

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MONIELEN MONARA BETIO

**MONITORAMENTO DAS OSCILAÇÕES DO NÍVEL FREÁTICO E DA
QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DO ANTIGO
LIXÃO DE ROLÂNDIA – PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2014

MONIELEN MONARA BETIO

**MONITORAMENTO DAS OSCILAÇÕES DO NÍVEL FREÁTICO E DA
QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DO ANTIGO
LIXÃO DE ROLÂNDIA – PR**

Projeto de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

LONDRINA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

MONITORAMENTO DAS OSCILAÇÕES DO NÍVEL FREÁTICO E DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DO ANTIGO LIXÃO DE ROLÂNDIA – PR

Por

MONIELEN MONARA BETIO

Monografia apresentada no dia 11 de dezembro de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Lígia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

**A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas oportunidades dadas ao longo da vida e que me possibilitou o ingresso e conclusão deste curso, por me proteger e me manter forte e perseverante.

Agradeço a toda minha família, aos meus pais pelo suporte financeiro, em especial meu pai, Luis Augusto Betio, que sempre me apoiou nos estudos, a minha irmã, Nájla Moreira Betio, pela ajuda nos purgeamentos, todos os meus parentes, em especial a minha tia, Cristina Betio, a qual tenho um carinho enorme, por ter sempre me dado um ombro de apoio nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu primo noivo pelo companheirismo, apoio intelectual e muitas vezes financeiro para diminuir minhas dificuldades, e toda sua família, sogra, sogro, cunhadinha, carinhosamente Vó Rosa e Tia Bi.

Agradeço aos meus queridos amigos, Ana Paula Cosso, Carlyne Bueno, Gabriela Gomes, Jaqueline Imbriane, Larissa Melo, Larissa Pivetta, Liliana Puzzi, Marcella Baldin, Rafaela Squizzato, Roberta Ribeiro, Adriano Scalco, Andressa Duarte, Jaqueline Santos, Pedro Presumido, Vitor Marques, que compartilharam os mais variados sentimentos, inúmeras experiências e amadurecimento.

Deixo aqui meu agradecimento a aqueles que contribuíram diretamente com a execução desse trabalho: Gabriela Silva, por me incentivar nesta pesquisa, pela divisão de conhecimentos, pela sua pesquisa e paciência; Jéssica Lara, pelo companheirismo no laboratório, pela ajuda nas análises e pelos momentos de risadas em meio à dificuldades.

Agradeço aos professores que tive ao longo deste curso, que foram além de tudo amigos, e aquela que não foi minha professora, mas se tornou uma amiga, Prof^a Edilaine Pereira. Agradeço, de forma especial aos orientadores de Iniciação Científica, Prof^a Tatiane Dal Bosco, Prof^a Kátia Valéria Marques, de estágio Prof^o Ricardo Costanzi e, de forma carinhosa, ao Prof^o Maurício Moreira dos Santos pela confiança, paciência, empenho, incentivos e toda atenção para me ajudar a concretizar este trabalho e sonho. Sou grata pelo carinho, amizade, crescimento pessoal e profissional.

*“A natureza pode suprir todas as necessidades do homem,
menos a ganância.”*

Gandhi

RESUMO

BETIO, Monielen Monara. **Monitoramento das oscilações do nível freático e da qualidade da água subterrânea na área do antigo lixão de Rolândia – PR.** 2014. 85p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

A falta de conhecimento técnico e de investimentos em soluções voltadas à problemática dos resíduos sólidos contribuem para a formação de lixões. Essas áreas tornam-se geradoras de poluição pela decomposição da matéria orgânica causando afeitos adversos ao solo, águas superficiais e subterrâneas. Dessa forma, métodos investigativos para avaliação de impactos ambientais em áreas de lixões são de suma importância para a compreensão dos processos ambientais. Com isso, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar os impactos ambientais causados pela massa aterrada de resíduos sólidos sobre a qualidade das águas subterrâneas, em um lixão desativado no município de Rolândia – PR, monitorando condicionantes e a variação do comportamento do aquífero freático frente às taxas contínuas de recarga por precipitação. Três poços de monitoramento instalados no encerramento do lixão, em 2002, localizados a jusante da massa aterrada, e uma nascente no entorno foram as ferramentas deste estudo. Monitorou-se, através dos poços, os níveis freáticos frente a recarga por precipitação. Nos três poços e na nascente os parâmetros hidroquímicos analisados foram: pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis, Turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e o metal pesado Chumbo nas águas subterrâneas. Para os contaminantes Nitrito, Nitrato e Chumbo foram construídos mapas com isolinhas de contaminação. Atualmente, o local encontra-se em abandono, sem nenhuma medida técnica de prevenção dos impactos causados pela massa aterrada. O monitoramento das oscilações dos níveis freáticos nos três poços correlacionados com a precipitação diária no período de 09/ago a 10/nov mostrou que há rápida resposta frente a recarga d'água, favorecendo a migração de contaminantes pelas zonas saturadas e não-saturadas. Com relação a hidroquímica das águas subterrâneas, nos três poços, todos os parâmetros apresentaram alguma divergência em relação aos padrões de potabilidade estabelecidos pelas legislações nacionais, com exceção de N-amoniacal e DQO, cujos valores foram não detectáveis pelas metodologias aplicadas. Portanto, pode-se inferir que a água subterrânea nas localidades do antigo lixão é imprópria para consumo humano, com exceção da nascente que está fora da área de influência da pluma de contaminação gerada. Conclui-se também que o simples aterramento e abandono não foram suficientes para a recuperação natural, pelo contrário, os impactos ambientais continuarão por um longo período indicando a necessidade de estudos e ações ambientais para remediação e recuperação desta área degradada.

Palavras-chave: Chumbo. Contaminação. Nitrato. Nitrito. Potabilidade.

ABSTRACT

BETIO, Monielen Monara. **Monitoring of the oscillation of the water level and groundwater quality in the former landfill area of Rolândia – PR.** 2014. 85p. Completion of Course Work – Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2014.

The lack of technical knowledge and investment in solutions regarding the problem of solid waste contributes to the formation of dumps. These areas become generating pollution by decomposition of organic matter causing adverse effect on the soil, surface water and groundwater. Thereby, investigative methods for assessing environmental impacts in areas of dump of paramount importance for the understanding of environmental processes. Therewith, the objective of this study is to assess the environmental impacts caused by buried mass of solid waste on the quality groundwater, in a disabled dump in the city of Rolândia – PR, monitoring conditions and behavior variation of the water aquifer relates to recharge rates continuous by precipitation. Three monitoring wells installed at the end of dump, in 2002, located downstream of the buried mass, and a nascent around were the tools this study. It monitored, in three wells, groundwater levels relate to recharge by precipitation. In the three wells and nascent the hydrochemical parameters were analyzed: pH, Electrical Conductivity, Total Solids, Fixed and Volatile, Turbidity, Chemical Oxygen Demand (COD), Nitrogen Ammonia, Nitrite, Nitrate and heavy metal Lead in groundwater. For nitrite, nitrate and lead contaminants were built maps with contamination contours. Currently, the location is abandoned, without any technical measures of prevention of the impacts caused by buried mass. The monitoring of fluctuations in groundwater levels in the three wells correlated with daily precipitation the period 09/ago to 10/nov showed that there is rapid response concerning recharge of water, favoring the migration of contaminants through saturated and unsaturated zone. Regarding the hydrochemistry of groundwater, in three wells, all parameter showed some divergence from the standards of potability established by national legislation, except Nitrogen Ammonia and COD, whose values were not detectable by the methodologies applied. Therefore, can be inferred that groundwater in the locations of old area is improper for human consumption, except the nascent that is outside the area of influence of the generated contamination plume. It is also concluded that the simples burial and abandonment were not sufficient to natural recovery, on the contrary, environmental impacts will continue for a long period indicating the need for environmental studies and actions for remediation and recovery of degraded areas.

Keywords: Lead. Contamination. Nitrate. Nitrite. Potability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Destinação final de RSU (t/dia) em todo o Brasil.	18
Figura 2 – Aquíferos confinados e livres.	20
Figura 3 – Mecanismos de recarga subterrânea difusa e localizada.....	21
Figura 4 – Bloco diagrama evidenciando a conformação topográfica da área de estudo.	35
Figura 5 – Bloco diagrama evidenciando a conformação topográfica, área de recarga e descarga do aquífero da área estudada.....	37
Figura 6 – Mapa de localização do antigo lixão de Rolândia PR.....	39
Figura 7 – Mapa de localização dos poços de monitoramento.....	41
Figura 8 – Esquema de construção dos poços de monitoramento.....	42
Figura 9 – Medidor de nível d’água.	43
Figura 10 – Mapa de localização dos pontos de coleta de água.....	44
Figura 11 – a) Foto com bailer utilizado para purgeamento dos poços; b) Em destaque coleta da amostra d’água em recipientes plásticos para armazenamento temporário e transporte das amostras.....	46
Figura 12 – Demonstrativo da aferição do pH.....	47
Figura 13 – Demonstração da aferição da Condutividade Elétrica.....	48
Figura 14 – Principais equipamentos utilizados na análise de sólidos. a) Mufla; b) Dessecador; c) Balança analítica.	48
Figura 15 – Turbidímetro disponível no laboratório.	50
Figura 16 – Esquema de montagem dos equipamentos para tamponamento da amostra.	50
Figura 17 – Aparelho destilador de Nitrogênio.	51
Figura 18 – Principais materiais utilizados na determinação do Nitrito.	52
Figura 19 – Espectrofotômetro UV-Visível.	53
Figura 20 – Cubeta de quartzo utilizada na determinação do Nitrato.....	54
Figura 21 – Tubos usados na determinação de DQO.	55
Figura 22 – Bloco Digestor utilizado na determinação de DQO.	55
Figura 23 – Resíduos Sólidos depositados diretamente no solo e a presença de catadores de lixo no local.	58

Figura 24 - Talude formado pelo despejo incorreto dos caminhões de coleta municipal e esteira de compactação.	58
Figura 25 – Ausência de drenos condutores de chorume, águas superficiais e gases.	59
Figura 26 – Situação atual da área do antigo lixão.	60
Figura 27 – Gráfico exibindo a correlação dos níveis d'água subterrânea com o somatório das precipitações diárias.	61
Figura 28 – Condutividade Elétrica nos pontos, com relação a data de medição.	66
Figura 29 – Mapa indicativo de isolinhas de concentrações de Nitrito (NO_2) na área de estudo.....	69
Figura 30 - Mapa indicativo de isolinhas de concentrações de Nitrato (NO_3) na área de estudo.....	70
Figura 31 – Mapa indicativo das isolinhas de contaminação de chumbo na área do antigo lixão.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações dos poços de monitoramento, profundidade total e do filtro.	42
Tabela 2 – Datas e parâmetros físico-químicos analisados.	46
Tabela 3 – Data de realização das medidas dos níveis freáticos e seus valores, além da somatória das precipitações dos dias anteriores.....	61
Tabela 4 – Padrões de referência para características físico-químicas das águas...64	
Tabela 5 – Valores de pH referentes as duas datas de coleta.	64
Tabela 6 – Valores de Condutividade Elétrica referentes as duas datas de coleta...66	
Tabela 7 – Valores referentes aos sólidos totais, fixos e voláteis.	67
Tabela 8 – Valores de turbidez referentes aos três poços e a nascente.	68
Tabela 9 – Valores referentes ao nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.....	69
Tabela 10 – Quantidade de chumbo referentes às amostras de água subterrânea. .72	
Tabela 11 – Comparação e redução do chumbo após doze anos nas águas subterrâneas nos três poços.	73
Tabela 12 – Resultados quantitativos das análises hidroquímicas em comparação às legislações.....	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	15
3.1.1 <i>Problemática dos Resíduos Sólidos</i>	16
3.1.2 <i>Diferenciação de Lixões, Aterros Controlados e Aterros Sanitários</i>	16
3.1.3 <i>Contaminação Ambiental pelos Lixões e Aterros</i>	18
3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	19
3.2.1 <i>Recarga Subterrânea</i>	21
3.2.2 <i>Poluição das águas subterrâneas</i>	23
3.2.3 <i>Propriedades da água</i>	25
3.2.4 <i>Parâmetros de qualidade da água</i>	25
3.2.4.1 pH – Potencial Hidrogeniônico	25
3.2.4.2 CE – Condutividade Elétrica.....	26
3.2.4.3 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.....	27
3.2.4.4 Turbidez	27
3.2.4.5 Nitrogênio – Amoniacal, Nitrito e Nitrato.....	28
3.2.4.6 DQO – Demanda Química de Oxigênio	29
3.2.4.7 Metais Pesados	29
3.2.4.7.1 Chumbo.....	32
3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.3.1 <i>Clima</i>	33
3.3.2 <i>Geomorfologia</i>	34
3.3.3 <i>Solo</i>	35
3.3.4 <i>Hidrogeologia</i>	36
4. MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1 ANTIGO LIXÃO DE ROLÂNDIA – PR	38
4.1.1 <i>Localização da Área Estudada</i>	38
4.2 MONITORAMENTO NÍVEL FREÁTICO	40
4.3 RECARGA AQUÍFERA POR PRECIPITAÇÃO – PARÂMETRO QUANTITATIVO	43
4.4 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	44
4.4.1 <i>Coleta das amostras</i>	45
4.4.2 <i>Parâmetros</i>	47
4.4.2.1 pH – Potencial Hidrogeniônico	47
4.4.2.2 CE – Condutividade Elétrica.....	47
4.4.2.3 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.....	48
4.4.2.4 Turbidez	49
4.4.2.5 Nitrogênio	50

4.4.2.5.1 Amoniacal.....	50
4.4.2.5.2 Nitrito	52
4.4.2.5.3 Nitrato.....	53
4.4.2.6 DQO – Demanda Química de Oxigênio	54
4.4.3 SURFER®.....	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 ANTIGO LIXÃO DE ROLÂNDIA – PR	57
5.1.1 Histórico	57
5.2 OSCILAÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO E A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA....	60
5.3 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA – QUALIDADE DA ÁGUA.....	63
5.3.1 pH – <i>Potencial hidrogeniônico</i>	64
5.3.2 CE – <i>Condutividade Elétrica</i>	65
5.3.3 <i>Sólidos Totais, Fixos e Voláteis</i>	67
5.3.4 <i>Turbidez</i>	68
5.3.5 <i>Nitrogênio – Amoniacal, Nitrito, Nitrato</i>	68
5.3.6 <i>DQO – Demanda Química de Oxigênio</i>	70
5.3.7 <i>Chumbo</i>	71
6 CONCLUSÃO	74
7 RECOMENDAÇÕES.....	76
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXO A.....	84
ANEXO B.....	85

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, associado ao processo de urbanização e industrialização, vem contribuindo sobremaneira para o agravamento da questão dos resíduos sólidos urbanos, principalmente no que tange ao tratamento e sua disposição final.

Os resíduos sólidos urbanos depois de passarem pelo processo de coleta, transporte e acondicionamento, necessitam de um local para ser disposto. Esses locais, dependendo de suas características geotécnicas e construtivas, podem ser classificados como aterros sanitários, quando existem sistemas de proteção contra a poluição dos solos e corpos d'água ou lixões, quando a ausência dessa proteção trazem riscos para poluição dos solos, ar e águas.

O surgimento dos lixões em grandes e pequenas cidades está ligado a falta de conhecimento técnico e de investimentos em soluções voltadas à problemática dos resíduos sólidos. Cabe ainda ressaltar que os lixões ou vazadouros a céu aberto são desprovidos de quaisquer critérios técnico-científicos e ecológicos de manejo, sendo consideradas áreas totalmente inaptas ao controle dos poluentes gerados pelo processo de decomposição da matéria orgânica tornando-se fontes potenciais de contaminação, gerando riscos ao meio ambiente e em particular para a qualidade dos solos, águas superficiais e subterrâneas.

A água subterrânea, uma vez contaminada, principalmente por substâncias tóxicas e persistentes, tem sua remediação e recuperação, condições técnicas e econômicas impraticáveis, pois, uma vez existente fonte de contaminação, liberando os seus produtos para a zona saturada, o fluxo das águas subterrâneas os transporta através de correntes advectivas ao longo de seu deslocamento, gerando-se assim uma pluma de contaminação.

Dessa forma, trabalhos que visem a aplicação de métodos de investigação para avaliar impactos ambientais em áreas de lixões (ativados ou desativados) são de suma importância para a compreensão dos processos ambientais. Principalmente, envolvendo condicionantes hidrogeológicos e hidroquímicos de aquíferos freáticos e das águas superficiais em áreas de influência, como ocorre no antigo lixão de Rolândia-PR, local objeto de estudo da presente pesquisa. Além

disso, tais estudos servirão de norteador para as ações de recuperação ambiental dos passivos amplamente espalhados por todo o país.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal da presente pesquisa consistiu em avaliar os impactos ambientais causados pela massa aterrada de resíduos sólidos do lixão desativado no município de Rolândia – PR sobre a qualidade das águas subterrâneas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho consistiram em:

- Descrever o histórico e a situação atual de contaminação do aquífero freático local;
- Monitorar e interpretar a dinâmica hidrogeológica do aquífero freático à jusante do antigo lixão de Rolândia frente às taxas contínuas de recarga por precipitação;
- Coletar amostras de água subterrânea;
- Analisar os parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE), Turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais, fixos e voláteis, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal e Chumbo para avaliação de sua qualidade;
- Contribuir na produção de conhecimento científico e tecnológico sobre impactos gerados por atividades irregulares de lixões.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A transformação da matéria e a produção de resíduos fazem parte integrante na vida e na atividade humana, desde os primeiros homínídeos. Posteriormente, com o início da atividade agrícola e de produção de ferramentas de trabalho, surgiram os lixos. Como os materiais utilizados eram de grande parte de origem natural, a sua disposição inadvertida não causava grandes impactos ao meio ambiente (BIDONE e POVINELLI, 1999). Além disso, o crescimento demográfico e a densidade populacional não tinham a importância atual.

À medida que as atividades do ser humano foram se transformando, este passou a gerar grande diversidade de resíduos, através das plantações, construções e armazenamento, modificando cada vez mais o ambiente (MELO, 2004). Esses produtos gerados ao final de cada processo econômico-produtivo que não tem mais finalidade ficou conhecido como lixo.

