; PERINOTTO, J.A.J.; FULFARO, V.J. Análise estratigráfica aplicada à porção norte e nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, 2006, p. 253-268.

BENEDET, Lucas. **Biodisponibilidade de cobre e zinco e alterações bioquímicas e fisiológicas em plantas de milho (Zea mays L.) em solo adubado com dejetos suínos.** 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 335, de 3 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, v. 28, n. 101, p. 98-99, 28 mai. 2003. Seção 1.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 249, p. 81-84.

BRAZ, Vera; BECKMANN M.; COSTA e SILVA L. M. Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. In: **I Congresso Mundial de Águas Subterrâneas**, Fortaleza, 2000. CD-ROM.

CAMPOS, Ana Paula Silva. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrentes da atividade cemiterial.** 2007. 141 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARVALHO JUNIOR, M. A. F.; COSTA E SILVA, L. M. SP e eletrorresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério. In: **V CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA**, 1997, São Paulo, 1997. Resumos Expandidos. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geofísica, v. 1, 1997, p. 471-474.

CANÇADO, Alice Lopes. **Intoxicação por zinco**. 1997. 33 f. Monografia (Especilização) – Curso de Especialização em Medicina do Trabalho, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1997.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Cadastro de áreas contaminadas. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: Cetesb/GTZ, 2007.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science Publishers, 1979. 130 p.

CORVALÁN, S. **Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí (SP) de acordo com critérios de Vulnerabilidade Ambiental**. 2009. 170 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CEPAGRI – Centro de Pesquisa Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**: Botucatu. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_086.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_086.html)> . Acesso em: 20 maio 2014.

CUNHA, Fernanda Gonçalves da. **Contaminação humana e ambiental por chumbo no Vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná**. 2003. 11 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CUNHA, C. F. **Atlas Escolar Histórico e Geográfico**: Botucatu. São Paulo: Nova América, 2009.

DA CRUZ CUNHA, Paulo Roberto; GONÇALVES DE MELO, J. H.; DA SILVA, Osvaldo Braga. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, 2007, p. 227-251,.

DE LIMA ROMANÓ, Elma Neri; LUCIANO, Patrícia Rafaela; BARROS, Yara Jurema; MELO, Vander de Freitas. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.4, p. 1763-1773, ago, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832008000400041](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000400041)>. Acesso em: 20 nov. 2016.

DELHOMME, J. P. Kriging in the hydrosociences. **Advances in Water Resources**, v. 1, n. 5, set. 1978, p. 251-266.

DAL'BÓ, Patrick Francisco Führ; BASILICI, Giorgio. Interpretação Paleoambiental da Formação Marília na Porção Noroeste da Bacia Bauru: Relações Entre Sedimentação e Paleopedogênese em um Antigo Lençol de Areia Eólica. **Geociências** (São Paulo), v. 30, n. 4, 2011, p. 509-528.

DE ALMEIDA, Felipe Rodrigues et al. Avaliação da ocorrência de contaminação microbiológica no aquífero freático localizado sob o Cemitério da Várzea em Recife-PE. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 2, 2006.

DE ARAÚJO, Suely Mara Vaz Guimarães. **As áreas de preservação permanente e a questão urbana**: estudo. Agosto de 2002. Disponível em: [http://www.mp.gov.br/portalweb/hp/9/docs/doutrinaparcels\\_01.pdf](http://www.mp.gov.br/portalweb/hp/9/docs/doutrinaparcels_01.pdf). Acesso em: 20 nov. 2016.

DE SÁ, José Ubaldo; DINIZ, João Alberto Oliveira. Aproveitamento das aluviões do semiárido do nordeste. In: XVII Congresso Brasileiro de águas subterrâneas. In: **XVII Encontro Nacional de perfuradores de poços**. Bonito: 2012.

DINIZ, M. A. V. **Análise do Relevo para otimização do uso e ocupação do terreno utilizando SIG**. 2002. 29 f. Monografia (Especialização) – Curso de Geoprocessamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

ESCOBEDO, João F. et al. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. **Renewable Energy**, v. 36, n. 1, 2011, p. 169-178.



FANGMEIER, D. D.; Elliot, W. J.; Workman, S. R.; Huffman, R. L.; Schwab, G. O. **Soil and water conservation engineering**. Florence, EUA: Thomson Delmar Learning, 2005.

FERNANDES, Luiz Alberto; COIMBRA, Armando Márcio. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Brazilian Journal of Geology**, v. 30, n. 4, 2008, p. 717-728.

FERREIRA, Adao de Siqueira et al. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 27, n. 4 (jul./ago. 2003), p. 755-763, 2003.

FONTINHA, I. Rute; SALTA, M. Manuela. Corrosão e conservação de estátuas de liga de cobre. **Corrosão e Proteção de Materiais**, v. 27, n. 3, 2008, p. 87-94.

FULFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A.J.; BARCELOS, J.H. A margem goiana do Grupo Bauru: implicações na litoestratigrafia e paleogeografia. In: **III SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL**, 1994, Botucatu, Boletim... Botucatu, 1994, p. 81-84.

GESICKI, Ana Lúcia Desenzi. **Evolução diagenética das formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aquífero Guarani) no Estado de São Paulo**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GORGULHO, MIGUEL. **Apostila GPS**. Última atualização 2002.

GÜNTHER, WANDA M. RISSO. Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 2, 2006, p. 105-117.

HUIJBREGTS, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. **Display and analysis of spatial data**. New York: John Wiley, 1975.

ISAAKS, Edward H.; SRIVASTAVA, Mohan R. **An introduction to applied Geostatistics**. Oxford: Oxford University Press, 1989.

JENSON, Susan K.; DOMINGUE, Julia O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 54, n. 11, 1988, p. 1593-1600.

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

KEMERICH, P. D. da C. et al. Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria-RS. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 24, n. 1, 2010, p. 129-141.

KEMERICH, Pedro Daniel 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, p. 264-279.

KRIGE, D. G. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand**. Teses (M.Sc. Engineering) - University of the Witwatersrand, Faculty of Engineering, 1951.

LANDIM, Paulo M. Barbosa. Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, **Texto Didático**, v. 15, 2010, p. 229.

LANDIM, PAULO M. BARBOSA; MONTEIRO, RUBENS CALDEIRA; CORSI, ALESSANDRA CRISTINA. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**, Rio Claro, 2002. Disponível em: [http://www.ufpa.br/larhima/Material\\_Didatico/Mapas\\_e\\_Modelos/Surfer8/Surfer.pdf](http://www.ufpa.br/larhima/Material_Didatico/Mapas_e_Modelos/Surfer8/Surfer.pdf).

Acesso em: 20 nov. 2016.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Unesp, 2003.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; FONSECA, A. (2012). Análise de Sensibilidade e Calibração do Modelo SWAT Aplicado em Bacia Hidrográfica da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** v.36, 2012, p.623-634.

MACÊDO, J. A. B. **Águas e Águas**. Belo Horizonte.: CRQ-MG, 2009.

MAEDA, E. E. **Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na região da Bacia do Alto Rio Xingu**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

MACÊDO, Nadia Alves de. **Levantamento da anurofauna da Escola do Meio Ambiente**. 2011. 43 f. TCC (Graduação) – Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu 2011.

MATOS, Bolivar A.; PACHECO, Alberto. Ocorrência de microrganismos no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo. IN: **XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Olinda, 2000.

MARINHO, A. M. C. P. **Contaminação de Aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo do caso do cemitério São João Batista**, Fortaleza, Ceará., 1998.

MENEZES, Paulo Henrique Bretanha Junker. **Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na bacia do Lago Paranoá**. 2010. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências.

METZGER, J. P. "O Código Florestal Tem Base Científica?", in **Conservação e Natureza** 8(1), 2010, pp. 1-17.

MATTIAZZO, M. E. et al. Em Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura. **Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura**, 2001.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.

MOORE, J. W.; RAMAMOORTHY, S. **Heavy metals in natural waters**. New York: Springer-Verlag, 1984. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-5210-8>. Acesso em 20 nov. 2016.

MORGENTAL, A. et al. Projeto Sudelpa, Relatório Final: **Geologia**, v.1. São Paulo: MME/CPRM/DNPM, 1975. 707p.

NOBRE, M.F. **O Zoneamento Ecológico-Econômico como instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental: Uma proposta para a bacia hidrográfica do rio Corumbataí(SP)**. 2008, 249f. Tese (Doutorado em Geociências). IGCE-UNESP, Botucatu-SP.

OJIMA, Ricardo; MARTINE, George. **Resgates sobre população e ambiente: breve análise da dinâmica demográfica e a urbanização nos biomas brasileiros**. Ideias - Revista do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da UNICAMP, v. 3, n. 2 (5), 2012.

OLIVEIRA, Talita Peixoto de. **Comparação entre dois sistemas de informação geográfica (ARCGIS e GVSIG) na elaboração de um mapa de potencialidade para a silvicultura baseado em elementos do meio físico: a bacia do Paraíba do Sul (Porção Paulista)**. 2012.

ORTEGA, V.R.; ENGEL, V.L. Conservação da biodiversidade de remanescentes de Mata Atlântica na região de Botucatu, SP. **Revista do Instituto Florestal**, v.4, p.839-852, 1992.

