UNESP
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"CAMPUS DE RIO CLARO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

ESTUDO GEOFÍSICO PARA DIAGNÓSTICO DE CONTAMINAÇÃO EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NUM ANTIGO ATERRO CLANDESTINO EM LEME (SP)

Alan Carrara

Profº Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro - SP

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

ALAN CARRARA

ESTUDO GEOFÍSICO PARA DIAGNÓSTICO DE CONTAMINAÇÃO EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NUM ANTIGO ATERRO CLANDESTINO EM LEME (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Rio Claro - SP

2017

ALAN CARRARA

ESTUDO GEOFÍSICO PARA DIAGNÓSTICO DE CONTAMINAÇÃO EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NUM ANTIGO ATERRO CLANDESTINO EM LEME (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador)

Ma. Lívia Portes Innocenti Helene

Me. Leonardo Zani Castello

Rio Claro, 15 de agosto de 2017.

Alan Carrara
Assinatura do (a) aluno(a)

César Augusto Moreira
Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso ao meu pai José Carrara e a minha mãe Roseli Ap. Sambugari Carrara, pessoas que foram luz na minha vida e de grande importância durante meu trajeto na graduação, o sacrifício maior foi deles. Obrigado por acreditarem em mim e em meu sonho, quando decidi largar uma faculdade particular na metade e também um emprego estável com quase 6 anos de experiência, não foi fácil essa decisão, e vocês me apoiaram e evoluíram junto comigo ao longo desses anos. De minha mãe herdei a persistência e razão para seguir firme nesse sonho e levantar sempre que caísse, e de meu pai, a responsabilidade e o bom coração que moldaram meu caráter e mantiveram meu senso humano, essas características tornaram-me um homem integro e de caráter, e fiquem cientes de que vocês me preparam para os desafios da vida. Obrigado!

Agradeço a toda minha família pelo suporte, em especial a minha irmã Aline Carrara, que foi um dos motivos que me fizeram continuar firme nessa caminhada, você foi meu "combustível" de amor durante esses anos. Você ao nascer me deu a noção das palavras "ser exemplo" e "responsabilidade", EU TE AMO, maninha! Aos meus tios Luiz Carlos (Tio Melão) e Tia Selma, saibam que toda visita de vocês me trazia luz e leveza, vocês acreditaram muito em mim e isso eu sentia sempre que os via. Ao meu primo Luciano Carrara, um irmão para mim, obrigado pelas tantas conversas serenas e sábias, por me orientar, me ser um exemplo, acreditar em mim e sempre me motivar, obrigado "PRIRMÃO".

Aos meu avós paternos *"In memoriam"* João Carrara e Dona Zulmira Carrara, lembro do senhor sempre querer cortar meu cabelo quando criança, pois era grande a parecia com o Xororó na época, e da senhora eu me recordo dos famosos bolos que sempre fazia para receber seus filhos e netos. E ao meu avô materno *"In memoriam"* João Sambugari, o senhor bateu a cabeça no vidro da maternidade quando foi me ver, pois fui seu primeiro neto homem. Sinto falta de vocês e gostaria que estivessem presentes nesse momento, mas tenho certeza de que em meu coração e lembranças, vocês estarão sempre lá para me apoiar e me orientar com seus ensinamentos. Também a minha avó materna, Maria Sambugari e ao meu avô (adotivo) "Seu" Adolfo, obrigado por todas as boas conversas e compreenderem meu desejo em seguir adiante com isso. Vocês irão ver seu primeiro neto a se graduar Engenheiro, e sintam orgulho disso, pois fazem parte desse sonho também. E a Dona Maria da Graça Titi, *"In memoriam"*, a senhora foi um anjo que surgiu na minha vida, e tudo devido a uma paixão em comum, aviação. Obrigado pelo carinho e por todas as palavras de consolo e motivação, a tive como uma segunda mãe e hoje transfiro esse carinho e respeito para seu filhote e meu grande amigo, Yuri Palota. Que Deus o abençoe em sua carreira na Força Aérea, será um excelente piloto de caça.

A todos que fizeram parte da minha graduação e a tornaram mais divertida, agradeço:

- Meus amigos da EA13, a convivência com vocês foi algo de grande importância para mim, aprendi com cada um, mesmo sendo mais novos vocês tinham muito a ensinar.

- Ao pessoal da EJEAmb, foi sensacional a experiência na EJ, mesmo tendo trabalhado antes, pude ter um grande aprendizado com todos vocês, meus diretores e gestores, valeu mesmo galera.

- A “comessão” do SEMEAR X, a melhor comissão da semana de estudos. Meninas, não foi fácil aguentar TODAS vocês durante um ano, mas foi “AWESOME”, vocês foram fantásticas e trabalharam muito durante o ano, mostraram a força da mulher e conseguiram organizar e revolucionar o modo como fazemos nossas semanas de estudo, admirei a garra de vocês naquele ano.

- A galera da República Ressaca, Franzino que sempre ajeitava uma piadinha com todo mundo e de quebra colocava nego em arrascada, Haroldo e seus foras com os áudios do WhatsApp, Taleco por lançar moda com “beliche style”, Vitão por arrebentar na churrasqueira e ser uma pessoa de coração enorme, Pichutti, o único médico da Rep e que até hoje atende os amigos por WhatsApp, Juan, o argentino que apareceu do nada e ganhou um espaço enorme nas nossas lembranças, valeu pelo Fernet. A Ana (Fazendeira) por nunca deixar a peteca cair e estar sempre animada, valeu por todas as coreografias ensinadas.

- Aos meus amigos da Física12, que galera divertida e animada, sempre me garantiram boas risadas e uma grande amizade. Todo reencontro é diversão na certa e sempre lembrando de cada momento, cada momento mesmo. E em especial ao Balde (José Augusto), meu amigo e irmão de farda, obrigado de coração por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, felizes e principalmente nos mais difíceis.

- A Ana Marinello e a Lívia Portes Helene que me ajudaram durante meu TCC com várias dúvidas sanadas, vocês me salvaram meninas. E ao Capiva (Leo Zani), que apareceu para dar aquela mega força nos campos e compartilhar comigo sua experiência, me acalmar e orientar, obrigado meu amigo.

- A um paulistano que me acompanhou em diversos pedais em Rio Claro, em muitos porres nas festas e inclusive levando um cavalo na rep às 4 da manhã, Boquetti, valeu meu velho. Sempre vou lembrar das nossas boas conversas da faculdade, você acompanhou de perto meu amadurecimento, e tenha certeza, aprendi muito com nossas conversas. O Aleluia que quis passar 50 centavos no cartão de crédito de madrugada no McDonalds. Estávamos bêbados e a PM atrás da gente no

drive. “Porra” Aleluia, paga logo esse lanche! Lembro quando atravessamos o Horto de madrugada até o canavial e na volta fomos seguidos por um carro estranho, o Boquetti gritando e do nada ele apaga dentro do carro. Teve o churrasco na Rep “inimiga” em que causamos geral, levamos caneca, gorfei na hidro deles e raptamos o modem ainda.

- À Natasha Klain Belchior, “hey Bro”, não me esqueço de você. Somos o exemplo de uma verdadeira amizade que perdura debaixo de muitas crises e risos, convenhamos, obrigado por me apoiar em diversos momentos difíceis e por todas as conversas e risadas de doer a barriga. À Renata Karine, uma grande amiga que me foi apresentada pela Dona Titi, obrigado de coração por me orientar com sua experiência e paciência, você me ajudou muito, mesmo.

Aos sócios/diretores e colaboradores da Potencial Eletricidade e Manutenção, obrigado pela oportunidade do estágio. Com isso me deram o aprendizado de me tornar um profissional mais experiente e capaz de encarar, mais uma vez, os desafios do mercado de trabalho. Em especial ao Moacir Peixoto Júnior, *“In memoriam”*, lembro de seu conselho quando decidi largar tudo e ir para a UNESP. Você me questionou *“Qual a diferença em se formar com 25 ou 30 anos?”*. E me motivou a seguir atrás de um sonho, um sonho que você também conseguiu realizar ao concluir Medicina na UFSCAR com mais de 30 anos de idade, e deixou como exemplo para todos que o conheceram. Obrigado por ter sido um “louco” sonhador e batalhador, sentimos sua falta.

A todos os meus professores do ensino fundamental e médio, do SENAI e graduação. Vocês foram a base para a formação do profissional e ser humano que sou, precisei passar por cada etapa e superar cada desafio imposto. Cada momento ainda está na minha memória e deles ainda tenho muito a recordar e aprender, vou levá-los para sempre com muito amor, respeito e admiração pela profissão de vocês. EDUCAR, é na minha opinião a profissão mais linda, e vocês a executaram muito bem, podem ter certeza disso.

A minha professora Rosana do Pré III, nunca vou conseguir te esquecer e sempre quero tê-la em minhas formaturas, a senhora vai se cansar de ser convidada, mas vou fazer questão. Minha primeira professora, sempre me aquece com seu abraço e carinho, um muito obrigado de coração.

Um muitíssimo obrigado ao meu orientador, Prof. Dr. César Augusto Moreira que permitiu que esse trabalho pudesse ser realizado, colocando dedicação e energia em minha pesquisa e de muitos outros, nunca deixando de fazer um bom trabalho. Definição de um líder profissional que faz as coisas acontecerem, professor nato que tem a capacidade de ensinar muito em uma simples conversa. Obrigado por toda dedicação.

Por último, mas não menos importante, agradeço à Deus por todas as graças recebidas e por ter colocado todas essas pessoas iluminadas em minha vida.

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos pode gerar problemas ao ambiente, além do risco potencial de instabilidades geotécnicas em áreas de aterro e terraplanagem em obras de engenharia civil. Devido ao fato de ainda existirem lixões e aterros clandestinos, tal situação é facilmente encontrada em muitas cidades brasileiras, o que torna a identificação e estudo dessas áreas uma ferramenta de grande importância, seja para o meio acadêmico como para o setor público/privado que trabalham diretamente no gerenciamento de áreas contaminadas com resíduos sólidos. Nestes casos, a ausência de evidências reconhecíveis em verificações de campo, devem ser sucedidas por levantamento do histórico de ocupação da área aliado ao diagnóstico geofísico, alternativas adequadas e de baixo custo em investigações preliminares de áreas potencialmente contaminadas. Serão realizados levantamentos de ocupação da área por meio de um histórico de imagens de satélite, aliado a laudos ambientais disponíveis, em conjunto com levantamentos geofísicos de detalhes a serem realizados neste projeto. A análise conjunta dos resultados deve possibilitar um dimensionamento da área de lançamento de resíduos, além da localização de eventuais zonas de acúmulo ou fluxo de contaminantes líquidos provenientes da degradação de matéria orgânica originalmente contida nos resíduos. A partir de tais resultados adquiridos através do método geofísico da Eletrorresistividade, serão apresentadas neste trabalho, medidas mitigadoras e/ou corretivas aplicáveis na área em estudo.

Palavras chave: resíduos sólidos, chorume, eletrorresistividade, tomografia elétrica

ABSTRACT

Inadequate disposal of solid waste can create problems for the environment, as well as the potential risk of geotechnical instabilities in landfill and earthworks areas in civil engineering works. Due to the fact that there are still dumps and clandestine landfills, this situation is easily found in many Brazilian cities, which makes the identification and study of these areas a tool of great importance, both for the academic environment and for the public / private sector that work directly in the management of areas contaminated with solid waste. In these cases, the absence of recognizable evidence in field checks should be followed by a survey of the occupation history of the area associated with the geophysical diagnosis, adequate alternatives and low cost in preliminary investigations of potentially contaminated areas. There will be surveys of occupation of the area through a history of satellite images, combined with available environmental reports, together with geophysical surveys of details to be carried out in this project. The joint analysis of the results should allow a sizing of the waste disposal area, as well as the location of any areas of accumulation or flow of liquid contaminants from the degradation of organic matter originally contained in the waste. From these results acquired through the geophysical method of the Eletroresistivity, will be presented in this work, mitigating and / or corrective measures applicable in the area under study.

