

**Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra Departamento de Geografia
Especialização em Análise Ambiental**

IAN DE LIMA RIBEIRO

**ANÁLISE DE RISCO A SAÚDE HUMANA POR INGESTÃO À ÁGUA
SUBTERRÂNEA - ATERRO DA LAMENHA PEQUENA, CURITIBA - PR**

**CURITIBA
2014**

**ANÁLISE DE RISCO A SAÚDE HUMANA POR INGESTÃO À ÁGUA
SUBTERRÂNEA - ATERRO DA LAMENHA PEQUENA, CURITIBA - PR**

**ANALYSIS FROM RISK TO HUMAN HEALTH BY UNDERGROUND WATER
INTAKE –LANDFILL LAMENHA PEQUENA, CURITIBA – PR**

Artigo Científico apresentado como requisito à obtenção de grau de Especialista. Curso de Especialização em Análise Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná-UFPR.

Orientador: prof Dr. Tony Vinicius Moreira Sampaio

CURITIBA

2014

Palavras-chave: Análise de Risco. Aterro da Lamenha Pequena. Ingestão da Água Subterrânea.

RESUMO

Devido ao fato do aterro desativado da Lamenha Pequena, município de Curitiba no Paraná, ser um aterro controlado e não dispor de técnicas adequadas de impermeabilização e captação do chorume gerado pela decomposição dos resíduos, acredita-se que possa estar contaminando o lençol freático local, na zona saturada, comprometendo a qualidade do meio e, eventualmente, causando risco à saúde humana, para os eventuais usuários deste recurso. Neste sentido, adotou-se a metodologia norte-americana *Risk Based Corrective Action-RBCA* para quantificação de coeficientes de risco. Essa metodologia relaciona características dos contaminantes, do meio físico impactado, dos meios de transporte, das vias de exposição para avaliar os riscos toxicológicos e carcinogênicos. O presente trabalho teve como objetivo a avaliação do risco à saúde humana através da ingestão de água subterrânea aflorante da zona saturada, nas nascentes identificadas na área do aterro assim como no rio Passaúna, através do comparativo dos SSTL's (*Site Specific Target Level*) com a média das concentrações dos compostos selecionados para cada poço de monitoramento amostrado. Os resultados demonstraram risco real para ingestão de água subterrânea nos pontos de afloramento localizados na área de estudo e em suas adjacências.

ABSTRACT

Because the sanitary landfill of Lamenha Pequena, city of Curitiba in Paraná, be a landfill and not have adequate waterproofing and capture of manure generated by the decomposition of waste techniques, it is believed that may be contaminating the local groundwater, in the saturated zone, compromising the quality of the environment and eventually causing risk to human health, for the eventual users of this resource. In this sense, we adopted the US methodology Risk Based Corrective Action-RBCA for quantification of risk coefficients. This methodology relates characteristics of the contaminants, the impacted physical environment, means of transport, the routes of exposure to assess toxicological and carcinogenic risks. This study aimed to evaluate the risk to human health through the underground water intake outcropping of the saturated zone at the sources identified in the area of the landfill as well as in Passaúna river, through the comparison of SSTL's (Site Specific Target Level) with average concentrations of selected compounds for each monitoring well sampled. The results showed real risk to underground water ingestion points in outcrop located in the study area and its surroundings.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento dos grandes centros urbanos, a demanda por recursos naturais, para atender as necessidades básicas da vida cotidiana das populações, gerando sérios problemas ambientais.

Com o modelo de consumo a que atualmente somos submetidos, a grande quantidade de resíduos gerados vem oferecendo desafios quanto à sua disposição e destinação final. O destino inadequado dos resíduos acarreta inúmeros danos ambientais e muitas vezes risco à saúde humana.

O Aterro Sanitário é um aprimoramento de uma técnica muito antiga utilizada pelo homem para descarte de seus resíduos, o aterramento (CETESB, 2012). Atualmente, são empregados conhecimentos de engenharia com o objetivo de acomodar no solo os resíduos no menor espaço prático, causando o menor dano, ambiental ou à saúde pública, possível. Essa técnica consiste basicamente em compactar os resíduos no solo em camadas, que são cobertas, periodicamente, com terra ou outro material inerte. (CETESB, 2012).

De acordo com LUZ (1981) os diferentes tipos de aterros são classificados de acordo com as suas características de operação, de instalação e disposição final, podendo ser: Aterro Sanitário, Aterro Controlado e Aterro Comum (Lixão).