O termo lixo foi substituído por resíduos sólidos, e estes, que antes eram entendidos como meros subprodutos do sistema produtivo, passaram a ser encarados como responsáveis por graves problemas de degradação ambiental. Além disso, resíduos sólidos diferenciam-se do termo lixo porque, enquanto este último não possui qualquer tipo de valor, já que é aquilo que deve ser apenas descartado, os resíduos possuem valor econômico agregado, por possibilitarem o reaproveitamento no próprio processo produtivo. Este novo termo contribuiu para o desenvolvimento da política de gestão de resíduos sólidos, demandando um comportamento diferente dos setores públicos, produtivo e de consumo (DEMAJOROVIC, 1995).

3.1.1 Problemática dos Resíduos Sólidos

Segundo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – até 2008, 50,8% das comunidades brasileiras tem como solução para os resíduos sólidos sua disposição a céu aberto, o qual, estes são simplesmente descarregados sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública.

Essa forma de disposição facilita a proliferação de vetores (moscas, mosquitos, baratas, ratos), geração de maus odores, poluição das águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado, definido como mistura do chorume gerado pela degradação da matéria orgânica com a água da chuva, além de não possibilitar o controle dos resíduos que são encaminhados para o local de disposição (BIDONE e POVINELLI, 1999). Por ser um local aberto também não há o controle do fluxo de pessoas, possibilitando a atividades de catadores de resíduos recicláveis e consequente formação de suas moradias. Locais com essas características são chamados de lixões.

Assim, o lixo gerado pela atividade cotidiana dos cidadãos, pelos seus hábitos de consumo e pela produção industrial é um dos principais problemas vivenciados pelos grandes centros urbanos. Contudo, essa questão também aflige atualmente as cidades de pequeno e médio porte do Brasil, como é o caso do município de Rolândia, principalmente no que tange à antiga área destinada ao recebimento final dos resíduos sólidos que foram produzidos pelas atividades econômicas e sociais da cidade (MELO, 2004).

3.1.2 Diferenciação de Lixões, Aterros Controlados e Aterros Sanitários

O lixão é uma mera disposição do lixo a céu aberto, sem nenhum critério sanitário de proteção ao ambiente, que possibilita o pleno acesso de vetores de doenças como moscas, mosquitos, baratas e ratos ao lixo, tendo na recepção o homem no posto de separador de lixo, à espera da matéria-prima que possibilita a sua sobrevivência, convivendo com urubus, insetos, ratos e suscetíveis a doenças que através dele voltarão depois para os centros urbanos (FADINI, 2001).

O aterro controlado se diferencia do lixão, pois, segundo Bidone e Povinelli (1999), há preocupações tecnológicas executivas adotadas durante o desenvolvimento do aterro, como o recobrimento dos resíduos com material inerte, na maioria das vezes sem compactação, aumentando a segurança do local, minimizando os riscos à saúde pública e impactos ao meio ambiente, apesar da disposição dos resíduos ser feita no solo. É uma solução para municípios pequenos, os quais não dispõem de equipamentos compactadores. Até 2010, no Brasil, era adotado, segundo o IBGE (2010), por 22,5% dos municípios.

O aterro sanitário também é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, porém, segue critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos que são compactados e cobertos com material inerte ao final de cada dia, evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Esses critérios de engenharia materializam-se no projeto de sistemas de drenagem periférica e superficial para afastamento de água de chuva, drenagem de fundo para a coleta do lixiviado, de sistema de tratamento para o lixiviado drenado, de drenagem e de queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Este é, sem dúvida, uma interessante alternativa para disposição final dos resíduos sólidos para países em desenvolvimento como o Brasil. Segundo IBGE (2010), esta técnica tem aumentado no Brasil, em 1989, apenas 1,1% dos municípios brasileiros acataram esta técnica, e em 2008, 27,7% dos municípios possuem aterro sanitários como destino para seus resíduos sólidos.

Na última pesquisa realizada pela ABRELPE, sobre o panorama dos resíduos sólidos no Brasil em 2013, mostra que o destino de resíduos sólidos vem aumentando para aterros sanitários e controlados, reduzindo o destino para lixões, comparada a 2012 (Figura 1).

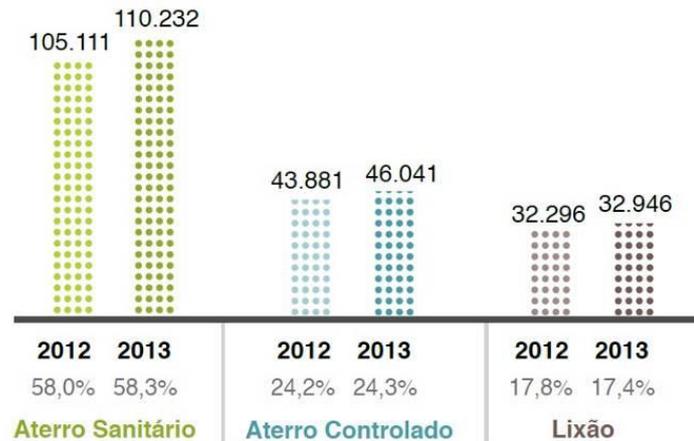


Figura 1 – Destinação final de RSU (t/dia) em todo o Brasil.
Fonte: ABRELPE (2013).

3.1.3 Contaminação Ambiental pelos Lixões e Aterros

Os resíduos sólidos urbanos acumulados continuamente em lixões ou aterros não são, contudo, inativos. Essa mistura de uma grande variedade química, sob a influência de agentes naturais, chuva e microrganismo, é objeto de evoluções complexas, constituídas pela superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Além da dissolução dos elementos minerais e do carreamento pela água de percolação das finas partículas e do material solúvel, o principal responsável pela degradação dos resíduos é a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas. O conjunto desses fenômenos dá origem aos vetores da poluição em aterros e lixões: o biogás e os lixiviados (CASTILHOS JR, 2003).

Através do biogás, o ar é contaminado pelo mau cheiro provocado pela emissão do mesmo e pela constante fumaça provocada pela combustão espontânea dos resíduos devido ao metano associados a pequenos incêndios provocados com o intuito de reduzir o volume de resíduos (MELO, 2004).

Os lixiviados são definidos como os líquidos provenientes de três fontes principais: umidade natural dos resíduos sólidos; água de constituição dos diferentes materiais que sobram durante o processo de decomposição; e líquido proveniente de materiais orgânicos pelas enzimas expelidas pelas bactérias. O movimento dos líquidos percolados no solo ocorre verticalmente na zona não saturada (CASTILHOS JR, 2003). A falta de conhecimento da hidrologia do local e as características do solo

são os fatores iminentes para a causa da poluição do solo e, conseqüentemente das águas subterrâneas e superficiais.

3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água é a substância mais abundante na superfície do planeta, participando dos seus processos modeladores pela dissolução de materiais terrestres e do transporte de partículas. É o melhor e mais comum solvente disponível na natureza e seu papel no intemperismo químico é evidenciado pela hidrólise (KARMANN, 2009, p. 186).

A condensação de gotículas a partir do vapor de água presente na atmosfera dá origem ao fenômeno da precipitação, que segundo Karmann (2009), pode seguir dois caminhos:

- Infiltração: que depende principalmente das características do material de cobertura da superfície. A água de infiltração, guiada pela força gravitacional, tende a preencher os vazios no subsolo, seguindo em profundidade, onde abastece o corpo de água subterrânea.
- Escoamento Superficial: ocorre quando a capacidade de absorção de água pela superfície é superada e o excesso é impulsionado pela gravidade para zonas mais baixas – córregos e rios – constituindo as redes de drenagem.

O escoamento superficial, com raras exceções, tem como destino final os oceanos, além de que parte da água de infiltração retorna a superfície através das nascentes, alimentando o escoamento superficial ou, através de rotas de fluxos mais profundas e lentas, reaparecendo nos oceanos (KARMANN, 2009).

A maior parte da água doce disponível sobre a Terra encontra-se na parte subterrânea, metade dela em profundidade que excede um quilômetro. Ao longo da profundidade do solo úmido, encontra-se a zona de aeração ou insaturada, onde as partículas de solo são cobertas com um filme de água, mas o ar se faz presente entre as partículas. Em mais baixa profundidade está a zona saturada, na qual a água desloca todo o ar desses espaços porosos (BAIRD e CANN, 2011, p. 640).

A parte de água que infiltra formam os aquíferos freáticos, que segundo CAICEDO (1993) podem ser apresentados em dois tipos: livres (não confinados) e

confinados, de acordo com o posicionamento da linha da água (superfície piezométrica). O aquífero confinado se encontra entre rochas impermeáveis e a uma pressão maior que a atmosférica. O aquífero livre, como o objeto desta pesquisa, por exemplo, está entre solos e rochas permeáveis, em contato direto com a pressão atmosférica e a superfície piezométrica é o limite superior (Figura 2).

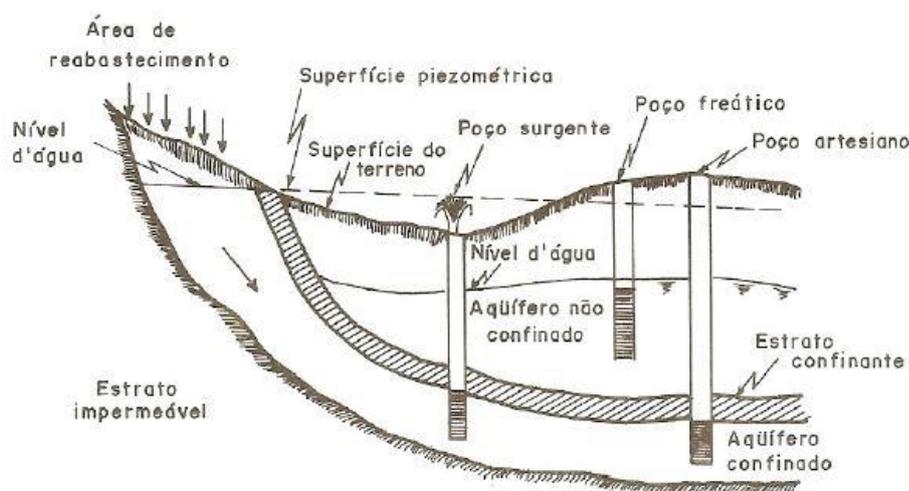


Figura 2 – Aquíferos confinados e livres.
Fonte: Caicedo (1993).

Segundo Caicedo (1993), os sistemas hidrogeológicos são classificados em: aquífero; aquíclode e aquícardo. O aquífero é uma formação geológica ou grupo de formação que contém água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas. Aquíclode é uma formação geológica que pode conter água, mas sem condições de movimentá-la de um lugar para outro, em condições naturais e em quantidades significativas. Aquícardo é uma formação geológica de natureza semipermeável e transmite água a uma taxa muito baixa.

Por causa da filtração através do solo e seu longo tempo de residência, a água subterrânea, contém muito menos matéria orgânica e microrganismos causadores de doenças do que água de lagos ou rios, contudo, este conceito pode estar errado devido recente evidências (BAIRD e CANN, 2011, p. 641).

3.2.1 Recarga Subterrânea

A recarga subterrânea é definida como o fluxo descendente de água que atinge o nível freático, somando-se ao armazenamento subterrâneo (HEALY, 2010). Aquíferos subterrâneos são, em níveis diversos, realimentados através de zonas ou áreas de recarga, ou diretamente, através de irrigação ou precipitações, o que, eventualmente, pode resultar em poluição de suas águas (HESPANHOL, 2003).

Healy (2010) distingue recarga entre difusa ou direta e recarga localizada ou indireta (Figura 3):

- Recarga direta ou difusa é a recarga distribuída sobre grandes áreas em resposta aos eventos de precipitação que infiltram na superfície do solo e percolam através da zona não saturada do solo até o nível freático;
- Recarga indireta ou localizada é o movimento de água vindo de corpos d'água superficiais, como rios, canais artificiais e lagos, ou de um aquífero subjacente.

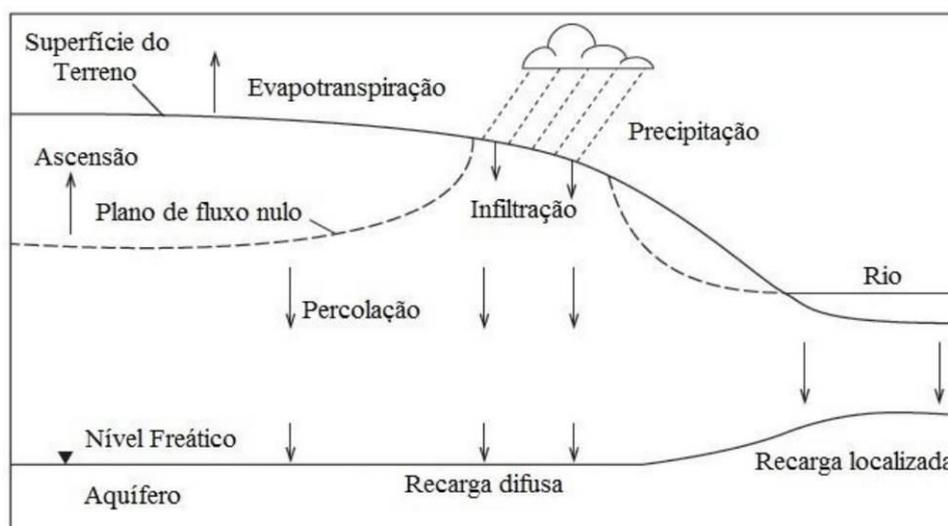


Figura 3 – Mecanismos de recarga subterrânea difusa e localizada.
Fonte: Healy (2010).

Para Hespanhol (2008) a recarga de aquíferos pode ser natural ou artificial. A recarga natural de aquíferos subterrâneos se realiza diretamente pela precipitação pluviométrica ou por meio de rios, lagos e reservatórios. A recarga natural é, evidentemente, efetuada sem nenhum controle ou seleção, podendo vir, também, a poluir os aquíferos subjacentes.

A condição mais crítica ocorre quando a recarga é influenciada pela atividade antrópica não planejada ou inconsciente, submetendo os aquíferos a um processo de contaminação por infiltração e/ou lixiviação associada à aplicação, no solo, de efluentes ou biossólidos e de fertilizantes e biocidas. Ocorre, ainda, pela infiltração de micropoluentes orgânicos e inorgânicos presentes em áreas degradadas, ou de combustíveis e chorume, oriundo de aterros sanitários ou depósitos de lixo a céu aberto, caracterizando uma recarga artificial (HESPANHOL, 2008).

A água que se infiltra está submetida a duas forças fundamentais: a gravidade e a força de adesão de suas moléculas às superfícies das partículas do solo (força de capilaridade e adsorção). Pequenas quantidades de água no solo tendem a se distribuir uniformemente pela superfície das partículas, pois a força de adesão é mais forte do que a força da gravidade que age sobre esta água (FETTER, 2001).

Chuvas finas e passageiras fornecem somente água suficiente para repor esta umidade do solo. Para que haja infiltração até a zona saturada é necessário primeiro satisfazer esta necessidade da força capilar (FETTER, 2001). Já a quantidade de água adsorvida irá variar de acordo com a mineralogia das partículas do solo.

Dessa forma, a infiltração e a percolação das águas pluviais através de uma camada de solo ou rocha alterada poluída provocam a migração de uma série de compostos químicos orgânicos e inorgânicos através da zona não-saturada, podendo alguns desses compostos atingirem a zona saturada e, portanto, poluir ou contaminar o aquífero (SANTOS, 2005).

O fluxo das águas subterrâneas, uma vez existente uma fonte de contaminação, transporta seus produtos através de correntes advectivas ao longo de seu deslocamento, gerando assim uma "pluma" poluente. Advecção é o mecanismo de transporte ocasionado pelo fluxo de água; com o deslocamento da água, os contaminantes (solutos) presentes na mesma se movem na direção das linhas de fluxo com uma velocidade que, em princípio, é igual à velocidade média linear da água, sem alterar a concentração na solução (FETTER, 2001).

3.2.2 Poluição das águas subterrâneas

O aquífero subterrâneo é alimentado pelas águas pluviais e superficiais, nas zonas de recarga, e ocasionalmente deságuam originando as fontes ou alimentando rios e lagos. Essa estreita relação entre água subterrânea e superficial reflete na influencia da contaminação de um sobre o outro (SANTOS, 2005).

Segundo CETESB (2014), o potencial de poluição da água subterrânea depende:

- Das características, da qualidade e da forma de lançamento do poluente no solo. Pois, quanto maior a persistência, menor capacidade de degradação e maior a mobilidade do poluente no meio, solo ou água subterrânea, maior o potencial de poluição. Aliado a isso, uma pequena quantidade de poluentes em regiões muito chuvosas, pode transportar rapidamente as substâncias para as águas subterrâneas, mesmo considerando a capacidade do solo em atenuar os efeitos.
- Da vulnerabilidade intrínseca do aquífero. Pois, a vulnerabilidade de um aquífero pode ser entendida como o conjunto de características que determinam o quanto ele poderá ser afetado pela carga de poluentes. São considerados aspectos fundamentais da vulnerabilidade: o tipo de aquífero (livre ou confinado), a profundidade do nível d'água, e as características dos estratos acima da zona saturada, em termos de grau de consolidação e litologia (argila a cascalho).

De forma geral, a poluição de águas subterrâneas pode ser de origem superficial ou profunda. Fontes de origem profunda são os poços mal construídos ou abandonados, que se transformam em vetores de contaminação entre diferentes aquíferos, e transmissão de poluição de um aquífero para o outro. Fontes de poluição de origem superficial são: fossas sépticas, infiltração de esgoto doméstico e industrial, cursos de água poluída se ligado à recarga natural, infiltração de fertilizantes e pesticidas, e disposição de lixo que infiltram chorume no solo, quando disposto de forma inadequada (BORSOI *et al.*, 1998).

