

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Geologia

EMPREGO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO (EM) NA INVESTIGAÇÃO E
MAPEAMENTO DE CONTAMINAÇÕES GERADAS POR CEMITÉRIOS – O CASO DE
MONTE ALTO/SP

Matheus Paggioli Rodrigues

Prof. Dr. Walter Malagutti Filho

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

MATHEUS PAGGIOLI RODRIGUES

EMPREGO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO (EM) NA
INVESTIGAÇÃO E MAPEAMENTO DE CONTAMINAÇÕES
GERADAS POR CEMITÉRIOS – O CASO DE MONTE ALTO/SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2015

551 Rodrigues, Matheus Paggioli
R696e Emprego do método eletromagnético (EM) na
investigação e mapeamento de contaminações geradas por
cemitérios : o caso de Monte Alto (SP) / Matheus Paggioli
Rodrigues. - Rio Claro, 2015
63 f. : il., figs., tabs., quadros, fots.

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Walter Malagutti Filho

1. Geofísica. 2. Necrochorume. 3. Grupo Bauru. I. Título.

MATHEUS PAGGIOLI RODRIGUES

EMPREGO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO (EM) NA
INVESTIGAÇÃO E MAPEAMENTO DE CONTAMINAÇÕES
GERADAS POR CEMITÉRIOS – O CASO DE MONTE ALTO/SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Walter Malagutti Filho (orientador)

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Prof. Dr. José Ricardo Melges Bortolin

Rio Claro, 20 de março de 2015.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

*Dedico este trabalho aos meus pais Santiago e Meire,
ao meu avô Nelson, minha avó Cida e ao meu tio Nico.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, de onde busco inspiração e sabedoria para viver.

Agradeço meus pais Santiago e Meire, que não mediram esforços para me proporcionar tudo de melhor que estava ao alcance para que eu pudesse me desenvolver e alcançar meus objetivos. A conclusão deste trabalho representa uma retribuição, ainda que muito menor, a tudo o que eles já fizeram por mim.

Minha família, especialmente meus avós Nelson e Maria Aparecida e meu tio Nico, que também tiveram participação fundamental na minha formação, tanto pessoal, quanto acadêmica.

O Professor Dr. Walter Malagutti Filho, pela orientação, apoio e conhecimentos transmitidos durante esse período.

Todos aqueles que também me ajudaram na realização desse projeto, seja nos trabalhos de campo, seja nas conversas sobre o tema, nas dicas... Obrigado ao Prof. Dr. César Augusto Moreira, ao Francisco Manoel Garcia Barrera (Paco), ao José Ricardo Melges Bortolin, a Giovanna Brienza Stancati (Gi), a Cássia Oliveira (Grilo) e ao Zezo, funcionário do cemitério que sempre foi muito solícito a ajudar na pesquisa documental.

Meu grande amigo Edson Ricardo Maia Ferraz (Didi), que fiz durante esses breves anos de faculdade, pelas músicas escutadas, cervejas bebidas, histórias, risadas, papos geológicos e filosóficos sobre a vida, e por colocar Cachoeira de Minas no mapa.

A todos que fizeram parte do Quarteirão da Geologia (República Noea e Pequi), em especial ao Eric (Cabelo), João (Paraguai), Eduardo (Soquete), Daniel (Leitoa), Denis, Mário (de Góias), Eduardo (Nhonho), Marco (Campari) e Fernando (Itaí), pelo convívio ao longo desses anos, de muita amizade e cheios de trabalhos, estudos e festas. E também aos meus amigos João Motta (Nariz), pelos vários shows e pelo auxílio em várias coisas sempre que precisei, e ao Otávio (Defeito).

As meninas da República Patins, em especial à Fernanda Cavallari, Fernanda Menin, Raíssa (Cuti) e Mariana (Torps), pelos ótimos momentos passados juntos nesses últimos anos.

Aos meus amigos de Monte Alto, Bergo, Vítuxo, Du, Diego, Caio, Gustavo, que mesmo com as direções diferentes tomadas por cada um, sempre permaneceram presentes, mostrando uma amizade verdadeira e duradoura.

Ao Prof. Dr. Antenor Zanardo, que durante dois anos me orientou em projeto de iniciação científica, com muita paciência e atenção, sempre transmitindo muito do seu conhecimento.

E por fim, à Prefeitura Municipal de Monte Alto, na pessoa do vice-prefeito João Paulo Rodrigues, pela permissão para se realizar o projeto de pesquisa no cemitério municipal e pela cordialidade que sempre demonstrou no andamento das pesquisas.

RESUMO

O emprego de métodos geofísicos na investigação e mapeamento de possíveis plumas de contaminação vem mostrando grande utilidade no desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao meio ambiente. Dentre os principais métodos geofísicos utilizados para essa finalidade, destacam-se os métodos geoelétricos, que se fundamentam no uso de campos elétricos e eletromagnéticos. O método eletromagnético (EM) faz uso da resposta do meio físico à propagação de campos eletromagnéticos, compostos por uma intensidade elétrica alternada e por uma força de magnetização, para se obter a condutividade elétrica (σ) dos materiais em subsuperfície. Ele tem ampla aplicação na exploração e prospecção mineral, e seu uso tem se mostrado eficiente em investigações ambientais. Este trabalho investigou e mapeou, através da aplicação do método eletromagnético (EM), possíveis contaminações geradas por necrochorume no Cemitério da Saudade, localizado no município de Monte Alto (SP), onde afloram rochas sedimentares do Grupo Bauru. O necrochorume é um líquido putrefativo, gerado a partir da decomposição de matéria orgânica, que contém substâncias que podem contaminar o solo e as águas subterrâneas. Os resultados obtidos mostram que o emprego do método eletromagnético, em uma área de elevado contraste entre as propriedades físicas, é uma importante ferramenta indireta na investigação de contaminações ambientais.

Palavras-chave: Método eletromagnético. Cemitérios. Necrochorume. Grupo Bauru.

ABSTRACT

The use of geophysical methods in the analysis and mapping of likely contamination plumes has shown a huge value in the development of researches related to environmental issues. Among the main geophysical methods applied to this purpose, the geoelectrical methods stand out, being based on the use of electric and electromagnetic fields. The electromagnetic method (EM) uses physical environment responses created by electromagnetic field propagation, consisting of an alternated electric output and a magnetization force, used to obtain the electric conductivity (σ) of the subsurface materials. It has a broad application in the mineral exploration and prospection, and its use has been also efficient in environmental researches. By the electromagnetic method, this work examined and mapped possible contaminations created by cemetery leachate in the Saudade's Cemetery, located in the city of Monte Alto, Sao Paulo, where sedimentary rocks of the Bauru Group are exposed. Cemetery leachate is a putrefactive liquid, generated from the decomposition of organic matter, which contains substances that can contaminate soil and groundwater. Results achieved in this work show that the use of the electromagnetic method is an important indirect tool in the investigation of environmental contaminations in areas with highly contrasting physical properties.

Keywords: *Electromagnetic method. Cemeteries. Cemetery leachate. Bauru Group*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Extravazamento de necrochorume no cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo.	16
Figura 02: Mapa de localização do município de Monte Alto.	25
Figura 03: Imagem de satélite da cidade de Monte Alto com destaque para a área do cemitério.	26
Figura 04: Mapa esquemático do Cemitério da Saudade e sua divisão em quadras.	28
Figura 05: Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Paraná.	30
Figura 06: Mapa de localização da Supersequência Bauru.	32
Figura 07: Estratigrafia da Supersequência Bauru.	33
Figura 08: Seção geomorfológica esquemática do estado de São Paulo.	35
Figura 09: Princípio do método eletromagnético indutivo.	39
Figura 10: Princípio da técnica do Imageamento Eletromagnético.	42
Figura 11: Mapa esquemático do cemitério com as linhas de aquisição geofísica.	44
Figura 12: Mapa de condutividade elétrica, segundo a orientação DMH.	47
Figura 13: Mapa de condutividade elétrica, segundo a orientação DMV.	48

LISTA DE FOTOS

Foto 01: Entrada principal do Cemitério da Saudade.	27
Foto 02: Área nova do cemitério sendo construída.	29
Foto 03: Condutivímetro <i>Geonics</i> EM31-MK2 sendo operado em campo.	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Composição do corpo humano.	18
Quadro 02: Sistema de classificação de Köppen para o clima do município.	36
Quadro 03: médias de temperatura e chuva de Monte Alto durante um ano.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Profundidades de investigação dos condutivímetros da <i>Geonics Limited</i>	42
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 - ASPECTOS LEGAIS E LICENCIAMENTO AMBIENTAL	15
3.2 - CEMITÉRIOS E MEIO AMBIENTE	16
3.3 - O NECROCHORUME.....	17
3.4 - FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A DECOMPOSIÇÃO	20
3.5 - FENÔMENOS TRANSFORMATIVOS DESTRUTIVOS DOS CADÁVERES.....	21
3.6 - FENÔMENOS TRANSFORMATIVOS CONSERVATIVOS DOS CADÁVERES.....	22
3.7 - VULNERABILIDADE DO MEIO FÍSICO DE SUBSUPERFÍCIE À CONTAMINAÇÃO	23
3.8 - MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS NA INVESTIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO EM CEMITÉRIOS	23
4 ÁREA DE ESTUDO.....	26
4.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	26
4.2 - ASPECTOS GEOGRÁFICOS E SOCIAIS DO MUNICÍPIO E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.3 - GEOLOGIA	30
4.3.1 - A SUPERSEQUÊNCIA BAURU	32
4.3.2 - CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO NA REGIÃO ESTUDADA.....	34
4.4 - GEOMORFOLOGIA	35
4.5 - CLIMA.....	36
4.6 - VEGETAÇÃO	38
5 MATERIAIS E MÉTODOS	39
5.1 - O MÉTODO ELETROMAGNÉTICO	39
5.1.1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	39
5.1.2 - TÉCNICA DO IMAGEAMENTO ELETROMAGNÉTICO	43
5.2 - PESQUISA DOCUMENTAL DA ÁREA ESTUDADA	44
5.3 - AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	44
5.4 - GEORREFERENCIAMENTO	46
5.5 - INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	46

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICE I.....	58

1 INTRODUÇÃO

O hábito de se enterrar os mortos é uma prática que remete aos primórdios da humanidade. Desde a Pré-História o sepultamento de entes queridos é uma prática comum do homem. Ao longo do tempo cada sociedade desenvolveu suas crenças e lidou com a morte do seu jeito, mas todas sempre destinaram um local especial para memória de seus mortos. Estudos arqueológicos vêm desvendando as práticas funerárias de muitas civilizações antigas, que têm evoluído desde as cavernas até os dias atuais, à luz das circunstâncias e crenças sociais e econômicas.

Durante a Idade Média, nas civilizações ocidentais cristãs, os mortos passaram a ser sepultados nas dependências ou entorno das Igrejas, instituição que concentrava o poder político, econômico e cultural da época. Essa prática resultou em uma significativa aproximação entre a população e os mortos. Nesse período ocorreram várias epidemias de doenças infectocontagiosas como tifo, peste bubônica e cólera na Europa, dada a falta de preocupação com questões sanitárias. Só a partir do século XVIII que o poder público vigente começou a proibir o sepultamento nos locais de costume e passou a coordenar essa atividade, construindo cemitérios em locais afastados dos centros urbanos (PACHECO, 2000).

Como os cemitérios são monumentos à memória daqueles que morreram, que os vivos fazem questão de perpetuar, ao longo do tempo este tipo de construção adquiriu a condição de inviolabilidade no que se refere à pesquisa científica nos seus diferentes aspectos. Entretanto, sociólogos, antropólogos, folcloristas, entre outros, têm dado excelentes contribuições para um melhor conhecimento dos hábitos, costumes e práticas funerárias (MATOS, 2001).

Enquanto houve uma consolidação científica da pesquisa sobre a temática da morte, o mesmo não se pode afirmar sobre a questão dos cemitérios com o meio ambiente. Esses sítios nunca foram incluídos nas listas de fontes tradicionais de poluição ambiental, apesar da existência de alguns relatos históricos (SCHRAPS, 1972 *apud* PACHECO, 2000; RAGON, 1981 *apud* PACHECO, 2000) sobre contaminação das águas subterrâneas e poços de abastecimento público.

Essa falta de entendimento de que os cemitérios são potenciais geradores de poluição fez com que o procedimento de enterrar corpos fosse conduzido ao longo do tempo sem qualquer tipo de preocupação ambiental, o que levou muitos a tornarem-se contaminados. A principal fonte de contaminação nesses lugares é a liberação de um líquido putrefativo gerado a partir da decomposição do corpo humano, também chamado de necrochorume. Esse líquido

libera substâncias poluentes orgânicas e inorgânicas que, não sendo adotados certos procedimentos de controle sanitário nos sepultamentos, atingem e contaminam o solo e as águas subterrâneas.

A implantação de cemitérios em áreas com condições geológicas e hidrogeológicas desfavoráveis, sem a realização de devidos estudos técnicos e ambientais, combinados ao fato que nas últimas décadas houve uma reaproximação entre a população e os mortos, pode ser problemática. O intenso processo de urbanização que vem ocorrendo no mundo, fez com que muitos desses lugares fossem totalmente integrados à malha urbana das cidades. Logo, todos os aspectos que envolvam a implantação de um cemitério precisam ser conhecidos, principalmente por essas alterações ambientais no meio físico colocarem em risco a saúde da população.

Como estudos desse tipo no Brasil são ainda recentes, o Departamento de Geologia Aplicada do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Rio Claro (SP) tem desenvolvido uma linha de pesquisa que tem por base essa temática de cemitérios e meio ambiente. A linha de pesquisa consiste na aplicação de métodos geofísicos para investigação e mapeamento de possíveis plumas de contaminação geradas pela presença de necrochorume em cemitérios.

O objeto de estudo desse trabalho foi o Cemitério da Saudade, localizado no município de Monte Alto (SP), que é um cemitério que segue a tendência apresentada até aqui. Ele foi inaugurado em fevereiro de 1903 e sua administração é de responsabilidade municipal. Sua área é de aproximadamente 50.000 m², tendo nele sido sepultados mais de 23 mil corpos até os dias atuais. Quando inaugurado, distava cerca 2 km da zona urbana, mas atualmente encontra-se totalmente integrado à ela, na área central do município.