O Aterro Sanitário diferencia-se dos demais por utilizar técnicas de engenharia e atender os padrões de segurança e preservação estabelecidos. Segundo a CETESB (2012, p. 1), os Aterros Sanitários devem ter as seguintes características: Impermeabilização da base do aterro; Instalação de drenos de gás; Sistema de coleta de chorume; Sistema de tratamento de chorume e Sistema de drenagem de águas pluviais.

Aterros controlados são um meio termo entre Aterros Sanitário e Lixão, pois utilizam técnicas inadequadas e ineficazes de impermeabilização do solo, captação de chorume e captação dos gases gerados. Neste caso os resíduos são depositados, sem que haja um tratamento prévio da área, e cobertos com material, como terra. Alguns casos há recirculação do chorume que é coletado e levado para cima da pilha de resíduos, diminuindo a sua absorção pela terra

ou eventualmente outro tipo de tratamento para o chorume como uma estação de tratamento para este efluente (LUZ, 1981).

Já os aterros comuns, popularmente conhecidos como Lixão, são caracterizados pela simples deposição do resíduo sem um prévio tratamento na área que irá recebê-lo. Não possui nenhum sistema de tratamento de efluentes líquidos (chorume), permitindo que penetre pelo no meio prosso levando substâncias contaminantes para o solo e para o lençol freático. Nesse tipo de aterro os resíduos ficam expostos sem nenhum procedimento que evite as consequências ambientais e sociais negativas (LUZ, 1981).

Com a decomposição da grande quantidade de matéria orgânica depositada nos aterros, é gerado um grande volume de chorume, que por estar no horizonte sub-superficial, percola pelo solo (LUZ, 1981).

Segundo LUZ (1981), a impermeabilização inadequada possibilita que o percolado atinja a zona saturada, facilitando a dispersão dos compostos presentes na composição do líquido, aumentando a mobilidade horizontal (OLIVEIRA, 1998), sendo assim poderá atingir receptores fora das áreas de deposição dos resíduos, podendo oferecer risco à saúde humana.

Os metais pesados na água em altas concentrações têm efeito tóxico e bioacumulativos na cadeia trófica, causando uma série de complicações com a sua ingestão fora dos padrões de potabilidade (BRAYNER, 1998).

A exposição ao meio contaminado pode apresentar efeitos negativos à saúde humana, configurando-se risco. O termo “risco” está associado à possibilidade de ocorrência de um evento indesejado. Para este estudo, o risco refere-se ao efeito adverso à saúde humana (NAVARRO, 2009).

O estabelecimento de uma condição de risco, decorrente do meio, depende da existência e da interação de três elementos fundamentais, sendo: fonte de contaminação; o receptor; e as vias de exposição. Sendo assim, a ausência de qualquer um destes implica na ausência do risco. A mensuração do risco devido à exposição aos contaminantes é um processo que envolve as variáveis que caracterizam o meio físico e os eventuais receptores (EPA, 1989). Segundo a EPA (1989) receptores são exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos associados a um evento de contaminação

ambiental, sejam eles organismo, comunidade, habitat sensível ou ecossistema que esteja. No atual estudo considera-se receptores como o indivíduo humano ou comunidade/grupo de indivíduos.

Um método utilizado para avaliação de risco é o *Risk-Based Corrective Action* - *RBCA* (ação corretiva baseada no risco), que permite que se quantifique o risco e estabeleça metas de remediação através da integração das características dos contaminantes (mobilidade, solubilidade, volatilização, etc.) do meio físico impactado (porosidade, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica, etc.), dos meios de transporte (água subterrânea, solo superficial, solo sub-superficial e ar), das vias de exposição (ingestão, inalação e contato dermal) e das populações potencialmente receptoras (massa corpórea média, expectativa de vida, etc.) (CETESB, 2006). Os riscos toxicológicos avaliados correspondem aos provocados por exposições crônicas (exposições prolongadas) a compostos carcinogênicos e/ou não carcinogênicos.

O risco carcinogênico é expresso pelo incremento de risco para efeitos carcinogênicos sobre a saúde humana em função da exposição a um composto de interesse. Considera-se como critério de risco carcinogênico normalmente aceitável um valor entre $1,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-6}$, que significa um aumento de 0,0001 a 0,000001 na probabilidade de um indivíduo desenvolver algum tipo de câncer devido à exposição aos compostos de interesses identificados (EPA, 1986).