Nos aterros, o chorume ou lixiviado é gerado pelo processo de degradação do lixo formado pela passagem de água da chuva no interior da massa aterrada. Apresenta-se como um efluente muito complexo, pois possui uma variedade de

compostos, tornando-se, assim, impossível estabelecer uma composição fixa, mas Christensen *et al.*, (2001) dividem os compostos presentes no lixiviado em quatro grandes categorias:

- **Matéria Orgânica Dissolvida (MOD):** correspondem a macromoléculas como ácidos húmicos e fúlvicos, lignina e ácidos graxos. A presença dessas substâncias, em grandes quantidades, no lixiviado faz com que este apresente características bem definidas, como cor escura, tensoatividade, atividade fotoquímica, alta capacidade de tamponamento, as quais afetam o comportamento das substâncias químicas no ambiente e modificam processo redox, solubilizando determinados metais e variando a toxicidade.
- **Compostos Orgânicos Xenobióticos (COX):** constituem-se de hidrocarbonetos aromáticos, compostos halogenados, compostos fenólicos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, além de outras substâncias caracteristicamente tóxicas, presentes em concentrações muito menores que os compostos húmicos e fúlvicos, porém com toxicidade muitas vezes maior que os outros componentes presentes no lixiviado.
- **Macrocomponentes Inorgânicos:** caracterizam-se por apresentar componentes inorgânicos essenciais em grandes quantidades, como íons sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cloretos, sulfato e amônio. As elevadas concentrações desses compostos estão associadas às suas altas solubilidade em água, variando consideravelmente suas concentrações ao longo das várias fases de decomposição do lixiviado.
- **Metais Pesados:** esses compostos, em geral, estão presentes em pequenas concentrações, as quais ainda diminuem ao longo dos anos. A formação de sulfeto na fase metanogênica faz com que grande quantidade desses metais seja precipitada. Uma pequena parcela presente no lixiviado está na forma complexada, e outro fator importante é a presença de colóides. Metais pesados têm alta afinidade com colóides e por isso, são adsorvidos na matéria orgânica dissolvida presente no lixiviado.

Esses compostos infiltram no solo, contaminando a zona saturada, que através das correntes advectivas formarão a pluma de contaminação.

3.2.3 Propriedades da água

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as principais características físicas, químicas e biológicas, diferenciando sua origem, importância sanitária e utilização (VON SPERLING, 2007).

No Brasil, a Portaria nº 2.914, de 02 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) define o padrão de potabilidade que a água destinada ao consumo humano deve atender, determinando os Valores Máximos Permissíveis (VMP) para as características bacteriológicas, organolépticas, físicas e químicas da água potável.

No tocante às águas subterrâneas, sua qualidade está intimamente ligada ao caminho percorrido, por entre o solo e as rochas até o aquífero, as rochas de composição dos aquíferos e a processos biológicos, físicos e químicos resultantes da interação água rocha, durante a percolação e o tempo de contato. São variáveis espaciais e temporais.

A composição química da água subterrânea é dependente da litologia do local do aquífero, uma vez que o tempo de exposição da água à rocha é maior do que para águas superficiais (FAGUNDES, 2010).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2002), devido ao maior contato com os materiais geológicos, baixa velocidade de fluxo e maiores pressões e temperaturas, as águas subterrâneas são geralmente mais mineralizadas do que as superficiais.

3.2.4 Parâmetros de qualidade da água

3.2.4.1 pH – Potencial Hidrogeniônico

O pH é um dos parâmetros ambientais mais importantes e difíceis de interpretar, devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo. Na maioria das águas naturais o pH é influenciado pela dissociação do ácido carbônico,

gerando valores baixos de pH (ácido) e das reações de íons carbonato e bicarbonato que elevam os valores de pH para Alcalinos (FAGUNDES, 2010).

Os principais constituintes responsáveis pelo pH apresentam-se como gases e sólidos dissolvidos de origem natural, como rochas, absorção dos gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, ou de origem antropogênica como os despejos industriais e domésticos. Valores de pH afastados da neutralidade afetam a vida aquática, o equilíbrio de compostos químicos e quando elevados possibilitam a proliferação de algas e a precipitação de metais (VON SPERLING, 2007).

É a medida de concentração de íons H^+ na água. Na água quimicamente pura, os íons H^+ estão em equilíbrio com os íons OH^- e seu pH é neutro, igual a 7. Os principais fatores que determinam o pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade (ATHAYDE Jr. *et al.*, 2009).

3.2.4.2 CE – Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica ou condutância específica indica a capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions – usualmente íons de ferro e manganês, além de K^+ , Cl^- , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} –, sendo, por consequência, diretamente proporcional à concentração iônica. Soluções nas quais se faz presente a maioria dos compostos inorgânicos apresentam condutividade elevada e, em contrapartida, compostos orgânicos que não se dissociam em soluções aquosas, quando presentes reduzem a transmissão da corrente elétrica (LIBÂNIO, 2010, p.41).

A condutividade elétrica da água relaciona a resistência elétrica ao comprimento e é expressa comumente em $\mu S.cm^{-1}$. A mesma vincula-se ao teor de salinidade, característica relevante para muitos mananciais subterrâneos e águas superficiais próximas ao litoral passíveis de intrusão de água salgada (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Macêdo (2007), a condutividade das águas superficiais e subterrâneas também é bastante variadas, podendo ser baixa em valores de $50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e variando até $50.000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, que é a condutividade do mar.

Embora não seja um parâmetro integrante do padrão de potabilidade brasileiro, constitui-se importante indicador de eventual lançamento de efluentes por relacionar-se à concentração de sólidos totais dissolvidos (STD). Em soluções mais diluídas esta relação aproxima-se de algo como STD igual a 0,5.CE (LIBÂNIO, 2010).

3.2.4.3 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Todas as impurezas, concentração de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos recursos hídricos (MACÊDO, 2007; LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2007).

De acordo com Libânio (2010), os sólidos totais são caracterizados, de acordo com o tamanho, em suspensos e dissolvidos, e com relação à natureza (voláteis ou orgânicos e fixos ou minerais). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se uma informação preliminar importante.

3.2.4.4 Turbidez

Comumente, respondem pela turbidez das águas naturais, fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos, e matéria orgânica e inorgânica particulada. Ainda que com menor frequência, a turbidez pode também ser causada pela precipitação de carbonato de cálcio para águas duras, de óxido de ferro e de compostos de alumínio em águas tratadas (LIBÂNIO, 2010, p.29).

A turbidez como característica física acaba por se constituir em uma inferência da concentração de partículas suspensas na água obtida por meio da

passagem de um feixe de luz através da amostra. Segundo American Public Health Association (2005), a turbidez passou a ser definida como expressão da propriedade óptica que faz a luz ser dispersa ou absorvida em vez de ser transmitida em linha reta através da amostra. Portanto, águas de mesma intensidade de turbidez podem apresentar partículas suspensas com características diferentes – em termos de tamanho, composição e forma –, de modo que os tipos de partículas não de interferir na transmissão da luz.

A turbidez natural das águas superficiais está geralmente compreendida na faixa de 3 a 500 NTU, e inferior a 1,0 NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez – para águas subterrâneas com significativa frequência decorrente da presença de ferro e manganês como também ocorre para a cor (LIBÂNIO, 2010).

3.2.4.5 Nitrogênio – Amoniacal, Nitrito e Nitrato

Em águas naturais o nitrogênio está presente nas formas orgânica e inorgânica, que são motivos de preocupação com respeito à saúde humana. Em soluções aquosas, a forma mais reduzida encontrada é amônia, NH_3 , e seus ácidos conjugados, e o íon amônio, NH_4 . A forma mais oxidada se apresenta como íon nitrato, NO_3^- , que está presente em sais e no ácido nítrico, HNO_3 . O intermediário entre esses extremos são os íons nitritos, NO_2^- (BAIRD e CANN, 2011, p.598). A amônia pode ser oxidada através das bactérias (nitrosomonas) a nitrito e, dando continuidade a oxidação as nitrobactérias, o transformam em nitrato (MACÊDO, 2007).

O contaminante inorgânico de maior preocupação em águas subterrâneas é o íon nitrato (NO_3^-), encontrado em águas não contaminadas em níveis de 4 a 9 mg.L^{-1} , indicam poluição remota, porque os nitratos são o produto final da oxidação do nitrogênio e são altamente solúveis facilitando a lixiviação e consequente contaminação do lençol freático (BAIRD e CANN, 2011; MACÊDO, 2007).

O excesso de íon nitrato em água potável é um potencial perigo à saúde, uma vez que pode resultar em metemoglobinemia em recém-nascidos, bem como em adultos com uma particular deficiência de enzimas. Isso ocorre pelo processo das bactérias do estômago de bebês, reduzir parte do nitrato em nitrito, que oxida os

íons ferro na hemoglobina no sangue de Fe^{2+} para Fe^{3+} , e por isso previne a própria absorção e transferência de oxigênio para células. O bebê torna-se azul e sofre interrupções em sua respiração (BAIRD e CANN, 2011).

Pelas Portarias nº 1469, de 2000, e nº 518, de 2004, do Ministério da Saúde, as quais estabelecem controles e vigilâncias da qualidade da água para consumo humano e padrões de potabilidade, o VMP para nitratos é de 10 mg.L^{-1} e para nitritos é de 1 mg.L^{-1} , valores que assemelham-se a Resolução CONAMA nº 357, de 2005, para classe 3 de água doce.

3.2.4.6 DQO – Demanda Química de Oxigênio

Os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) expressam a presença de matéria orgânica, constituindo-se em importante indicador de qualidade das águas naturais. Ambos indicam o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos em seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2007).

A DQO é determinada por titulação química com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) e abarca toda matéria orgânica – passível ou não de degradação pela ação bacteriana – e o resultado é obtido em menos de 3 horas, motivo este que torna esta análise mais vantajosa que a $\text{DBO}_{5,20}$ que leva 5 dias para a obtenção dos resultados. Desta forma, a DBO refere-se à matéria orgânica passível de ser estabilizada biologicamente, enquanto a DQO engloba a parcela estabilizada quimicamente, tendo, portanto, valor sempre superior (LIBÂNIO, 2010).

3.2.4.7 Metais Pesados

Os metais pesados estão localizados próximos ao meio e topo da tabela periódica. Suas densidades são altas comparadas aos materiais comuns. Os metais se diferenciam dos compostos orgânicos tóxicos, por não serem totalmente

degradáveis em formas não tóxicas, embora eles possam ser transformados em formas insolúveis e, portanto, biologicamente indisponível a menos que eles sejam novamente convertidos para espécies mais solúveis. O destino final para metais pesados normalmente são os solos e sedimentos (BAIRD e CANN, 2011).

Baird e Cann (2011, p.688) afirmam que a toxicidade de uma dada concentração de um metal pesado presente em um curso de água natural depende não somente de sua especificação, mas também, do pH da água e da quantidade de matéria orgânica suspensa e dissolvida, uma vez que as interações, como complexação e adsorção, podem remover alguns dos íons metálicos da atividade biológica potencial.

No solo, a interação dos metais pesados e sua disponibilidade, segundo Mirsal (2008), dependem de quatro fatores:

- Valor do pH e do potencial redox da água presente no solo.
- Atividade microbiológica.
- Concentração de todos os materiais complexantes no local.
- Temperatura.

A interação dos metais pesados com o solo se dá pela interligação dos seguintes processos, de acordo com Mirsal (2008):

- Adsorção: dependente de parâmetros físico-químicos, principalmente do pH e da absorvância do metal. Argilominerais adsorvem menores quantidades de metais do que os óxidos e materiais orgânicos. Já a matéria orgânica dissolvida pode aumentar a solubilidade do metal e ativar superfícies reativas de minerais.
- Difusão no solo: os íons metálicos se difundem no solo em diferentes taxas de acordo com seus raios iônicos e com o pH. O aumento do pH, no entanto, pode formar complexos hidróxidos que aumentam o raio iônico, diminuindo então a taxa de difusão e mobilidade dos metais pesados.
- Complexação: os íons metálicos se agregam à matéria orgânica, particularmente os ácidos húmicos e fúlvicos.

Em condições ácidas o fenômeno de adsorção é mais significativo no controle da dispersão, sendo que espécies hidrolisadas de metais são mais adsorvidas que íons livres. Os principais fatores que afetam o transporte dos metais pesados no solo são a intensidade de precipitação, evaporação, retenção de água e

propriedades hidráulicas do solo, assim como as propriedades de condutividade e difusão (MIRSAL, 2008).

Os principais componentes da fração mineral dos solos tropicais são as argilas coloidais, as substâncias húmicas e os óxidos de ferro e alumínio. Estes colóides possuem superfície de troca, carregada eletricamente, principalmente por cargas negativas, capaz de atrair íons e moléculas polarizadas, sendo responsáveis pela Capacidade de Troca Catiônica dos solos (CTC) (EMBRAPA, 2010).

De acordo com Manzoni e Minas (2002), a natureza do solo (presença de argila, matéria orgânica e alta capacidade de troca catiônica), somente é eficiente no sentido de limitar os processos que promovem a contaminação do solo e do lençol freático por metais pesados, mas é incapaz de eliminá-los ou anulá-los.

Na água, os metais pesados podem estar presentes em diferentes formas ou espécies, dependendo das condições físicas e químicas do meio, como íons livres, complexados com compostos solúveis orgânicos ou minerais (fração dissolvida), associados à matéria orgânica ou mineral insolúvel (fração particulada) (MELO *et al.*, 2012).

O pH e a quantidade de carbono de um dado curso d'água influencia na toxicidade dos metais presentes, pelo fato de que interações como complexação e adsorção podem remover de forma satisfatória alguns íons metálicos e eliminar sua atividade biológica potencial (BAIRD, 2002).

A mobilidade de metais pesados na água sofre influência dos argilominerais e matéria orgânica, presentes nos solos e sedimentos, assim como por quatro tipos de mudanças químicas (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2009):

Elevada concentração salina: cátions alcalinos e alcalinos terrosos competem com metais pelos sítios de complexação.

- Modificações nas condições redox: ocorrem em baixas concentrações de oxigênio pelo grande aporte de matéria orgânica, o que faz com que os óxidos de ferro e manganês sejam solubilizados, liberando assim metais pesados que possam estar incorporados ou adsorvidos.
- Diminuição do pH: o aumento da acidez da água causa dissolução dos carbonatos e hidróxidos, aumentando a dessorção de cátions metálicos complexados pela matéria orgânica.

- Aumento de agentes complexantes sintéticos e naturais: podem formar complexos solúveis de alta estabilidade com metais até então adsorvidos em material particulado.

3.2.4.7.1 Chumbo

Trata-se de um dos primeiros poluentes metálicos introduzidos pelo homem no meio ambiente. Um dos seus usos mais antigos começou em Roma, na construção de tubulações para o transporte de água, podendo ainda existir até hoje tubulações contendo chumbo, apesar de sua periculosidade (MIRSAL, 2008).

Em 2008 o Brasil aprovou a Lei nº 11.762 que fixa o limite máximo de chumbo de 0,06 % (base seca ou conteúdo total não volátil) em tintas mobiliárias e de uso infantil e escolar, vernizes e materiais similares (CETESB, 2012).

As principais vias de exposição da população geral ao chumbo são oral e inalatória. Os compostos orgânicos de chumbo, como chumbo tetraetila e tetrametila, se comportam como gases no trato respiratório e são mais absorvidos que as partículas de chumbo inorgânico, sendo absorvidos também através da pele (CETESB, 2012).

O chumbo na água é mais completamente absorvido pelo corpo do que o do alimento. Agora que muitas outras fontes de chumbo foram banidas, a água potável é responsável por cerca de um quinto da quantidade de chumbo ingerida pelos norte-americanos, cuja maior fonte é o alimento (BAIRD e CANN, 2011).

A maior parte do chumbo que percorre o organismo humano está presente no sangue, porém essa quantidade se eleva até chegar a um máximo, sendo que o excesso penetra nos tecidos macios, por exemplo, no cérebro. Após isso, o chumbo deposita-se nos ossos, substituindo o cálcio. A absorção do chumbo aumenta em pessoas deficientes de cálcio e é mais elevada em crianças do que em adultos. A dissolução dos ossos, que pode ocorrer em enfermos ou idosos, resulta na remobilização do chumbo para o sangue, causando efeitos tóxicos. Em níveis elevados o chumbo inorgânico (Pb^{2+}) é um veneno metabólico geral (BAIRD, 2002).

Em recursos hídricos a Resolução CONAMA nº 357, de 2005, na Classe 3, para água doce, permite 0,033 mg de Pb.L⁻¹, para a Classe 1, em água salobra, permite 0,010 mg de Pb.L⁻¹. A Portaria nº 36, de 1990, do Ministério da Saúde, indicava como VMP 0,050 mg de Pb.L⁻¹, sendo substituídas pelas Portarias nº 1469, de 2001, e nº 518, de 2004, que indicam o nível de 0,010 mg de Pb.L⁻¹, sendo mais restritivas.

3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Consiste no estudo físico do local, ou seja, um estudo que esclarece a dinâmica dos elementos essenciais para a compreensão da influência do lixão de Rolândia sobre o meio ambiente. Os principais elementos de estudo são o clima, a geomorfologia, o solo e a hidrogeologia do local.

3.3.1 *Clima*

As condições médias da atmosfera que identificam o clima de uma dada região são definidas segundo a situação geográfica de localização em relação ao planeta. Assim, situado no Hemisfério Sul e cortado pela linha do trópico de Capricórnio, o Estado do Paraná sofre influências de alguns fatores macroclimáticos, que lhe garantem o predomínio do clima subtropical (SANTOS, 2003).

Porém, a conformação topográfica paranaense atribui algumas diferenciações em relação aos subtipos climáticos, destacando-se o Cfa (Subtropical Úmido Mesotérmico), Cfb (Subtropical Super-úmido Mesotérmico), Af (Clima tropical super úmido) e Cwa, que se diferencia do Cfa pelo fato de apresentar estiagem no inverno (MELO, 1999).

Segundo a classificação de Köppen (Melo, 1999) Cfa é o tipo climático predominante em todo norte, oeste e sudoeste paranaense, em altitudes normalmente inferiores a 850-900 metros, que neste caso, abrange a área pesquisada. Predominantemente, as temperaturas médias do norte paranaense são

relativamente altas, com índices superiores a 22°C nos meses de verão e dificilmente inferiores a 18°C nos meses mais frios, enquanto que a precipitação média anual na região varia de 1500mm a 1700mm (MELO, 1999).

3.3.2 Geomorfologia

As formas no relevo do Estado do Paraná possuem as atuais características devido às ações predominantes dos sistemas hidrográficos, movimentos epirogênicos e tectônicos e pela influência das alterações do clima. O relevo paranaense pode ser agrupado em cinco regiões orográficas distintas: Litoral, Serra do Mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro Planalto (MAACK, 1981).

O norte paranaense, no qual envolve a área de estudo, possui evolução geomorfológica disposta por toda a bacia sedimentar do Paraná, inserida no Terceiro Planalto Paranaense, onde se desenvolve a estrutura geomorfológica das Cuestas Areníticas Basálticas (SANTOS, 2003).