Keywords: solid waste, leachate, DC resistivity, electrical tomography

LISTA DE FIGURAS E TABELA

Figura 1	Localização do município de Leme-SP	**14**
Figura 2	Localização da área de estudos ao centro e seu entorno.	**15**
Figura 3	IQR da UGRHI 9, destaque para Leme com valor abaixo de 7, o que classifica seu aterro como inadequado segundo inventário da Cetesb de 2015.	**16**
Figura 4	Área antes da implantação da usina já contaminada com resíduos sólidos dispostos de forma clandestina no local.	**19**
Figura 5	Evolução do descarte inadequado de resíduos na área de estudo desde 2004 até 2016.	**20**
Figura 6	Bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.	**23**
Figura 7	Princípio da Eletrorresistividade	**29**
Figura 8	Esquema do arranjo Schlumberger	**29**
Figura 9	Formas de condução elétrica em rochas e minerais: a) eletrolítica; b) eletrônica.	**30**
Figura 10	Técnica da Sondagem Elétrica vertical.	**31**
Figura 11	Técnica do Caminhamento Elétrico.	**31**
Figura 12	Esquema dos arranjos (a) Wenner e (b) Schlumberger	**32**
Figura 13	Resistivímetro Terrameter LS da ABEM durante aquisição dos dados.	**34**
Figura 14	Posicionamento das linhas de tomografia elétrica na área de estudos, sobre imagem de satélite de 2010, com exposição parcial da área de lançamento de resíduos.	**35**
Figura 15	Modelos de inversão de resistividade das linhas 1 a 4, com realce de zonas anômalas ao padrão de referência.	**40**
Figura 16	Modelos de inversão de resistividade das linhas 5 a 8, com realce de zonas anômalas ao padrão de referência.	**41**
Figura 17	Mapas de resistividade elétrica diversas profundidades (indicada no canto superior esquerdo), posição das linhas de tomografia elétrica e realce das zonas anômalas.	**42**
Quadro 1	Panorama de uso da área da BR 189 Ambiental: barracão de abrigo de maquinas e caminhões (foto superior), pilhas de material para britagem e de material britado (foto central), área de estocagem de tijolos e blocos de calçamento.	**21**
Tabela 1	Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no Brasil.	**18**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS 11

2. OBJETIVOS 14

3. LOCALIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA. 14

3.1. Descarte de resíduos sólidos. 15

3.2. Geologia e fisiografia. 22

4. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E DIAGNÓSTICO DE ÁREAS CONTAMINADAS 24

5. MÉTODO GEOFÍSICO DA ELETRORRESISTIVIDADE 26

5.1. Técnicas e arranjos 30

6. GEOFÍSICA APLICADA EM ESTUDO DE ÁREAS CONTAMINDAS 32

7. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO 34

7.1. Trabalhos realizados 34

7.2. Processamento dos dados 36

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO 38

9. CONCLUSÃO 43

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

O resíduo sólido gerado pela atividade cotidiana dos cidadãos, pelos hábitos de consumo e pela produção industrial é um dos principais problemas vividos pelos centros urbanos. Esse problema é agravado à medida que a população urbana e a quantidade de resíduos gerada por habitante diariamente aumentam a taxas significativas, enquanto diminuem as alternativas de áreas para a disposição final desses resíduos.

A disposição incorreta ou o manuseio indevido de resíduos sólidos geram sérios problemas ao homem e ao ambiente, principalmente se ocorrerem de maneira inadequada a céu aberto, com poluição do solo, da água e do ar (Consoni e Peres, 1995; Reichert, 1999). Aterros sanitários bem construídos (impermeabilizados e com drenos de coleta de lixiviados), operados com eficiência (com cobertura de solo ao final de cada período de serviço) e em localização correta (onde a vulnerabilidade do aquífero subjacente não tenha índices altos) são alternativas seguras para muitos resíduos. (Oliveira e Pasqual, 2004)

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS, documento elaborada em 2012 pelo governo federal, com o objetivo de nortear a gestão adequada dos resíduos sólidos, incluindo os perigosos, estabelecendo responsabilidades aos geradores e ao poder público no que tange ao gerenciamento correto dos resíduos. Em seu capítulo 1, *Art. 4º "A PNRS reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, Distrito Federal, municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos".* Vale ressaltar que no Art. 9º, a PNRS define sobre a gestão dos resíduos sólidos, *"Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos"*. (PNRS, 2010)

Obras de engenharia para o aterramento de resíduos é algo complexo em razão da heterogeneidade intrínseca dos materiais utilizados, além do fator principal que é a degradação dos resíduos sólidos, relacionado a modificações temporais ocasionadas por processos físico-químicos que resultam na liberação de líquidos e

gases que, pelo escape ou migração, provocam a redução do volume total inicialmente disposto. Essa geração de fluídos é algo natural e resulta da decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos, cujo fluxo interporo, ou seja, entre resíduos de decomposição bastante lenta, como plástico ou borracha, resulta em risco geotécnico pela possibilidade de rastejo, escorregamento e fluxo de massa.

Vários são os problemas gerados pelas áreas contaminadas, sendo apontados quatro principais: existência de riscos à segurança das pessoas e das propriedades, riscos à saúde pública e dos ecossistemas, restrições ao desenvolvimento urbano e redução do valor imobiliário das propriedades. (SÁNCHEZ, 1998)

A existência de áreas contaminadas gera não somente problemas evidentes, com a ocorrência ou a possibilidade de explosões e incêndios, mas também ocasiona danos ou riscos à saúde das pessoas e ecossistemas, ocasionados por processos que se manifestam, em sua maioria, a longo prazo, provocando: o aumento da incidência de doenças em pessoas expostas às substâncias químicas presentes em águas subterrâneas coletadas em poços; contato dermal e injestão de solos contaminados por crianças ou trabalhadores, inalação de vapores e consumo de alimentos contaminados (hortas irrigadas com águas contaminadas ou cultivadas em solo contaminado e animais contaminados). A presença de uma área contaminada pode representar também a limitação dos usos possíveis do solo, o que induz restrições ao desenvolvimento urbano e problemas econômicos relativos ao valor dos imóveis. (CETESB, 2001)

Por conta desses fatores que interferem na contaminação e qualidade do solo, se faz necessário o uso de técnicas investigativas que possam determinar de forma direta e indireta o grau dessa contaminação e até onde a mesma se encontra no subsolo. Os métodos indiretos são utilizados para medir parâmetros, que estão relacionados com as informações de interesse, enquanto os métodos diretos implicam na realização de sondagens, amostragens e testes para coletar as informações de interesse.

Com base nos dados obtidos na investigação da área são realizados estudos de avaliação de risco, cujos resultados são aplicados na decisão da necessidade de eliminar ou reduzir os riscos impostos pela presença de uma área contaminada. No

processo de avaliação de risco são identificadas as populações potencialmente expostas aos contaminantes presentes na área sob investigação, determinadas as concentrações às quais esses indivíduos encontram-se expostos e quantificado o risco decorrente dessa exposição, considerando a toxicidade dos contaminantes envolvidos. Caso seja constatada a existência de risco, um plano de remediação deve ser desenvolvido. (CETESB, 2001)

A avaliação de contaminações provocadas pela disposição indevida de resíduos sólidos envolve a análise integrada do meio físico. Os aspectos fundamentais necessários para a caracterização de tais áreas sugerem estudos geológicos e hidrogeológicos. O acompanhamento e monitoramento das contaminações eventualmente presentes requerem a detecção, caracterização, acompanhamento e prognósticos sobre o fluxo das plumas de contaminação geradas no solo e seus possíveis efeitos aos ecossistemas.

A possibilidade de aquisição de dados em larga escala a um custo relativamente baixo permite uma avaliação mais adequada do ambiente, principalmente, quando integrado a resultados diretos de investigação.

Neste trabalho foi aplicado o método geofísico da Eletrorresistividade, por meio da técnica de tomografia elétrica (ERT), com o objetivo de avaliar a existência de zonas de fluxo ou acumulação de efluentes gerados pela degradação de matéria orgânica contida em resíduos sólidos lançados de forma irregular na área atualmente ocupada pela empresa de reciclagem de resíduos de construção civil em Leme (SP). (MOREIRA, 2016

2. OBJETIVO

Este trabalho propõe um estudo geofísico, por aplicação do método da Eletrorresistividade, numa antiga área de disposição clandestina de resíduos sólidos domiciliares, numa tentativa de mapeamento de zonas com contrastes de resistividade elétrica em relação ao padrão natural da área, e suas relações com a acumulação de chorume proveniente da degradação de matéria orgânica.

3. LOCALIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA

Com população estimada em 100.000 habitantes e economia na indústria e agricultura, Leme está localizada na região centro-norte do Estado do São Paulo, distante cerca de 200Km da capital São Paulo. A usina de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição BR 189 Ambiental e Meio Ambiente Ltda, está localizada na rua Lázaro Kinock n°500, Vila Santucci, município de Leme (SP) (Figura 1).

Figura 1 - Localização do município de Leme - SP.



Fonte: Do autor (2017)

No setor agrícola, predominam as culturas da cana-de-açúcar, algodão, laranja e café. O setor industrial é bem mais variado, com produções nas áreas de alimentos, máquinas, cerâmica, plásticos e materiais de fibrocimento (ACIL, 2017).

O entorno da área onde está localizado o terreno da usina é caracterizado por apresentar uma média densidade ocupacional, com predominância de residências. Também podem ser identificadas as seguintes áreas de relevância: a Sul, aproximadamente 150 metros da área do terreno, observa-se a presença de uma área verde e um terreno vago; a Leste e ao Norte, observa-se presença de residências e terrenos vagos; a Oeste, aproximadamente a 50 metros do terreno, observa-se a presença de duas indústrias (Figura 2).

Figura 2 - Localização da área de estudos ao centro e seu entorno.



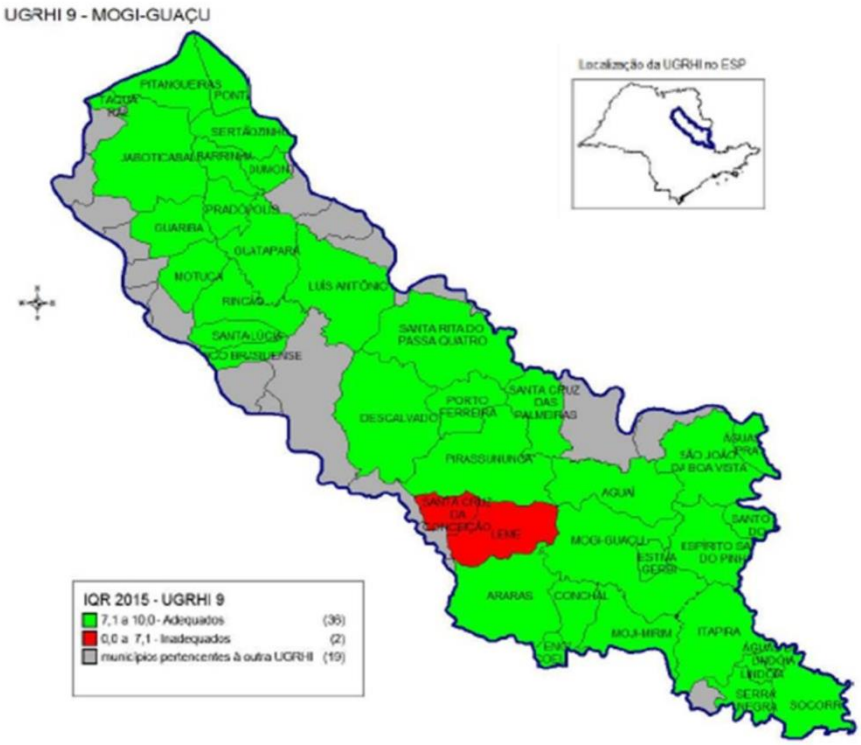
Fonte: Google Earth Pro (2015)

3.1. DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A coleta de resíduo domiciliar é de responsabilidade da Prefeitura Municipal de Leme, e acontece de segunda a sábado, em todo município, de acordo com o cronograma de trabalho da Secretaria de Serviços Públicos. Salvo imprevistos, a coleta acontece das 7h às 13h. De acordo com o relatório da Cetesb, o Índice de

Qualidade de Resíduos – IQR, do aterro de Leme é de 6,6 e isso o classifica como inadequado (de 0 a 7,0), conforme figura 3 do inventário anual da Cetesb (CETESB, 2015).