A somatória dos riscos individuais para os diversos compostos de interesse e as diversas vias de exposição aplicáveis a um receptor, fornecem os riscos cumulativos carcinogênicos e não carcinogênicos. Para compostos não carcinogênicos, esta soma é denominada de Índice de Periculosidade (*Hazard Index*), o qual não deve ultrapassar 1,0 (EPA, 1986).

O que se objetiva através do emprego do *RBCA* é a definição dos limites toleráveis das concentrações dos contaminantes na área de estudo. Estes limites são estabelecidos de modo a não se extrapolar o risco no ponto de exposição.

No Brasil, é recente o uso de avaliações de risco como um procedimento complementar para determinação dos impactos gerados devido à das águas

subterrâneas e, também, como um instrumento auxiliar na decisão sobre eventuais medidas de intervenção (LOUREIRO, XAVIER, 2004).

JANISSEK, GOMES e PORFÍRIO (2014) destacam a importância da realização de estudos no país capazes de fornecer informações que permitam a caracterização das distribuições de probabilidade para avaliações de risco à saúde humana.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a presença ou não de risco à saúde humana pela ingestão da água aflorante da sub-superfície do Aterro Sanitário da Lamenha Pequena, através da utilização do programa - *RBCA Tool Kit for Chemical Releases Version 2.6* como ferramenta de análise.

ÁREA DE ESTUDO

O Aterro da Lamenha Pequena encontra-se situado entre os municípios de Curitiba e Almirante Tamandaré, no bairro da Lamenha Pequena, localizado a noroeste de Curitiba. O acesso principal se dá pela Rua Justo Manfron, esquina com a Rua Miguel Krizanoski e está localizado entre coordenadas 25°20'59" e 25°21'22" Sul e 49°20'00" e 49°20'25" W.Gr. A Figura 1 apresenta o recorte espacial da Aterro da Lamenha Pequena.

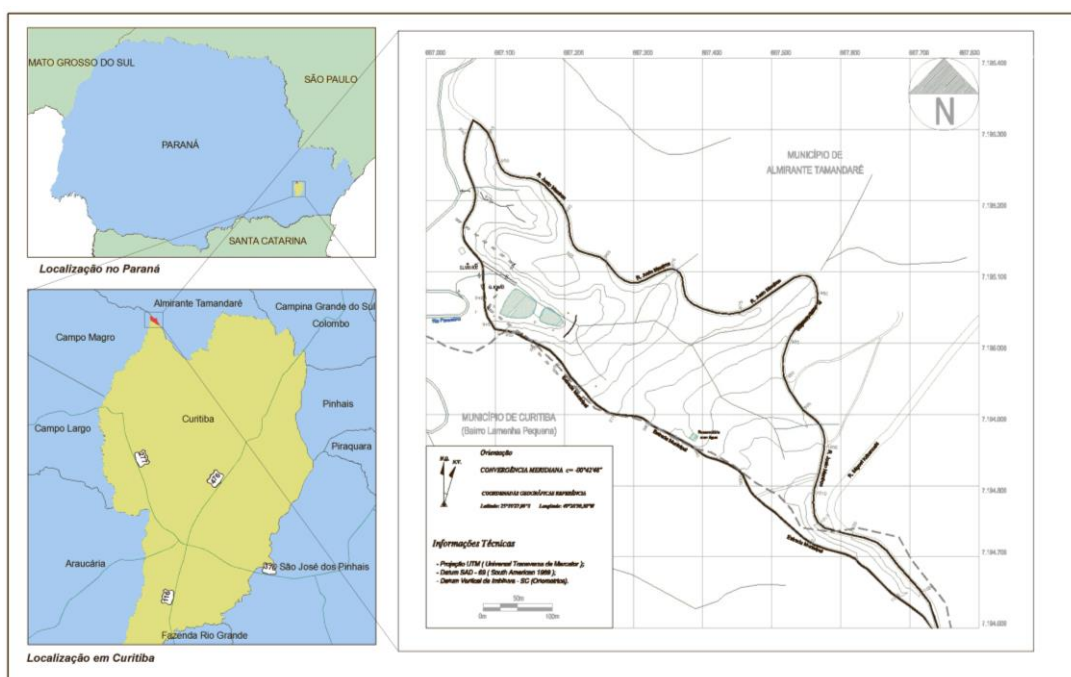


Figura 1 – Macrolocalização do Aterro da Lamenha Pequena.
Fonte: Autor, 2015.