Na região do antigo lixão de Rolândia o relevo é ondulado a suavemente ondulado, com vales pouco entalhados e vertentes longas e com baixa declividade (Figura 4). Com cotas topográficas variando entre 660 e 720 metros acima do nível do mar, a conformação topográfica da área de estudo possui inclinação suave no sentido W-E, obedecendo à drenagem do Ribeirão Vermelho, cujo sentido SW-NE obedece por sua vez, a drenagem do rio Paranapanema, do qual é afluente direto, constituindo ambos parte da Bacia do Rio Paraná (SANTOS, 2003).

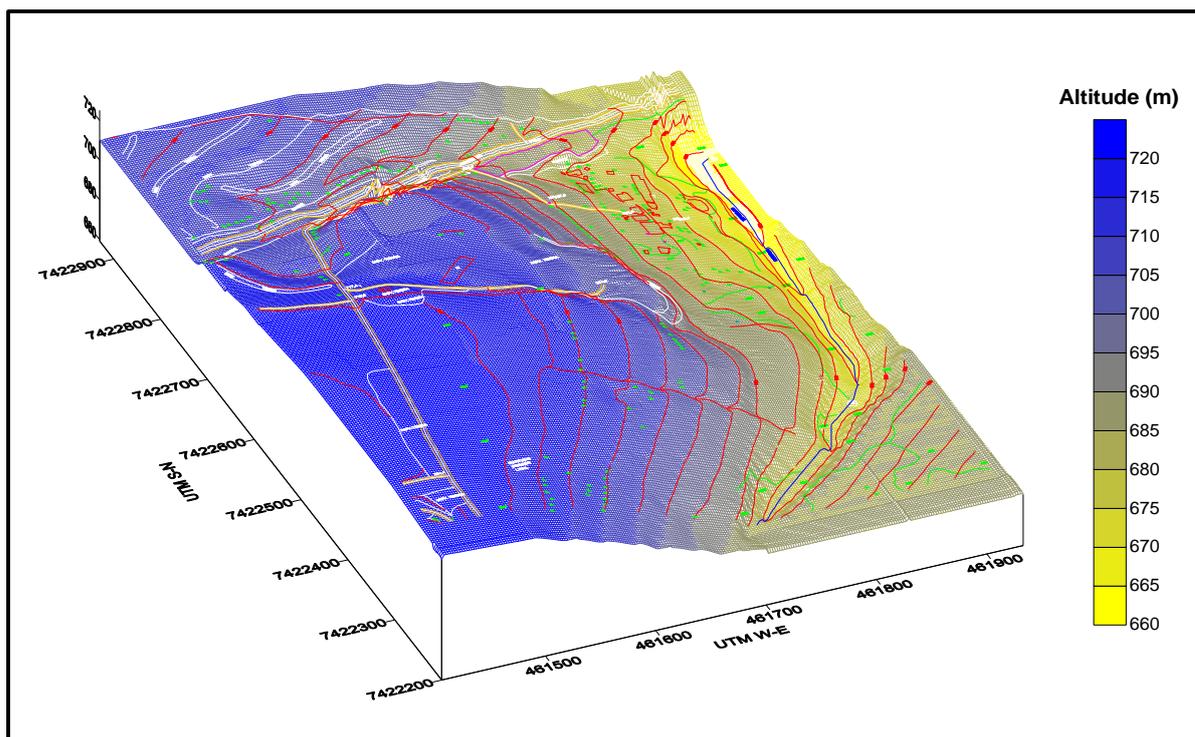


Figura 4 – Bloco diagrama evidenciando a conformação topográfica da área de estudo.
Fonte: Santos (2003).

3.3.3 Solo

O Latossolo Vermelho e o Nitossolo são as principais formações pedológicas encontradas na região do município de Rolândia. De modo geral, os solos na região em questão apresentam-se normalmente profundos, pouco suscetíveis à erosão.

O Latossolo Vermelho é um dos mais importantes solos do ponto de vista agrícola pela fertilidade natural apresentada. Sua coloração caracteriza-se pelo vermelho fosco, ou mesmo bruno avermelhado e quando umedecida parece tornar-se arroxeadada.

Suas características morfológicas apresentam poucas variações, fazendo com que os diversos horizontes se apresentem poucos individualizados e difusos. O Latossolo Vermelho é formado quase que completamente da rocha mãe (basalto) e constituído de grandes quantidades de ferro hidratado, dando-lhe a característica de coloração bastante escura (SANTOS, 2003).

3.3.4 Hidrogeologia

Na área estudada existem duas formas de ocorrência de água subterrânea: o aquífero freático e o sistema aquífero Serra Geral (CELLIGOI *et al.*, 2001).

O aquífero freático tem características essenciais de aquífero livre ou não confinado. Visto que possui camadas de solo e rocha alterada e é formado por sedimentos argilosos, constituindo-se em um meio poroso heterogêneo, geralmente pouco espesso e com baixa profundidade do nível saturado. Dessa forma, a recarga se dá diretamente a partir de águas pluviais nas áreas mais elevadas topograficamente, aumentando os riscos em relação à contaminação ou poluição das águas subterrâneas (SANTOS, 2003).

A superfície freática do local acompanha de uma forma geral a superfície do terreno evidenciada. A Figura 5 demonstra uma conformação topográfica cuja área de recarga local do aquífero freático se encontra nas porções mais elevadas do terreno, sendo a área de descarga localizada nas partes mais rebaixadas do relevo, em direção à calha do ribeirão Vermelho (SANTOS, 2003)

Ao contrário dos sistemas aquíferos sedimentares, os quais possuem certa homogeneidade física, o sistema Serra Geral, pelas suas características litológicas de rochas cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (FREEZE E CHERRY, 1979).

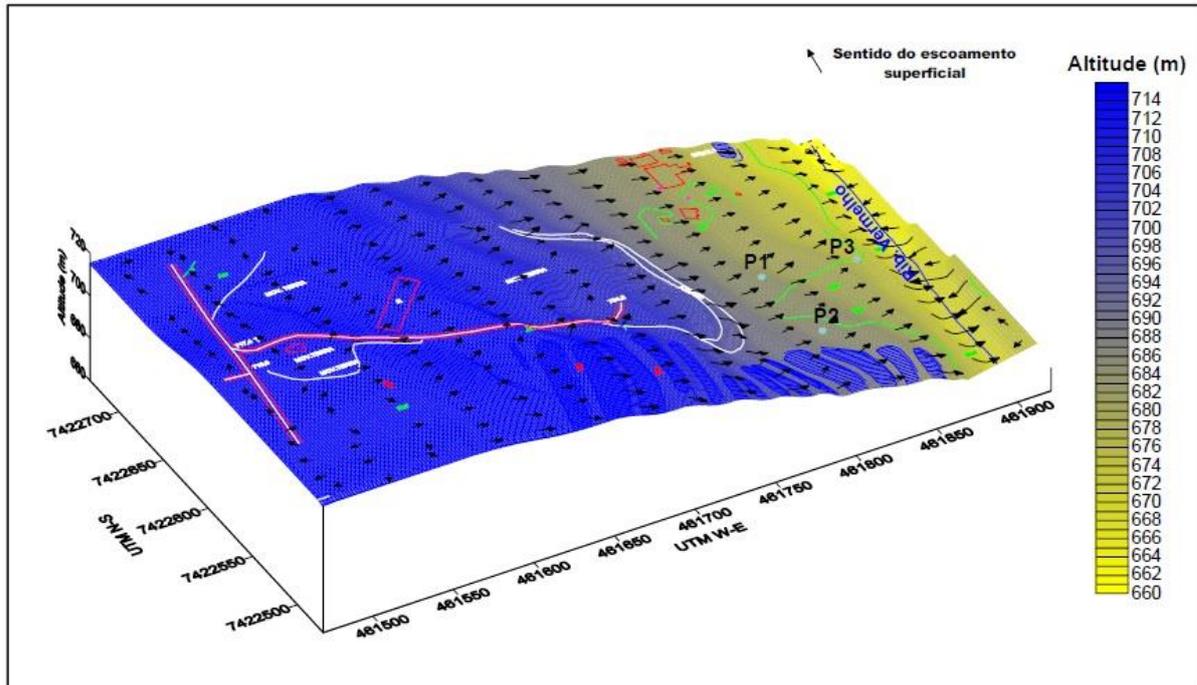


Figura 5 – Bloco diagrama evidenciando a conformação topográfica, área de recarga e descarga do aquífero da área estudada.

Fonte: Santos (2003).

Dessa forma, o modo de ocorrência da água subterrânea fica restrito às zonas de discontinuidades das rochas, as quais se constituem principalmente em estruturas tectônicas do tipo fratura e/ou falhamento (SANTOS, 2003).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram realizadas as seguintes etapas para o cumprimento dos objetivos propostos: pesquisa bibliográfica para análise e conhecimento da do histórico do local, monitoramento do nível freático através dos poços existentes no local, análise hidroquímica das amostras de água captada nos poços de monitoramento para detecção de influência de contaminação do lixão.

4.1 ANTIGO LIXÃO DE ROLÂNDIA – PR

4.1.1 Localização da Área Estudada

O município de Rolândia – PR está localizado na Microrregião Geográfica de Londrina, no Terceiro Planalto Paranaense, onde afloram as rochas vulcânicas basálticas da Formação Serra Geral. A área total do município compreende 467,31 km², altitude média de 730 metros. Tem como coordenadas geográficas no centro da cidade: Latitude 23° 19' 00" Sul e Longitude 51° 22' 00" Oeste.

A área de pesquisa localiza-se na área do perímetro urbano da cidade de Rolândia, mais precisamente na porção norte do município à vertente esquerda do ribeirão Vermelho (Figura 6). O local de estudo foi durante 60 anos o destino final da coleta pública de resíduos sólidos urbanos do município de Rolândia, antes de sua desativação em abril de 2002.

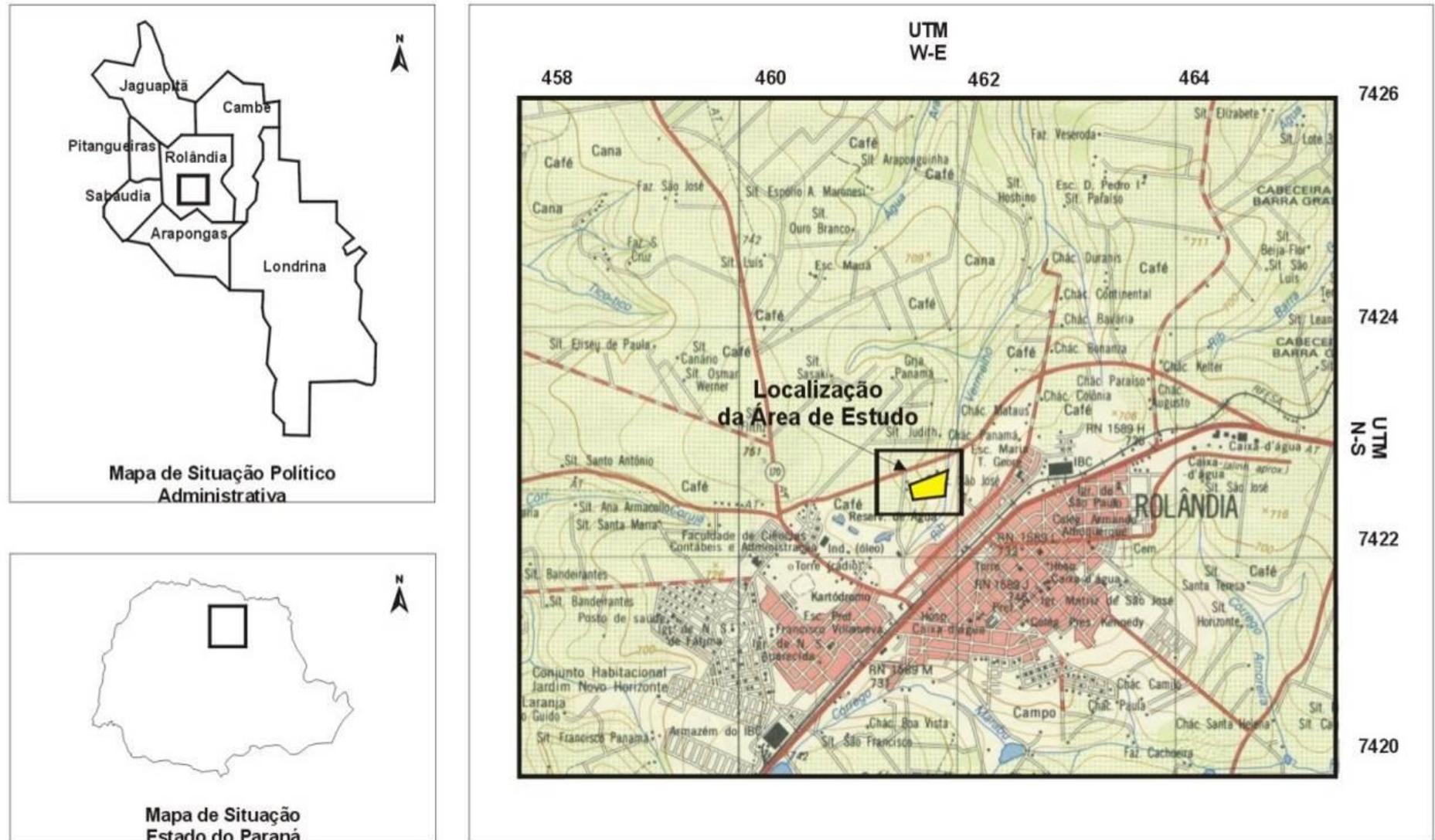


Figura 6 – Mapa de localização do antigo lixão de Rolândia PR.
Fonte: Santos (2003).

A área de estudo está inserida geologicamente nos limites da Bacia Sedimentar do Paraná, uma extensa depressão deposicional situada no centro-leste da América do Sul, abrangendo uma área de 1.600.000 km², sendo que sua maior extensão encontra-se no território Brasileiro (PETRI E FÚLFARO, 1983). Segundo Milani (2004) a atual forma da Bacia do Paraná foi definida por fenômenos geotectônicos durante o Mesozóico e o Cenozóico; a bacia apresenta limite erosivo ao longo da maior parte de seu perímetro, totalizando aproximadamente 5.500 km.

A área utilizada por mais de cinco décadas para disposição final de resíduos de todos os tipos, a céu aberto, possui área total de 65.318 m², área efetiva com lixo de cerca de 30.318 m² e com volume estimado de capacidade de 180.000 m³ de lixo depositado, localizada na bacia hidrográfica do ribeirão Vermelho, na vertente esquerda do referido ribeirão, aproximadamente 2 km da sua nascente.

4.2 MONITORAMENTO NÍVEL FREÁTICO

O monitoramento dos níveis de água subterrânea foi realizado quinzenalmente a partir de três poços instalados na área de estudo durante o processo de encerramento do lixão. Tais poços foram identificados como P1 (23°18'28"S - 51°21'54"O), P2 (23°18'27"S - 51°21'56"O) e P3 (23°18'24" S - 51°22'07"O) e se encontram a jusante do antigo lixão, entre o talude da massa de lixo aterrada e o ribeirão Vermelho (Figura 7).

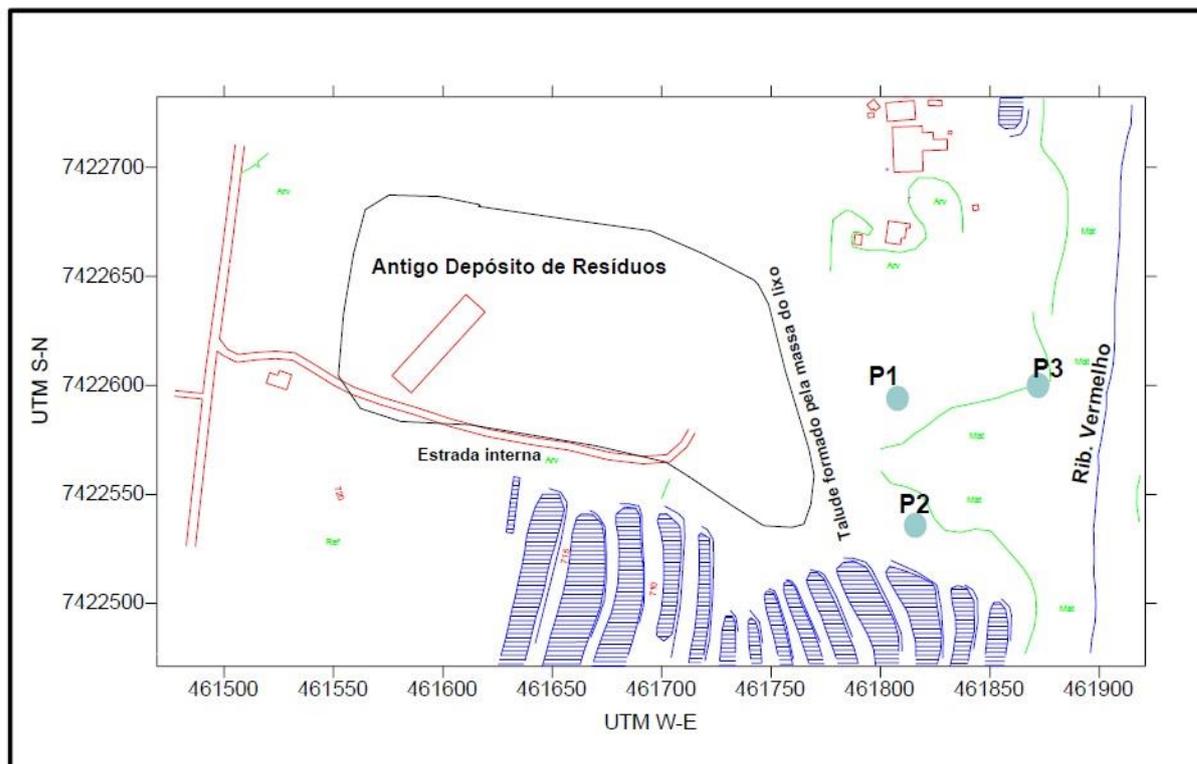


Figura 7 – Mapa de localização dos poços de monitoramento.
Fonte: Santos (2003).

O monitoramento do nível freático tem como objetivo fornecer dados sobre as condições de equilíbrio do aquífero freático em termos de evolução temporal da resposta dos níveis piezométricos frente aos volumes de recarga/infiltração direta nos períodos de chuva que ocorreram ao longo dos 4 meses de pesquisa, ou seja, durante os meses de Agosto a Novembro de 2014.