Figura 3: IQR da UGRHI 9, destaque para Leme com valor abaixo de 7, o que classifica seu aterro como inadequado segundo inventário da Cetesb.



Fonte: Adaptado de Cetesb (2015)

A prática do descarte inadequado de resíduos provoca sérias e danosas consequências à saúde pública e ao meio ambiente, e associa-se ao triste quadro socioeconômico de um grande número de famílias que, excluídas socialmente, sobrevivem dos lixões de onde retiram os materiais recicláveis que comercializam (MMA, 2017).

O município de Leme gera atualmente cerca de 35 t/dia de resíduos sólidos urbanos que são depositados em uma área localizada no bairro do Barro Preto (CETESB, 2015). O local foi construído em 1997 em atendimento às exigências do órgão ambiental estadual (CETESB), que autorizou a implantação de forma provisória, condicionada ao compromisso firmado pela prefeitura do município de Leme em construir um aterro sanitário definitivo, em local mais adequado e de

acordo com os procedimentos e normas técnicas em vigor (MOREIRA *et al*. 2013).

Até a conclusão desse trabalho, não foi realizada a construção adequada de um aterro sanitário no município, com isso, é notável que a crescente e diversificada geração de resíduos e a necessidade de sua disposição final em Leme (SP), estão entre os principais problemas ambientais enfrentados atualmente.

O aterro controlado para disposição de resíduos sólidos atingiu sua capacidade máxima em 2009 e atualmente está desativada. As 1.050 t/mês de resíduos produzidas na cidade estão sendo depositadas ao lado desta, também um aterro controlado. No município de Leme (SP), alguns integrantes da sociedade passaram a fazer uso de áreas de disposição clandestina localizadas nas periferias e no entorno do perímetro urbano como método de disposição final destes resíduos, as quais tem se tornado pequenos “lixões” nos aglomerados urbanos. (SARDINHA, 2015).

No período entre 2004 e 2010, houve o descarte indevido de resíduos sólidos no terreno onde se encontra a BR189 Ambiental, conforme vala de resíduos localizada a Sul do terreno e evolução histórica de 2014 a 2016 da área da empresa. (Figuras 4 e 5, respectivamente).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS, na seção IV - Dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, em seu Art. 18, estabelece que, “*a elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade”.*

Conforme a tabela 1 a seguir, fica evidente a alta geração de resíduos orgânicos nas residências (em torno de 50%), sendo este o principal gerador de chorume durante sua decomposição, o que acarreta na contaminação do solo e possivelmente do lençol freático.

Tabela 1: Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no Brasil.

Materiais	Participação	Quantidade	
		2000	2008
	%	t/dia	t/dia
Material reciclável	31,9	47.558,5	58.527,4
Metais	2,9	4.301,5	5.293,5
Papel, papelão e tetrapak	13,1	19.499,9	23.997,4
Plástico	13,5	20.191,1	24.847,9
Vidro	2,4	3.566,1	4.388,6
Matéria orgânica	51,4	76.634,5	94.309,5
Outros	16,7	24.880,5	30.618,9
Total coletado	**100,0**	**149.094,3**	**183.481,5**

Fonte: IBGE, 2010b.

Chorume é um líquido decorrente da decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos, que juntamente com a água de chuva infiltrada ao longo do corpo do aterro e as decorrentes de drenagens naturais, dão origem ao líquido percolado (SCHALCH, 1984).

Segundo LUZ (1981), chorume é um líquido oriundo da decomposição do lixo e provém de três fatores: umidade natural dos resíduos; água de constituição dos vários materiais e líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas expelidas pelas bactérias.

Segundo ORTH (1981a), o volume de percolado produzido em aterros sanitários depende da precipitação sobre a área do aterro, do escoamento superficial, da infiltração subterrânea, da umidade natural dos resíduos, do grau de compactação e da capacidade do solo em reter umidade.

O chorume que adentra num aquífero anaeróbico é lentamente biodegradado, com a produção de ácidos graxos que podem reagir com os materiais do aquífero, com consequentes mudanças no fluxo químico próximo ao nível freático. Num ambiente com baixos teores de oxigênio, materiais inorgânicos contidos no chorume podem ser dissolvidos na água subterrânea. Abaixo do nível freático, a mistura de chorume com a água subterrânea e reações com o material do substrato formam uma pluma eletricamente condutiva. Além dos limites da pluma, a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) e a condutividade elétrica apresentam valores intrínsecos aos do ambiente natural (Bennett e Siegel, 1987).

Figura 4 - Área antes da implantação da usina já contaminada com resíduos sólidos dispostos de forma clandestina no local em 2011.



Fonte: Adaptado de SARDINHA (2015)

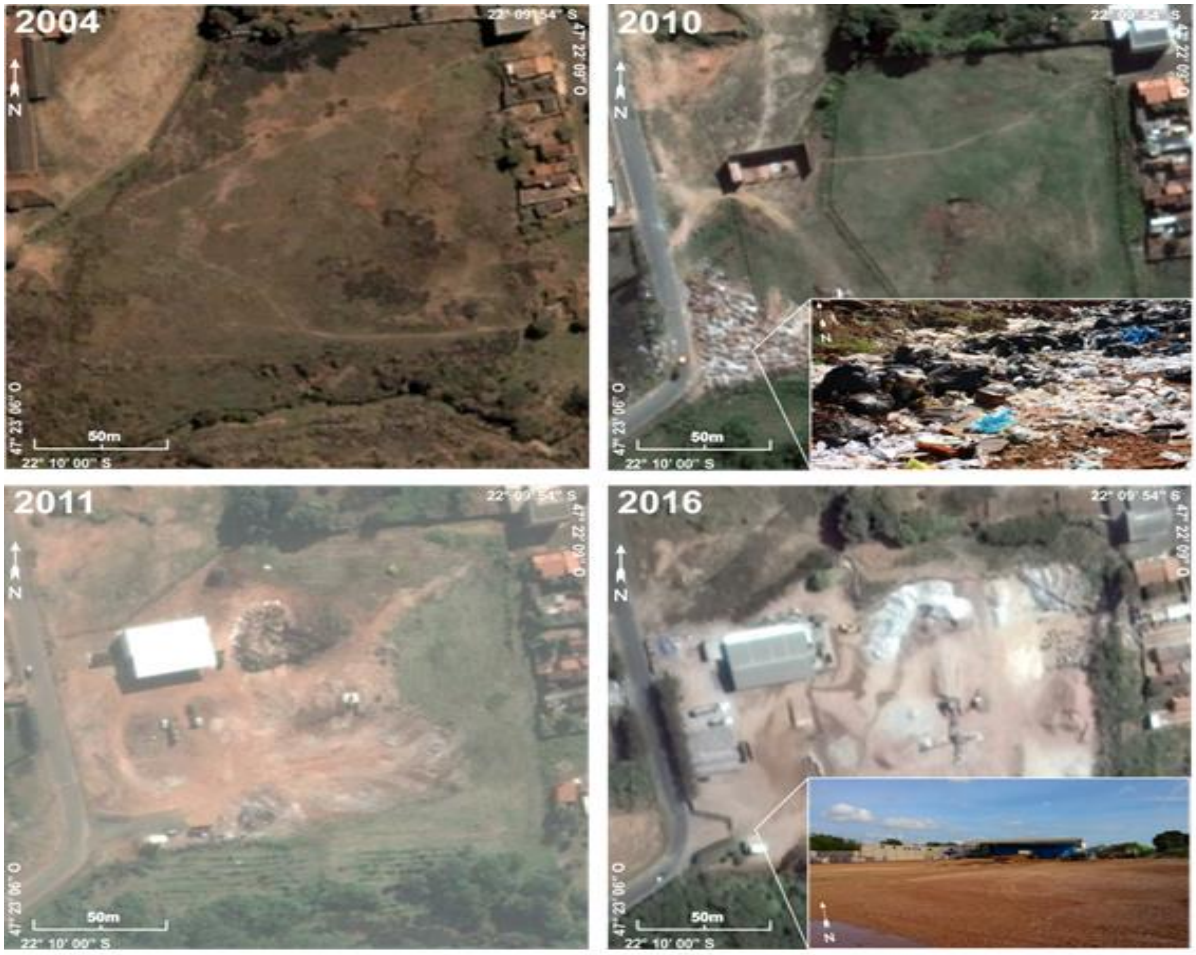
Os resíduos oriundos da construção civil e demolição também fazem parte de tal problemática, por representarem grande parte em massa e volume dos resíduos sólidos urbanos.

A resolução CONAMA 307, define em seu Art. 2, parágrafo V, sobre o gerenciamento de resíduos da construção civil, *"a reciclagem e o reaproveitamento do entulho são, portanto, de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração desse tipo de resíduo"*. (CONAMA 307, 2002)

Com o amparo desta normativa, a prática de atividades de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil, possibilita uma melhoria na qualidade ambiental das condições de vida da população de Leme (SP), atingida pela questão da disposição inadequada de resíduos, além de proporcionar uma utilização de materiais de construção reciclados de baixo custo.

Com o objetivo de soluções alternativas a este cenário, foi instalado em 2010 uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil e de demolição em Leme. Dentre os motivos desta iniciativa estão a inexistência de locais licenciados de destinação final de resíduos de construção civil e demolição, além da falta de capacidade técnica do poder público local para a implantação de um plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, conforme Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (SARDINHA, 2015).

Figura 5 - Evolução do descarte inadequado de resíduos na área de estudo desde 2004 até 2016.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2017)

O terreno da empresa possui uma área disponível suficiente para as atividades desenvolvidas pela usina de reciclagem, facilidade de acesso para recebimento dos resíduos e escoamento de produtos além de facilitar a disposição de pequenos geradores e carroceiros, evitando a disposição clandestina. O local é ocupado por uma grande área de estocagem de resíduos de construção civil, barracão de abrigo de máquinas e caminhões, sistema de britagem e separação de materiais britados em pilhas, além de área de estocagem de tijolos e blocos de calçamento fabricados em cimento e agregados reciclados (Quadro 1).

Quadro 1 - Panorama de uso da área da BR 189 Ambiental: barracão de abrigo de maquinas e caminhões (foto superior), pilhas de material para britagem e de material britado (foto central), área de estocagem de tijolos e blocos de calçamento (foto inferior).