OSTMAN. A. A Quality Control and Accuracy Estimation of Digital Elevation. Image Correlation and Map Maintenance. Stockholm, Sweden, 1987. **The royal Institutes of Technology** – Departament of Photogrametry.

PACHECO, Alberto. **Cemitério e meio ambiente**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEREIRA, Flamarion Dresch et al. O COMPORTAMENTO DE RECEPTORES GPS DE DIFERENTES PRECISÕES, EM LEVANTAMENTOS FEITOS EM MESMA ÁREA, ÉPOCA E TRAJETO. **Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária-Ciências Agrárias, Animais e Florestais**, 2010.

PETTINATI, F. **Modelamento Digital e representação gráfica de Superfícies**. São Paulo, 1983, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – U.S.P.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu – SP**. Tese (Doutorado em Agronomia-Área

de Concentração em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas. UNESP- Botucatu, 2002.

RAUHOFER, J.; Jarret, A.R.; Shannon, R.D. Effectiveness of sedimentation basins that do not totally impound a runoff event. **Transactions of the ASAE**, v.44, n.4, p.813-818, 2001.

RIBEIRO, Rita Almeida. Fuzzy multiple attribute decision making: a review and new preference elicitation techniques. **Fuzzy sets and systems**, v. 78, n. 2, 1996, p. 155-181.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995.

ROCHA, L.A.G; LEÃO, A.Ls; BARBOSA, I.F. CEMITÉRIO MUNICIPAL JARDIM BOTUCATU/SÃO PAULO. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 1, n. 6, 2013.

RODRIGUES, Ramon Juliano. **Precisão de planta planialtimétrica gerada por modelagem numérica de superfície a partir de coordenadas UTM plano retangulares coletadas em receptor GPS topográfico**. 2006.

ROHN, Rosemarie. **Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná**. 1994. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SARTORI a, A.; Lombardi Neto, F.; Genovez, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 4, n. 10, p.19-29, dez. 2005.

SCHIRMER, W. N.; DREIFUS, T. V.; QUARTAROLI, L.; BENATTO, G. L.; OLIVEIRA, G. L.; VANZETO, S. A química ambiental do cromo e seus compostos. In: SEMANA DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 7., 01-04 junho 2009, Irati. **Anais...** Irati: EESC/USP, 2009. 1 CD ROM,.

SETZER, J. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai / **Centrais Elétricas do Estado de São Paulo**, 1966. 61p.

SIQUEIRA, Glécio Machado; VIEIRA, Sidney Rosa; CEDDIA, Marcos Bacis. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, v. 67, n. 1, 2008, p. 203-211.

SILVA, Leziro Marques. Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres. In: **Congresso Latino-Americano de Hidrologia Subterranea**, 4. Universidade Sao Judas Tadeu, 1998.

SOARES, Paulo Cesar. Divisão estratigráfica do Mesozóico no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, 1973, p. 229-251.

SOARES, Paulo Cesar. Divisão estratigráfica do Mesozóico no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, 1975. p. 229-251.

SOARES, C. R. F. S. et al. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 3, 2001, p. 302-315.

SODRÉ, Fernando Fabriz; LENZI, Ervim; COSTA, ACS da. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Química Nova**, v. 24, n. 3, 2001, p. 324-330.

SPONGBERG, Alison L.; BECKS, Paul M. Inorganic soil contamination from cemetery leachate. **Water, air, and soil pollution**, v. 117, n. 1-4, 2000, p. 313-327.

STURARO, José Ricardo et al. Elaboração de banco de dados e análise estatística básica de dados de sondagens de simples reconhecimento- Aplicação na cidade de Bauru-SP. **Geociências**, v. 12, n. 2, p. 449-459, 1993.

Surfer 11 (2015) – User’s guide. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers: **Golden Software**, Inc.

TAJRA AA. 2001. **Aspectos Técnico-Construtivos dos Poços Tubulares e a Legislação Pertinente. Área Piloto de Fortaleza - Ceará.** Dissertação de Mestrado, UFC, Fortaleza, 106 pg.

TOSCANO, Germana Leite Gonzalez; DA SILVA, Tarciso Cabral. Uso do solo em zonas de proteção de poços para abastecimento público na cidade de João Pessoa (PB). **Eng Sanit Ambient**, v. 17, n. 4, p. 357-362, 2012.

TUCCI, Carlos EM. 1 INUNDAÇÕES URBANAS. 2007.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia, Berkeley**, 51(3):1-75, 1983.

VIEIRA, Sidney R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 93-108, 2000.

VOLTZ, M & WEBSTER, R. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. **Journal of Soil Science, Madison**, 41, p. 473-490.

XAVIER, F.V. **Métodos geoeletricos aplicados ao diagnóstico ambiental subsuperficial do Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.** 2015. Tese (Doutorado). UNESP- Rio Claro, 2015.