Segundo Santos (2003), os poços foram perfurados com base em critérios técnicos. Teve como empresa executora a GEOPOÇOS – Poços artesianos, cuja sede é localizada em Rolândia – PR. O equipamento utilizado foi a Sonda Perfuratriz Percussora que perfurou de forma rotopneumática. A perfuração adotada foi de Ø8”, recomendada para solo com rocha alterada. Os revestimentos utilizados foram: Tubos filtros de PVC Geomecânico Ø4”; e Tubos lisos de PVC Geomecânico Ø4”. Como complementação foi preenchido o espaço anelar com pré-filtro de granulometria entre 1 e 2 mm, com selo sanitário feito com bentonita e cimento na porção superior e tubo de boca de PVC com Ø8”, conforme ilustra a Figura 8.

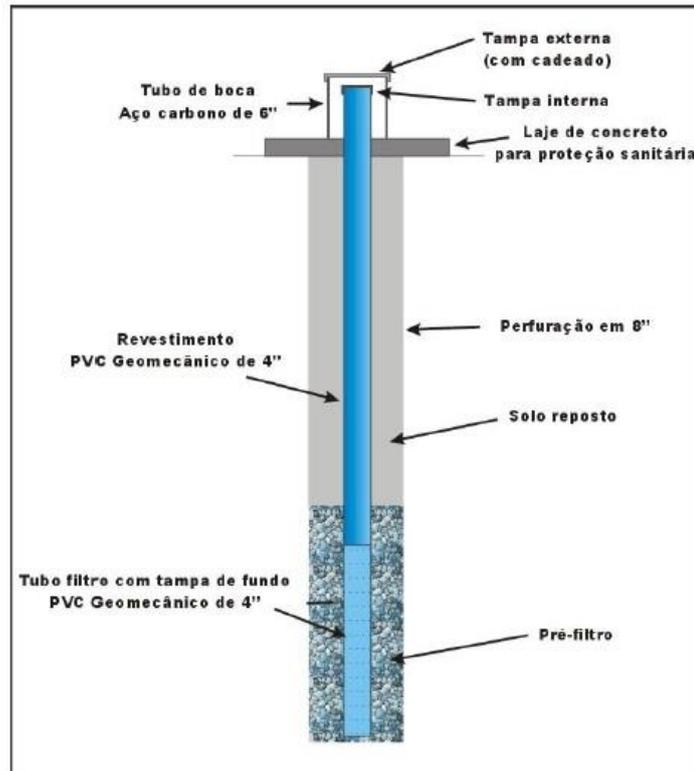


Figura 8 – Esquema de construção dos poços de monitoramento.
Fonte: Santos (2003).

A profundidade dos poços e a profundidade do tubo filtrante estão especificados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1- Especificações dos poços de monitoramento, profundidade total e do filtro.

Poço	Profundidade (m)	Filtro (m)
P1	14,00	2,00
P2	11,50	4,00
P3	7,50	4,00

Fonte: Geopoços – poços artesanais LTDA. Santos (2003).

Para o acompanhamento regular da evolução dos níveis estáticos subterrâneos dos poços de monitoramento utilizou-se um medidor de nível d'água elétrico modelo: HSNA-100, da HS Hidrosuprimentos (Figura 9). Tal equipamento possui uma sonda com um sensor na ponta de uma fita resistente de nylon graduada em milímetros, que ao tocar a água fecha um circuito ativando um sinal sonoro e luminoso alimentado por baterias de 9 volts.



**Figura 9 – Medidor de nível d'água.
Fonte: Autor (2014).**

As medições do nível de água subterrânea foram efetuadas durante o período de Agosto a Novembro de 2014 com frequência média quinzenal, totalizando 7 medições. Nas visitas de campo era feito, primeiramente, a inspeção, checagem e verificação dos equipamentos, a fim de garantir a imediata atualização das informações e o perfeito funcionamento das estações de controle, seguido de coleta dos dados e posterior cálculo da oscilação média do nível freático.

4.3 RECARGA AQUÍFERA POR PRECIPITAÇÃO – PARÂMETRO QUANTITATIVO

O regime pluviométrico é um dos principais fatores que influenciem na taxa de degradação dos resíduos e a produção do percolado, e a conseqüente poluição dos aquíferos adjacentes aos lixões. Além disso, as chuvas influenciam diretamente o comportamento do nível freático local associado ao volume de infiltração que efetivamente chega ao lençol freático em forma de recarga aquífera (SILVA, 2014).

A partir dos dados dos níveis freáticos e dos valores diários de precipitação fornecidos pela estação meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR (2014) localizado na Rodovia Celso Garcia Cid km 375, em Londrina – PR, com coordenadas 23°21'43"S e 51°9'59"W, foi realizado, para melhor interpretação, um cruzamento destes dados no programa *Microsoft Office Excel 2007* com a finalidade

de verificar o volume total de chuvas e avaliar os aspectos relacionados à recarga do aquífero freático local a partir do monitoramento da variação dos níveis na área em estudo.

Estes resultados complementaram os resultados obtidos por Silva (2014), no período de Agosto de 2013 a Julho de 2014, dando continuidade ao trabalho da autora, dando um maior período de tempo de pesquisa.

4.4 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA

A avaliação hidroquímica foi realizada nas águas subterrâneas coletadas nos três poços e em um ponto de surgência natural, denominada N, localizada a cerca de 2 km de distância dos poços (Figura 10). Esta nascente serviu de base de referência de água como provável livre de contaminação, uma vez que, após análise *in loco* da área, apontou que o uso do solo no entorno e zona de recarga da surgência não acarreta riscos de contaminação para as águas subterrâneas e ainda, analisando o trabalho de Santos (2003), o qual indica que esta zona está fora do sentido do fluxo de água subterrânea que passa pela massa de resíduos aterrada no antigo lixão.

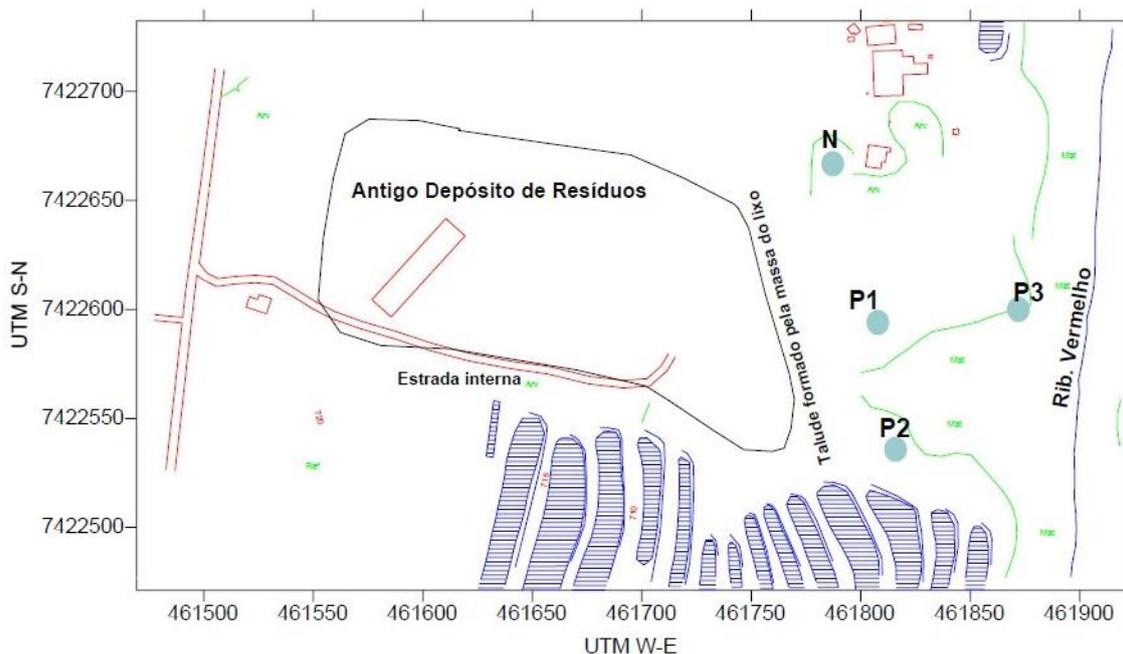


Figura 10 – Mapa de localização dos pontos de coleta de água.
Fonte: Autor (2014).

4.4.1 Coleta das amostras

A água parada no poço pode não ser representativa da qualidade da água do local. Portanto, foi necessário remover a água estagnada no poço e no pré-filtro, de tal forma que a água de formação substitua a água estagnada (CETESB, 1999).

As amostras foram coletadas, armazenadas e transportadas seguindo as recomendações da norma CETESB 6410 de 1988 atualizada em 1999, adaptada da norma NBR 13.895 de Junho de 1997.

Primeiramente, os poços foram estagnados utilizando-se tubos coletores descartáveis de PVC tipo bailer, de diâmetro externo de 41 mm, para, primeiramente o purgeamento ou esvaziamento e posterior coleta de água dos poços de monitoramento, possui comprimento de 95 cm e capacidade de 1,1 litros (Figura 11a).

Os poços P1 e P2 foram purgeados cerca de 20 vezes e o P3, 15 vezes para promover a recirculação da água no interior do poço. Ao remover a água estagnada dos poços é necessário esperar para recuperação do nível estático dos poços. Cabe destacar ainda, que todo o processo deve ser conduzido delicadamente para não haver alteração das propriedades físicas da água, especialmente a turbidez.

Após o retorno de água do aquífero, utilizando o bailer obtêm-se, então, as amostras de água, estas foram armazenadas em frascos plásticos de polietileno esterilizados, sendo um para cada poço, evitando a contaminação entre os poços (Figura 11b). Esses recipientes com as amostras d'água foram armazenados em bolsa térmica contendo gelo em cubos para resfriamento e conservação das propriedades físicas da água.



Figura 11 – a) Foto com bailer utilizado para purgeamento dos poços; b) Em destaque coleta da amostra d'água em recipientes plásticos para armazenamento temporário e transporte das amostras.
Fonte: Autor (2014).

Foram realizadas 2 campanhas para coleta das amostras, sendo a primeira realizada em 04 de outubro e a segunda, em 10 de novembro de 2014. Na primeira data as amostras coletas foram encaminhada para o Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Londrina. A segunda coleta foi realizada em duplicatas, sendo que, desta duplicata, uma amostra foi encaminhada para laboratório especializado para detecção do chumbo e a outra amostra foi para o Laboratório de Saneamento Ambiental da UTFPR campus Londrina. Todos os parâmetros analisados, de acordo com a data que foi realizada a coleta, estão evidenciados na Tabela 2.

Tabela 2 – Datas e parâmetros físico-químicos analisados.

Parâmetro	Data	
	04/out	10/nov
Físico	pH	pH
	CE	CE
	Série de Sólidos ¹	Turbidez
Químico	DQO	Nitrito
	-	Nitrato
	-	N-amoniacal
	-	Chumbo ²

Nota¹: Sólidos totais, fixos e voláteis.

Nota²: Amostra encaminhada para Laborsolo Laboratórios em Londrina-PR.

4.4.2 Parâmetros

Em todos os parâmetros, incluindo a detecção de chumbo realizada em laboratório especializado, as metodologias aplicadas seguem as especificações indicadas no Standard Methods Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WEF, 2012).

4.4.2.1 pH – Potencial Hidrogeniônico

O pH foi medido diretamente na amostra, sem transferi-la para outro frasco para reduzir ao máximo as perdas por agitação e volatilização, após calibração do medidor de pH com solução tampão padrão. O equipamento utilizado foi o pHgâmetro de bancada da ION pH B500 (Figura 12).



Figura 12 – Demonstrativo da aferição do pH.

4.4.2.2 CE – Condutividade Elétrica

A CE também foi medida diretamente na amostra. O condutivímetro usado foi o de bancada, Thermo Scientific Orion 3 star Conductivity Benchtop, disponível no laboratório, após calibração com solução tampão (Figura 13).



Figura 13 – Demonstração da aferição da Condutividade Elétrica.

4.4.2.3 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Primeiramente, estes parâmetros foram analisados em duplicatas, para diminuição dos erros experimentais. Foram usados 8 cadinhos com capacidade de 70 ml. Estes foram calcinados em mufla (Figura 14a) a 580°C por 30 minutos. Após esse tempo, colocou-os em um dessecador (Figura 14b), a fim de aguardar o resfriamento. Pesaram-se os cadinhos em balança analítica (Figura 14c) anotando sua massa em gramas (P_0). Em seguida, acrescentou-se 50 ml de amostra no cadinho. Esta amostra foi levada à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 105°C por 24 horas.



Figura 14 – Principais equipamentos utilizados na análise de sólidos. a) Mufla; b) Dessecador; c) Balança analítica.

Após 24 horas na estufa os cadinhos foram colocados em um dessecador para aguardar o resfriamento. Em seguida, os cadinhos foram pesados em balança analítica, obtendo-se o peso da amostra seca (P_1).

Logo, calculou-se o peso dos sólidos totais a partir da fórmula abaixo:

$$ST (mg.L^{-1}) = \frac{(P_1 - P_0) \times 1000 \times 1000}{\text{volume amostra (ml)}} \quad (1)$$

Onde:

P_0 = Peso apenas do cadinho em gramas;

P_1 = Peso da amostra seca após estufa a 105°C + Peso do cadinho em gramas.

O material seco obtido dos sólidos totais (P_1) foi levado à mufla e mantida à temperatura de 580°C por 2 horas. Iniciou-se a contagem do tempo somente quando a mufla atingiu 580°C. Após esse tempo, aguardou-se o resfriamento da mufla até que esta atingisse 390°C. Em seguida, colocou-se os cadinhos no dessecador para aguardar seu total resfriamento. Finalmente, pesou-se o material em balança analítica obtendo o peso dos sólidos fixos (P_2), e através de cálculos obtêm-se o peso dos sólidos voláteis.

$$SV (mg.L^{-1}) = \frac{(P_1 - P_2) \times 1000 \times 1000}{\text{volume amostra (ml)}} \quad (2)$$

Onde:

P_2 = Peso amostra seca após mufla a 580°C + Peso do cadinho em gramas.

4.4.2.4 Turbidez

Para a determinação da turbidez das amostras, estas foram colocadas em tubos específicos para o turbidímetro de bancada da marca Hach 2100 AN Turbidimeter, disponível no laboratório de saneamento (Figura 15).



Figura 15 – Turbidímetro disponível no laboratório.

4.4.2.5 Nitrogênio

4.4.2.5.1 Amoniacal

Para a determinação do nitrogênio amoniacal, primeiramente foi retirada uma alíquota de 100 ml da amostra e colocada em um erlenmeyer de 250 ml sobre um agitador magnético com uma pHgâmetro cujo sensor é colocado de forma a não encostar na barra misturadora magnética (pulga ou pílula), conforme esquema apresentado na Figura 16. Todo este aparato é montado devido a necessidade da amostra ser tamponada a um pH maior de 9,5, a solução usada é a de Hidróxido de Sódio (NaOH) 6N e nesta adicionou-se 5 ml de Solução Tampão de Borato para evitar a hidrólise de tiocianatos e outros compostos orgânicos.



Figura 16 – Esquema de montagem dos equipamentos para tamponamento da amostra.

Em seguida, a amostra foi transferida para um frasco Kjeldahl para destilação e acoplada no destilador. O destilador utilizado é Destilador de Nitrogênio da marca SOLAB modelo SL-74 disponível no laboratório (Figura 17).



Figura 17 – Aparelho destilador de Nitrogênio.

A amostra foi destilada e acoplada ao destilador, bem próxima a mangueira para evitar perdas do N-amoniaco por volatilização, colocou-se 50 ml de solução de Ácido Bórico e indicador misto em um erlenmeyer de 250 ml para ser utilizado como solução Absorvente. Aguardou-se a destilação de 200 ml de amostra. Esta amostra destilada foi titulada com Ácido Sulfúrico 0,02N até o ponto final se adequar a amostra destilada com água deionizada (branco), que foi considerado como referencial da titulação. Este método é indicado para a faixa de concentração de 5 a 100 mg N-NH₃.L⁻¹.

A determinação da quantidade de N-amoniaco foi feita através dos seguintes cálculos:

$$N - NH_3 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{volume A} - \text{volume B}) \times 280 \times f}{\text{volume amostra (ml)}} \quad (3)$$

Onde:

Volume A – volume de Ácido Sulfúrico gastos na titulação da amostra em ml;
Volume B – volume de Ácido Sulfúrico gastos na titulação do referencial branco;

f – fator de correção do Ácido Sulfúrico igual a 0,97.

4.4.2.5.2 Nitrito

Para a determinação do parâmetro Nitrito foi necessário diluir a amostra. A diluição feita foi de 1:10 em um balão volumétrico de 100 ml. Com uma pipeta volumétrica de 10 ml, colocou-se 9 ml da amostra diluída em tubos, adicionou-se 0,2 ml da solução de Sulfanilamida, com uma pipeta automática, seguido de agitação do tubo com tampa, deixando de repouso de 2 a 8 minutos. Após esse tempo, foi adicionado 0,2 ml de N-(1-naftil)-etilenodiamino dihidroclorídrico, tampou-se e agitou-se imediatamente. O mesmo procedimento foi feito em um tubo contendo água destilada, como amostra em branco, sem Nitrito. A Figura 18 mostra os principais materiais utilizados na realização deste experimento.



Figura 18 – Principais materiais utilizados na determinação do Nitrito.

Primeiramente, foi realizada a leitura do tubo contendo em branco, sem nitrito para “zerar” o equipamento. Posteriormente, leu-se as amostras. O equipamento para a leitura utilizado foi o Espectrofotômetro UV-Visível, marca HACH modelo

DR500, (Figura 19) no modo single wavelength com comprimento de onda (λ) igual a 543 nm. A leitura foi realizada em absorvância (Abs).

Após a leitura, usou-se a equação da reta obtida através da curva de calibração. O resultado foi multiplicado por 10.



Figura 19 – Espectrofotômetro UV-Visível.

4.4.2.5.3 Nitrato

Na determinação do Nitrato utilizou-se a mesma amostra usada na determinação do Nitrito diluída 1:10. Colocou-se a amostra diluída diretamente na cubeta de quartzo (Figura 20) que foi inserida no Espectrofotômetro UV-Visível. Foram realizadas duas leituras em cada amostra, no modo single wavelength, com comprimento de onda (λ) 220 e 275 nm. O branco foi feito com a cubeta de quartzo contendo apenas água, que também foi lido nos dois comprimentos de onda para “zerar” o equipamento.



Figura 20 – Cubeta de quartzo utilizada na determinação do Nitrato.