Para a finalidade do estudo, o emprego de métodos geofísicos tem se mostrado eficiente, tanto no diagnóstico quanto no gerenciamento de áreas degradadas pela poluição. Seu uso tem se mostrado vantajoso por se tratar de um método indireto, não destrutivo e de rápida execução. Essa metodologia permite avaliar as condições geológicas locais, através dos contrastes das propriedades físicas dos materiais encontrados em subsuperfície.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo investigar e mapear possíveis alterações do meio físico geradas pela presença de necrochorume na região do Cemitério da Saudade, localizado em Monte Alto (SP). Para isso, na área de estudo foi aplicado o método geofísico eletromagnético indutivo. Dessa forma, o enfoque da pesquisa foi na:

- caracterização geolétrica dos materiais geológicos em subsuperfície;
- identificação de regiões onde há alterações no meio físico, correlacionando essas áreas com o histórico de ocupação do cemitério e com a presença de uma eventual pluma de contaminação;

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Aspectos legais e licenciamento ambiental

A instalação e operação dos cemitérios são normatizadas nas três esferas da administração pública: a federal, estadual e a municipal. A existência da legislação federal é relativamente recente e consta a partir da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente. Essa lei tem por objetivo “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”. Dentro dessa política, deu-se a criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), principal órgão consultivo e deliberativo das questões ambientais no país.

Em 23 de janeiro de 1986 e 19 de dezembro de 1997, o CONAMA, através da promulgação das Resoluções nº 001 e 237, listou as atividades e empreendimentos com potencial poluidor do meio ambiente que precisam estar sujeitos ao processo de licenciamento ambiental, remetendo aos órgãos ambientais competentes de cada Estado a incumbência de definir os critérios de exigibilidade e o detalhamento, conforme as especificidades, dos riscos ambientais e outras características da atividade ou empreendimento, visando à obtenção da licença ambiental. Porém, mesmo com trabalhos comprovando que cemitérios são fontes de poluição ambiental, a legislação federal não considerava tais locais como atividade e/ou empreendimento passível de licenciamento ambiental. A legislação vigente para tais casos, quando existiam, eram códigos sanitários estaduais ou atos e leis municipais, que raramente abordavam questões relacionadas à poluição.

O CONAMA só reconheceu os cemitérios como atividade e/ou empreendimento poluidor em 03 de abril de 2003, com a promulgação da Resolução nº 335, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios horizontais e verticais e normatiza as exigências necessárias à implantação de medidas de proteção ambiental para evitar a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

O licenciamento ambiental é uma obrigação legal prévia para a instalação de um empreendimento poluidor e é obtido através de três etapas, que são: as etapas de Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação. Na referida Resolução nº 335 estão detalhadas toda a documentação e passos necessários para obtenção de cada uma. Os órgãos ambientais

estaduais, a partir de então, passaram a ter a obrigação de licenciar e fiscalizar a implantação de novos cemitérios.

No Estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo. Uma legislação que regulamentasse a operação dos cemitérios já tinha sido desenvolvida a partir do Decreto Estadual nº 12.342, de 27 de Setembro de 1978, que aprovava a regulamentação do Código Sanitário do Estado de São Paulo. Esse código dispunha sobre normas de promoção, preservação e recuperação da saúde, no campo de competência da Secretaria de Saúde do Estado. As primeiras especificações para a construção de cemitérios eram abordadas nesse documento. Hoje, o Código Sanitário do Estado de São Paulo é regulamentado pela Lei Estadual nº 10.083, de 23 de Setembro de 1998, e prevê que as atividades cemiteriais (inumações, exumações, transladações e cremações) devem seguir os padrões estabelecidos por normas técnicas estaduais.

3.2 Cemitérios e meio ambiente

Os estudos científicos que tratam sobre essa temática da relação entre cemitérios e meio ambiente ainda são insuficientes (MATOS, 2001). O desconhecimento dos impactos ambientais que um cemitério pode causar, levou a Organização Mundial da Saúde (OMS), agência subordinada à Organização das Nações Unidas (ONU), a publicar em 1998, um artigo chamando atenção para a falta de pesquisas realizadas e a falta de conhecimento sobre os efetivos impactos que a poluição gerada por cemitérios podem ter no meio ambiente e na saúde humana, reconhecendo tratar-se de uma questão de saúde pública.

No Brasil, o pioneiro na realização desses estudos foi o Prof. Dr. Alberto Pacheco, do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), que a partir da década de 1980 começou a realizar estudos na cidade de São Paulo, constatando contaminação dos aquíferos por microrganismos provenientes do necrochorume. Migliorini (1994) também observou o aumento na concentração de íons e de produtos nitrogenados nas águas subterrâneas do cemitério de Vila Formosa, em São Paulo.

Matos (2001) encontrou em amostras de água do aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, também em São Paulo, bactérias heterotróficas, proteolíticas, clostrídios sulfito-redutores, enterovírus e adenovírus. Nesse trabalho, o autor ainda mostra que os

resultados da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e condutividade elétrica foram maiores nas águas próximas de sepulturas.

Felicioni *et.al.* (2007) ressalta que o risco aumenta com falta de políticas ambientais e cuidados sanitários em cemitérios públicos. Matos (2001) afirma que o maior problema está nos cemitérios administrados pelos municípios, onde os sepultamentos ocorrem em covas rasas diretamente no solo, sem qualquer tipo de proteção. Desde suas primeiras pesquisas, Pacheco (1986) já alertava para a implantação cuidadosa de cemitérios e fixação de faixas de proteção sanitária para garantir a preservação das águas subterrâneas e o uso potável das mesmas.

3.3 O necrochorume

Depois de morto, o corpo humano sofre diversos processos transformativos, no qual ele passa a ser um ecossistema de populações formadas por artrópodes, bactérias, microrganismos patogênicos e destruidores de matéria orgânica, que podem pôr em risco o meio ambiente e a saúde pública (MATOS, 2001). Como os cemitérios são repositórios de cadáveres e laboratórios de decomposição, eles apresentam riscos que exigem cuidados técnicos e científicos na sua implantação e operação (MATOS, 2001). A principal fonte poluidora nesse caso é o necrochorume (Figura 01).

Figura 01: Extravazamento de necrochorume no cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo.



Fonte: Pacheco, 1986.

O termo necrochorume, é um neologismo que designa o líquido liberado pelos cadáveres em putrefação (XAVIER, 2015). Segundo Miotto (1990), esse neologismo se derivou do termo “chorume”, empregado para designar o resíduo líquido resultante da decomposição da matéria orgânica presente nos lixos domésticos dispostos em aterros sanitários, do qual tomou emprestado o seu significado intrínseco.

Após a morte, o corpo humano sofre um processo de putrefação, onde ocorre a destruição dos tecidos celulares por ação de bactérias e enzimas, resultando na dissolução gradual dos mesmos em gases, líquidos e sais (ALMEIDA & MACEDO, 2005). Os gases produzidos nesse processo são o sulfeto de hidrogênio (H_2S), metano (CH_4), amônia (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) e hidrogênio (H_2). Alguns desses gases, e uma pequena quantidade de mercaptana (substância que contém sulfeto de hidrogênio ligado a um carbono saturado), são responsáveis pelo odor característico da matéria orgânica em decomposição (POUNDER, 1995 *apud* XAVIER, 2015).

O necrochorume é mais viscoso que a água (embora bastante solúvel), rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis e possui características como: coloração castanho-acinzentada, bastante polimerizável, cheiro acre e fétido, com grau variado de patogenicidade, densidade média de $1,23 \text{ g/cm}^3$ e pH variando de 5 a 9 em temperaturas de 23° a 28°C (SILVA, 1998). Ele é constituído por cerca de 60% de água, 30% de sais minerais, 10% de substâncias orgânicas degradáveis e diversas diaminas, sendo as principais e mais tóxicas a: putrescina (1,4 Butanodiamina - $\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$) e a cadaverina (1,5 Pentanodiamina - $\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$), que podem ser degradadas, gerando amônio (NH_4^+) (SILVA, 1998). A liberação de necrochorume se dá principalmente no primeiro ano de sepultamento (SILVA, 2008).

Silva (1995) encontrou uma relação entre a massa corpórea e a produção de necrochorume, estabelecendo que para cada quilograma (Kg) de massa produz-se 0,6 litros (l) de líquido. Portanto, um indivíduo com 70 Kg de massa produziria em torno de 40 litros de necrochorume. A composição do corpo humano mostrada no quadro 01, basicamente formando de água, sais minerais e compostos orgânicos, corrobora a composição do líquido putrefativo, como mostrado por Silva (1998), embora os teores possam variar.

Quadro 01: Composição do corpo humano.

Substância	Porcentagem de Peso (homem de 70 Kg)
Água	70 - 74
Carbono	22,86
Nitrogênio	2,57
Cálcio	1,57
Fósforo	0,71
Enxofre	0,2
Potássio	0,2
Sódio	0,14
Cloreto	0,14
Magnésio	0,03
Ferro	0,006

Fonte: Dent & Knight (1998).

A toxicidade elevada do necrochorume é decorrência da presença não só dos compostos orgânicos complexos, mas como também pela presença de agentes patogênicos, como bactérias e vírus (XAVIER, 2014). Como esses organismos, em sua grande maioria, não sobrevivem na presença de oxigênio (O₂), a sobrevivência deles é mais favorecida na zona saturada, onde há pouco O₂ dissolvido na água, ao contrário do que ocorre na zona insaturada. Os microrganismos provenientes da decomposição podem, conseqüentemente, ser incorporados ao necrochorume e contaminar o lençol freático. O tempo de sobrevivência das bactérias e vírus varia em geral varia de dois a três meses, mas pode atingir cinco anos em condições ideais (ROMERO, 1970 *apud* MATOS, 2001).

Pacheco & Matos (2001) mostraram bactérias e vírus que podem estar presentes no necrochorume e ressaltaram que devido à sua heterogeneidade na composição química, encontra-se números elevados de bactérias degradadoras de matéria orgânica (bactérias heterotróficas), de proteínas (bactérias proteolíticas) e lipídios (bactérias lipolíticas). Entre os diferentes tipos de microrganismos encontram-se também: bactérias que se vivem no trato intestinal dos humanos, como a *Escherichia coli*, bactérias do gênero *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* (que formam o grupo coliforme total) e a *Streptococcus faecalis*, que provoca diarreias e dores abdominais ao ser ingerida; microrganismos patogênicos como *Clostridium*

perfringes, *Clostridium welchii*, que causam tétano, gangrena gasosa e infecção alimentar; *Salmonella typhi*, que causa a febre tifoide, e *Salmonella paratyphi*, que causa a febre paratifoide; *Shigella*, que causa a desintéria bacilar; e o vírus da hepatite A.

Embora o necrochorume seja o principal contaminante, existem outras substâncias que podem causar prejuízos à saúde humana resultantes desta atividade obituária. Os óxidos metálicos (de Ti, Cd, Pb, Fe, Cr e Hg) que são lixiviados das urnas mortuárias também podem causar contaminações (SILVA, 1998).

Sendo assim, conhecer os fenômenos transformativos que ocorrem na decomposição de cadáveres torna-se necessário para o entendimento dos aspectos ambientais resultantes dessa interação entre necrochorume com o meio físico. O conhecimento dos fatores que influem nesses fenômenos reforça o conceito da atuação do meio ambiente como acelerador ou retardador da decomposição e, conseqüentemente, das características da poluição gerada (MIOTTO, 1990).

3.4 Fatores que contribuem para a decomposição

O processo de decomposição de cadáveres deve ser facilitado pelas condições e características dos solos, de modo que ocorra sem oferecer riscos de contaminação ao meio físico. Cabe notar que o desenvolvimento da putrefação está relacionado a fatores intrínsecos do cadáver, como: a idade, constituição do corpo e a causa da morte; e também por características físico-químicas do ambiente de sepultamento, como: temperatura, umidade, aeração e condições do solo.

Com relação à idade, Fávero (1991) registra que os recém-nascidos e as crianças se putrefazem mais rapidamente que os adultos, assim como indivíduos corpulentos e obesos também têm o processo de putrefação acelerado. A causa da morte tem grande influência no processo transformativo, pois grandes mutilações, estados gangrenosos e vítimas de infecções, apresentam decomposição mais acelerada (FRANÇA, 1985).

A temperatura exerce grande influência no processo de putrefação, pois diante de temperaturas muito altas ou muito baixas, ocorre a aceleração, o retardamento ou até a interrupção da evolução do fenômeno. A temperatura favorável para a ação dos germes putrefativos vai de 20°C a 30°C (FÁVERO, 1991). Segundo França (1985), temperaturas abaixo de 0°C não permitem o início do fenômeno, podendo conservar naturalmente o cadáver.

3.5 Fenômenos transformativos destrutivos dos cadáveres

O corpo humano quando passa a não ser mais um organismo vivo está sujeito à ação de fenômenos transformativos, responsáveis por destruir e reciclar a matéria orgânica morta. Os processos de decomposição são afetados por diversos fatores, como já foi abordado anteriormente. Dentre os fenômenos transformativos destrutivos que podem ocorrer em um corpo, o mais importante é o processo de putrefação. Esse processo se inicia nos intestinos e é regido por fenômenos biológicos e físico-químicos em que atuam microrganismos vivos, que podem ser aeróbios, anaeróbios ou facultativos (NASCIMENTO, 2001 *apud* SILVA, 2008). O processo de putrefação engloba quatro fases: a fase de coloração (ou cromática), fase gasosa, fase coliquativa (ou humorosa) e a fase de esqueletização (FÁVERO, 1980 *apud* MIOTTO, 1990). É durante as fases gasosa e coliquativa que ocorre a liberação do necrochorume e acontecem as decorrentes contaminações do meio físico (PACHECO, 1986).

O início da putrefação se dá pelo período da coloração, onde ocorre o surgimento de manchas verdes na fossa ilíaca direita, devido aos gases produzidos pelos microrganismos alojados no início do intestino grosso, que posteriormente se difundem pelo tronco, cabeça e membros (SILVA, 2008). Segundo Silva (1995), a coloração esverdeada escura é um aspecto típico e deve-se à reação do gás sulfídrico (H_2S) com a hemoglobina, formando a sulfometemoglobina nos tecidos que recobrem o corpo, como a derme e epiderme. Fávero (1991) e França (1985) dizem que a ocorrência desse aspecto se dá entre 18 e 22 horas após a morte e também é influenciado pelo clima. O período da coloração se desenvolve de maneira mais lenta nos cadáveres inumados do que nos conservados ao ar livre, sendo acelerado na presença de água. Silva (1995) salienta que, em geral, este período pode se estender até sete dias após o óbito.