Fonte: Do autor (2017)

3.2. GEOLOGIA E FISIOGRAFIA

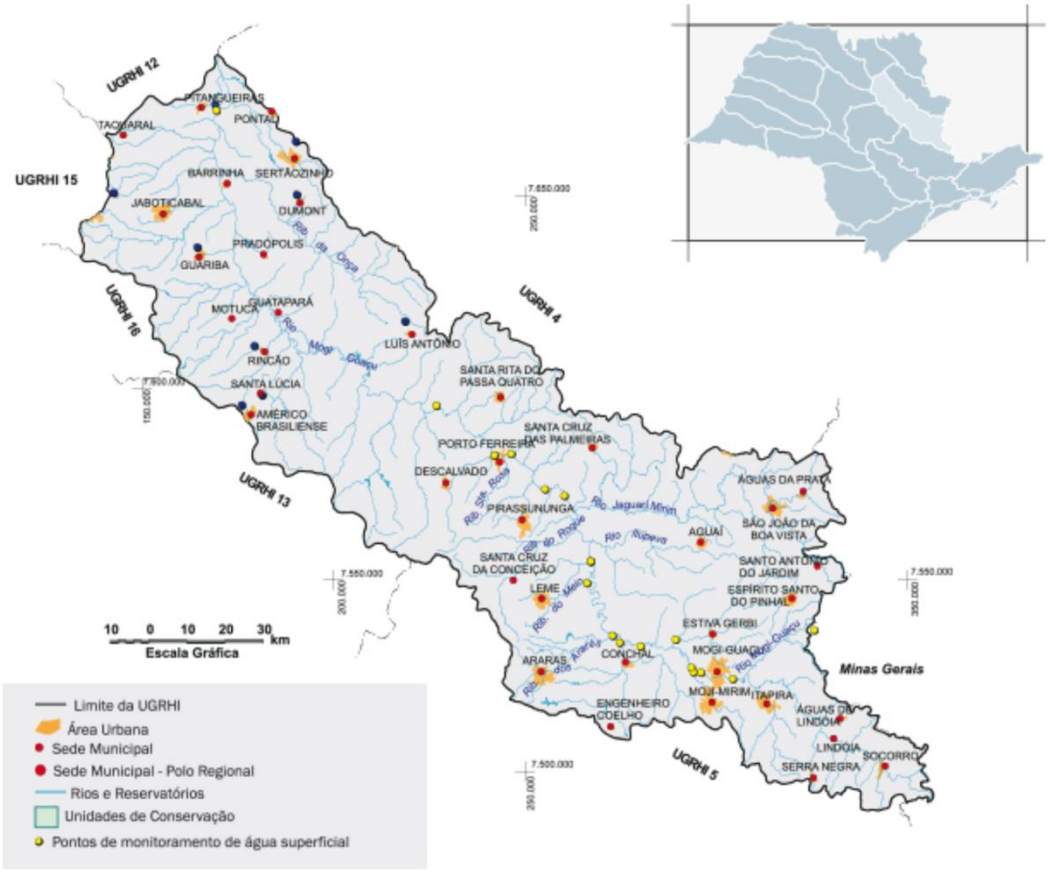
A macrorregião onde a usina está inserida, está localizada sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, que teve sua formação a mais de 400 milhões de anos. É uma bacia sedimentar, que evoluiu sobre a Plataforma Sul-Americana. Embora de caráter oscilatório, a persistente subsidência na área de formação da bacia, possibilitou a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio, que ultrapassam 5000 metros na porção mais profunda. Possui uma forma mais elíptica, aberta para sudoeste e cobre uma área da ordem de 1,5 milhão de km² (ITCG, 2017).

O contexto geológico da área de estudos engloba como litologia principal a Formação Corumbataí, composta por argilitos e siltitos com intenso pastilhamento e coloração variada entre marrom chocolate e arroxeado. Tal formação compreende os sedimentos situados entre as formações Irati e Pirambóia nos estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso (SCHNEIDER *et al.* 1974). O solo da área de estudo é classificado como argissolo de coloração vermelho-amarelo e com textura média/argilosa. Apresentam uma consistência muito plástica e pegajosa quando molhados, e extremamente dura quando secos. Estes solos são produtos residuais dos argilitos da Formação Corumbataí. (SARDINHA, 2015)

Regionalmente a Formação Corumbataí é um aquitarde entre os aquíferos Guarani (acima) e Tubarão (abaixo), caracterizado pelo fluxo subterrâneo bastante lento e ao longo de descontinuidades estruturais como fraturas ou falhas (DAAE, 1982). A região de Leme (SP) apresenta um contexto hidrogeológico local caracterizado por aquífero livre suportado por siltitos e argilitos da Formação Corumbataí.

O contato entre solo e rocha constitui uma interface de baixa permeabilidade, que suporta a infiltração de águas da chuva e configura um aquífero livre. Inserida na Bacia do Rio Mogi Guaçu (Figura 6) e classificada como industrial, com destaque para agroindústria, óleos vegetais e bebidas, frigoríficos e indústria de papel e celulose. Seus principais rios são Rio Mogi Guaçu, Rio do Peixe e Rio Jaguari-Mirim (SigRH, 2017).

Figura 6 - Bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.



Fonte: SigRH (2017)

A vegetação original da área era representada principalmente pela floresta estacional semi-decídua e savana, essa vegetação, contudo, praticamente inexiste restrita a fragmentos de vegetação de APP no entorno do Córrego São Rafael, localizado a aproximadamente 150 metros da área de estudos. O córrego é um importante tributário de baixa ordem e magnitude do Ribeirão do Meio, bacia hidrográfica que corta toda a área urbana do município e serve para o abastecimento em trinta e três pontos de captação de água superficial, conforme Sardinha & Conceição (2007).

4. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E O DIAGNÓSTIVO DE ÁREAS CONTAMINADAS

A PNRS, em seu Capítulo III – Das responsabilidades dos geradores e do poder público, Seção I e Art. 25 dispõe que, "*o poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos e das diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento".*

A Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 foi complementada pela Lei Federal nº12.305, de 2 de agosto de 2010, que estabelece em seu Art. 16, § 3º. . . "a gestão de resíduos de construção civil", Art. 51 . . . reparar os danos causados, a ação ou omissão das pessoas físicas ou jurídicas que importe inobservância aos preceitos desta Lei ou de seu regulamento sujeita os infratores às sanções previstas em lei, em especial às fixadas na Lei de Crimes Ambientais e Art. 56, § 1º Nas mesmas penas incorre quem: I - abandona os produtos ou substâncias referidas no caput ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança; II - manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento.

Há um conjunto de leis e políticas públicas, além de normas técnicas fundamentais na gestão dos resíduos da construção civil e demolição, contribuindo para minimizar os impactos ambientais. Elaborada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, "*Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil",* está em vigor em todo território Nacional desde janeiro de 2003

As Resoluções CONAMA atuam de forma a coibir a disposição dos Resíduos de Construção e Demolição em aterros sanitários, áreas de bota-fora, encostas, corpos d'água, lotes vagos e áreas protegidas por Lei. Estas Resoluções representam marco para a gestão e gerenciamento de resíduos de construção e demolição, pois balizaram diversas ações no âmbito Nacional, e fundamentaram os primeiros Sistemas Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição em diversos municípios. As resoluções atribuem as responsabilidades para os municípios em elaborar o Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos de Construção e Demolição, que incorporem o Programa Municipal de

Gerenciamento e Projetos de Gerenciamento em obras de construção civil.

O diagnóstico de uma área contaminada é iniciado por meio de uma caracterização dinâmica do local, identificando tridimensionalmente a massa do contaminante, realizando a correspondência entre sua distribuição e as condições geoquímicas e microbiológicas da área (Barcelona, 2000).

Esforços de caracterização do local fornecem a base para o projeto de monitoramento de longo prazo e devem continuar em todo o ciclo de remediação. Segundo o manual de gerenciamento de áreas contaminadas da CETESB (2001), devem ser coletados dados sobre o local e sobre o tipo de contaminante com o objetivo de definir a propagação da pluma e identificar os riscos inerentes a esse impacto.

O procedimento que deve ser aplicado quando em posse de uma ocorrência, é a investigação preliminar, seguida de avaliação confirmatória, diagnóstico e remediação. As técnicas investigativas podem ser por meio de métodos diretos, como as sondagens e amostragens de solo e água, ou com métodos indiretos como instrumentos geofísicos e medidores de gases voláteis.

Os métodos diretos apresentam resultados importantes no diagnóstico de áreas contaminadas, pois medem com precisão a concentração do composto presente na amostra de solo ou de água, porém são métodos invasivos e necessitam de perfuração e instalação de poços para a coleta de amostras. A realização das análises não permite a verificação lateral e espacial da área contaminada. A medição de gases voláteis é uma alternativa para o diagnóstico pois investiga a superfície identificando as concentrações dos gases provenientes da volatilização dos contaminantes.

Apesar de efetivo, o método possui grandes limitações já que o composto presente nas subsuperfície pode se apresentar em movimento, logo as regiões onde ocorreram as maiores concentrações de gases não necessariamente indicam a localização das grandes massas de contaminantes. Além disso, alguns contaminantes são pouco voláteis, impossibilitando a sua identificação (EPA, 1998). Uma alternativa que vem sendo muito utilizada não só no diagnóstico de áreas contaminadas, mas em estudos ambientais diversos, é o uso de técnicas geofísicas.

O uso de métodos geofísicos permite uma visualização espacial do contaminante no meio subterrâneo, sendo possível identificar a pluma de

contaminação. Os métodos mais adequados, indicados pela CETESB (2001) e mais comumente usados na investigação de solos e águas contaminadas são os métodos de geo-radar (GPR) que faz uso da permissividade dielétrica por meio de ondas refratadas e refletidas; o eletromagnético indutivo (EM) que avalia a condutividade elétrica da subsuperfície por meio da indução de campo eletromagnético no subsolo; a eletrorresistividade (ER) que obtém dados sobre a resistividade injetando corrente elétrica no solo; e a magnetometria usada na determinação de anomalias de materiais ferromagnéticos.

Como recomendado, para uma análise completa do local contaminado, a coleta de dados deve ser feita de maneira dinâmica, abrangendo o uso combinado tanto de métodos diretos quanto indiretos de investigação. O mesmo vale para o monitoramento, a rapidez e precisão da aplicação dos métodos indiretos servem de subsídio confiável para o monitoramento, que podem ser confirmados a partir dos métodos diretos. Tão importante quanto as investigações confirmatórias, são as alternativas de remediação.

5. MÉTODO GEOFÍSICO DA ELETRORRESISTIVIDADE

Inicialmente aplicados com o objetivo principal de prospecção mineral e mapeamento de rochas e estruturas, os métodos geofísicos são muito utilizados em estudos ambientais (MUSSETT & KHAN, 2000).

A geofísica pode ser aplicada em diversas finalidades de estudos, como:

- Investigação de estruturas litológicas subterrâneas,
- Estimativa da profundidade, espessura e propriedades dos aqüíferos e aquicludes,
- Determinação da espessura do revestimento da zona de rocha não saturada,
- Detecção de fraturas e falhas em rochas cristalinas,
- Mapeamento das vias preferenciais de escoamento das águas subterrâneas,
- Estimativa da profundidade e espessura dos aterros,

- Detecção de não-homogeneidades dentro de um aterro,
- Mapeamento de plumas de contaminação,
- Monitoramento de alterações temporais nas propriedades elétricas do subsolo,
- Detecção de cavidades subterrâneas,
- Classificação de material coeso e não coeso em diques, açudes e represas

Um dos métodos geofísicos mais empregados em pesquisas de investigação do subsolo, é o da Eletrorresistividade, aplicado em estudos ambientais por ser sensível as variações de resistividade elétrica dos diferentes componentes do meio físico. A resistividade elétrica pode indicar corpos muito condutores (apresentando baixa resistividade) ou então isolantes (com resistividade elevada), com campo de aplicação variando desde o conteúdo mineral do solo, a presença de compostos na água e na produção de gás, o que favorece a aplicação do método.

O método da Eletrorresistividade tem por objetivo realizar medições de resistividade elétrica, propriedade física intrínseca dos materiais que pode ser definida como uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra na sua passagem em um determinado material e isso está relacionado aos mecanismos pelos quais a corrente elétrica se propaga. O parâmetro resistividade depende basicamente da natureza e do estado físico do material, fatores como textura, forma e distribuição dos poros no solo e na rocha, assim como a presença de líquidos e gases nesses poros condicionam a resistividade dos materiais geológicos (MILSON, 2003).