A leitura feita com dois comprimentos de onda é necessário pois o $\lambda = 220$ nm faz a leitura da matéria orgânica e do nitrato na amostra, e o $\lambda = 275$ nm faz a leitura apenas da matéria orgânica. A leitura em 275 nm não deve exceder 10% do valor lido em 220 nm. Se isto ocorrer, significa que a matéria orgânica não foi totalmente removida.

Por esse motivo, o cálculo da absorbância do Nitrato foi feito da seguinte forma:

$$\text{Absorbância NO}_3 = (\text{absorbância } 220 \text{ nm}) - 2 \times (\text{absorbância } 275 \text{ nm}) \quad (4)$$

Após a correção da determinação da absorbância do Nitrato, este valor foi inserido na equação da reta obtida através da curva de calibração para Nitrato. O resultado foi multiplicado por 10.

4.4.2.6 DQO – Demanda Química de Oxigênio

Este parâmetro foi determinado através da metodologia de fluxo fechado. Primeiramente, em duplicatas, foi adicionado em tubos próprios para DQO (Figura 21), 1,5 ml de Solução Oxidante, esta solução contém como base Dicromato de Potássio e Ácido Sulfúrico. Em seguida, foi adicionado 3,5 ml da Solução de Catálise, esta solução é feita com Sulfato de Prata e Ácido Sulfúrico. Logo depois, é adicionada a amostra, não diluída, nesta ordem. Fechou-se e agitou-se imediatamente.



Figura 21 – Tubos usados na determinação de DQO.

Os tubos foram digeridos a 150°C em bloco digestor da marca PoliControl Thermo Digest, (Figura 22) por 2 horas. Foram imediatamente retirados e após o total resfriamento dos tubos, realizou-se a leitura no Espectrofotômetro UV-Visível, no modo single wavelength, com $\lambda = 420$ nm. Para este método, por serem amostras com pequena concentração de DQO, é necessário “zerar” o espectrofotômetro apenas com água destilada.

Uma vez feito a leitura, em absorbância, em duplicatas, fez-se a média das amostras, inclusive da leitura do branco (apenas água). Este valor foi inserido na equação da reta obtida através da curva de calibração.



Figura 22 – Bloco Digestor utilizado na determinação de DQO.

4.4.3 SURFER®

Com o monitoramento dos níveis freáticos e obtenção dos resultados analíticos dos parâmetros físicos e químicos, foi possível a construção de mapas de concentrações químicas dos compostos, nitrato, nitrito e chumbo, utilizando o *software Golden Software Surfer*, visando apresentar importantes resultados através da interpolação dos diferentes resultados hidroquímicos levantados para área de estudo, além da determinação de linhas de preferências de fluxo de água subterrânea.

Através das coordenadas de um mapa base, geram-se pontos de referência com os eixos de abscissas e ordenadas. Os pontos em estudo são plotados no programa através da identificação destas coordenadas, onde uma terceira coordenada é adicionada, criando-se então um parâmetro quantificado. O conjunto de pontos é interpolado resultando gráficos com curvas ou picos de concentração. A partir das coordenadas do ponto e dos valores assumidos pela variável nesses pontos, pode-se obter um mapa da distribuição espacial para cada variável, utilizando-se um algoritmo de interpolação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANTIGO LIXÃO DE ROLÂNDIA – PR

5.1.1 Histórico

Os resíduos domésticos, coletados pela Prefeitura Municipal de Rolândia, tiveram como destinação final até abril do ano de 2002, um *vazadouro a céu aberto*, ou mais popularmente conhecido como *lixão* (SANTOS, 2003).

O funcionamento do lixão teve início nos anos 40, até que foi decretado o seu encerramento pela prefeitura municipal após 60 anos de funcionamento, quando a área ultrapassou o limite máximo de saturação para recebimento dos resíduos urbanos e também pela proximidade de conjuntos habitacionais, provocados pela expansão urbana do município (MELO, 1999).

O manejo dos resíduos sólidos urbanos no local, anterior ao seu encerramento, era totalmente equivocado em relação aos critérios técnicos ambientais e sanitários para a adequada destinação e tratamento final de resíduos. Segundo Melo (1999), o lixo urbano de Rolândia era disposto diretamente ao solo natural, não havendo a cobertura constante do lixo por material inerte após a conclusão de cada jornada de trabalho, possibilitando assim a ação de catadores de lixo no local, conforme evidencia a Figura 23.



**Figura 23 – Resíduos Sólidos depositados diretamente no solo e a presença de catadores de lixo no local.
Fonte: Melo (1999).**

Na tentativa de reduzir o volume de resíduos, Melo (1999) afirma que os caminhões da coleta municipal despejavam os resíduos e estes eram compactados superficialmente por uma esteira, ou por vezes empurrados vertente abaixo, conforme mostra a Figura 24.



**Figura 24 - Talude formado pelo despejo incorreto dos caminhões de coleta municipal e esteira de compactação.
Fonte: Melo (1999).**

Melo (1999) afirma ainda que o lixão recebia os mais diversos tipos de resíduos, principalmente matéria orgânica proveniente de coleta domiciliar, que após a sua disposição ficavam expostos completamente às condições meteorológicas, o que facilitava a combustão espontânea, a decomposição do lixo e a produção de percolato no qual não recebia qualquer tipo de tratamento, somada a inexistência de drenos condutores de chorume, água superficial ou gases (Figura 25).



Figura 25 – Ausência de drenos condutores de chorume, águas superficiais e gases.

Fonte: Melo (1999).

5.1.2 Situação Atual

Hoje, a antiga área de destinação final dos resíduos sólidos urbanos do município de Rolândia encontra-se em total estado de abandono. Após o encerramento do lixão não ocorreu no local a recuperação da área degradada, a fim de minimizar os impactos ambientais e sanitários, bem como a melhoria dos aspectos paisagísticos.

O local onde eram depositados os resíduos foi totalmente coberto por solo, e o aspecto físico aparenta um talude de cerca de 8 a 10 metros de altura formada pela massa de lixo disposta durante os 60 anos de funcionamento do lixão

(SANTOS, 2003). Não é possível observar as diversas camadas de resíduos compactadas, pois a área está totalmente ocupada por vegetação secundária (Figura 26).



Figura 26 – Situação atual da área do antigo lixão.
Fonte: Silva (2014).

No entanto, a massa de resíduos recoberta está em contínuo processo de decomposição anaeróbia, a qual é lenta e perdurará ao longo dos anos, gerando percolados e condicionando ainda sérios riscos ao meio ambiente e a saúde pública (SANTOS, 2003).

5.2 OSCILAÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO E A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os valores medidos através do medidor de nível estão apresentados na Tabela 3, de acordo com as datas de realização. No entanto, vale ressaltar que valores altos equivalem a rebaixamento no nível freático e valores baixos equivalem a aumento no nível com relação a profundidade. Também está apresentada a somatória das precipitações diárias obtidas pela estação meteorológica do Instituto

Agrônomo do Paraná - IAPAR (2014), tais valores diários encontram-se no Anexo A.

Tabela 3 – Data de realização das medidas dos níveis freáticos e seus valores, além da somatória das precipitações dos dias anteriores.

Data da medição	Valores do medidor (m)			Somatória da precipitação (mm)
	P1	P2	P3	
16/07/2014	5,42	4,91	4,76	28,90
09/08/2014	5,39	4,83	4,74	55,50
30/08/2014	5,42	4,89	4,78	30,30
09/09/2014	5,54	4,98	4,85	31,80
27/09/2014	5,38	4,93	4,38	133,80
04/10/2014	5,52	4,69	4,69	14,00
29/10/2014	5,66	5,09	4,86	6,30
10/11/2014	5,73	5,16	4,90	36,00

O valor da somatória da precipitação da primeira data desta pesquisa (16/07/2014) foi somado com relação a última data de medição do trabalho de Silva (2014), de forma que este trabalho dê continuidade a sua pesquisa.

A Figura 27 exibe o gráfico das oscilações do nível freático confrontados com o somatório da precipitação durante a realização do monitoramento na área de estudo durante todo o período estudado por Silva (2014).

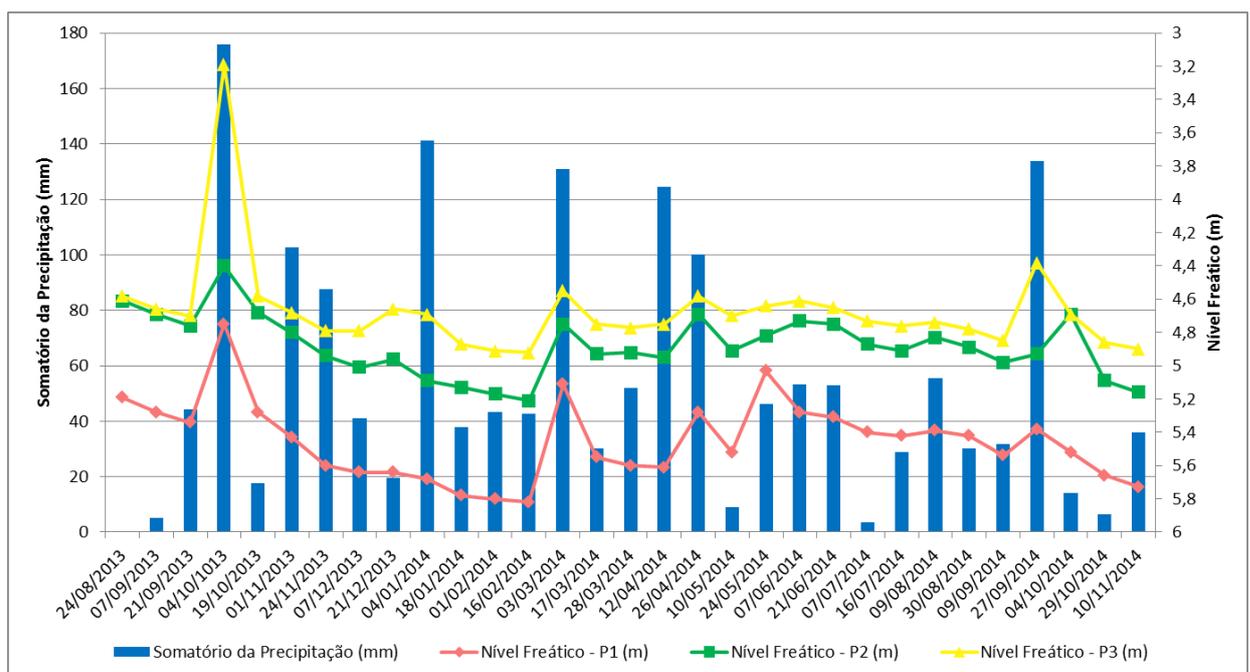


Figura 27 – Gráfico exibindo a correlação dos níveis d'água subterrânea com o somatório das precipitações diárias.

Fonte: Adaptado de Silva (2014).

De acordo com a análise da Figura 27, é possível verificar que a partir do somatório da precipitação do intervalo de aproximadamente 15 dias anteriores ao dia de medição a resposta da variação da elevação do nível sempre foi rápido comparado ao volume de precipitação.

Silva (2014) em seu trabalho com a permeabilidade hidráulica neste mesmo local notou que a velocidade de percolação vertical da água no solo é de $1,85 \text{ m.d}^{-1}$, classificou-se, então, este solo como do tipo areias finas siltosas e argilosas ou siltes argilosos, tendo assim, grau de permeabilidade baixa.

De maneira geral, assim que ocorriam precipitações entre os intervalos de medida, em poucos dias já se notava a influência da chuva e recarga na elevação do nível freático, principalmente com chuvas acima de 100 mm.

Observando a Figura 27 percebe-se que nos momentos em que ocorrem chuvas moderadas por um longo período de tempo, como por exemplo do dia 21 de Setembro de 2013 até 07 de Março de 2014 e 10 de maio de 2014 até 09 de Setembro de 2014, a resposta do nível freático mostrou-se mais constante. Já em dias que houve intensa precipitação em períodos curtos, como por exemplo 27 de Setembro de 2014, a resposta do nível não apresentou-se tão rápida se comparado ao volume total de chuva.

Fetter (2001) explica que a infiltração que promove a recarga do aquífero só ocorre após o momento em que os espaços vazios da camada superior do solo forem preenchidos. Parte desta água acumulada na primeira camada do solo estará retida nos interstícios dos poros e será responsável por nutrir a vegetação que se estabilizar no local. Após o total preenchimento dos espaços vazios, a água irá infiltrar nas camadas mais profundas promovendo a recarga do aquífero.

Porém, o excesso de precipitação posterior a uma chuva intensa em um curto período de tempo não será capaz de infiltrar devido à saturação total dos poros do solo e sua limitada capacidade de transmissão de água, dessa forma, o escoamento superficial é formado, não recarregando os aquíferos.

Vale ressaltar que existem fatores climáticos, fisiográficos (relevos de bacia) e antrópicos (uso do solo e obras hidráulicas), que de maneira geral, podem exercer influência sobre o escoamento superficial (SILVA, 2014).

5.3 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA – QUALIDADE DA ÁGUA

As coletas nos três poços e na nascente teve por finalidade a avaliação hidroquímica para as águas subterrâneas na área do antigo lixão, que envolveram os seguintes elementos: pH, Condutividade Elétrica (CE), sólidos Totais, fixos e voláteis, turbidez, Nitrogênio amoniacal, Nitrito (NO_2^-) e Nitrato (NO_3^-), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Chumbo.

A avaliação hidroquímica só foi capaz de ser efetuada tendo como base as principais legislações nacionais que tratam a qualidade da água, tais são:

- Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº 396, de 3 de Abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências;
- Portaria nº 2.914, de 2 de Dezembro de 2011: Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A partir de tais valores de referência apresentados na Tabela 4, foi possível evoluir para uma avaliação da qualidade da água subterrânea à jusante do passivo ambiental, visando, sobre tudo, o consumo humano.

Tabela 4 – Padrões de referência para características físico-químicas das águas.

PARÂMETROS	CONAMA ¹ n°357/2005	CONAMA ² n°396/2008	PORTARIA n°2914/2011
pH	6,0 - 9,0	-	6,0 - 9,5
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	-	-	-
Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (mg.L^{-1})	500	1000	1000
Turbidez (UNT)	40	-	5
Amônia (mg.L^{-1})	0,5 - 3,7	-	1,5
Nitrito (mg.L^{-1})	1	1	1
Nitrato (mg.L^{-1})	10	10	10
DQO (mg.L^{-1})	-	-	-
Chumbo (mg.L^{-1})	0,01	0,01	0,01

Nota¹: Valores para enquadramento na Classe 1 de águas doce.

Nota²: Valores de Referência de Qualidade (VRQ) padrões para as Classes 1 e 2.

A Portaria n° 518, de 25 de março de 2004, que estabelece as responsabilidades por quem produz a água e tem a missão de vigilância da qualidade da água entre outras ações, não foi incluída na Tabela 4, pois foi substituída pela Portaria 2.914 de 2001.

5.3.1 pH – Potencial hidrogeniônico

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de pH das amostras coletadas nas datas de 04 de outubro e 10 de novembro de 2014, considerando os três poços de monitoramento e uma nascente próxima como referência de potabilidade.

Tabela 5 – Valores de pH referentes as duas datas de coleta.

Pontos	pH	
	04/out ¹	10/nov
P1	6,04	7,83
P2	5,78	6,85
P3	5,94	6,70
N	6,45	7,46

Nota¹: Valores medidos dois dias após a coleta.

Águas naturais possuem pH na faixa de 4 a 9, sendo ligeiramente básica, por causa de bicarbonato, carbonatos de metais alcalinos e alcalinos terrosos (CLESCERI *et al.*, 1998). O pH é um parâmetro que para o consumo humano deve-se encontrar entre 6,5 a 9,5 segundo a legislação de água para consumo humano. A CONAMA nº357/2005, diz que a faixa deve ser entre 6 a 9. Na Portaria nº2914/2011 deve ser 6 a 9,5 como padrão de potabilidade.

Assim, é possível observar pelos dados da Tabela 5, que todos os valores para pH, exceto P2 e P3 de 04/out, se enquadram nos limites estabelecidos nas legislações. A diferença dos valores apresentados para P2 e P3 de 04/out pode-se dar pelo tempo para a medição deste parâmetro, que foi de 48 horas. Esta demora ocorreu devido ao fato, da coleta ter sido realizada no sábado dia 04/out e o laboratório estar disponível apenas na segunda-feira, 06/out, aliado a indisponibilidade do pHgâmetro portátil.. De acordo com a normativa CETESB 6410 (1988) vários constituintes instáveis devem ser medidos *in situ* ou logo após a coleta, por exemplo, pH, devido a amostra apresentar volatilização de gases dissolvidos e compostos orgânicos que influenciam nas medidas.

5.3.2 CE – Condutividade Elétrica

Sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na em um eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura, indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados (CETESB, 2014).

Sabendo disso e com base na Tabela 6 a seguir, podemos inferir que em todos os poços há um impacto significativo sobre as águas, exceto na nascente cujo valor está bem próximo ao limite para impacto.

Tabela 6 – Valores de Condutividade Elétrica referentes as duas datas de coleta.

Pontos	CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	
	04/out	10/nov
P1	2059	2081
P2	2359	2312
P3	1098	1534
N	99,70	82,30

A condutividade elétrica é uma propriedade que depende expressivamente da temperatura. Para propósitos comparativos de dados de CE, se definem temperaturas de referência de 20°C a 25°C (PINTO *et al.*, 2007). Devido a isso, a CE da amostra do dia 04/out foi medida a uma temperatura de 20°C e a do dia 10/nov a 24°C.

Observando a Figura 28, a nascente é o único ponto livre de indícios de cargas contaminantes, apesar do valor medido no dia 04/out estar bem próximo a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, valor recomendado pela CETESB (2014). Todos os poços apresentaram valores maiores que 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. O poço P2, em ambas as datas, foi o que mais se destacou, mostrando alta presença de substâncias ionizantes dissolvidas na água comprovando contaminação pelo lixão.