O período gasoso inicia-se com a produção de gases no interior do cadáver, que expandem-se por todo o corpo, gerando bolhas de conteúdo leucocitário hemoglobínico na epiderme. O acúmulo desses gases faz com que o cadáver aumente o seu volume, principalmente na face, no abdômen e nos órgãos genitais masculinos (SILVA, 2008). Silva (1995) afirma que em função da pressão dos gases putrefativos, ocorre a ruptura das paredes abdominais, liberando os gases e o necrochorume produzido no período coliquativo. O mesmo autor também afirma que uma parte dos gases liberados pelos corpos inumados permanece adsorvida no solo, enquanto o restante atinge de maneira quase imperceptível a atmosfera. No caso dos corpos enterrados em túmulos, os gases liberados chegam à atmosfera pelo escape das

urnas funerárias e dos túmulos, sendo por vezes perceptíveis ao olfato. Segundo Fávero (1991), esse período tem um prazo mínimo de duração de três semanas.

O período coliquativo é o período da dissolução pútrica do cadáver, devido à desintegração progressiva dos tecidos, no qual as partes moles diminuem de volume, resultando em um efluente líquido intermitente, denominado de produto de coliquação, líquido humoroso ou necrochorume (SILVA, 2008). De acordo com França (1985), neste período o corpo perde sua forma, o esqueleto fica recoberto por uma massa de putrilagem, e surge um grande número de insetos, larvas e germes, que trabalham pela destruição do cadáver. Dependendo das condições do corpo e do terreno, esse período pode estender-se por vários anos.

O período de esqueletização é determinado pela ação continuada dos germes e insetos e da ação do meio ambiente. Os tecidos reduzem-se ainda mais, até que o cadáver apresente os ossos livres, unidos apenas pelos ligamentos (MIOTTO, 1990). Dependendo de algumas condições ambientais os ossos podem resistir por dezenas e centenas de anos, mas com o passar do tempo, esses perdem sua estrutura típica, tornando-se friáveis e mais leves.

3.6 Fenômenos transformativos conservativos dos cadáveres

Os cadáveres podem ainda, sob certas condições ambientais, sofrer fenômenos transformativos conservadores, como a mumificação e saponificação (PACHECO & BATELLO, 2000).

A mumificação é a dessecação ou desidratação dos tecidos. Aparece em condições de clima quente, seco, com correntes de ar. Existem determinados tipos de solos que propiciam a mumificação, como os arenosos das regiões desérticas. Em solos calcários, os corpos inumados ainda podem sofrer uma fossilização incipiente, graças à substituição catiônica de sódio e potássio pelo cálcio. Assim, têm sido encontradas múmias naturais, muito bem conservadas, sem atarídes, depositadas no solo, em cavernas e catacumbas (PACHECO & MATOS, 2000).

Outro processo conservativo que pode ocorrer em um corpo é o da saponificação. Saponificação é a hidrólise da gordura com liberação de ácidos graxos, os quais, pela acidez, inibem as bactérias putrefativas, atrasando a decomposição do cadáver (MATOS, 2001). Nesses casos forma-se a adipocera, que é uma massa branca, mole, quebradiça, de aspecto céreo, que se forma nos diversos tecidos dos órgãos do cadáver. Segundo Silva (1995), um ambiente quente, úmido e anaeróbio, assim como a presença de bactérias endógenas, favorece a

saponificação. O solo argiloso, pouco permeável, alta retenção de água, alta troca catiônica (CTC), quando saturado de água facilita esse tipo de fenômeno (SILVA, 2008).

3.7 Vulnerabilidade do meio físico de subsuperfície à contaminação

Conforme Silva (1995), os processos de contaminação e de poluição do subsolo somente se instalam, se houver condições de vulnerabilidade no meio físico. Essa suscetibilidade é decorrência de uma série de características geológicas, hidrogeológicas, geoambientais e sanitárias, bem como das condições de oferta e atividade dos vetores impostos pela contaminação.

As características geológicas são determinantes nos aspectos qualitativos, quantitativos e de vulnerabilidade ambiental na hidrogeologia de uma dada área. A água, contida no solo e nas formações geológicas em subsuperfície, é dividida basicamente em duas regiões: a zona não saturada, também chamada zona de aeração, e a zona saturada ou zona de saturação.

Nos terrenos destinados à implantação de cemitérios, a espessura da zona não saturada é fator determinante para a filtragem dos líquidos resultantes da decomposição de cadáveres (MIOTTO, 1990). A capacidade de retenção do solo é função de um conjunto de condições onde se destacam a litologia, a aeração, a redução de umidade, os nutrientes, etc. Quando estas condições não são favoráveis, há uma diminuição na eficiência da eliminação dos microrganismos patogênicos oriundos dos cadáveres (PACHECO, 1986; MIOTTO, 1990).

Sendo assim, estabelecem-se condições propícias à contaminação das águas, facilitada em épocas chuvosas, devido à lixiviação dos contaminantes e principalmente pela elevação do nível freático. Solos com baixa condutividade hidráulica são bons retentores de contaminantes, mas faz com que o lençol freático se aproxime das regiões superficiais rapidamente, entrando diretamente em contato com as sepulturas e/ou camadas contaminadas do solo (SILVA, 2008).

3.8 Métodos geoeletricos aplicados na investigação de contaminação em cemitérios

O emprego de métodos geofísicos na investigação e mapeamento de possíveis plumas de contaminação vem mostrando grande utilidade no desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao meio ambiente. Dentre os principais métodos geofísicos utilizados para essa finalidade, destacam-se os métodos geoeletricos, os quais se fundamentam no uso de campos elétricos e eletromagnéticos no subsolo. Os métodos geoeletricos são métodos indiretos de

rastreamento em subsuperfície, não invasivos e, portanto, não destrutivos. Eles são empregados em diversas áreas, tais como na pesquisa mineral – identificando possíveis alvos exploratórios; na hidrogeologia – na determinação da profundidade da zona saturada, identificação do sentido do fluxo da água; em meio ambiente - na investigação de contaminantes em subsuperfície, etc (BRAGA, 1999). Essa metodologia permite avaliar as variações litológicas ou qualquer anomalia natural que altere as propriedades físicas dos materiais encontrados em subsuperfície, como a resistividade e condutividade elétrica, cargabilidade, constante e permissividade dielétrica.

A CETESB (2001), principal órgão ambiental do Estado de São Paulo, apresenta como principal objetivo do emprego de métodos geofísicos nos diagnósticos ambientais, a possibilidade de identificação da presença de contaminação subterrânea, além da definição das feições geológicas e hidrogeológicas dos locais investigados. Mendes *et al.* (1989) através do emprego de métodos geoeletricos, determinaram os locais mais adequados de pontos de implantação de poços de monitoramento na avaliação de contaminação nos cemitérios de Vila Formosa e de Vila Nova Cachoeirinha, ambos no município de São Paulo. Nesse trabalho, foram utilizados os métodos da eletrorresistividade, por meio da sondagem elétrica, e eletromagnético indutivo, aplicando a técnica do caminhamento eletromagnético.

Pacheco *et al.* (1991) em estudos comparativos nos cemitérios de Vila Nova Cachoeirinha, de Vila Formosa e de Areia Branca na cidade de Santos utilizaram o método da eletrorresistividade, para determinação do modelo geoeletrico da área, nível freático, sentido do fluxo subterrâneo, com isso determinando a localização dos poços de monitoramento e piezômetros, e também o método eletromagnético no mapeamento das anomalias condutivas.

Migliorini (1994) empregou os métodos da eletrorresistividade e eletromagnético, para investigar anomalias de condutividade características de mudanças localizadas, sendo que os mapas de isocondutividade que puderam ser elaborados a partir dos dados de caminhamento eletromagnético evidenciaram áreas anômalas de condutividade. Essas áreas serviram para orientar a fase de investigação confirmatória com a instalação dos poços de monitoramento nesses locais.

Em investigação na encosta do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, Pacheco (1996) afirma ter utilizado métodos geoeletricos para instalação de nove poços de monitoramento.

Carvalho Jr. e Costa e Silva (1997), empregaram os métodos da eletrorresistividade e potencial espontâneo na determinação das direções de fluxos d'água no subsolo, bem como topo e base dos aquíferos no cemitério São José, em Belém/PA.

Matos (2001) aplicou os métodos da eletrorresistividade e eletromagnético para obter informações sobre a litologia, topo da camada saturada, anomalias condutivas, como orientação na instalação de poços monitoramento para investigar a ocorrência e transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha.

Silva (2008) aplicou o método da eletrorresistividade no cemitério de Vila Rezende, em Piracicaba (SP), onde afirma que a aplicação desse método evidencia grande potencialidade para investigar e mapear eventuais contaminações no lençol freático.

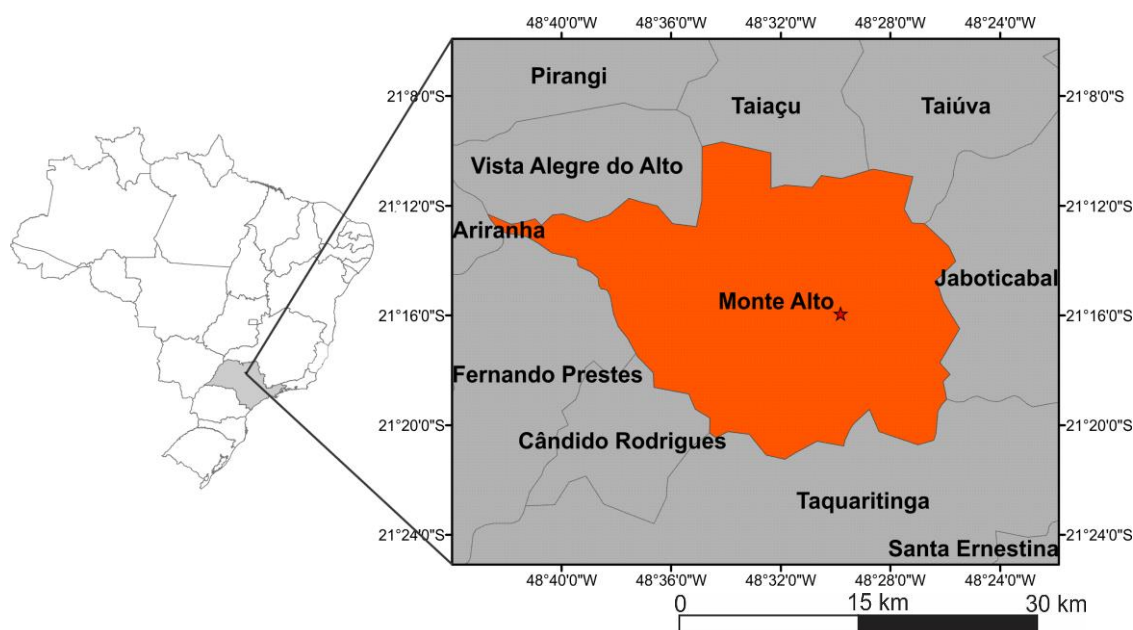
Os trabalhos internacionais na investigação da contaminação ambiental por cemitérios com aplicação de métodos geofísicos são mais raros, predominando-se assim métodos diretos de hidrogeoquímica. Os métodos geofísicos, principalmente os geelétricos, eletromagnéticos e os potenciais, são muito utilizados internacionalmente na arqueologia de cemitérios.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e acesso

O Cemitério da Saudade está localizado no município de Monte Alto (48° 29' 45" W; 21° 15' 39" S), na região nordeste do Estado de São Paulo (Figura 02). O cemitério encontra-se instalado na região central da cidade (Figura 03), na Rua Jeremias de Paula Eduardo, uma das principais e mais movimentadas vias de Monte Alto. O seu entorno é composto essencialmente por bairros residenciais, como a Vila São Francisco, o Jardim Santana e Jardim Tangará, além do Centro, onde há diversas atividades comerciais.

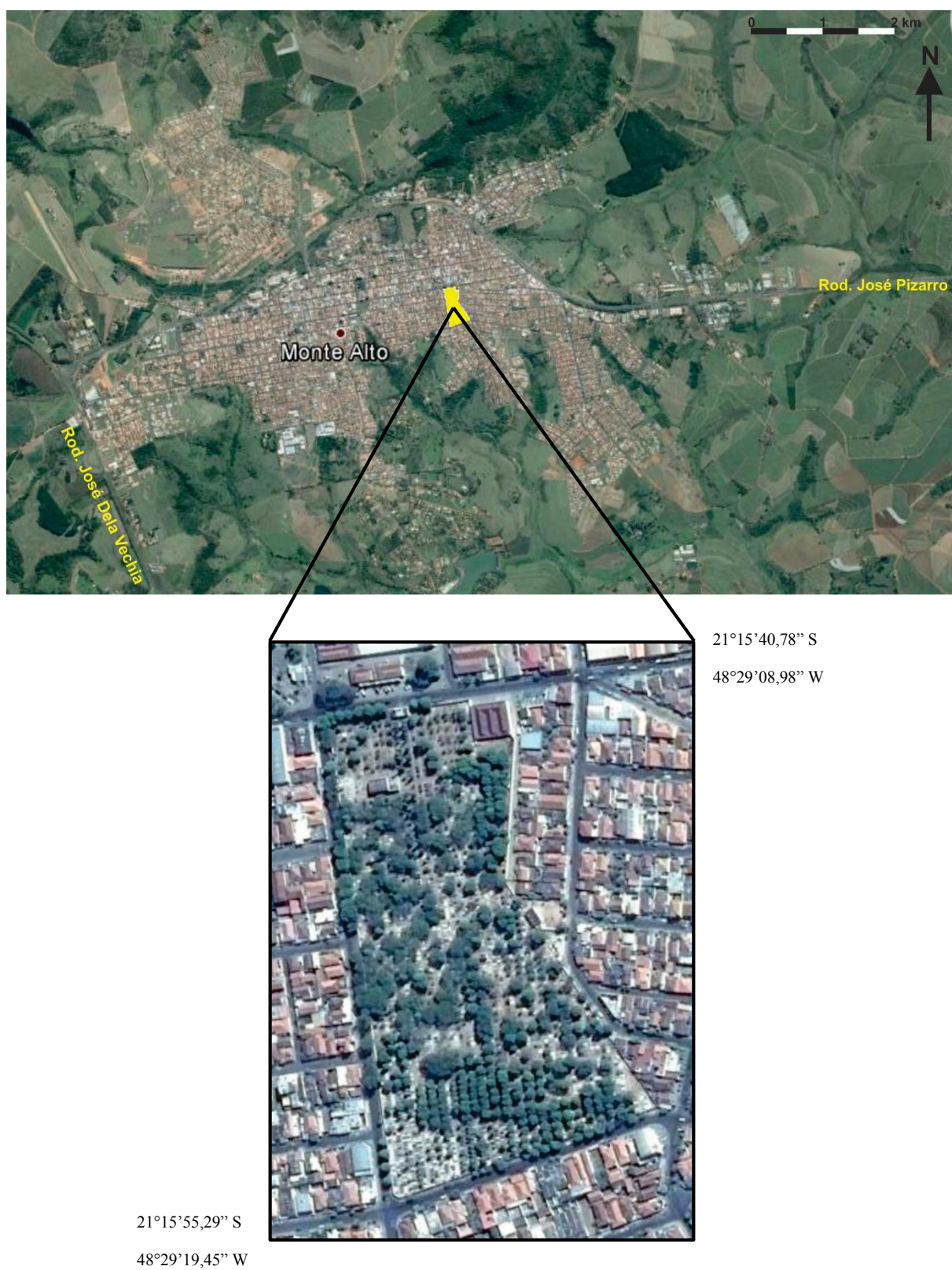
Figura 02: Mapa de localização do município de Monte Alto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O acesso terrestre ao município de Monte Alto é facilitado devido ao bom sistema viário disponível na região. As principais vias pelas quais é possível chegar ao município, a partir da capital São Paulo, são as rodovias estaduais Washington Luís (SP-310), Eng. Thyrso Micali (SP-319), Nemesio Cadetti (SP-333), José Dela Vechia (SP-323), Brigadeiro Faria Lima (SP-364) e José Pizarro (SP-305).