Fundamentado na Lei de ohm, o método da eletrorresistividade é definido primeiramente pela resistência elétrica (R) medida em Ohm, numa relação entre a intensidade da corrente elétrica (I) fluindo por um material (medida em amperes) e a tensão (V) necessária para propagá-la (medida em volts) (Equação 1).

$$\mathrm{R} = \frac{V}{I} \qquad \text{(Equação 1)}$$

O valor da resistência elétrica (R) varia de acordo com as dimensões do material como o comprimento (L) e a área transversal (A), valores medidos em

metros, e assim, o valor de resistividade elétrica (ρ) pode ser adquirido por meio da Equação 2.

$$\rho = R.\frac{A}{L} \qquad \text{(Equação 2)}$$

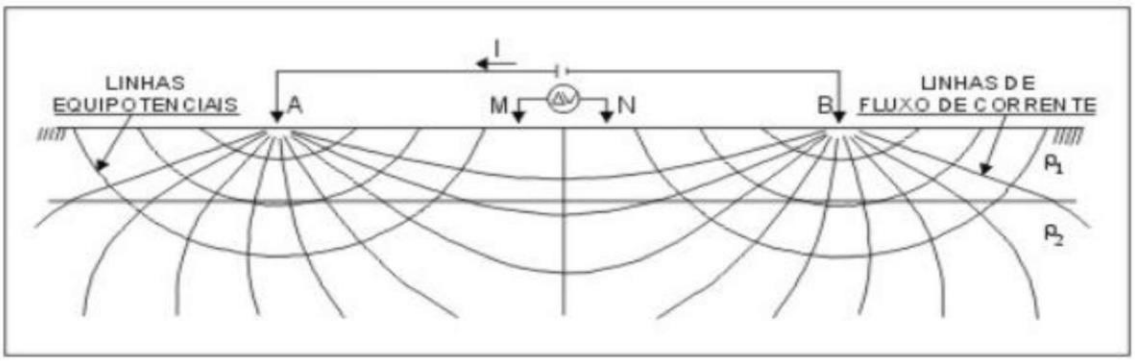
Em meios homogêneos o valor obtido representa a resistividade verdadeira do meio. Entretanto, o meio geológico é constituído de heterogeneidades e, portanto, as medidas de resistividade neste caso representam uma média ponderada das resistividades verdadeiras, cujo produto calculado é denominado resistividade aparente (ρa) (Equação 3).

$$\rho a = K.\frac{\Delta V}{I} \qquad \text{(Equação 3)}$$

A corrente elétrica é injetada no solo por meio de eletrodos de cobre e/ou alumínio inseridos a uma determinada profundidade, entre 10 à 15cm. A disposição dos eletrodos de corrente e de potencial é denominado arranjo e define o fator geométrico (K), medido em metros, na determinação da resistividade. Portanto, o objetivo de gerar e medir um campo de potencial elétrico é determinar a distribuição espacial da resistividade aparente (ρa) na subsuperfície (Ω.m) (VOGELSANG,1995).

A aquisição de dados de resistividade elétrica é baseada na introdução de uma corrente elétrica no subsolo, a partir da superfície, em diferentes profundidades de investigação por dois eletrodos, denominados A e B com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos denominados M e N (Figura 7).

Figura 7 - Princípio da Eletrorresistividade



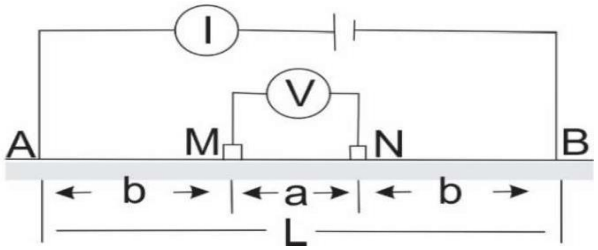
Fonte: TELFORD et. al. (1990)

Para o caso do estudo geofísico realizado neste trabalho, a disposição dos eletrodos em superfície seguiu conforme o arranjo Schlumberger e, portanto, o fator geométrico (fator K) é definido de acordo com a Equação 4.

$$K = 2.\pi.\left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right] \qquad \text{(Equação 4)}$$

Neste arranjo, os eletrodos de potencial (M e N), ficam separados por uma distância fixa “a” no centro do arranjo, enquanto os eletrodos de corrente (A e B) se distanciam dos de potencial por uma distância “b” (Figura 8).

Figura 8 - Esquema do arranjo Schlumberger.



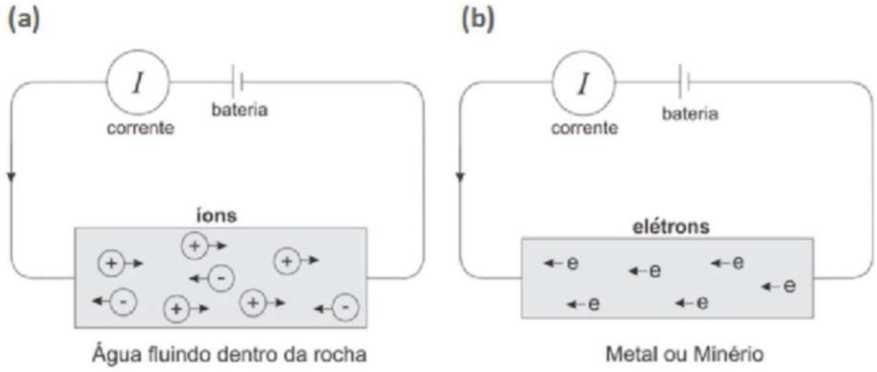
Fonte: KNÖDEL et al. (2007)

Os meios geológicos são heterogêneos, pois são constituídos por uma sucessão de camadas com diferentes valores de resistividade. As heterogeneidades dos materiais geológicos estão distribuídas tanto lateralmente como em profundidade causando distorções no campo elétrico e quando detectadas são traduzidas como anomalias de resistividade.

No ambiente subterrâneo, a corrente elétrica pode fluir de duas maneiras (Figura 9). A primeira, figura 9(a), denominada condutividade eletrônica é a que caracteriza metais e semicondutores, ocorre pelo transporte de elétrons na matriz da rocha. Neste caso, a resistividade varia de acordo com a forma de agregação dos minerais da rocha e o grau de impurezas (TELFORD et al., 1990; MUSSET & KHAN, 2009).

A segunda maneira, figura 9(b), é através de eletrólitos dissolvidos em meio aquoso, denominada condutividade iônica. A resistividade neste caso é resultado do deslocamento dos íons existentes na solução eletrolítica que preenchem os poros dos solos, sedimentos ou fissuras das rochas. A resistividade dos solos e rochas que possuem condutividade eletrolítica é afetada principalmente por quatro fatores: composição mineralógica, porosidade, teor em água, quantidade e natureza dos sais dissolvidos (KEAREY et al. 2002).

Figura 9 - Formas de condução elétrica em rochas e minerais: a) eletrolítica; b) eletrônica.



Fonte: Adaptado de MUSSET & KHAN (2009)

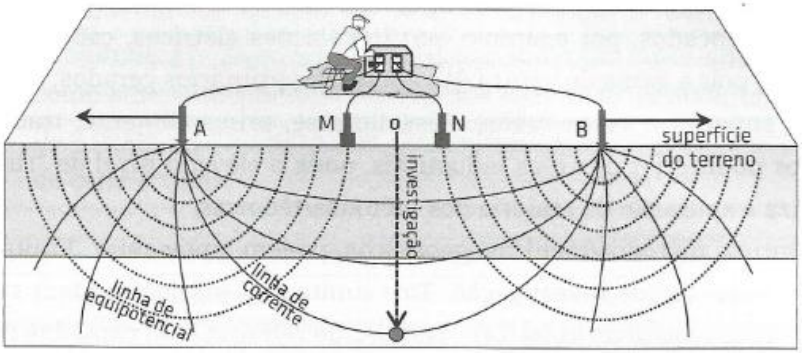
5.1. TECNICAS E ARRANJOS

Duas técnicas são amplamente utilizadas em estudos de investigação de áreas contaminadas, sendo elas a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o Caminhamento Elétrico (CE).

A técnica da SEV (Figura 10) apresenta resultados excelentes, muito utilizados em estudos rasos. Consiste numa sucessão de medidas de um parâmetro geoelétrico (resistividade e/ou cargabilidade aparentes), efetuadas a partir da

superfície do terreno, mantendo-se uma separação crescente entre os eletrodos de emissão de corrente (AB) e/ou entre os eletrodos de recepção de potencial (MN).

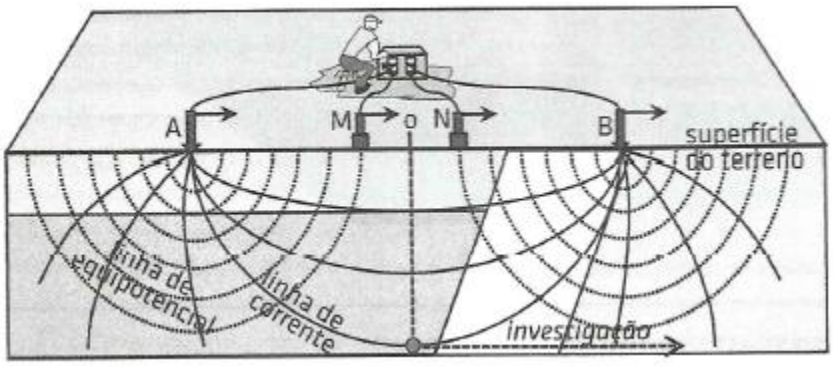
Figura 10: Técnica da Sondagem Elétrica vertical.



Fonte: BRAGA. (2016)

A técnica do CE (Figura 11), se baseia na análise e interpretação de um parâmetro geoelétrico, obtido com base em medidas efetuadas na superfície do terreno, com espaçamento constante entre os eletrodos AMNB. Por meio dessa técnica, investigam-se, ao longo de linhas, as variações laterais do parâmetro físico a uma ou mais profundidades determinadas, com isso, a direção da linha de investigação permanece fixa e o centro do arranjo AMNB varia com seu desenvolvimento.

Figura 11: Técnica do Caminhamento Elétrico.

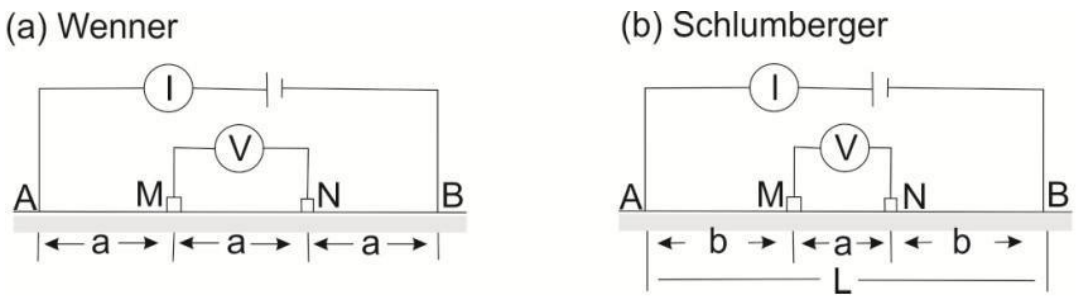


Fonte: BRAGA. (2016)

Os tipos de arranjos de eletrodos mais utilizados na investigação de áreas contaminadas, são: Wenner e Schlumberger. No arranjo Wenner todos os eletrodos

estão separados pela mesma distância “a” e, desta forma, devem ser deslocados simultaneamente, de modo a manter a simetria do dispositivo. No arranjo Schlumberger os eletrodos de potencial ficam separados por uma distância fixa “a” e os eletrodos de corrente se distanciam dos eletrodos de potencial por uma distância “b” (SEIMETZ, 2012) (Figura 12).

Figura 12 - Esquema dos arranjos (a) Wenner e (b) Schlumberger.



Fonte: KNÖDEL *et al.* (2007)

6. GEOFÍSICA APLICADA EM ESTUDO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Afim de validar a técnica e arranjo, caminhamento elétrico e Schlumberger, respectivamente, aplicados nesse trabalho. É apresentado a seguir alguns estudos realizados anteriormente por outros autores e em áreas semelhantes, o que colaboram para a eficácia dos estudos realizados neste trabalho.