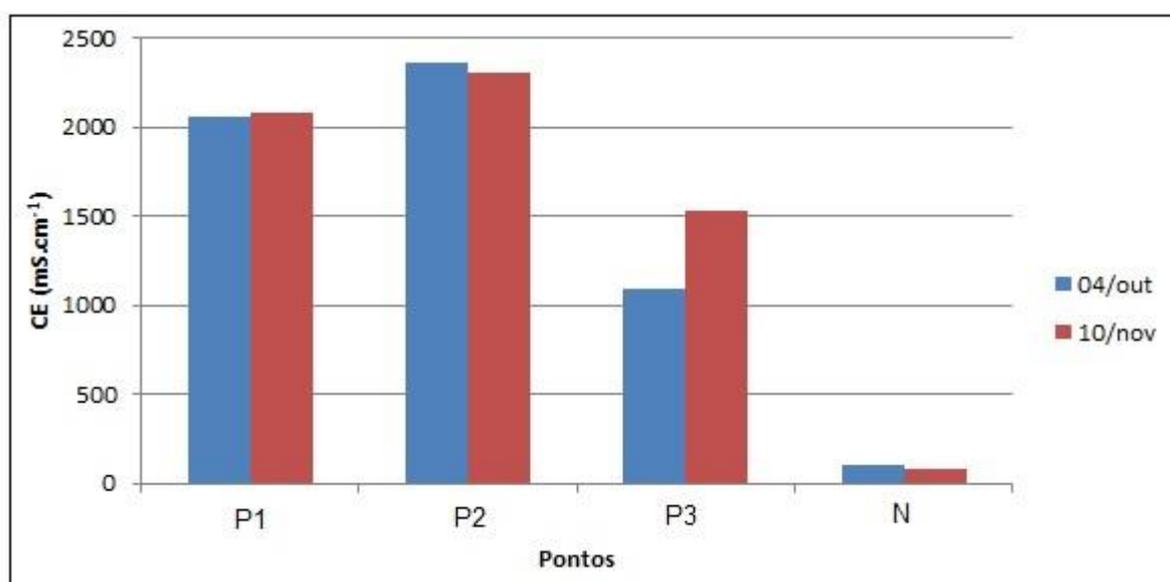


Figura 28 – Condutividade Elétrica nos pontos, com relação a data de medição.

5.3.3 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Todas as impurezas presentes na água contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos totais dividem-se entre suspensos e dissolvidos, os quais podem ser de origem mineral ou orgânica. Águas naturais apresentam íons: sódio, cloreto, magnésio, potássio, sulfatos, entre outros, causados por dissolução de minerais. A concentração de sólidos dissolvidos deve ser menor que 500 mg.L^{-1} em água para abastecimento público segundo a Resolução CONAMA 357/2005 e menor que 1000 mg.L^{-1} segundo a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, pois concentrações maiores que 1000 mg.L^{-1} apresentam efeito laxativo. Seu excesso pode causar alterações no sabor e problemas de corrosão. Já os sólidos em suspensão, provocam um aumento nos valores de turbidez.

Os valores obtidos são apresentados na Tabela 7 abaixo. Lembrando que a série de sólidos foi realizada na primeira coleta que aconteceu no dia 04/out.

Tabela 7 – Valores referentes aos sólidos totais, fixos e voláteis.

Pontos	Sólidos (mg.L^{-1})		
	Totais	Fixos	Voláteis
P1	1294	1088	206
P2	1366	1074	292
P3	615	457	158
N	104	90	14

Pode-se observar, então, que P1 e P2 estão fora dos padrões, pois contém valores maiores que os permitidos para potabilidade, além de apresentar-se como rica em minerais, também há grande presença de compostos orgânicos oriundos da decomposição dos resíduos (teor de matéria orgânica: P1 = 15,92%; P2 = 21,37%; P3 = 25,69%; e N = 13,46%)

No trabalho de Silva (2014) nesses mesmos poços no início do ano, continham os maiores valores encontrados para P1 e P3 ($>1000 \text{ mg.L}^{-1}$). Essa diferença ao longo das épocas pode ser dada pela descontínua concentração de sólidos ao longo da pluma de contaminantes gerados pela decomposição da matéria orgânica dos resíduos presentes no lixão, somada à diferenças na precipitação, fator que influencia na velocidade de produção e percolação do chorume.

5.3.4 Turbidez

Sabendo que a turbidez mede a dificuldade de um feixe de luz ultrapassar certa quantidade de água, é causada por matérias sólidas em suspensão, por exemplo, silte, argila, colóides, matéria orgânica e microorganismos.

Águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez, por isso, este parâmetro é limitado apenas pela Resolução CONAMA 357/2005 que classifica corpos d'água e trás o limite de 40 NTU.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos deste parâmetro para os três poços e a nascente, medidos apenas na amostra coletada na data de 10/nov. Com isso, pode-se inferir que não houve divergências deste parâmetro em relação à potabilidade.

Tabela 8 – Valores de turbidez referentes aos três poços e a nascente.

Pontos	Turbidez (NTU)
P1	1,68
P2	1,54
P3	10,8
N	1,73

Observa-se que o valor de P3 se destacou, isso pode ter acontecido devido a movimentos bruscos no momento da coleta da amostra ocasionando o levantamento das partículas como o da argila, influenciando na turbidez.

5.3.5 Nitrogênio – Amoniacal, Nitrito, Nitrato

A Tabela 9 a seguir apresenta os valores encontrados para nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

O Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃) apresenta-se abaixo dos valores de detecção da metodologia, uma vez que a metodologia aplicada possui a detecção mínima de 5 mg.L⁻¹. Ou seja, nas amostras pode ser que contenham N-amoniacal em concentrações menores que 5 mg.L⁻¹.

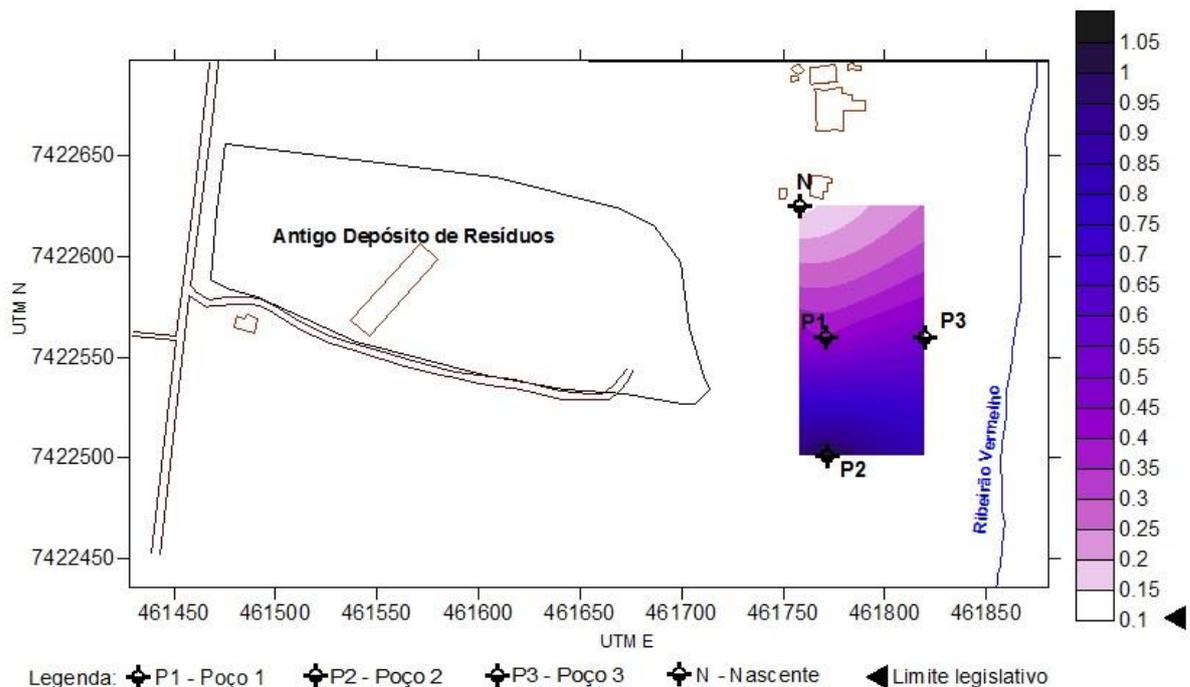
Tabela 9 – Valores referentes ao nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato

Parâmetros (mg.L ⁻¹)	Pontos			
	P1	P2	P3	N
Nitrogênio Amoniacal	ND ¹	ND	ND	ND
Nitrito	0,398	1,027	0,497	0,133
Nitrato	24,123	36,691	20,671	1,082

Nota¹: Não Detectáveis (ND).

Os valores de detecção do Nitrito se apresentam muito baixos, apesar do P2 apresentar valor maior que 1 mg.L⁻¹ para padrão de potabilidade. Uma das hipóteses para a não detecção de valores altos para nitrito pode ser explicada pela rápida transformação destes a nitrato pelas bactérias *Nitrobacter* presentes no solo e pelo alto grau de mobilidade no nitrato no solo, se locomovendo rapidamente para as águas subterrâneas.

A Figura 29 a seguir, apresenta as isolinhas de concentração de nitrito ao longo dos pontos amostrados. Esta figura foi construída através da utilização do *Software Surfer* capaz de apresentar os níveis de concentração, por metodologia de interpolação, no espaço.

**Figura 29 – Mapa indicativo de isolinhas de concentrações de Nitrito (NO₂) na área de estudo.**

O nitrato é um constituinte inorgânico nocivo à saúde que pode ser encontrado na água subterrânea. Devido a sua alta mobilidade e estabilidade química apresenta uma ocorrência problemática. Nas águas subterrâneas é comum

a ocorrência de baixos teores de nitrato, pois é a substância presente no estágio final da degradação da matéria orgânica. Mas, as concentrações acima do valor de potabilidade torna-se um problema (FINEZA, 2008).

Pela Tabela 9, os valores de nitrato apresentam-se maiores que os padrões de potabilidade (10 mg.L^{-1}) em todos os poços. Sendo o P2, representante do pior estado de contaminação por nitrato.

Através da Figura 30 é possível observar que as isolinhas de contaminação para o nitrato no aquífero à jusante da área estudada indicam que as maiores concentrações seguem exatamente o fluxo subterrâneo apresentando por Santos (2003), ou seja, partindo do ponto de maior potencial hidráulico, próximo às áreas de disposição final dos resíduos até o encerramento do lixão, a W (oeste) da área, para o sentido E (leste), em direção ao fluxo de base do ribeirão Vermelho, configurando assim em uma vasta pluma de contaminação.

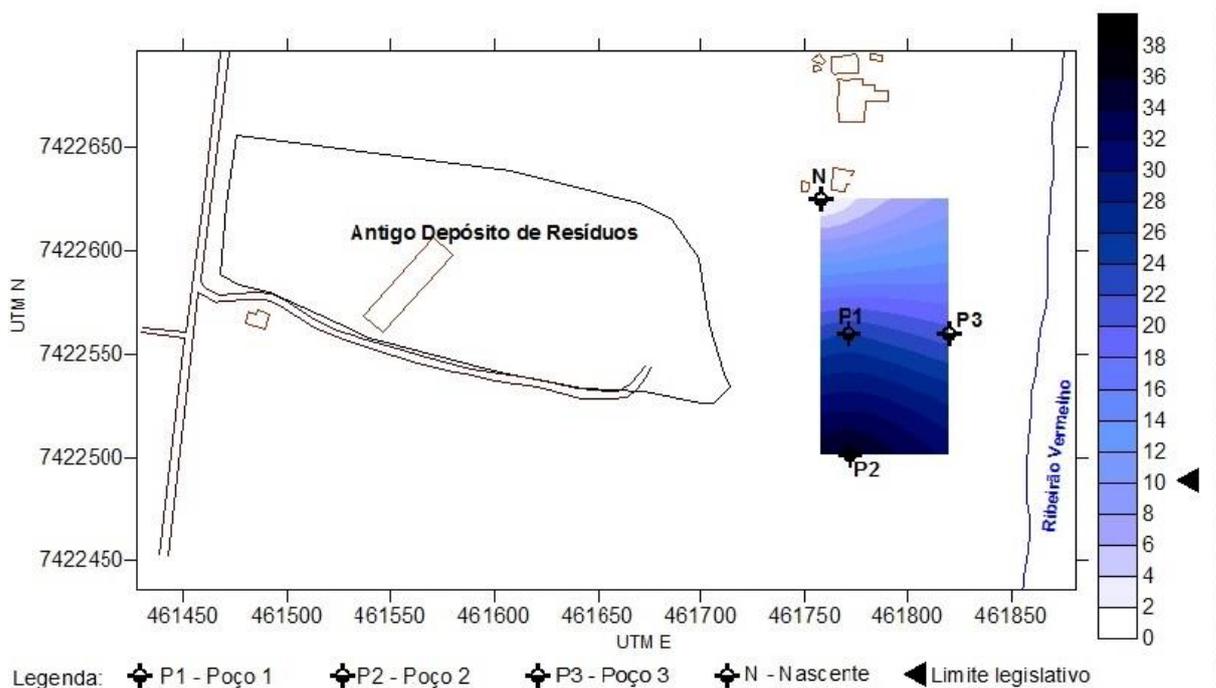


Figura 30 - Mapa indicativo de isolinhas de concentrações de Nitrato (NO_3) na área de estudo.

5.3.6 DQO – Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio representa a quantidade de oxigênio consumido na oxidação química da matéria orgânica contida na água. A quantidade

necessária para oxidar a matéria orgânica de uma amostra é expressa na unidade mg de O₂ por litro.

Os resultados obtidos, para todos os poços (P1, P2 e P3) incluindo a nascente (N), encontram-se abaixo do limite de detecção, visto que a mínima concentração de DQO a ser detectada é de 5 mg.L⁻¹.

5.3.7 Chumbo

As principais vias de exposição da população geral ao chumbo são oral e inalatória. Mais de 80% do chumbo que ingressa diariamente no organismo é oriundo da ingestão de alimentos, sujeiras e poeiras contendo o metal. O chumbo pode afetar quase todos os órgãos, sendo o sistema nervoso central mais sensível, tanto em crianças quanto em adultos (CETESB, 2012).

Conforme Moreira; Moreira (2004), a interação do chumbo no organismo tem efeito acumulativo, afeta todos os órgãos e sistemas do organismo. Potencialmente têm o poder de inibir ou imitar a ação do cálcio e de interagir com proteínas, retido na maioria das vezes em ossos.

Segundo Andrade (2008), os compostos inorgânicos do chumbo (Pb) estão presentes em vários produtos da indústria e comércio, incluindo tintas, plásticos, baterias, ligas metálicas, inseticidas, cabos elétricos e cerâmicas. A maior parte desses produtos tem como destino final os lixões ou aterros.

Teixeira (2008) afirma que o comportamento do chumbo no chorume em áreas de disposição final de resíduos, tem relação direta com o pH do solo, conforme aumenta o pH do solo aumenta a retenção do chumbo no local. O transporte do chumbo do solo para águas subterrâneas por lixiviação é vagaroso em condições naturais, porém elevando a acidez do solo ou pela presença em concentrações que se aproximam ou excedam a capacidade de troca catiônica auxilia na percolação.

Fávaro (2014) obteve como resultado de seu trabalho, analisando chumbo no solo na área do antigo lixão de Rolândia, altos índices de contaminação (12,52 a 149,6 mg.Pb.kg⁻¹ de solo) extrapolando, inclusive, os limites de concentração permissíveis das legislações específicas.

Com base nos resultados obtidos nos laudos das análises de água subterrânea apresentados no ANEXO B e na Tabela 10 a seguir, pode-se inferir que todos os poços extrapolam os limites dos padrões de potabilidade segundo as legislações atuais.

Tabela 10 – Quantidade de chumbo referentes às amostras de água subterrânea.

Pontos	Chumbo (mg.L ⁻¹)
P1	0,04
P2	0,02
P3	0,03
N	0,00

A Figura 31 apresenta as isolinhas de contaminação de chumbo para às águas subterrâneas à jusante da área estudada. É possível visualizar que as maiores contaminações seguem exatamente o fluxo subterrâneo definido por Santos (2003), cujo fluxo aquífero encerra-se na bacia do ribeirão Vermelho, consolidando assim um agravante desenho de pluma de contaminação.

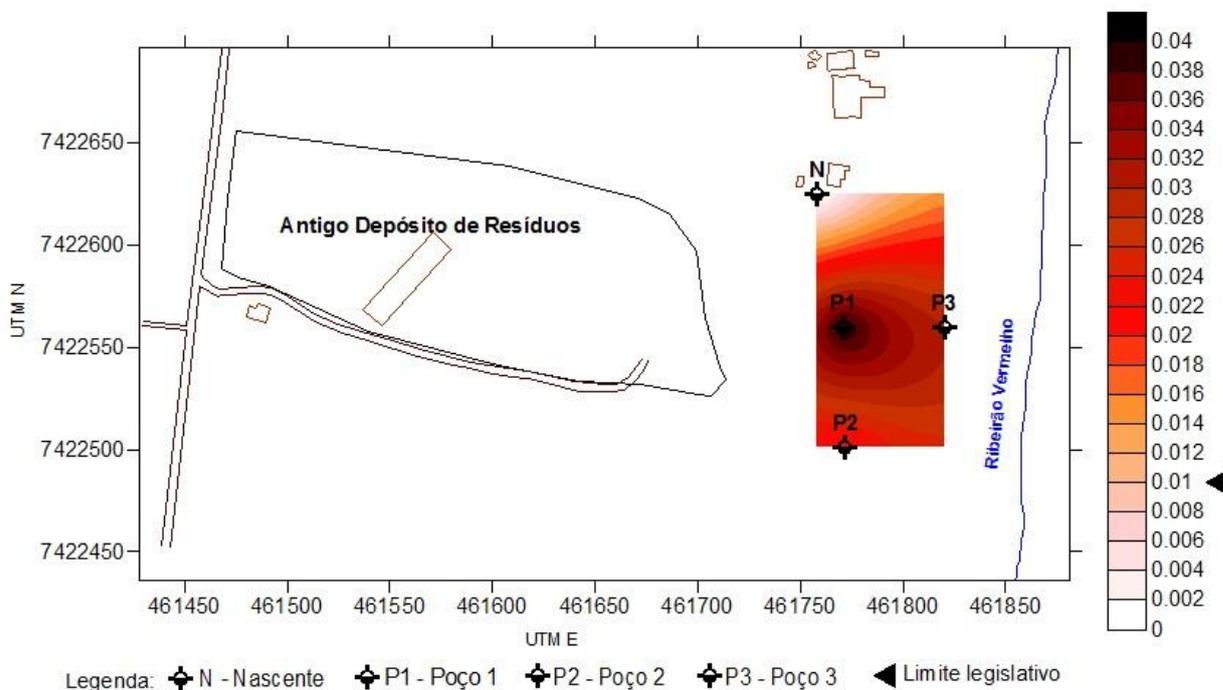


Figura 31 – Mapa indicativo das isolinhas de contaminação de chumbo na área do antigo lixão.