Figura 03: Imagem de satélite da cidade de Monte Alto com destaque para a área do cemitério.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Aspectos geográficos e sociais do município e histórico da área de estudo

Monte Alto, fundada em 15 de Maio de 1881, possui população estimada de 46.642 habitantes, de acordo com censo realizado pelo IBGE de 2010. A área do município é de 346,950 km², fazendo sua densidade demográfica ser de 134,61 hab/km². A altitude média do município é de 735 metros acima do nível do mar e seu clima pode ser definido como tropical de altitude. Monte Alto apresenta IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de 0,768, de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o que a classifica como tendo alto índice de desenvolvimento humano. Sua população urbana é de 44.543 habitantes, enquanto a população que vive na zona rural é de 2.099 pessoas.

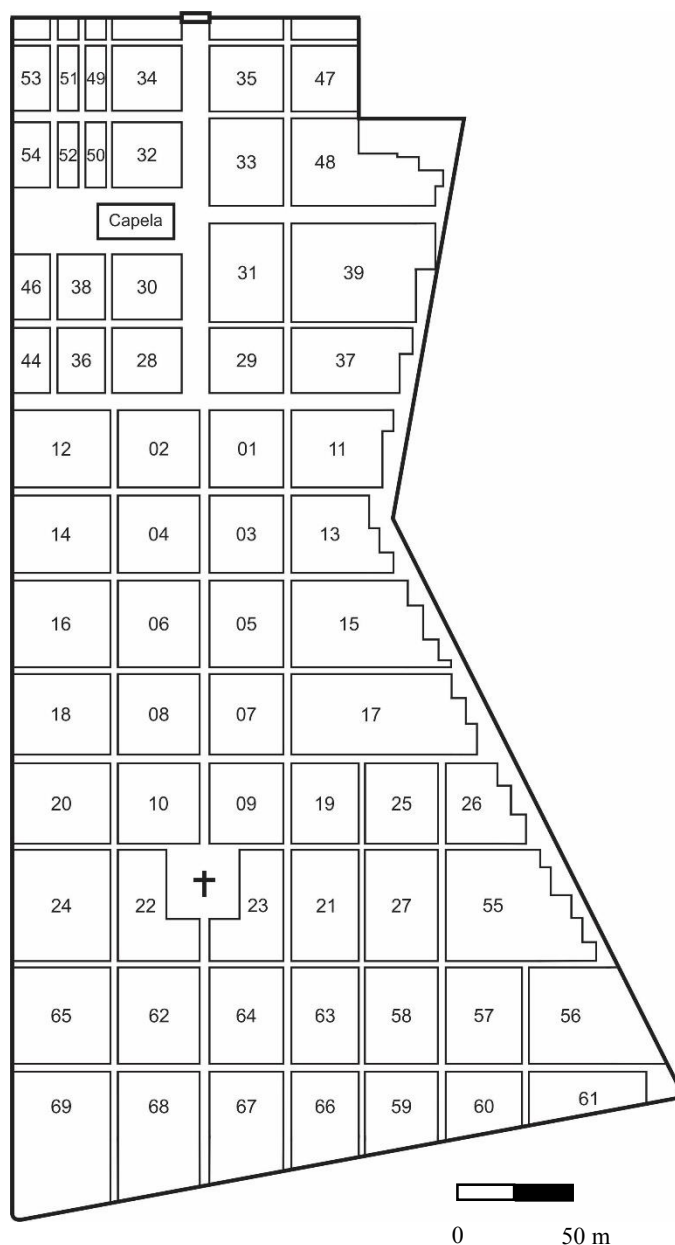
Fundado em 22 de fevereiro de 1903, o Cemitério da Saudade é o único cemitério operante na cidade (Foto 01). A sua administração é pública, vinculada à Secretaria Municipal de Planejamento, e possui aproximadamente 50.000 m² de área, sendo já realizados mais de 23 mil sepultamentos em suas dependências até os dias atuais, o que dá uma média de 17 sepultamentos/mês ou de 204 sepultamentos/ano.

Foto 01: Entrada principal do Cemitério da Saudade.



O cemitério está dividido em 69 quadras (Figura 04). A ocupação aconteceu primeiro na parte central, onde estão as quadras de 01 a 27. Posteriormente, as quadras de número 28 a 53 foram sendo ocupadas até que, por fim, houve a ocupação da parte terminal do terreno, onde estão as quadras 55 a 69. À medida que o cemitério foi chegando próximo ao esgotamento, as áreas adjacentes aos muros também foram sendo utilizadas para sepultamento. A Prefeitura Municipal também comprou e desapropriou terrenos vizinhos para expandir e dar uma pequena sobrevida ao cemitério enquanto uma nova área não é encontrada para implantação de um novo (Foto 02).

Figura 04: Mapa esquemático do Cemitério da Saudade e sua divisão em quadras.



Existem três tipos de covas que são implantadas no cemitério: carneira (1 gaveta), mini jazigo (3 gavetas) e jazigo (4 a 6 gavetas). Até o ano de 2010, ainda ocorria o sepultamento de corpos em vala comum, diretamente no solo, nas quadras mais novas e distais do terreno (quadras 55 a 69), principalmente de indigentes e da população de baixa renda. A partir da década de 1960, as covas passaram a ser construídas em alvenaria, o que contribui para um maior controle sanitário e ambiental do processo.

Foto 02: Área nova do cemitério sendo construída.



As sepulturas do cemitério da Saudade podem ou não ser perpétuas. Sepulturas que foram ocupadas por pessoas que não possuíam terrenos são reutilizadas. Isso não ocorre no caso de quem está em terrenos apossados por compra, que são túmulos perpétuos. A exumação é feita após um período mínimo de três anos para adultos e dois para crianças menores de sete anos, onde os ossos são colocados em sacos pretos e dispostos no canto da mesma gaveta.

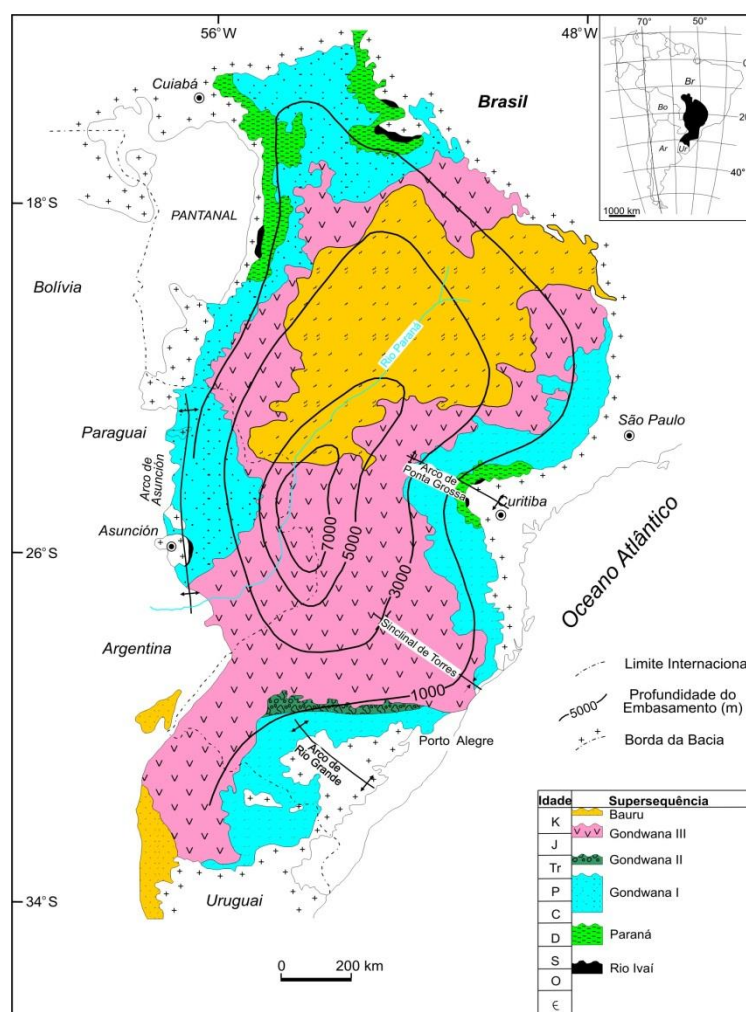
4.3 Geologia

A Bacia do Paraná é uma ampla região sedimentar localizada na porção sudoeste do continente sul-americano, se estendendo por porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai

oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,5 milhão de quilômetros quadrados (MILANI *et al.*, 2007). No Brasil, a bacia compreende os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, partes de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais. Trata-se de uma bacia sedimentar de interior cratônico, tipo sinéclise, de forma elíptica, com maior eixo na direção N-S, tendo seu limite atual definido por limites erosivos relacionados em grande parte à história geotectônica mesoceno-zóica do continente (Figura 05).

O registro estratigráfico da Bacia do Paraná é composto por um pacote sedimentar-magmático com aproximadamente 7 mil metros de espessura (MILANI *et al.*, 2007). O depocentro coincide aproximadamente com o Rio Paraná, embora o eixo principal de deposição tenha variado durante a história da bacia.

Figura 05: Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Paraná.



Fonte: Milani (1997).

O conteúdo litológico da bacia compreende estratos cujas idades variam do Neo-Ordoviciano ao Neocretáceo. O registro sedimentar, é descontínuo, subdividido em Supersequências distribuídas ao longo dos seus 385 Ma de história (MILANI, 1997). O posicionamento cronoestratigráfico dos sedimentitos da Bacia do Paraná, entretanto, ainda encerra uma série de questões pela falta de efetivos elementos bioestratigráficos de amarração às escalas internacionais de tempo geológico.

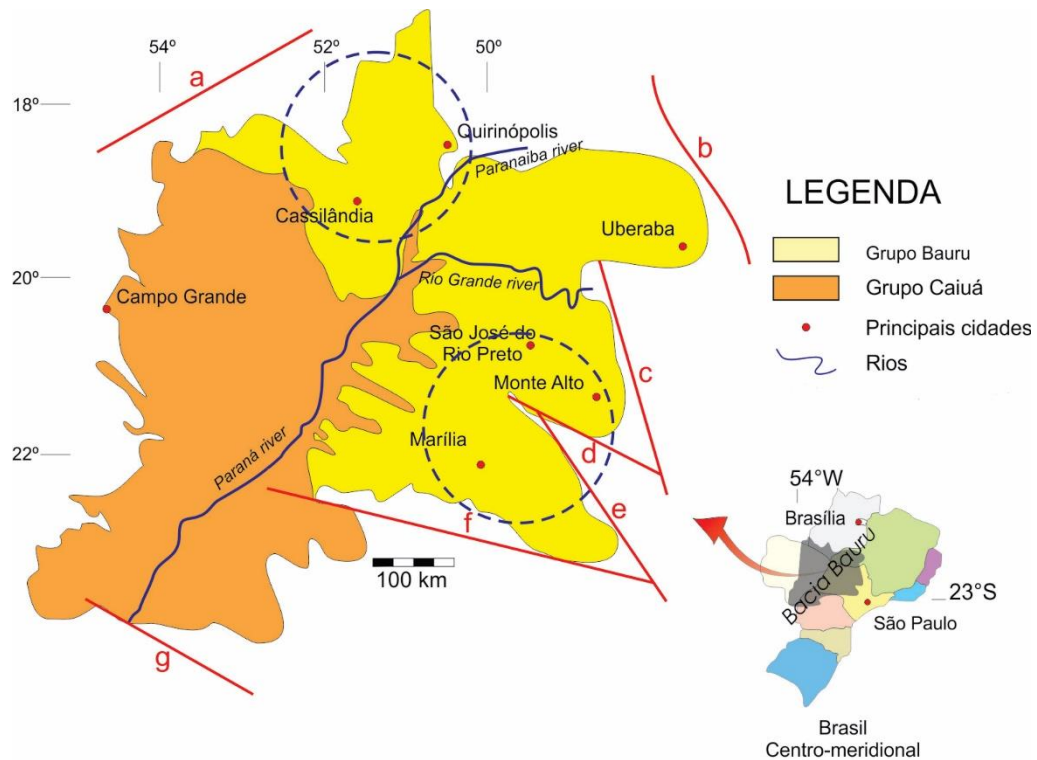
Milani (1997) reconheceu no registro estratigráfico da Bacia do Paraná seis unidades de ampla escala (Supersequências), na forma de pacotes rochosos, que materializam intervalos temporais com algumas dezenas de milhões de anos de duração e são envelopados por superfícies de discordância de caráter inter-regional, com base na Estratigrafia de Sequências. São elas: Rio Ivaí (Ordoviciano- Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

4.3.1 A Supersequência Bauru

A área de estudo está localizada na borda nordeste da Bacia do Paraná, nordeste do Estado de São Paulo. Na região de Monte Alto afloram litologias pertencentes à Supersequência Bauru. Tem espessura máxima preservada de cerca de 300 metros e área de ocorrência de 370.000 km², nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso, assim como no Nordeste do Paraguai (MILANI *et al.*, 2007) (Figura 06). A Supersequência Bauru é uma cobertura pós-basáltica, que constitui unidade siliciclástica psamítica acumulada em condições semiáridas a desérticas (Figura 07).