O trabalho de Bortolin e Malagutti (2010), em um estudo de evolução da pluma de contaminante por chorume no aterro sanitário de Rio Claro, através da tomografia elétrica por meio do método da eletrorresistividade, compara os dados obtidos em 1999 com os de 2008. Afim de verificar a evolução da pluma de contaminação através do método utilizado, é possível concluir que a mesma apresentou um aumento em sua extensão e profundidade quando comparada com os resultados de 1999.

Ainda por meio da interpretação das SEV, foi possível gerar o mapa potenciométrico da área de estudos e identificar que o nível freático, no período da estiagem, está situado entre 9,10 m e 14,80 m e tem sentido de fluxo para Sudeste (SE). Por fim, ressaltar que somente os resultados dos ensaios geofísicos não são suficientes para se afirmar a existência de contaminação do solo e da

água subterrânea, seja na região do referido aterro ou em qualquer outro local a ser estudado, já que estes apenas fornecem indícios da existência de contaminantes. A contaminação e os níveis de contaminantes somente podem ser confirmados por meio de análises físico-químicas de amostras de solo e água, obtidas por meio de sondagens e poços de monitoramento.

Através de um estudo geofísico no aterro municipal de Piracicaba – SP, Moura e Malagutti Filho (2007), aplicaram o método da Polarização Induzida e de Eletrorresistividade com o objetivo de comparar os resultados entre ambos. Ficou evidente ao final do estudo, que a polarização induzida apresentou melhores resultados quanto a presença de resíduos urbanos que contenham materiais polarizáveis, como metais enferrujados, restos eletrônicos e papel impresso.

O parâmetro resistividade foi sensível à presença de contaminação no subsolo e nas suas áreas limites, sendo muito empregado onde há contraste de resistividade entre o meio natural e o de resíduos, o que contribui para o mapeamento de zonas contaminadas e favorece o uso desse método em estudos similares.

Em um estudo geofísico numa área de disposição de resíduos sólidos domiciliares no município de Cordeirópolis – SP realizado por MOREIRA, *et al.* (2013). Tal aterro é caracterizado por ser do tipo vala, onde os resíduos são dispostos em valas sem impermeabilização, com profundidades de cinco metros e um volume diário de geração em torno de 7 m³/dia. A não existência de manta impermeabilizante facilita a percolação do chorume no subsolo, o que torna o uso de métodos indiretos na investigação de plumas de contaminação, uma ferramenta de grande importância para se realizar estudos preliminares na área.

O estudo utilizou o método da eletrorresistividade com aplicação do arranjo Schlumberger, onde foram realizadas linhas de investigação sobre as valas e numa área próxima, mas não afetada pela percolação do chorume, o que permite ter um valor de referência para as demais linhas de investigação A ausência de valores de resistividade inferiores a 30Ω.m na linha de referência e a ocorrência desta faixa de valores nas linhas 1, 2 e 3 indica a presença de compostos que não estão presentes no ambiente natural. A ocorrência deste intervalo de resistividade entre 2m e 8m de profundidade indica sua relação com a cava de resíduos, escavada e preenchida até 5m de profundidade.

7. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO

7.1. TRABALHOS REALIZADOS

A partir da análise do histórico de ocupação da área e de informações acerca das dimensões aproximadas na área de lançamento de resíduos sólidos, atualmente aterrada e terraplanada sob o pátio em uso pela BR 189, foram programados os trabalhos de aquisição de dados geofísicos. Este trabalho foi baseado no relatório de “Caracterização do uso da terra: BR 189 Ambiental e Meio Ambiente Ltda – Leme (SP)” elaborado por Sardinha & Godoy (2015)

O trabalho consiste na disposição de 10 linhas de tomografia elétrica com 80m de comprimento cada, espaçamento de 2m entre linhas e de 10m entre cada eletrodo (Figura 14), para leituras de resistividade elétrica em 8 níveis distintos (apresentado nos Resultados e Discussão), e o uso do resistivímetro Terrameter LS da ABEM (Figura 13) com a aplicação do método da Eletrorresistividade, por meio da técnica de tomografia elétrica em arranjo Schlumberger.

Figura 13 - Resistivímetro Terrameter LS da ABEM durante aquisição dos dados.



Fonte: Do autor (2017)

Os dados geofísicos 2D foram processados e reunidos em modelos de visualização 3D, posteriormente fatiados em diversos níveis de profundidade.

A seleção deste método de investigação está baseada no contraste de propriedades elétricas entre o solo natural e um potencial solo com chorume. O solo natural apresenta elevados valores de resistividade, devido a sua composição em quartzo e argilominerais. A definição do padrão natural de resistividade local foi realizada a partir de uma linha de referência na rua de acesso à área, posicionada a montante do fluxo da água subterrânea.

Figura 14 - Posicionamento das linhas de tomografia elétrica na área de estudos, sobre imagem de satélite de 2010, com exposição parcial da área de lançamento de resíduos.



Fonte: Google Earth Pro (2015)

O chorume é uma solução salina resultante na degradação da matéria orgânica contida em resíduos sólidos, caracterizado por elevado conteúdo em sais minerais e elevada demanda química e biológica por oxigênio. A presença de chorume no solo ou água subterrânea ocasiona a queda nos valores naturais de resistividade.

Eventuais vazamentos de chorume para o solo e água subterrânea devem resultar na queda dos valores de resistividade em relação ao padrão natural para a área. O uso de técnicas de investigação geofísica, seguido de processamentos 2D e

3D, podem proporcionar a localização de eventuais zonas de fluxo e de acúmulo de chorume em diversas profundidades.

7.2. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados de tomografia elétrica foram tabelados em um editor de planilhas, juntamente com as coordenadas geográficas e altitude em cada ponto, posteriormente processados no programa RES2DINV (Geotomo – Malasia).

Este programa determina um modelo bidimensional da subsuperfície a partir de dados da tomografia elétrica, desenvolvido para interpolar grandes conjuntos de dados. O modelo 2D usado pelo programa de inversão consiste em uma série de blocos retangulares relacionados à distribuição de pontos dos dados da pseudosseção.

A distribuição e tamanho dos blocos são gerados automaticamente pelo programa conforme a distribuição dos pontos de dados. A profundidade da linha inferior dos blocos é aproximadamente igual à profundidade equivalente de investigação dos pontos com o maior espaçamento entre eletrodos (Edwards, 1977).

A sub-rotina de modelagem direta é usada para calcular os valores de resistividade aparente, por meio da técnica de otimização não linear por mínimos quadrados (Degroot-Hedlin & Constable 1990, Loke & Barker, 1996).

O produto numérico de inversão bidimensional dos dados de cada seção foi reunido em planilha única, que reuni a posição das leituras ao longo das linhas (variável “x”), espaçamento entre linhas (variável “y”), profundidade modelada pela inversão (variável “z”) e o valor de resistividade elétrica e cargabilidade (variável “R”).

Esta planilha foi utilizada para geração de modelos de visualização 3D, numa rotina de etapas básicas adotadas em pesquisa mineral. Neste caso, o plano de amostragem é frequentemente definido a partir de critérios estatísticos, estruturais, disposição espacial de uma acumulação mineral, dentre outros (Moon et al, 2006). Um procedimento simples consiste em amostragens por um conjunto de furos perpendicular ao eixo principal da estrutura, sucedidos por um conjunto paralelo de linhas de furo.

A resolução da malha de amostragem é condicionada ao espaçamento entre furos, entre linhas de furos e entre quantidade de amostras coletadas por furo. De qualquer forma, o resultado analítico das amostras é tabelado e modelado em termos bidimensionais e posteriormente interpolado em termos tridimensionais. Cada ponto do modelo 3D final é transformado num bloco, com dimensões condicionadas a critérios estatísticos e de malha amostral, ao qual é atribuído um teor baseado em análises químicas e um valor médio de densidade relativo a rocha que hospeda o minério (Moon et al, 2006). Os modelos de visualização foram gerados por aplicação do algoritmo de Mínima Curvatura.

Desta forma, baseado no princípio de amostragem direta em pesquisa mineral, a malha amostral de dados geofísicos foi planejada com o objetivo de interpolação lateral das linhas a partir dos modelos de inversão 2D, por meio do método da mínima curvatura, com auxílio do programa Oasis Montaj, plataforma Geosoft (versão 6.4), para geração de horizontes ou superfícies de suavização 2D para diversas profundidades.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de campo foram processados e permitiram gerar modelos de inversão em termos de resistividade elétrica, que consistem em seções com distância e profundidade, com valores entre 1 Ohm.m (cores frias) e 300 Ohm.m (cores quentes). A linha 9 foi excluída diante da péssima qualidade dos dados, possivelmente devido a interferências relacionadas a linha de baixa tensão existente ao longo de sua direção de aquisição.

Os modelos de inversão de resistividade elétrica resultaram em seções com profundidade de investigação de 15m, agrupados em conjuntos que possibilitam comparações com a seção de referência, realizada a montante do fluxo da água subterrânea. Esta seção permitiu definir o padrão de resistividade mínima natural ao solo e ao aquífero livre existente na área, valor tomado de referência em comparações com as demais seções. O valor mínimo descrito na seção de referência foi de 11,5 ohm.m.

Baseado no histórico de ocupação da área e dos tipos de resíduos lançados (resíduos sólidos domiciliares), segundo descrições e fotos de escavações apresentadas no relatório de Sardinha & Godoy (2015), estes materiais apresentaram inicialmente uma quantidade expressiva de matéria orgânica comumente encontrada neste tipo de resíduos, como restos de alimentos e matéria vegetal de diversas origens, além de materiais metálicos (latas, fios) e resíduos de hidrocarbonetos (restos de óleos e graxas).

Passados 6 anos de lançamento dos resíduos, quando tomado o ano de 2010 como idade inicial (embora provavelmente sejam ainda mais antigos), e da existência de nível freático basicamente em contato com estes materiais (parcialmente saturados) e posteriormente recobertos por solo terraplanado para construção do pátio da BR 189, estes resíduos são submetidos a condições altamente redutoras (biodegradação anaeróbia).

Neste cenário ocorre a lenta decomposição da matéria orgânica, com geração de subprodutos tipicamente encontrados em aterros sanitários, como biogás (mistura gasosa de metano, gás sulfídrico e gás carbônico) e chorume (efluente líquido rico em carbono orgânico total e saís minerais). A fração gasosa é liberada para a atmosfera, ao passo que a fração líquida é lentamente liberada no