Santos (2002) em seu trabalho nestes mesmos pontos obteve valores preocupantes bem acima dos níveis aceitáveis: 0,165; 0,459 e 0,105 mg.L⁻¹ para P1,

P2 e P3, respectivamente. A Tabela 11, mostra os resultados obtidos desta pesquisa comparando-se aos valores encontrados por Santos (2002) e a porcentagem de redução da presença de chumbo na água subterrânea, após decorrido 12 anos. A redução expressiva da quantidade do chumbo pode ser dada em vista pela dissipação/dispersão e absorção pela vegetação instalada ao longo desse período.

Tabela 11 – Comparação e redução do chumbo após doze anos nas águas subterrâneas nos três poços.

Poços	Chumbo (mg.L-1)		Redução (%)
	Santos (2002)	Betio (2014)	
P1	0,165	0,04	75,76%
P2	0,459	0,02	95,64%
P3	0,105	0,03	71,43%

6 CONCLUSÃO

Os principais resultados quantitativos, obtidos das análises hidroquímicas, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados quantitativos das análises hidroquímicas em comparação às legislações.

Ponto	pH	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Turbidez (NTU)	STD	Amonia	Nitrito (mg.L^{-1})	Nitrato	DQO	Chumbo
CONAMA n°357/2005	6,0 - 9,0	-	40	500	0,5 - 3,7	1	10	-	0,01
CONAMA n°396/2008	-	-	-	1000	-	1	10	-	0,01
Portaria n°2914/2011	6,0 - 9,5	-	-	1000	1,5	1	10	-	0,01
P1	7,83	2081	1,68	1294	ND	0,398	24,123	ND	0,04
P2	6,85	2312	1,54	1366	ND	1,027	36,691	ND	0,02
P3	6,70	1534	10,80	615	ND	0,497	20,671	ND	0,03
N	7,46	82,30	1,73	104	ND	0,133	1,082	ND	0,00

Com relação às águas subterrâneas da região do antigo lixão de Rolândia – PR pode-se constatar:

- As condições de encerramento foram conduzidas de forma imprópria em relação à proteção ao meio ambiente local;
- Visivelmente a área está recoberta com vegetação secundária, assim não é possível imaginar que há tantos efeitos adversos causados pelo lixão;
- O monitoramento da oscilação do nível freático nos três poços correlacionados com a precipitação diária no período total de 121 dias (09 Agosto – 10 Novembro 2014) mostrou que a elevação do nível freático possui uma rápida resposta em relação a recarga d'água, favorecendo a migração de contaminantes pelas zonas saturadas e não-saturadas;
- Com relação ao parâmetro físico pH, os valores do dia 10/nov de forma geral, em todos pontos, apresentaram-se dentro dos padrões legislativos. Já os valores obtidos das amostras coletadas no dia 04/out apresentaram pequenas variações, esse fato possivelmente deu-se em decorrência da análise ter sido realizada dois dias após a coleta;

- O poço P2 se destacou como tendo os maiores valores de CE em ambas as datas. Todos os poços apresentaram presença de substâncias ionizantes dissolvidas comprovando contaminação significativa sobre a água. Inclusive, o ponto N, se aproxima dos níveis de impacto;
- No quesito sólidos totais, P1 e P2 apresentaram-se fora dos padrões, pois contém valores maiores que os permitidos para potabilidade, além de apresentar-se com elevada concentração de minerais na sua composição, também há grande presença de compostos orgânicos oriundos da decomposição dos resíduos;
- No item turbidez houve divergências deste parâmetro em relação à potabilidade;
- O nitrogênio apresenta-se em altos índices na forma de nitrato, por ter alta mobilidade, foi encontrado em altas doses nas águas subterrâneas nos três poços de monitoramento. O P2 foi o único que apresentou um valor maior que $1,00 \text{ mg.L}^{-1}$ de nitrogênio na forma de nitrito, apesar do valor estar próximo do limite de potabilidade. O nitrogênio amoniacal esteve abaixo dos níveis de detecção;
- A DQO manteve-se baixo do limite de detecção na metodologia aplicada;
- Com relação ao metal pesado chumbo, todos os poços apresentaram valores em desconformidade com as legislações vigentes para potabilidade, com exceção da nascente, cujo valor é igual a zero.

7 RECOMENDAÇÕES

Após a realização das análises hidroquímicas da água subterrânea situada na área do antigo lixão de Rolândia – PR, os resultados apresentaram anomalias na qualidade da mesma, indicando ser imprópria para consumo, com exceção da nascente, que não sofreu interferência da pluma de contaminação do lixão.

A presente pesquisa mostrou que não bastam apenas legislações que visam somente à implantação de políticas para gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. É necessário e de extrema importância planos efetivos de acompanhamento e de encerramento dos lixões.

Este estudo de caso mostra que o simples aterramento e abandono, há mais de dez anos, do antigo lixão de Rolândia – PR, não foi suficiente para sua recuperação natural. Pelo contrário, abandoná-lo ocasionou impactos ambientais que continuarão a se propagar por um longo período, caso nenhuma providência seja tomada. Observa-se que desde a desativação não houve qualquer obra técnica para prevenção dos impactos provocados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos.

Portanto, tendo em vista o tempo decorrido desde a data de desativação do lixão, está comprovado que o mesmo não possui autossuficiência para se regenerar naturalmente. Assim, vale a pena enfatizar a necessidade de estudos e ações ambientais para remediação e recuperação desta área degradada.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2013;

ANDRADE, M. G. **Fitorremediação em Bioensaio Com Solos de Área de Mineração e Processamento de Chumbo, Avaliação Sob Diferentes Métodos de Extração**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008;

ATHAYDE Jr. Gilson B.; NOBREGA, Claudia C.; GADELHA, Carmem L. M.; SOUZA, Irene M. de F.; FAGUNDES, Giulliano de S. **Efeito do antigo lixão do Roger, João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local**. Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, nº 1, p. 142 – 155, março 2009;

APHA; AWWA & WEF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington DC: 2012;

ANA. Águas subterrâneas. Agência Nacional de Águas - **Superintendência de Informações Hidrológicas** – SIH- Brasília, Agosto/2002;

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.;

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4ª ed – Porto Alegre : Bookman, p. 640, 2011;

BIDONE, Francisco, R. A.; POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos:EESC/USP, 1999.

BORSOI, Zilda M. F; LANARI, Nora; GOMES, Simone M. **Informe Infra-Estrutura – Águas Subterrâneas**. BNDES, 1998. Disponível em: < http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/infra/g7428.pdf>. Acesso em 13 de nov. 2014;

BRASIL. **Lei nº12.305 de 02 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010;

BRASIL. **Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011;

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004.** Estabelece normas e o padrão da potabilidade da água destinada ao consumo humano. Brasília, 2004;

BRASIL. **Resolução CONAMA nº396, de 03 de Abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, 2008;

BRASIL. **Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011;

BRASIL. **Resolução CONAMA nº396, de 03 de Abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, 2008;

BRASIL. **Resolução CONAMA nº357, de 17 de Março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005;

_____. **NBR 8.419:** apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992;

CARNEIRO, Cláudia M. L.; LIMA, Agnes M. de; AZEVEDO, Julane B. de; CASTRO, Maria G.; SILVA, Kátia M. B. da; **DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UFRN. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** São Paulo, outubro de 2010;

CASTILHO JR. Armando B. de. **RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ATERRO SUSTENTÁVEL PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE.** PROSAB 3. Capítulo 2: Principais Processos de Degradação de Resíduos Sólidos Urbanos. Florianópolis, Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003;

CAICEDO, Nelson O. L. **Água Subterrânea.** In: TUCCI, C.E.M.(org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: EDUSP, 1993;

CELLIGOI, A.; SANTOS, M. M.; VIANA, T. R. **Análise e interpretação do gradiente hidráulico do aquífero freático em uma área na região sul de Londrina-PR.** Geografia - Revista do Departamento de Geociências. UEL, v. 10, n. 1, p. 79-87, 2001;

CETESB. **Águas Subterrâneas** – Poluição das águas subterrâneas. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/informacoes-basicas/3-poluicao-das-aguas-subterraneas>>. Acesso em 13 de nov. de 2014;

CETESB. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas: Norma CETESB, 1988.** São Paulo, CETESB, 1999. 32p.;

CETESB. Chumbo e seus compostos. **Ficha de Informação Toxicológica.** São Paulo, 2012;

CETESB. **Condutividade.** 2014. Disponível em < http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/condutividade.pdf>. Acesso em 28 de nov de 2014;

CHRISTENSEN, Thomas H.; KJELDSEN, Peter.; BJERG, Poul L.; CHRISTENSEN, Jette B.; BAUN, Anders; ALBRECHTSEN, Hans-Jorgen; HERON, Gorm. Biogeochemistry of landfill leachate plume. **Applied Geochemistry**, p. 659-718, 2001;

CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. **Standar methods for the examination of water and wastewater.** 20th.ed. Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 1998. 1325p.;

DEMAJOROVIC, Jacques. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades.** Revista de Administração de Empresas. São Paulo, 1995. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v35n3/a10v3_5n3.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2014;

ELIS, V.R. **Avaliação da aplicação de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos.** 264p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1998;

EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2010;

FADINI, Pedro S.; FADINI, Almerinda A. B. **Lixo: desafios e compromissos**. Maio, 2001. Disponível em: <<http://www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST114/lixo.pdf>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2014;

FAGUNDES, Giulliano S. **Influência do Antigo Lixão do Roger, João Pessoa, nas Águas Subterrâneas Locais**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa - PB, 2010;

FAVARO, Bruna Lima. **Avaliação Ambiental de Propriedades Químicas do Solo em Lixão Desativado do Município de Rolândia – PR**. 2014. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina 2014;

FETTER, Charles. W. **Applied Hydrogeology**, 4. ed., New Jersey: Prentice Hall, 2001;

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

FREEZE, R. A. & CHERRY, J.A. 1979. **Groundwater**. *Prentice-Hall inc.*, New Jersey, 604 p.;

HEALY, Richard. W. **Estimating groundwater recharge**. RU: Cambridge University Press, 2010. p.245;

HESPANHOL, Ivanildo. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. BAHIA ANÁLISE & DADOS Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, 2003, p. 411-437;

HESPANHOL, Ivanildo. **Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos**. v.22, n. 63, São Paulo, 2008;

IAPAR. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Agrometeorologia - Dados diários de Londrina**. Disponível em:

<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1828>>. Acesso em: 24 de nov. 2014;

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1999).

Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 1999. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2014;

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2008).

Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2014;

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010).

Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2010. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2014;

Karmann, Ivo. **Decifrando a Terra**. 2ª ed – São Paulo : Companhia Editora Nacional, cap. 7, p. 186, 2009;

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro/Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981.

MACÊDO, Jorge A. B. de. **Águas & Águas**. 3ª ed. Belo Horizonte – MG : CRQ-MG, 2007.

MANZONI, Patricia; MINAS, Raul. **Poluição por chumbo em Santo Amaro da Purificação**. Brasília, 2002. Disponível em: < http://jangelo.unifacs.br/stoamaro/poluicao_stoamaro.htm> Acesso em 10 de dez de 2013.

MELO, Ângela Cristina Alves de. **Diagnóstico da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e Proposta de Diretrizes: Rolândia/PR**. 2004. 124 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, 2004.

MELO, Ângela Cristina Alves de. **Resíduos Sólidos Domiciliares na Cidade de Rolândia-PR.: Coleta seletiva e reaproveitamento – reciclagem.** 1999. Monografia de Conclusão de Curso – Departamento de Geociências/CCE, Universidade Estadual de Londrina, 1999.

MELO, Vander F.; ANDRADE, Maísa; BATISTA, Araújo H.; FAVARETTO, Nerilde; Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalurgia de metais. **Química nova.** v. 35, n. 1, p. 22-29, 2012.

MILANI, E.J. Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul- Ocidental do Godwana e os Ciclos de Subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p.473-484, dez. 2004.

MIRSAL, Ibrahim A. **Soil pollution: origin, monitoring and remediation.** 2ª ed. Berlin: Springer, 2008. 312 p.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os Efeitos do Chumbo Sobre o Organismo Humano e seu Significado para Saúde. **Revista Panamericana de Salud Publica.** V.15, n. 2, p. 199 – 129, 2004.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil.** EDUSP. São Paulo, SP. 1983.

PINTO, Magda C. F; DIAS, Denise L; PEREIRA, Edson J. **Manual de Medição *in loco*: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido.** Serviço Geológico do Brasil, 2007. Disponível em < http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf>. Acesso em 28 de nov 2014.

ROCHA, Julio C.; ROSA, André H.; CARDOSO, Arnaldo A. **Introdução à química ambiental.** 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256 p.

SANTOS, Maurício M. **Avaliação do aquífero freático a jusante de um antigo depósito de resíduos em Rolândia-Pr.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2003.

SANTOS, Maurício M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do Aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR).** 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

SILVA, Gabriela F. **Avaliação Hidrogeológica e Implicações Hidroquímicas na Área de Entorno de um Antigo Lixão no Município de Rolândia – PR.** Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

TEIXEIRA, R. S. **Caracterização e Avaliação da Contaminação do Solo Laterítico da Área do Depósito de Resíduos Sólidos Urbanos de Londrina por Metais Pesados.** Tese (Doutorado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** 1ª ed. V. 7. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

ANEXO A

Dados de precipitação diária disponíveis no site do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR).

Dia	2014				
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
1	0,0	0,0	14,6	0,3	0,0
2	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
3	0,0	0,0	13,8	0,0	1,4
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	2,4	0,0	0,4	0,0	0,0
8	14,5	0,0	3,0	0,0	10,8
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	
13	0,0	8,8	0,0	0,0	
14	0,0	1,2	0,0	0,0	
15	0,0	0,0	0,0	0,0	
16	0,0	0,0	0,0	0,0	
17	0,0	0,0	0,0	0,0	
18	20,5	0,0	0,0	0,0	
19	0,0	0,0	2,3	0,0	
20	0,0	0,0	19,4	4,6	
21	0,0	0,0	10,8	0,4	
22	0,0	0,0	0,0	0,0	
23	0,0	0,0	0,0	0,0	
24	16,0	0,0	0,0	0,3	
25	35,0	9,5	21,0	0,7	
26	0,0	0,0	37,8	0,3	
27	0,0	0,0	42,5	0,0	
28	0,0	0,0	0,0	0,0	
29	0,0	0,0	0,5	0,0	
30	0,0	0,0	10,2	0,0	
31	0,0	0,0	-	0,3	
TOTAL	102,8	19,5	176,3	9,9	35,7

ANEXO B



AV. TIRADENTES, 3173 - LONDRINA - PR - BRASIL
 CEP 86072-000 - FONE/FAX (43) 3338-5738
 laborsolo@laborsolo.com.br - www.laborsolo.com.br

Solicitante : MONIELEN MONARA BETIO
Proprietário : MONIELEN MONARA BETIO
Propriedade : LENÇOL FREATICO ANTIGO LIXÃO
Município : ROLÂNDIA - PR

Data Entrada : 10/11/2014 **Data Saída** : 13/11/2014 **Cód. Lab.** : 21715/104055
Material : Água **Cód. Interes.** : AMOSTRA P1

RESULTADO DE ANÁLISE

Análise	Determi- nação	<i>In Natura</i>	Base Seca (65° C)
Chumbo	Pb	0,04 mg/L	* * *

Observações:

- Os resultados acima representam a amostra entregue ao Laboratório, pelo interessado.

OBS: LAUDO SOMENTE PARA CONSULTA



AV. TIRADENTES, 3173 - LONDRINA - PR - BRASIL
 CEP 86072-000 - FONE/FAX (43) 3338-5738
 laborsolo@laborsolo.com.br - www.laborsolo.com.br

Solicitante : MONIELEN MONARA BETIO
Proprietário : MONIELEN MONARA BETIO
Propriedade : LENÇOL FREATICO ANTIGO LIXÃO
Município : ROLÂNDIA - PR

Data Entrada : 10/11/2014 **Data Saída** : 13/11/2014 **Cód. Lab.** : 21715/104056
Material : Água **Cód. Interes.** : AMOSTRA P2

RESULTADO DE ANÁLISE

Análise	Determi- nação	<i>In Natura</i>	Base Seca (65° C)
Chumbo	Pb	0,02 mg/L	* * *

Observações:

- Os resultados acima representam a amostra entregue ao Laboratório, pelo interessado.

OBS: LAUDO SOMENTE PARA CONSULTA



AV. TIRADENTES, 3173 - LONDRINA - PR - BRASIL
 CEP 86072-000 - FONE/FAX (43) 3338-5738
 laborsolo@laborsolo.com.br - www.laborsolo.com.br

Solicitante : MONIELEN MONARA BETIO
Proprietário : MONIELEN MONARA BETIO
Propriedade : LENÇOL FREATICO ANTIGO LIXÃO
Município : ROLÂNDIA - PR

Data Entrada : 10/11/2014 **Data Saída** : 13/11/2014 **Cód. Lab.** : 21715/104057
Material : Água **Cód. Interes.** : AMOSTRA P3

RESULTADO DE ANÁLISE

Análise	Determi- nação	<i>In Natura</i>	Base Seca (65° C)
Chumbo	Pb	0,03 mg/L	* * *

Observações:

- Os resultados acima representam a amostra entregue ao Laboratório, pelo interessado.

OBS: LAUDO SOMENTE PARA CONSULTA



AV. TIRADENTES, 3173 - LONDRINA - PR - BRASIL
 CEP 86072-000 - FONE/FAX (43) 3338-5738
 laborsolo@laborsolo.com.br - www.laborsolo.com.br

Solicitante : MONIELEN MONARA BETIO
Proprietário : MONIELEN MONARA BETIO
Propriedade : LENÇOL FREATICO ANTIGO LIXÃO
Município : ROLÂNDIA - PR

Data Entrada : 10/11/2014 **Data Saída** : 13/11/2014 **Cód. Lab.** : 21715/104058
Material : Água **Cód. Interes.** : AMOSTRA N

RESULTADO DE ANÁLISE

Análise	Determi- nação	<i>In Natura</i>	Base Seca (65° C)
Chumbo	Pb	0,00 mg/L	* * *

Observações:

- Os resultados acima representam a amostra entregue ao Laboratório, pelo interessado.

OBS: LAUDO SOMENTE PARA CONSULTA