A Supersequência Bauru tem seu contato basal discordante (não-conformidade), sobretudo com basaltos da Formação Serra Geral. Em sua base geralmente ocorre delgado estrato de aspecto brechóide com clastos angulosos de basalto, matriz arenosa imatura. Em termos litoestratigráficos, a Supersequência Bauru é formada pelos grupos cronocorrelatos Caiuá e Bauru, onde ocorre passagem lateral gradual e interdigitada entre eles.

Figura 06: Mapa de localização da Supersequência Bauru.



Fonte: Modificado de Basilici, 2012.

O primeiro compreende as formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio. O segundo é composto pelas formações Uberaba, Adamantina, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília, além de rochas vulcânicas alcalinas intercaladas, os Analcimitos Taiúva (FERNANDES & COIMBRA, 2000). O Grupo Bauru corresponde a depósitos de trato de sistemas de clima semi-árido, formado por leques aluviais marginais, lençóis de areia atravessados por sistemas fluviais efêmeros e zona endorréica paludial, que alimentaram o deserto interior correspondente ao Grupo Caiuá.

Figura 07: Estratigrafia da Supersequência Bauru.

Ma	GEOCRONOLOGIA		NATUREZA DA SEDIMENTAÇÃO	AMBIENTE DEPOSICIONAL
	ERA	PERÍODO		
65	MESOZOICA	CRETÁCEO	CONT.	ALÚVIO-FLUVIAL EÓLICO
100				

LITOESTRATIGRAFIA			ESPESSURA MÁXIMA (m)	SEQÜÊNCIAS
GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO		
BAURU/ CAIUÁ			260	BAURU

Fonte: Modificado de Milani *et al.*, 2007.

4.3.2 Contexto estratigráfico na região estudada

Na área do município afloram rochas pertencentes à Formação Adamantina e Marília. A Formação Adamantina aflora principalmente na região situada a SSW da cidade de Monte Alto, em direção à cidade de Taquaritinga, com relevo menos acentuado e mais homogêneo (MANZINI, 1990). Ela compreende estratos tabulares de arenitos finos a finos marrons claros rosados a alaranjado, de seleção moderada a boa. Intercalados com siltitos ou lamitos arenosos de cor creme a marrom, maciços ou com estratificação plano-paralela pouco definida, fendas de ressecção e feições tubulares (bioturbação). Os arenitos têm aspecto maciço ou estratificação cruzada tabular e acanalada de médio a pequeno porte ou estratificação/laminação plano-paralela grosseira (superfícies onduladas com *climbing ripples* eólicos, ondulações de

adesão e planos com lineação de partição). Corresponde a depósitos eólicos de extensas áreas planas de lençóis de areia e campos de dunas baixas, com depósitos de *loesse* retidos em corpos aquosos efêmeros (MILANI *et al.*, 2007).

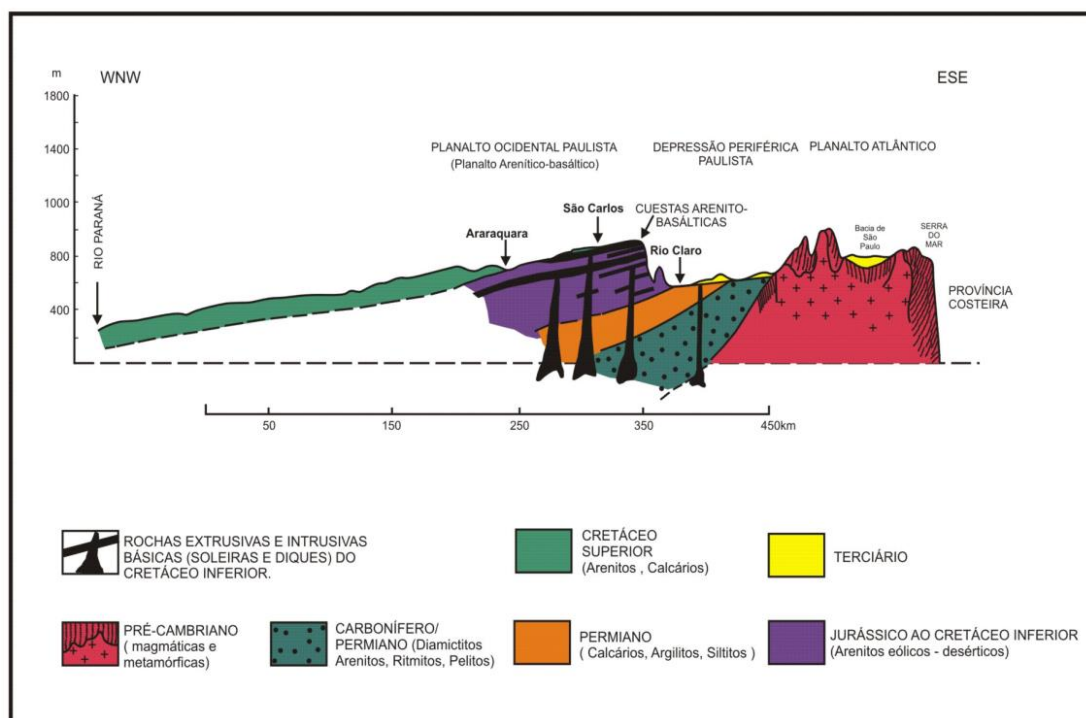
Já a Formação Marília aflora em grande parte na região da zona urbana do município e é composta por três membros: Serra da Galga, Ponte Alta e Echaporã (MANZINI, 1990). Os dois primeiros ocorrem principalmente no Triângulo Mineiro (MG), enquanto que o membro Echaporã ocupa grandes áreas do Planalto Ocidental Paulista e importantes porções nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul (BARCELOS & SUGUIO, 1987 *apud* MANZINI, 1990).

Segundo Milani *et al.* (2007), o Membro Echaporã é constituído por estratos tabulares maciços em geral de 1 metro de espessura, de arenitos finos a médios, imaturos, com frações grossas e grânulos em quantidades subordinadas, de cor bege a rosa-pálida. Em geral, os estratos têm maior desenvolvimento de nódulos e crostas carbonáticas no topo, e, às vezes, discreta concentração de clastos na base. Raramente exhibe estratificação cruzada de médio porte. As litofácies conglomeráticas, de poucos centímetros de espessura, são constituídas por intraclastos centimétricos (carbonáticos e lamíticos) e por extraclastos silicosos (quartzo, quartzito e arenito silicificado, alguns deles ventifactos). São frequentes intercalações de delgadas lentes de lamitos arenosos de cor marrom de espessuras centimétricas a decimétricas (até 1 m), de base côncava e topo horizontal. O Membro Echaporã formou-se como depósitos de lençóis de areia, onde se desenvolveram calcretes freáticos e pedogenéticos (MILANI *et al.*, 2007). O Membro Echaporã, devido ao cimento carbonático, controla fortemente a geomorfologia regional em algumas regiões, sustentando planaltos digitiformes, mais expressivos nas regiões de Marília, Echaporã e Monte Alto (MANZINI, 1990).

4.4 Geomorfologia

O Estado de São Paulo foi dividido em cinco províncias geomorfológicas por Almeida (1964), sendo elas: Planalto Atlântico, Província Costeira, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental (Figura 08).

Figura 08: Seção geomorfológica esquemática do estado de São Paulo.



Fonte: Modificado de Ab'Saber (1956).

A região de estudo está inserida no contexto do Planalto Ocidental Paulista, que ocupa praticamente 50% da área total do estado. Situa-se sobre as rochas da Supersequência Bauru, sendo o relevo desse domínio, em geral, levemente ondulado com predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplainados (IPT, 1981). No município de Monte Alto, ocorre variações fisionômicas na qual é possível delimitar unidades geomorfológicas distintas, como o Planalto Residual de São Carlos, também chamado de Planalto de Monte Alto por Almeida (1964). A altitude média da região é de 735 metros.

Esta unidade constitui-se, em seu topo, de encostas convexas de pouco aclive, que se desfazem gradativamente em direção à borda da escarpa. Sua borda é marcada por ecarpas verticais a subverticais, constituindo paredões, com desnível, desde a sua base até o topo, de dezenas a uma centena de metros (BRAND NETO, 1984 *apud* MANZINI, 1990).

4.5 Clima

O clima do município pode ser classificado como sendo Cwa, de acordo com o sistema de Köppen (Quadro 02). É caracterizado pelo clima tropical de altitude, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18 °C e a do mês mais quente ultrapassa 22 °C (Quadro 03).

O total das chuvas no mês mais seco não vai além de 30 mm e o índice pluviométrico deste tipo climático varia de 1100 a 1400 mm segundo o sistema de Köppen (MANZINI, 1990).

Quadro 02: Sistema de classificação de Köppen para o clima do município.

C	W	a
Clima temperado chuvoso e quente: o mês mais frio tem temperatura média até 18°C e o mês mais moderadamente quente tem temperatura média maior que 10°C.	Seca no inverno, chuva de verão.	Verão quente, com o mês mais quente apresentando temperatura média maior que 22°C.

Segundo Oliveira *et al.* (1976 *apud* MANZINI, 1990), a área situa-se num regime de umidade údico e regime hidrotérmico de temperatura, em que a média anual de solo a 50 cm de profundidade é maior que 22 °C e a amplitude térmica, entre o verão e o inverno, da temperatura de solo a 50 cm de profundidade é maior que 5 °C.

Quadro 03: médias de temperatura e chuva de Monte Alto durante um ano.

MÊS	TEMPERATURA DO AR (°C)			CHUVA (mm)
	mínima média	máxima média	média	
JAN	18.1	29.1	23.6	254.4
FEV	18.3	29.1	23.7	214.9
MAR	17.6	29.0	23.3	175.3
ABR	15.1	27.8	21.5	66.9
MAI	12.4	26.1	19.3	54.5
JUN	11.1	25.2	18.1	31.3
JUL	10.6	25.4	18.0	24.9
AGO	12.1	27.8	20.0	24.9
SET	14.2	29.1	21.7	62.0
OUT	15.9	29.2	22.5	123.6
NOV	16.6	29.0	22.8	156.3
DEZ	17.6	28.7	23.2	252.0
Ano	15.0	28.0	21.5	1441.0
Min	10.6	25.2	18.0	24.9
Max	18.3	29.2	23.7	254.4

Fonte: Cepagri

4.6 Vegetação

A vegetação natural encontrada sobre os solos da Formação Marília é a floresta latifoliada tropical. Atualmente muito pouca dessa cobertura encontra-se preservada. IBGE (1977, apud MANZINI, 1990) citam, para essa região, a presença de cerrados e florestas, que encontram-se hoje em grande parte substituídos por culturas de cana-de-açúcar, milho, citrus e tomate.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 O método eletromagnético

Para se realizar esse estudo foi empregado o método geofísico eletromagnético (EM). Os métodos eletromagnéticos têm ampla aplicação na exploração e prospecção mineral, no mapeamento geológico e também em investigações ambientais o emprego desses métodos tem se mostrado eficiente, aplicados no gerenciamento de áreas degradadas. As principais vantagens que eles proporcionam são a rapidez, já que é possível fazer levantamentos rápidos sobre grandes áreas, a não necessidade de contatos diretos com o solo para se realizar os ensaios (nas técnicas indutivas) e o baixo custo, se comparado a outros métodos de investigação.

O surgimento desse método só foi possível após o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, no ano de 1873, unificar os conhecimentos sobre eletricidade e magnetismo, formulando a teoria do eletromagnetismo, que deu a base teórica para o posterior desenvolvimento do método geofísico (LOWRIE, 2007). Porém, a prova experimental da existência das ondas eletromagnéticas só foi conseguida anos depois pelo físico alemão Heinrich Hertz. As relações matemáticas propostas na teoria passaram então a ser conhecidas por “Equações de Maxwell”. O método geofísico de prospecção, no entanto, foi desenvolvido somente na década de 1920, paralelamente nos países escandinavos (Suécia, Noruega e Dinamarca), nos Estados Unidos e no Canadá (TELFORD *et al.*, 1990).

5.1.1 Fundamentação teórica

O método eletromagnético (EM) faz uso da resposta do meio físico à propagação de campos eletromagnéticos, compostos por uma intensidade elétrica alternada e por uma força de magnetização, para se obter a condutividade elétrica (σ) dos materiais em subsuperfície (KEAREY *et al.*, 2002) (Figura 09).

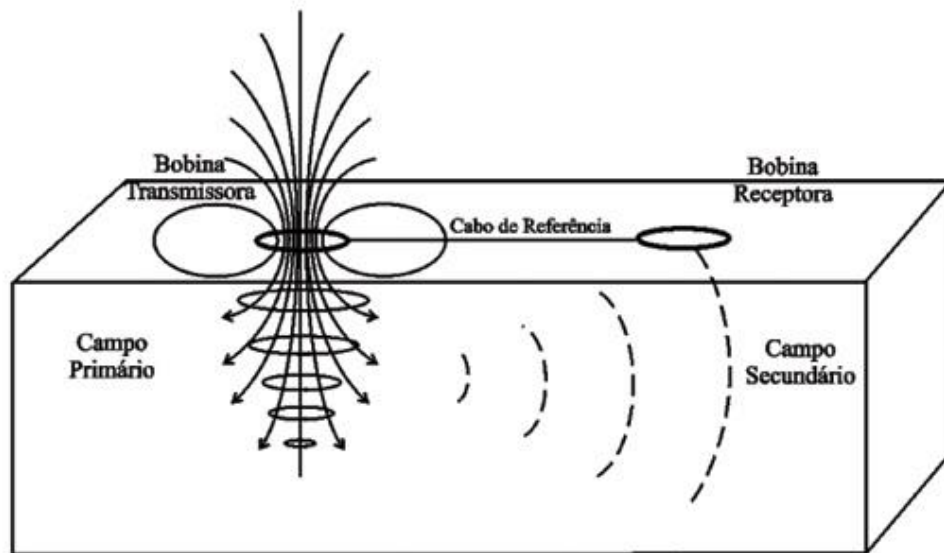
A condutividade elétrica é um parâmetro físico que indica a facilidade que um determinado material possui para transmitir uma corrente elétrica, ou seja, fisicamente é o inverso da resistividade elétrica (ρ), podendo ser relacionadas através da equação 01:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Equação 01

sendo a unidade de medida, no SI, o *Siemens/metro* (S/m).