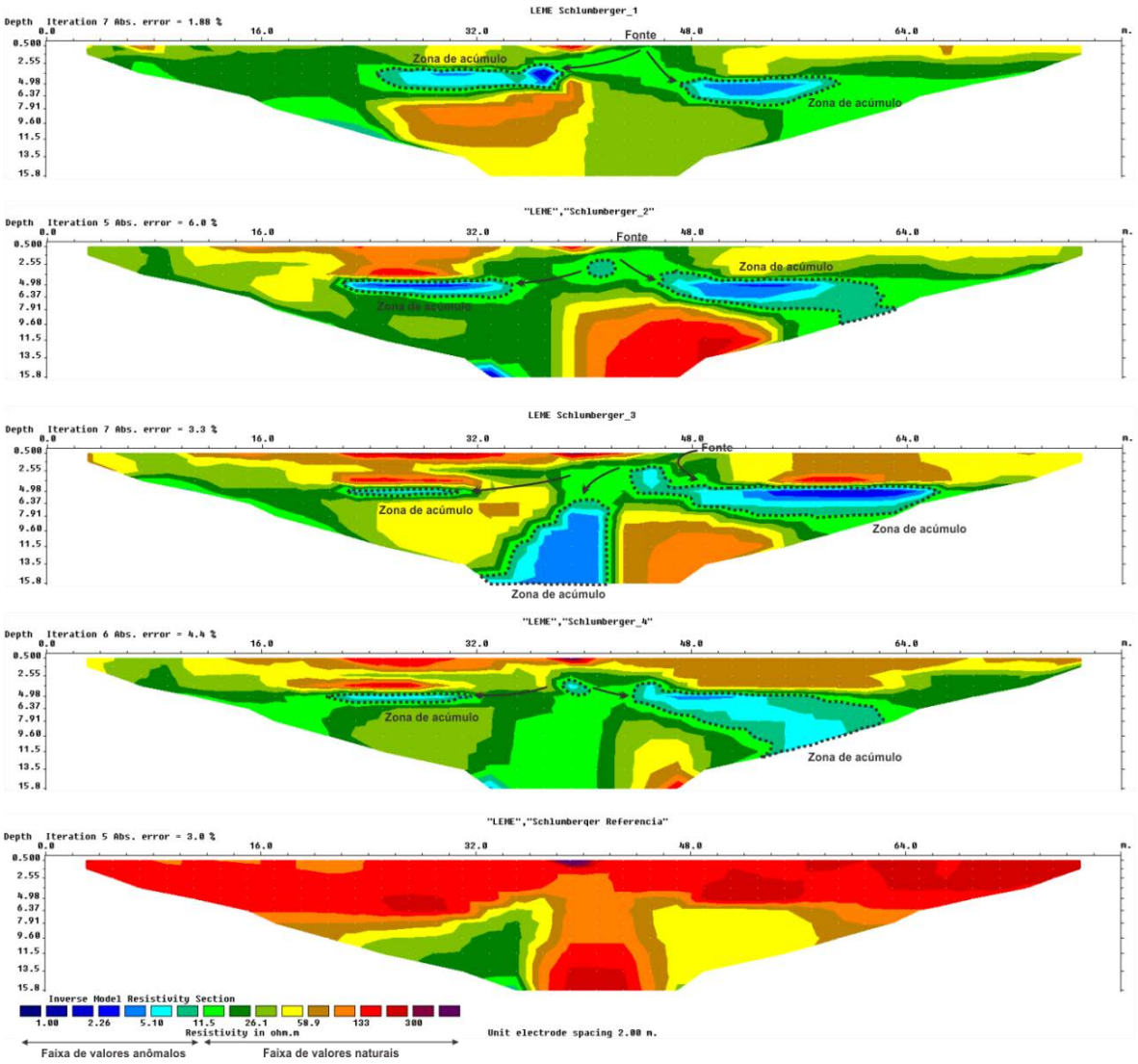
ambiente geológico, com percolação nos horizontes de solo seco e diluição seguido de dispersão no aquífero.

O contorno topográfico local e a existência de um pequeno curso da água no limite sul da área de estudos, indicam claramente um fluxo da água do aquífero livre para Sul. Neste caso, contaminantes líquidos produzidos na área de lançamento de resíduos devem migrar para Sul e surgir juntamente com o nível freático nas laterais da drenagem. O planejamento das linhas geofísicas considerou este cenário e foram programadas com o objetivo de interceptação do fluxo de contaminantes da área de estudos para a drenagem.

Uma análise preliminar dos resultados permite o reconhecimento de zonas com valores de resistividade elétrica abaixo do mínimo reconhecido na área (11,5 Ohm.m), até o mínimo de 1 Ohm.m. O caráter salino do chorume é o principal responsável por este padrão de resistividade, ou seja, valores anômalos ao padrão natural aos materiais da área medidos através de uma linha de referência. Estas zonas foram realçadas nas seções para maior clareza, juntamente com as principais fontes de geração de chorume e linhas principais de fluxo vertical (Figuras 15 e 16).

As zonas de acúmulo horizontalizadas devem corresponder ao posicionamento de contaminantes salinos na base do aquífero livre, que para a seções obtidas próximas da drenagem (linhas 1 e 2), correspondem ao máximo de 7m de profundidade.

Figura 15 - Modelos de inversão de resistividade das linhas 1 a 4, com realce de zonas anômalas ao padrão de referência.



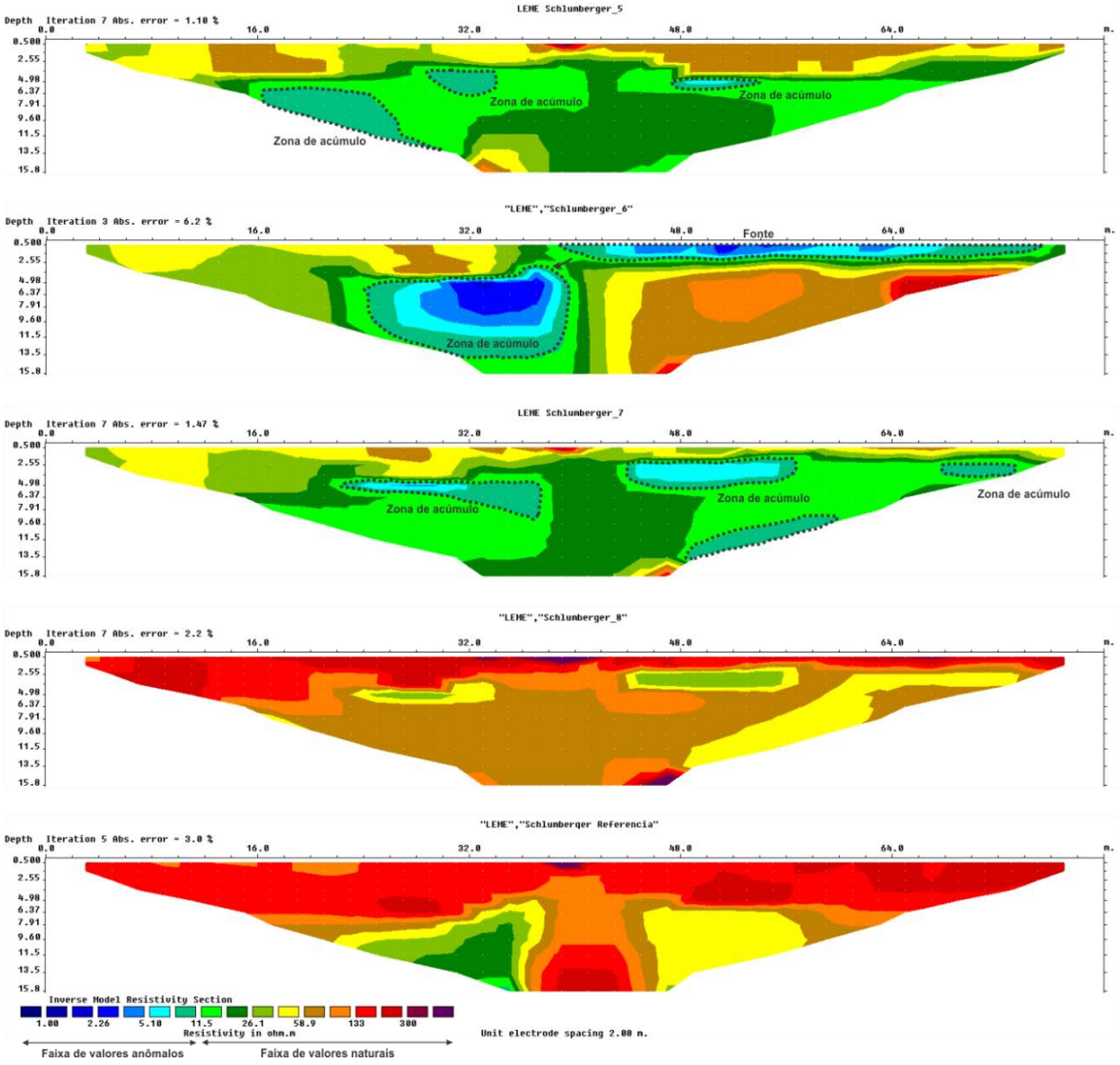
Fonte: Do autor (2017)

As demais seções foram obtidas por meio de linhas sobre a área terraplanada e crescentemente mais elevadas em relação as linhas iniciais. Desta forma, a base do aquífero livre atinge até 10m de profundidade nas seções topograficamente mais elevadas.

Nas seções das linhas 3 a 7 são reconhecidas zonas anômalas verticais conectadas com fontes rasas e que atingem a base das seções, indicativo de fluxo em sistema de fraturas verticais, com clara continuidade abaixo dos 15m de profundidade máxima de investigação neste estudo. Estas zonas devem representar

área de fluxo lento e de acúmulo de chorume em fraturas da Formação Corumbataí no local (Figuras 15 e 16).

Figura16 - Modelos de inversão de resistividade das linhas 5 a 8, com realce de zonas anômalas ao padrão de referência.



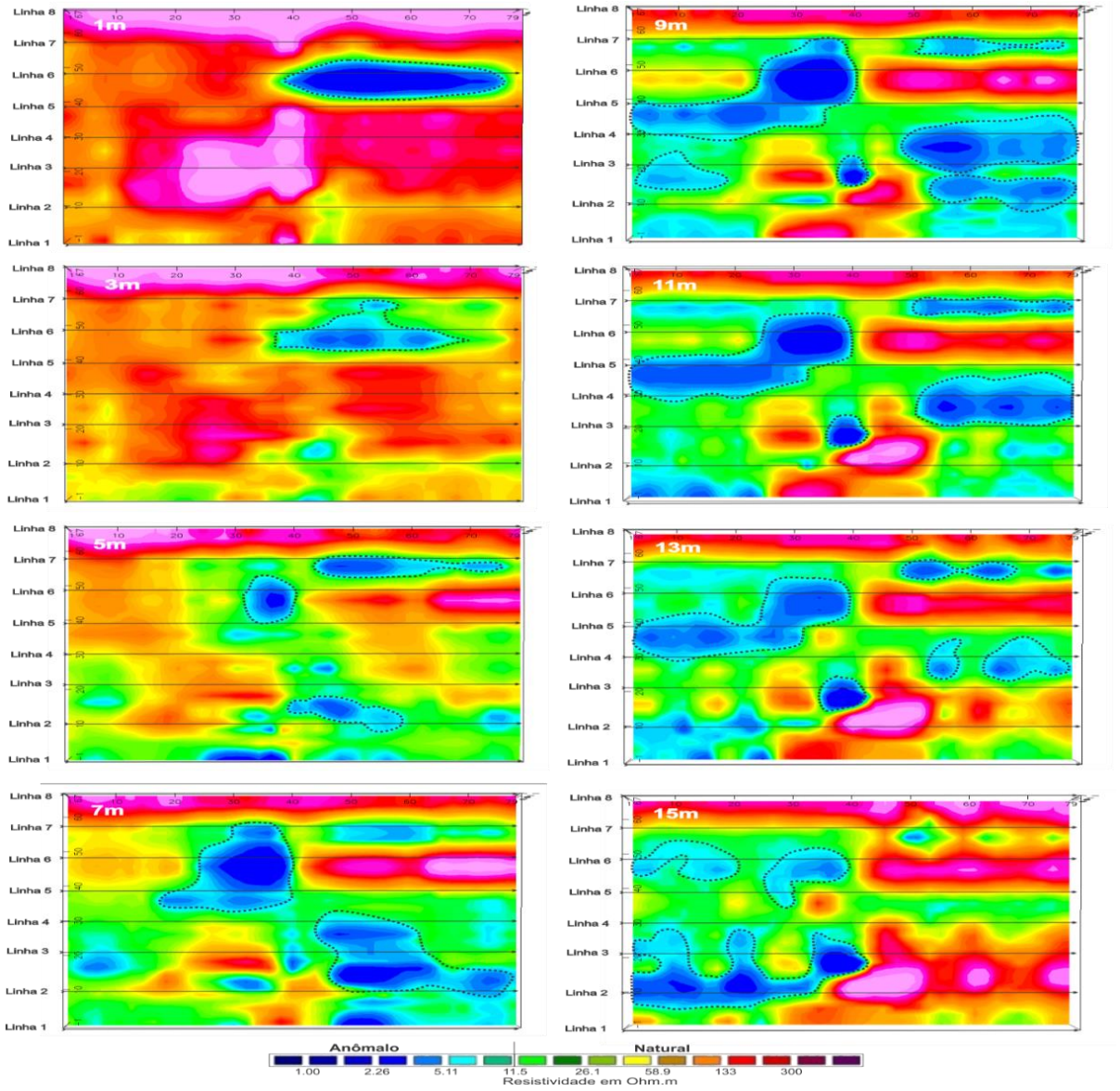
Fonte: Do autor (2017)

Outro aspecto de grande relevância e característico da unidade geológica de suporte ao aquífero livre é a existência de descontinuidades estruturais. A Formação Corumbataí é caracterizada por siltitos e argilitos com estratificação plano-paralela com fraturamento vertical descontínuo, mas suficiente para proporcionar o fluxo de água e contaminantes líquidos para posições abaixo do contato solo/rocha, ou seja, posição de base do aquífero livre. Todos estes fatores foram considerados na

análise dos dados geofísicos. Com o objetivo de demostrar a continuidade lateral das zonas de resistividade anômala entre linhas, os modelos de inversão foram interpolados em modelos de visualização 3D e posteriormente permitiram a geração de mapas de resistividade elétrica para diversas profundidades (Figura 17).