Figura 09: Princípio do método eletromagnético indutivo.



Fonte: Moreira et al., 2007.

O método EM envolve a propagação de ondas eletromagnéticas geralmente de baixa frequência (<30000 Hz), sendo chamado de indutivo quando o campo primário é gerado através de bobina transmissora e condutivo quando o campo primário é introduzido no subsolo através de eletrodos com contato galvânico no terreno. Os métodos EM incluem uma variedade de técnicas de levantamentos, aplicações e procedimentos de interpretação. Cada técnica, porém, envolve a medida, em um receptor, de uma ou mais componentes do campo elétrico ou do campo magnético, gerado a partir de alguma fonte natural ou artificial de energia eletromagnética, chamada de transmissor (SWIFT, 1987 *apud* XAVIER, 2014).

Os parâmetros envolvidos na propagação de ondas eletromagnéticas nos materiais geológicos em subsuperfície são: a condutividade elétrica (σ), a permissividade dielétrica (ϵ) e a permeabilidade magnética (μ) (MCNEILL, 1980). A condutividade elétrica varia em função dos tipos de solos ou rochas, porosidade, permeabilidade, grau de saturação, assim como em função das propriedades eletroquímicas dos fluidos de preenchimento dos poros (ORELLANA, 1972).

Existem basicamente três grupos de métodos eletromagnéticos, classificados segundo o parâmetro medido pelo equipamento: métodos que medem a inclinação do campo eletromagnético resultante, métodos que medem os componentes vetoriais do campo eletromagnético, e os que medem diretamente a condutividade elétrica (BORTOLIN, 2014).

Entre os métodos que medem diretamente a condutividade elétrica, dois deles são bastante difundidos dentro da geofísica: o método eletromagnético domínio do tempo (*Time-domain Electromagnetic Method* – TEM ou TDEM) e o eletromagnético domínio da frequência (*Frequency-domain Electromagnetic Method* – FEM ou FDEM). No método TEM, o campo primário é aplicado em pulsos, que têm uma certa duração e são emitidos durante um certo tempo. Quando o campo eletromagnético primário é cessado, o campo secundário é, então, medido. No método FEM, adotado neste trabalho, as medidas são efetuadas utilizando-se uma ou mais frequências, que são geradas por um transmissor que produz um campo primário constante. O campo secundário é medido simultaneamente à geração do campo primário (BORTOLIN, 2014).

Na prática, o método FEM consiste em gerar um campo eletromagnético primário (H_p) através da passagem de uma corrente alternada sobre uma pequena bobina transmissora (T_x), composta de fios metálicos ou de um grande anel de cabo elétrico (*loop*). Esses campos se propagam pelo meio físico, tanto abaixo como sobre a superfície, até uma bobina receptora, onde são captados. A propagação deste campo no subsolo – meio condutor assumido como homogêneo – induz correntes elétricas secundárias, que produzem um campo eletromagnético secundário (H_s) proporcional à corrente induzida. Uma parte desse campo secundário induz correntes elétricas em uma bobina receptora (R_x), posicionada dentro da área de influência dos campos primário e secundário.

Onde a subsuperfície é homogênea, não há diferença entre os campos propagados que não seja uma ligeira redução na amplitude do último em relação ao primeiro. Entretanto, na presença de um corpo condutor, a componente magnética do campo eletromagnético penetra no solo e induz correntes alternadas, ou *correntes parasitas* (*eddy currents*), a fluir no corpo condutor (KEAREY *et al.*, 2002). Essas correntes que são responsáveis por gerarem um campo eletromagnético secundário que induz correntes alternadas a fluírem na bobina receptora.

A diferença de potencial (d.d.p.) ocasionada pela passagem de correntes elétricas na bobina receptora é diretamente proporcional à condutividade elétrica do terreno (BORTOLIN, 2014). Conhecendo-se as diferenças de intensidade, direção e/ou fase entre os dois campos

eletromagnéticos é possível saber da existência de corpos condutores em subsuperfície, obtendo informações sobre suas geometrias e suas propriedades elétricas.

De acordo com McNeill (1980), o campo magnético secundário é uma função complexa dos espaçamentos entre as bobinas, a frequência da operação (f), e a condutividade do solo (σ). Para conseguir calcular o parâmetro em questão, é utilizada uma técnica de baixo número de induções, que facilita o cálculo dessa função. Sendo assim, o cálculo da condutividade elétrica é baseado na razão entre campo magnético secundário (H_s) e primário (H_p), admitida como linearmente proporcional à condutividade do meio. Dada as restrições técnicas que são incorporadas no condutivímetro, através da relação H_s / H_p , a condutividade aparente indicada pelo instrumento é definida a partir da equação 02, mostrada a seguir:

$$\sigma_a = \frac{4}{(2\pi f)\mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right) = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right) \quad \text{Equação 02}$$

onde:

σ_a = é o valor da condutividade elétrica aparente, expressa em S/m .

H_s = campo magnético secundário na bobina receptora;

H_p = campo magnético primário na bobina receptora;

ω = frequência angular, em rad/s ;

f = frequência da corrente elétrica que circula a bobina (Tx), em *hertz* (Hz);

μ_0 = permeabilidade magnética no espaço livre, dada em H/m ;

Para uma mesma frequência, a profundidade de investigação (Z) é função da separação e da orientação das bobinas. No caso dos condutivímetros de campo fabricados pela empresa canadense *Geonics Limited*, cujo modelo EM31-MK2 foi empregado neste trabalho, as profundidades de investigação típicas para cada modelo e orientação são apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01: Profundidades de investigação dos condutivímetros da *Geonics Limited*.

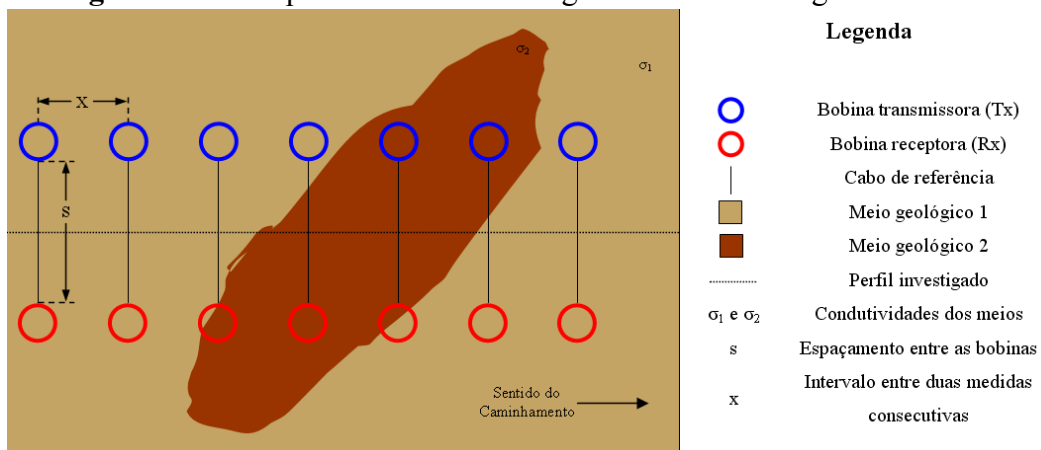
Sistema	Espaçamento entre as bobinas (m)	Frequência de operação (kHz)	Profundidade de investigação (m)	
			Dipolo horizontal	Dipolo vertical
EM31	3,66	9,8	3	6
EM34	10	6,4	7,5	15
	20	1,6	15	30
	40	0,4	30	60
EM38	0,5	14,5	0,375	0,75
	1,0		0,75	1,5

Fonte: McNeill, 1980.

5.1.2 Técnica do Imageamento Eletromagnético

O Imageamento Eletromagnético (IEM) é uma técnica utilizada para se obter os valores do parâmetro físico da condutividade elétrica. A técnica consiste em utilizar duas bobinas, que são constantemente separadas por um aparato rígido ou conectadas entre si por um cabo de referência de comprimento conhecido, de modo a se manter fixa a distância de separação entre elas (Figura 10). Este conjunto é movido ao longo do perfil a ser investigado em intervalos previamente determinados.

Figura 10: Princípio da técnica do Imageamento Eletromagnético.



Fonte: Bortolin, 2014.

O ponto de referência da medida é o centro entre as bobinas. É possível fazer medições de diferentes profundidades de investigação do perfil, que podem ser obtidas por meio da variação do espaçamento entre as bobinas (s), da orientação dos dipolos magnéticos e/ou da frequência (f) de funcionamento do sistema.

5.2 Pesquisa documental sobre a área estudada

Os dados acerca do Cemitério da Saudade, em Monte Alto, foram coletados através de pesquisa documental no prédio da Administração do mesmo, em livros de registros. Um mapa do cemitério, que serviu de base para a confecção de outros mapas durante este estudo, também foi obtido nessa etapa de pesquisa.

5.3 Aquisição dos dados

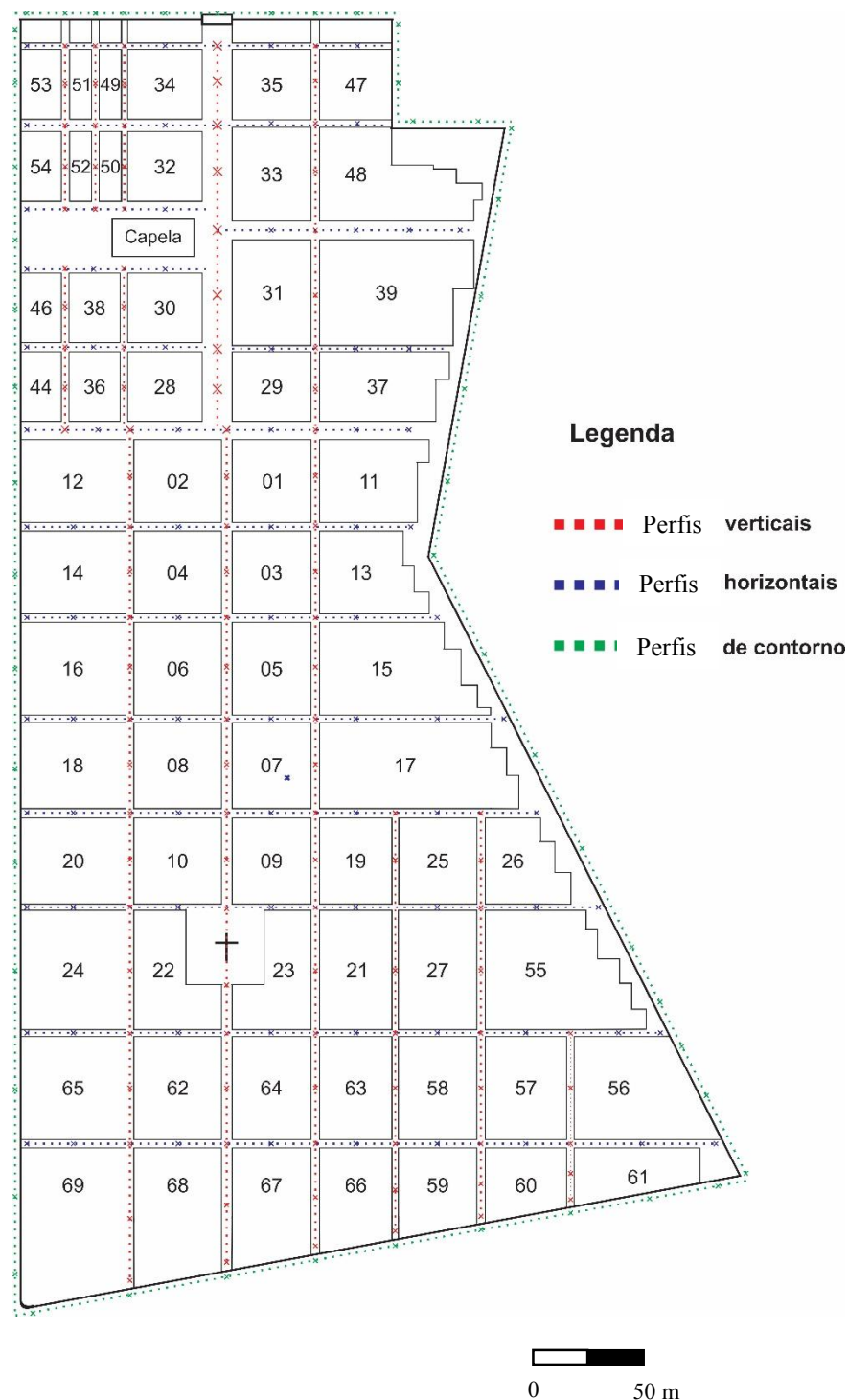
Para se realizar o projeto de pesquisa proposto, com a aplicação do método eletromagnético, foi utilizado o condutivímetro EM31-MK2 (Foto 03), feito pela empresa canadense *Geonics Limited*, de propriedade do Laboratório de Geofísica do Departamento de Geologia Aplicada (DGA) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP Rio Claro.

Foto 03: Condutivímetro *Geonics* EM31-MK2 sendo operado em campo.



A aquisição de dados foi feita em duas etapas de campo. Foram empregadas duas orientações das bobinas – Dipolo Magnético Horizontal (DMH) e Dipolo Magnético Vertical (DMV), resultando em duas profundidades teóricas de investigação diferentes: de 0 a 3m e 0 a 6m, respectivamente. O ensaio geofísico foi realizado através de 30 perfis de IEM para se obter os valores de condutividade elétrica (σ) do meio, de acordo com a Figura 11.

Figura 11: Mapa esquemático do cemitério com os perfis de aquisição geofísica.



5.4 Georreferenciamento

Para gerar os mapas de condutividade elétrica propostos, se faz necessária a interpolação dos pontos obtidos em campo. Logo, os parâmetros medidos têm que estar referenciados no espaço. Essa etapa seria feita com um GPS diferencial da marca *Trimble*. Porém, por problemas técnicos, não foi possível utilizá-lo a tempo deste trabalho ser realizado. A solução encontrada foi a confecção de um sistema próprio de coordenadas no cemitério, feito com a ajuda de uma trena de 100 metros.

5.5 Interpretação dos dados

Após a aquisição, os dados foram processados através do software *Surfer* v. 11. Pontos com valores negativos de condutividade foram retirados do processamento final por se tratarem de ruídos eletromagnéticos do meio, não retratando a realidade local. Para o método eletromagnético obteve-se como produto final mapas de condutividade elétrica para ambas as orientações das bobinas.

O tratamento de dados no *Surfer* implica na interpolação dos pontos obtidos no campo através do ensaio geofísico. O método escolhido para essa interpolação foi o método da krigagem (*Kriging*). De acordo com Landim (1998), este método leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas. A krigagem é um procedimento geoestatístico avançado que gera uma superfície calculada de um conjunto disseminado de pontos com valores de Z . Para que seja possível estimar o valor da variável onde ele é desconhecido, é necessário que haja continuidade espacial entre os pontos com valores conhecidos. Além disso, a krigagem fornece, em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima, o que significa que a diferença entre os valores estimados e os verdadeiros para o mesmo ponto deve ser nula; e a variância mínima significa que estes estimadores possuem a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos (SANSONOWSKI, 2003 *apud* SILVA, 2008).

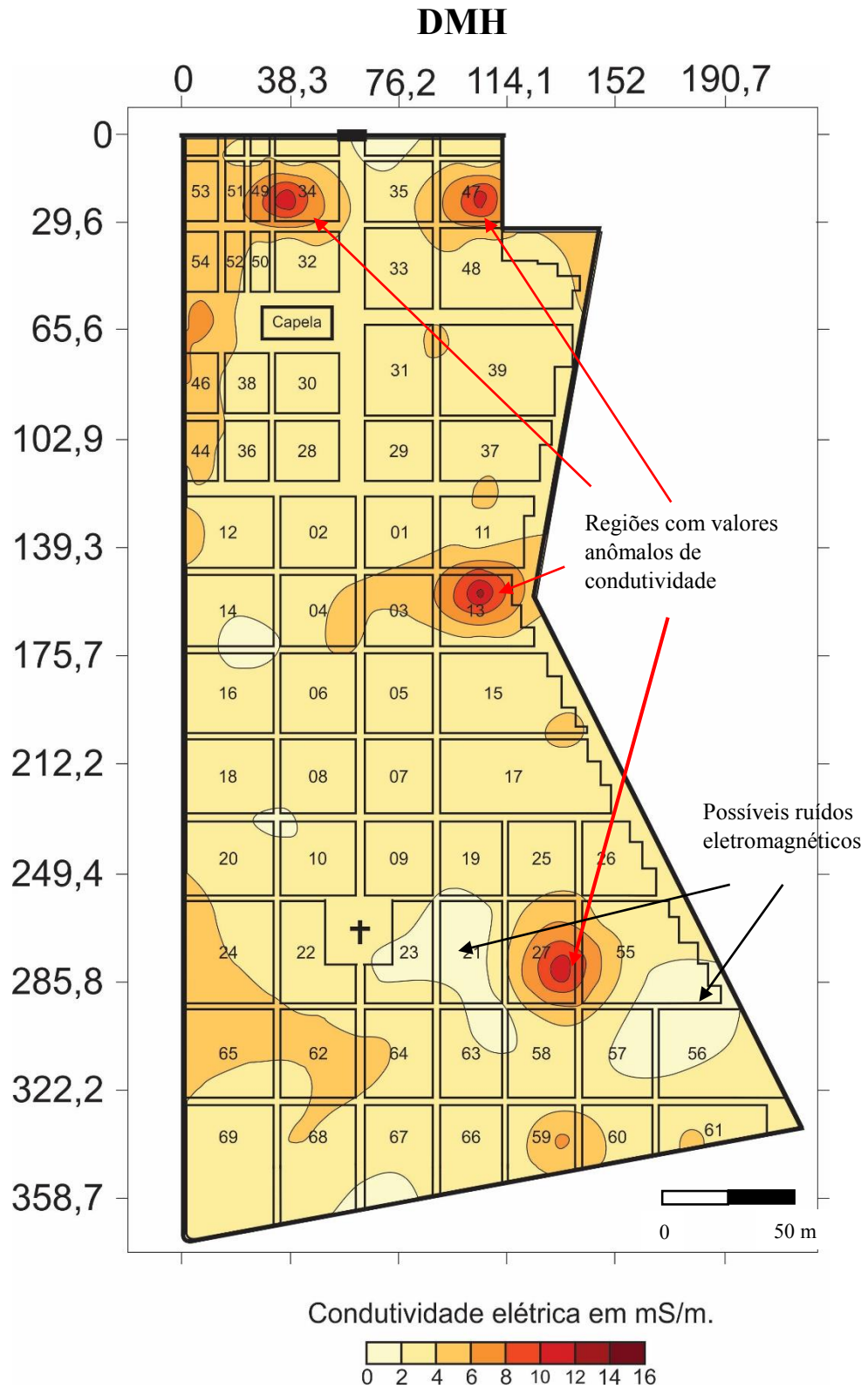
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como visto anteriormente, vários fatores influenciam na condutividade do meio físico, como: o tipo de solo ou rocha, a porosidade, permeabilidade, grau de saturação e propriedades eletroquímicas dos fluidos de preenchimento dos poros. Como a geologia no local é bem controlada, uma vez que a litologia predominante são os arenitos da Formação Marília, que por causa de suas características (composição, porosidade, permeabilidade) são rochas de elevada resistividade elétrica, é de se esperar valores baixos de condutividade elétrica no meio físico natural. A existência de anomalias condutivas, então, pode estar relacionada a outros fatores, que não são explicados através da litologia do local.

Em geral, os mapas de condutividade elétrica aparente não apresentam valores elevados de condutividade, embora é possível notar quatro regiões com valores elevados do parâmetro físico em questão. As regiões que apresentam valores elevados de condutividade elétrica estão nas quadras 13, 27, 34 e 47. Embora os túmulos do cemitério sejam feitos em alvenaria há algumas décadas, esse fato não impede que ocorra vazamentos de necrochorume, por decorrência de trincas e rachaduras no cimento, que podem ocorrer devido a vários fatores.

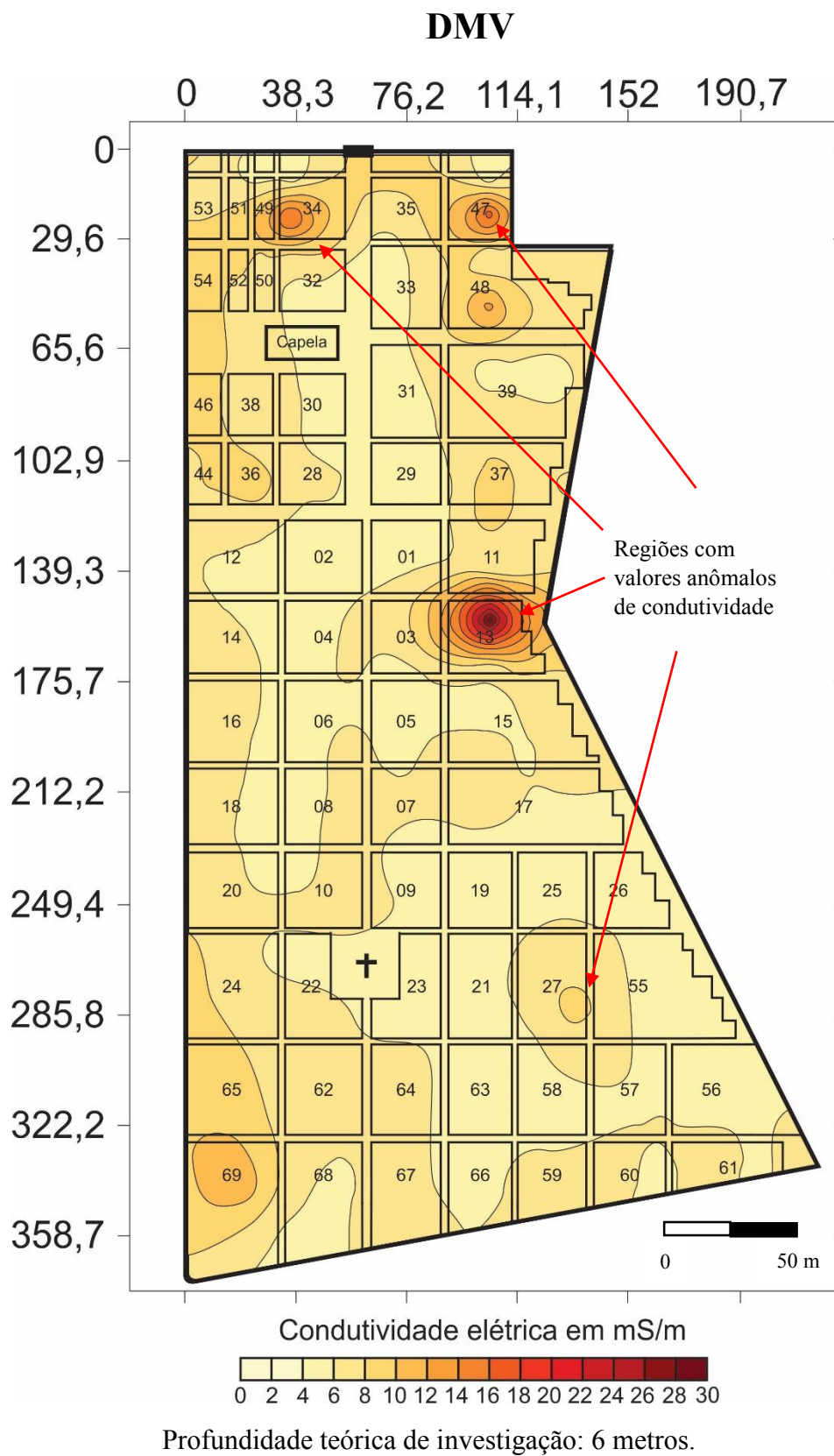
As feições circulares que aparecem nos mapas, de caráter mais resistivo, podem estar relacionadas a ruídos eletromagnéticos causados pelo meio, já que por se tratar de uma área urbana, os campos eletromagnéticos estão muito susceptíveis a interferências causadas pela rede elétrica, tubulações, e até os próprios ornamentos metálicos presentes no cemitério.

Figura 12: Mapa de condutividade elétrica, segundo a orientação DMH.



Profundidade de investigação teórica: 3 metros.

Figura 13: Mapa de condutividade elétrica, segundo a orientação DMV.



7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O emprego do método geofísico eletromagnético (EM) se mostrou útil na investigação de contaminações ambientais. É um método indireto, de rápida execução e baixo custo, e seu uso para esses fins ainda não é tão amplo. Vale ressaltar que por ser um método indireto, ele não fornece uma análise confirmatória. O método auxilia na detecção e determinação de áreas onde ocorre algum tipo de contaminação, mas a confirmação só acontecerá depois que forem empregados métodos de análise direta, como sondagens para coleta de amostra e coleta de amostras de águas subterrâneas, no caso de contaminações ambientais, por exemplo.

A correlação dos dados obtidos indica que nas áreas onde são encontrados valores anômalos de condutividade, é necessária uma investigação mais conclusiva, pois pode estar havendo influência de necrochorume no meio físico. O emprego do método da eletrorresistividade seria de grande valia na análise desse caso, já que se trata de um método com menos limitações técnicas como o método eletromagnético. Vale lembrar que o método eletromagnético é muito susceptível a sofrer interferências eletromagnéticas do meio, principalmente em áreas urbanas, onde há canos enterrados em subsuperfície, rede elétrica, objetos metálicos, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB’SABER, A. N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, (23), 1956.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 167-263, 1964;

ALMEIDA, A. M. de; MACEDO, J. A. B. de. Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume. In: **Seminário de Gestão Ambiental – Um convite a Interdisciplinariedade**, Juiz de Fora, 2005, p. 1-12;

BASILICI, G.; SGARBI, G. N.; DAL’ BÓ, P. F. F. A sub-bacia Bauru: Um Sistema Continental entre Deserto e Cerrado. In: HASUI, Y. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca, p. 52;

BORTOLIN, J. R. M. **Métodos geoeletricos empregados na caracterização e monitoramento de anomalias inerentes à infiltração controlada de vinhaça**. 2014. 234 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

BRAGA, A. C. O. **Curso Básico de Geofísica Aplicada Módulo 1: Métodos Geoeletricos Aplicados a Hidrogeologia**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, 1999. 1 CD-ROM.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 set 1981. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>.

Acesso em: 19 nov 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev 1986. Disponível em:

< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>

Acesso em: 19 nov 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 dez 1997. Disponível em:

< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>

Acesso em 19 nov 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 335, de 03 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 mai 2003. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=359>>

Acesso em: 20 nov 2014.

CARVALHO JUNIOR, M. A. F.; COSTA E SILVA, L. M. SP e eletroresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5., 1997, São Paulo. **Resumo Expandido...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1997. v.1, p. 471-474.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**: Monte Alto. Disponível em:

<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html>.

Acesso em: 22 jan 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Programa CETESB/GTZ. São Paulo, 2001. 385p.

DENT, B. B.; KNIGHT, M. J. Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management. In: WEAVER, T.R.; LAWRENCE, C. R. **Groundwater**: Sustainable

Solutions. Conference of International Association of Hydrogeologists, 8–13 fev 1998, Indooroopilly, Australia, p. 451–456.

FÁVERO, F. **Medicina Legal**. 12. ed. Belo Horizonte: Vila Rica Editoras Reunidas, 1991.

FELICIONI, F.; ANDRADE, F. F. A.; BORTOLOZZO, N. **A Ameaça dos Mortos**. 1 ed. Jundiaí. Editora Maxprint. 2007;

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 723-734, 2000.

FRANÇA, G. V. de. **Medicina Legal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1985. 402p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: < <http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>>
Acesso em: 24 jan 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1 mapa. Escala 1:1.000.000. 1981;

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An introduction to geophysical exploration**. 3rd Ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2002.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. Rio Claro: Editora Unesp, 1998. 226 p.

LOWRIE, W. **Fundamentals of geophysics**. 2nd Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

MANZINI, F. F. **O cretáceo da região de Monte Alto**. 1991. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1991.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo.** 2001. 113 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MCNEILL, J.D. **Electrical conductivity of soils and rocks.** Technical note TN-5. Geonics Limited, Ontário, Canadá, 1980;

MENDES, J. M. B.; PACHECO, A.; HASSUDA, S. Cemitérios e meio ambiente – a geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas. In: Encontro nacional de estudos sobre meio ambiente, 2., 1989, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1989. v. 1, p. 50-57.