Essa interpolação em um modelo 3D, permite observar uma evolução temporal da pluma de contaminação e realizar um comparativo com a disposição dos resíduos sólidos ao longo dos anos, até a construção da usina no local.

Figura17 - Mapas de resistividade elétrica diversas profundidades (indicada no canto superior esquerdo), posição das linhas de tomografia elétrica e realce das zonas anômalas.



Fonte: Do autor (2017)

Ao comparar o modelo 3D da figura 17 com a figura 5 que mostra a evolução temporal da disposição dos resíduos, é possível notar uma semelhança entre os valores de baixa resistividade das plumas de contaminação e a localização das pilhas de resíduos. A disposição de resíduos obedece um sentido que vai de sudoeste para nordeste, sendo que a cada camada de resíduo, há a cobertura de solo sobre essa.

Nesse sentido, os valores de baixa resistividade tendem a se concentrar onde há maior volume de resíduo disposto, o que fica evidente na porção sudeste do terreno e é confirmado pela figura 15 na profundidade de 15 metros. Conforme a profundidade diminui e os resíduos são dispostos mais a nordeste, as plumas de contaminação tendem a acompanhar esse sentido e apresentam valores de baixa resistividade em profundidades menores e localizadas mais a nordeste do terreno. Devido as fraturas da formação geológica local, o chorume tende a infiltrar por elas e se concentrar em regiões isoladas, onde antes não havia um volume significativo de resíduo para gerar aquela pluma de contaminação, o que acarreta numa maior dificuldade para a remediação da área contaminada.

9. CONCLUSÃO

A existência de aterros controlados e lixões clandestinos tem sido uma prática usual no Brasil, devido à falta de fiscalização e conscientização da população, dos prejuízos causados ao meio ambiente. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos foi elaborada para a proibição dessa prática, embora haja um extenso passivo de práticas antigas.

Nesse sentido, é necessário a identificação desses locais e também uma análise investigatória para conhecimento dos níveis de contaminação por parte dos resíduos dispostos em aterros controlados ou clandestinos. Essa atividade de identificação, estudo e análise investigativa, é relevante para proposição de medidas mitigadoras ou corretivas para o problema ambiental em questão.

A partir disso, com o uso de métodos geofísicos aplicados e não invasivos, foi possível delimitar a pluma de contaminação proveniente dos resíduos dispostos no local em estudo. Como um dos produtos da decomposição da matéria orgânica é o chorume (composto líquido em carbono e sais minerais), sua disposição no subsolo

acarretou numa diminuição da resistividade do mesmo, o que fica evidente quando comparado a uma região não contaminada e tida como valor padrão para o estudo. Dessa forma, foi possível sua identificação através do método da eletrorresistividade em uso nesse trabalho.

Uma vez identificada a área contaminada e seu fluxo subterrâneo, é possível propor medidas corretivas para sanar o passivo ambiental. Quando for o caso de não haver uma remediação na área, é possível ainda com tais informações alocar poços de monitoramento para amostragem de solo e água, com o objetivo de acompanhar a evolução do contaminante no subsolo.

É importante lembrar que apenas o uso da geofísica não é suficiente para determinar a contaminação do ambiente. Ela permite uma visualização das plumas de contaminação e quais locais estão mais críticos, o que possibilita uma melhor tomada de decisão de onde realizar estudos invasivos para se coletar amostras de solo e água, caso necessário.

A abordagem de medidas corretivas para sanar o passivo ambiental foi pouco explorada nesse trabalho, o que permite a continuação dos estudos em áreas similares com o objetivo de comparar as contaminações e aplicação de medidas eficientes e com bom custo x benefício, já que na grande maioria dos casos, os problemas com disposição incorreta de resíduos são de responsabilidade das prefeituras, que nem sempre possuem recursos suficientes para sanar o problema.

Baseado nesse trabalho é possível reconhecer zonas de acúmulo de chorume em regiões de fácil acesso (concentração de grande volume) e em regiões de fratura e de difícil acesso. De tal forma, o processo de remediação dessa área se torna mais complexo, pois as perfurações do solo para se realizar a remediação da área devem se orientar pelas informações de localização das plumas de contaminação contidas na figura 15 e em conjunto com o histórico de disposição de resíduos no local, apresentado na figura 5.

A partir da profundidade de 5 metros, é possível encontrar zonas de acúmulo de chorume descentralizadas, o que torna seu processo de remediação mais detalhado e de certa forma mais preciso. Com base nessas constatações, é possível recomendar a instalação de poços de monitoramento/remediação em pontos específicos, para análises químicas que comprovem os dados geofísicos e posterior bombeamento dos contaminantes para o correto tratamento do chorume bombeado,

até que atinjam valores permitidos por legislação. Além dessa opção, é possível realizar a inserção de oxigênio nas regiões com acúmulo de chorume, para que a decomposição da matéria orgânica seja acelerada e posteriormente seja feito o bombeamento do chorume originado dessa decomposição para seu posterior tratamento.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIL – Associação Comercial, Industrial e Agrícola de Leme. Conheça nossa Cidade. Disponível em: < http://acileme.com.br/conheca-nossa-cidade>. Acesso em: 13 de julho de 2017.

ANDRADE, J. B. L.; SCHALCH, V. Determinação da composição gravimétrica, peso específico e teor de umidade dos resíduos sólidos produzidos na cidade de Manaus. Revista de Limpeza Pública, v. 44, p. 27-30, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

BARCELONA, M. J. Role of Redox Processes and Spatial and Temporal Variability in Site Characterization. In:Workshop on Monitoring Oxidation-Reduction Processes for Groundwater Restoration, 2000, Dallas, Texas.

BENNETT, P.J., Longstaffe, F.J. and Rowe, R.K. (2000): The stability of dolomite in landfill leachate collection systems. Canadian Geotechnical Journal, 37, 371–378.

BORTOLIN, J. R. M.; FILHO, W. M. Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos. Engenharia Ambiental e Sanitária, v. 15, n. 4, p. 367-374.

BRAGA, A. C. O. Geofísica aplicada: métodos geoelétricos em hidrogeologia. São Paulo: Oficina dos Textos, 2016.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.. Brasília, DF, 1998. Disponível

em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm >. Acesso em: 13 de julho de 2017.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm >. Acesso em: 13 de julho de 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO No 307, DE 5 DE JULHO DE 2002 Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 2002. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 13 de julho de 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004 Publicada no DOU no 158, de 17 de agosto de 2004, Seção 1, página 70. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Brasília, DF, 2004. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449 >. Acesso em: 13 de julho de 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO Nº 448, DE 18 DE JANEIRO DE 2012 Publicada no DOU Nº 14, quinta-feira, 19 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Brasília, DF, 2012. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672 >. Acesso em: 13 de julho de 2017.

CETESB, 2.ed. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas / CETESB, GTZ. 2.ed. São Paulo: CETESB, 2001. [389] p.

CETESB (São Paulo). Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2015 [recurso eletrônico] / CETESB; coordenação e redação Cristiano Kenji Iwai, Maria Heloísa P. I. Assumpção; equipe técnica Marilda de Souza Soares ... [et al.]. – São Paulo: CETESB, 2016.

CONSONI, A. J.; PERES, C. Origem e composição do lixo. In: Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995. Capítulo II.

DeGROOT-HEDLIN, C. & CONSTABLE, S. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models form magnetotelluric data. Geophysics, n. 55, p. 1613-1624. 1990.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). 1982. Carta Hidrogeológica do Estado de São Paulo (1:500.000). São Paulo.

EDWARDS, L.S., A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. Geophysics. v. 42, p. 1020 - 1036, 1977.

HELENE, L. P. I.; MOREIRA, C. A.; CARRAZZA, L. P. Applied geophysics on a soil contaminated site by chromium of a tannery in Motuca (SP). Revista Brasileira de Geofísica, v. 34(3), 2016.

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. Geologia da Bacia. Disponível em: < http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=24 >. Acesso em: 14 de julho de 2017.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Science, London, 3°ed., 281p. 2002.

LUZ, F.X.R. Aterro sanitário: características, limitações, tecnologia para implantação e operação. São Paulo: CETESB, 1981. 30p.

MILSOM, J. & ERIKSEN, A. Field Geophysics – The geological field guide series. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 4ª edição, 2011. 297 p.

MILSON, J. Field Geophysics. Wiley, England, 232 p., 2003

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Gestão de Resíduos: A problemática dos "Resíduos Sólidos". Disponível em: < http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixos-tematicos/item/525>. Acesso em: 13 de julho de 2017.

MOREIRA C.A., GODOY L.H., SARDINHA D.S., CONCEIÇÃO, F.T., DEL ROVERI C. Caracterização geofísica em aterro de resíduos sólidos para avaliação de condicionantes de instabilidade geotécnica. Geologia USP Série Científica, v. 13, n. 1, p. 2-34, 2013.

MOON, C. J. et al. Introduction to mineral exploration. 1. ed. Oxford: Blackwell publishing, 2006.

MOURA, H. P.; FILHO, W. M. Métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida aplicados no estudo do aterro controlado de Piracicaba – SP. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 26, n. 1, p. 35-43, 2007

MUSSETT, A. E. & KHAN, M. A. 2000. Looking into the Earth. An Introduction to Geological Geophysics. xxi+470 pp. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente liquido de um aterro sanitário. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol 9, nº 3, pp. 240-249, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v9n3/v9n3a10.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2012

ORTH, M.H. de A., Di CREDDO, E.B. A recuperação ambiental do lixão de Carapicuíba. Rev. Limp. Públ., n.52, p.05-15, 1999.

SÁNCHEZ, L.E. A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental. São Paulo, 1998. 178p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SARDINHA, D. S.; GODOY, L. H. Caracterização do uso da terra: BR 189 Ambiental Meio Ambiente LTDA – Leme (SP). ICT – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas – MG, Poços de Caldas, 2015.

SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T. Política pública e educaçao: uma proposta democrática de gestão e manejo ambiental na bacia do Ribeirão do Meio, Leme (SP). Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient. v.19, julho a dezembro de 2007.

SCHALCH, V. Produção e características do chorume em processo de decomposição de lixo urbano. 103p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A..A.. (1974)- Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre, SBG, v.1, p. 41-65.

SEIMETZ, E. X. Estudos geofísicos ao longo do futuro trecho norte do metrô de Brasília. 97p. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SigRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Apresentação. Disponível em: < http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhmogi/apresentacao >. Acesso em: 14 de julho de 2017.

TELFORD, W. M. W.; GEDART, L. P.; SHERIFF, R. E. Applied Geophysics. London, UK: Cambridge University Press - Second Edition, 1990. 792 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Subsurface characterization and monitoring techniques – Solids and Ground Water. EPA/625/R-93/003. Washington, DC, Office of Research and Development, 1993b.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water. EPA/600/R-98/128. Washington, DC, 1998.

VOLGELSANG, D. Environmental Geophysic A pratical guide. 1ª edição. Berlin: Springer,1995.173