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo.** 1994. 74 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental.** 1997. 255 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás.** Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 265-287, mai/nov, 2007.

MIOTTO, S. L. **Aspectos geológico-geotécnicos da determinação da adequabilidade de áreas para implantação de cemitérios.** 1990. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.

MOREIRA, C. A.; AQUINO, W. F.; DOURADO, J. C. Aplicação do método eletromagnético indutivo (EM) no monitoramento de contaminantes em subsuperfície. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. 413-420, 2007;

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **The Impact of Cemeteries on the Environment and Public Health**: A introductory briefing. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/euro/1998-99/eur_icp_ehna_01_04_01%28a%29.pdf
Acesso em: 25 nov 2014.

ORELLANA, E. **Prospeccion geoelectrica en corriente continua**. Madrid: Paraninfo, 1972.

PACHECO, A. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. **Revista do Sistema de Planejamento e Administração Metropolitana**, São Paulo, n. 17, ano IV, p. 25-31, 1986.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; MARTINS, M. T.; HASSUDA, S.; SILVA, A. A. K. Cemeteries – A pontential risk to groundwater. Revista “**Water Science and Technology**”. Grã Bretanha, v.24. n.11. p.97-104. 1991;

PACHECO, A. A visão da Problemática Ambiental que Envolve os Cemitérios. In: SEMINÁRIO: CEMITÉRIOS, UMA QUESTÃO AMBIENTAL, 1., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Faculdade de Saúde Pública/USP, 1996.

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

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

PACHECO, A.; MATOS, B. A. Cemitérios e meio ambiente. **Tecnologias do Ambiente**, n.33, p. 13-15, 2000.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Ranking IDHM Municípios 2010**. Disponível em:

<<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/Ranking-IDHM-Municipios-2010.aspx>>

Acesso em: 25 jan 2015.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 12.342, de 27 de Setembro de 1978. Aprova o Regulamento a que se refere o artigo 22 do Decreto-Lei 211, de 30 de março de 1970, que dispõe sobre normas de promoção, preservação e recuperação da saúde no campo de competência da Secretaria de Estado da Saúde. Disponível em:

<<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1978/decreto-12342-27.09.1978.html>>

Acesso em: 20 nov 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 10.083, de 23 de setembro de 1998. Dispõe sobre o Código Sanitário do Estado. Disponível em:

<<http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=19980924&Caderno=Executivo%20I&NumeroPagina=1>>

Acesso em: 20 nov 2014.

SILVA, L. M. Os Cemitérios na Problemática Ambiental. In: **SINCESP & ACEMBRA: Seminário Nacional "Cemitérios e Meio Ambiente"**, São Paulo, 1995. (Apostila).

SILVA, L. M. Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres. In: Congresso Latino Americano de Hidrologia Subterrânea, **Memórias...** 4. Montevideo. ALHSUD, 1998. v. 2, p. 667-681.

SILVA, R. W. da C. **Aplicação da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios – o exemplo do cemitério de Vila Rezende – Piracicaba/SP**. 2008. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics** 2nd Ed. New York: Cambridge University Press, 1990, v. 5.

XAVIER, F. V. **Métodos geoeletricos aplicados ao estudo de anomalias geofísicas subsuperficiais no cemitério municipal de Rio Claro, SP.** 2014. 142 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

Apêndice I

Tabela com os valores de condutividade elétrica de cada ponto

Ponto	C vertical	c horizontal	X	Y
1	8,57	1,27	58,22	-7,76
2	4,63	2,08	58,22	-30,14
3	5,70	3,80	58,22	-61,11
4	4,75	2,15	58,22	-95,30
5	5,30	3,30	61,07	-119,06
6	5,35	2,95	61,07	-146,93
7	5,50	2,63	61,07	-173,35
8	4,97	2,98	61,07	-202,49
9	5,35	2,70	61,07	-229,85
10	6,25	3,85	61,07	-257,09
11	7,20	3,38	61,07	-293,51
12	4,83	3,10	61,07	-325,58
13	13,82	7,00	61,07	-360,69
14	21,68	7,80	32,37	-365,94
15	4,38	2,13	32,37	-325,58
16	6,55	4,18	32,37	-293,51
17	0,60	-2,88	32,37	-257,09
18	4,97	2,23	32,37	-229,85
19	3,55	1,63	32,37	-202,49
20	4,25	1,80	32,37	-173,35
21	4,80	2,08	32,37	-146,93
22	4,85	2,48	32,37	-119,06
23	6,30	3,15	30,58	-95,30
24	14,05	15,00	30,58	-71,31
25	13,07	12,50	30,72	-53,75
26	6,53	3,13	30,72	-30,68
27	4,38	2,50	30,72	-7,76
28	4,80	3,13	22,16	-7,76
29	6,83	3,90	22,16	-30,68
30	7,78	5,13	22,16	-53,75
31	11,78	-11,50	13,25	-7,76

32	8,05	-0,08	13,25	-30,68
33	7,75	4,28	13,25	-53,75
34	7,72	3,48	13,25	-71,31
35	8,13	3,30	13,25	-95,30
36	5,58	3,08	13,25	-119,06
37	4,72	2,55	87,32	-7,76
38	5,72	3,33	87,32	-30,14
39	5,40	2,70	87,32	-61,11
40	8,98	3,85	87,32	-95,30
41	5,18	2,85	87,32	-119,06
42	6,78	3,30	87,32	-146,93
43	7,30	1,58	87,32	-173,35
44	5,25	2,38	87,32	-202,49
45	4,75	1,02	87,32	-229,85
46	2,53	0,50	87,32	-257,09
47	5,38	3,20	87,32	-293,51
48	5,15	2,73	87,32	-325,58
49	13,07	4,55	87,32	-355,79
50	11,48	2,05	110,97	-351,55
51	8,78	10,23	110,97	-325,58
52	6,50	6,80	110,97	-293,51
53	5,85	-0,25	110,97	-257,09
54	5,97	-2,48	110,97	-229,85
55	4,13	3,45	136,49	-229,85
56	3,05	1,18	136,49	-257,09
57	4,90	2,23	136,49	-293,51
58	4,93	3,33	136,49	-325,58
59	7,28	3,75	136,49	-346,92
60	16,00	4,40	162,88	-341,91
61	4,47	0,80	162,88	-325,58
62	4,97	1,38	162,88	-293,51
63	33,55	16,10	203,14	-334,52
64	46,53	53,73	203,14	-325,58
65	46,53	53,73	189,95	-293,51
66	20,77	8,35	178,68	-271,22
67	10,13	6,25	169,79	-257,09
68	8,35	0,23	161,79	-239,22
69	7,45	13,48	155,62	-229,85
70	5,15	11,23	147,01	-212,58
71	5,30	2,83	141,35	-202,49
72	11,03	1,38	127,18	-173,35
73	5,75	9,28	120,16	-157,88

74	8,10	-3,17	119,79	-146,93
75	13,10	36,78	124,96	-119,06
76	8,53	6,75	129,96	-95,30
77	9,98	6,88	135,61	-61,11
78	10,32	-0,55	110,14	1,87
79	23,18	-6,43	87,32	1,87
80	9,43	1,38	58,22	1,87
81	6,00	4,38	22,16	1,87
82	9,57	5,78	-0,32	1,87
83	24,02	-34,42	-1,32	-30,67
84	18,20	-17,02	-1,32	-61,11
85	6,75	3,38	-1,32	-95,30
86	7,10	3,78	-1,32	-119,06
87	7,28	3,50	-1,32	-146,93
88	9,90	-1,88	-1,32	-173,35
89	6,72	3,17	-1,32	-202,49
90	12,03	-4,43	-1,32	-229,85
91	11,03	-24,33	-1,32	-257,09
92	9,25	4,13	-1,32	-293,51
93	50,78	-37,75	-1,32	-325,58
94	54,42	62,58	-1,32	-369,41
95	77,40	127,90	5,53	-373,85
96	84,47	104,55	32,37	-368,77
97	55,67	97,80	61,07	-363,49
98	41,50	79,75	87,32	-358,66
99	13,07	23,90	110,97	-354,45
100	29,70	70,63	136,49	-349,89
101	35,85	48,95	162,88	-345,11
102	40,17	68,55	182,20	-341,67
103	26,45	98,70	203,14	-337,80
104	33,15	33,35	213,66	-335,99
105	14,18	25,43	175,08	-257,09
106	9,73	20,20	146,92	-202,49
107	32,28	10,85	131,81	-173,35
108	-5,00	9,05	122,72	-152,87
109	13,65	4,00	129,21	-119,06
110	18,73	24,58	144,94	-31,38
111	6,40	3,28	58,22	-18,88
112	4,88	2,95	58,22	-41,80
113	5,00	2,73	58,22	-79,12
114	4,05	2,20	58,22	-106,31
115	7,33	4,30	61,07	-133,69

116	5,50	2,65	61,07	-160,17
117	6,33	3,35	61,07	-187,99
118	6,00	2,83	61,07	-216,02
119	4,70	1,25	61,07	-243,68
120	7,30	-0,30	61,07	-268,58
121	7,15	0,85	61,07	-309,42
122	5,28	2,70	61,07	-344,20
123	4,72	2,25	32,37	-346,83
124	5,03	2,80	32,37	-309,42
125	6,45	3,85	32,37	-275,28
126	6,93	3,38	32,37	-243,68
127	6,93	3,40	32,37	-216,02
128	5,38	2,53	32,37	-187,99
129	5,78	2,58	32,37	-160,17
130	5,72	3,50	32,37	-133,69
131	5,75	2,75	30,58	-106,31
132	6,15	3,40	30,58	-83,50
133	5,63	2,38	30,72	-42,57
134	17,35	12,73	30,72	-18,79
135	17,65	12,15	87,32	-18,88
136	12,78	4,10	87,32	-44,80
137	7,85	3,63	87,32	-79,13
138	9,13	4,50	87,32	-106,31
139	27,02	12,88	87,32	-133,69
140	5,28	2,73	87,32	-160,17
141	6,53	3,53	87,32	-187,99
142	5,22	2,63	87,32	-216,02
143	5,58	1,45	87,32	-243,68
144	5,58	2,88	87,32	-275,28
145	6,08	2,88	87,32	-309,42
146	10,68	3,60	87,32	-341,82
147	6,15	4,03	110,97	-337,89
148	6,33	2,58	110,97	-309,42
149	4,85	1,48	110,97	-275,28
150	8,70	12,32	110,97	-243,68
151	4,40	1,98	136,49	-243,68
152	6,05	1,95	136,49	-275,28
153	4,93	2,80	136,49	-309,42
154	5,78	2,45	136,49	-335,47
155	6,13	2,92	162,88	-333,79
156	6,90	2,70	162,88	-309,42
157	7,38	3,17	182,61	-325,58

158	7,55	4,93	149,70	-325,58
159	6,03	3,38	123,52	-325,58
160	7,00	4,22	99,30	-325,58
161	5,97	3,98	74,33	-325,58
162	6,60	1,68	46,54	-325,58
163	6,08	3,90	15,59	-325,58
164	8,13	4,72	15,59	-257,09
165	7,03	4,05	41,26	-257,09
166	5,95	3,45	79,09	-257,09
167	5,50	2,53	99,30	-257,09
168	7,15	2,88	123,00	-257,09
169	5,93	-0,57	152,05	-257,09
170	4,18	2,17	113,51	-202,49
171	5,40	2,48	74,33	-202,49
172	8,35	3,67	46,54	-202,49
173	6,25	2,05	15,59	-202,49
174	6,68	1,30	15,59	-146,93
175	6,38	4,70	46,54	-146,93
176	7,20	3,08	74,33	-146,93
177	8,40	2,38	103,06	-146,93
178	5,72	2,98	108,36	-95,30
179	4,97	2,40	74,33	-95,30
180	6,38	3,10	42,74	-95,30
181	9,13	4,18	21,94	-95,30
182	8,13	4,78	6,01	-95,30
183	9,25	-4,65	6,01	-30,68
184	9,05	4,90	17,78	-30,68
185	8,48	4,18	26,55	-30,68
186	7,18	4,22	42,74	-30,68
187	7,58	-3,35	74,33	-30,14
188	6,13	3,35	99,30	-30,14
189	8,00	5,43	108,70	-7,76
190	7,25	3,80	99,30	-7,76
191	7,33	-2,60	74,33	-7,76
192	18,30	-14,05	63,17	-7,76
193	17,33	-4,25	53,24	-7,76
194	7,18	-0,82	42,74	-7,76
195	5,80	4,88	26,55	-7,76
196	8,43	-2,28	17,78	-7,76
197	6,78	3,88	6,01	-7,76
198	7,47	4,70	1,34	-7,76
199	7,40	5,50	1,27	-53,75

200	9,40	7,47	6,01	-53,75
201	8,28	4,72	17,78	-53,75
202	16,63	27,70	26,55	-53,75
203	39,38	110,78	42,74	-53,75
204	5,75	3,95	53,24	-53,75
205	5,50	3,30	63,17	-61,11
206	6,90	4,47	74,33	-61,11
207	5,43	3,92	99,92	-61,11
208	6,28	3,70	118,09	-61,11
209	9,93	5,28	132,68	-61,11
210	8,78	6,38	1,27	-71,31
211	9,48	2,30	21,94	-71,31
212	22,55	64,97	42,74	-71,31
213	5,84	4,38	53,24	-71,31
214	6,10	4,93	1,27	-119,06
215	5,88	3,53	42,74	-119,06
216	6,20	3,20	74,33	-119,06
217	6,20	3,83	96,06	-119,06
218	7,65	4,13	110,74	-119,06
219	7,78	1,77	1,27	-173,35
220	6,40	3,78	15,59	-173,35
221	6,80	3,13	46,54	-173,35
222	6,72	2,85	74,33	-173,35
223	5,60	3,33	96,83	-173,35
224	7,15	4,43	111,07	-173,35
225	8,63	5,97	1,27	-229,85
226	6,43	2,95	15,59	-229,85
227	6,40	-1,75	46,54	-229,85
228	6,95	-1,52	74,33	-229,85
229	6,85	4,33	99,30	-229,85
230	6,53	3,67	123,00	-229,85
231	4,72	2,58	147,32	-229,85
232	12,18	1,90	15,59	-293,51
233	5,70	3,67	46,54	-293,51
234	5,60	3,35	74,33	-293,51
235	6,88	3,50	99,30	-293,51
236	7,22	4,18	123,52	-293,51
237	8,30	4,95	149,70	-293,51
238	7,55	3,88	176,90	-293,51