O aterro da Lamenha Pequena tem uma área total de 120.047,0 m², onde recebeu praticamente todos os tipos de resíduos (domiciliares, comerciais, serviços de saúde e industriais) provenientes dos municípios de Curitiba e Almirante Tamandaré, não havendo nenhum tipo de cuidado com o solo e nem com o chorume gerado de 1964 a 1981, sendo que só após 1981, com obras realizadas para tentar minimizar os impactos, deixou de ser lixão e foi classificado como Aterro Controlado (SMMA, 2010). Atualmente esses resíduos encontram-se com cobertura vegetal consolidada, diminuindo a exposição dos resíduos ao oxigênio, o que dificulta sua decomposição.

Sua operação ocorreu entre os anos de 1964 e 1989, em duas áreas de deposição de resíduos denominadas de vertente norte e vertente sul. Estima-se que o Aterro tenha recebido aproximadamente 810.000 m³ de resíduos, sendo eles domiciliares, comerciais, serviços de saúde e industriais (SMMA, 2010).

O chorume é captado por drenos sub-superficiais, de material drenante, o qual capta o percolado no solo para lagoa anaeróbia. Após passar pela lagoa anaeróbia, o chorume tratado vai para a lagoa facultativa e depois será juntado, em uma caixa ligação, com o escoamento superficial para ser liberado ao Rio Passaúna. O tratamento é feito através de uma lagoa anaeróbia, com volume útil de 2.958,77 m³, e uma lagoa facultativa com volume útil de 3.524,77 m³ (SMMA, 2010). A Figura 2 apresenta o detalhe do sistema de drenagem e captação do chorume do aterro.

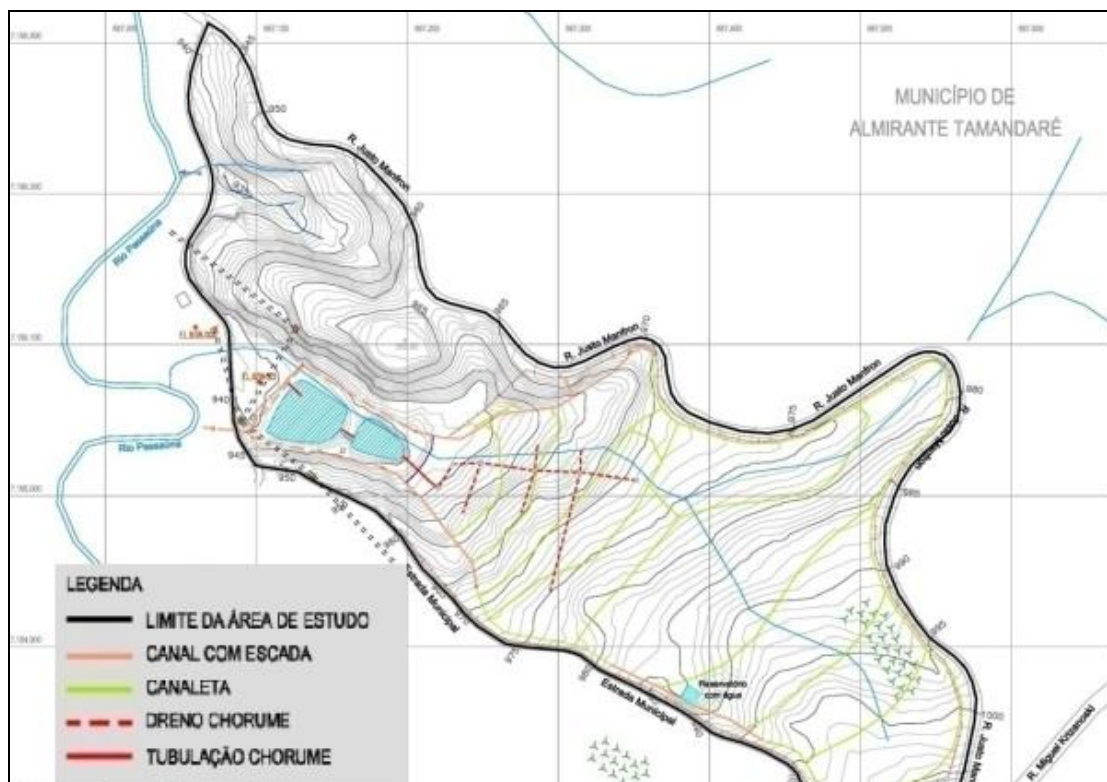


Figura 2 - Detalhe do Sistema de Drenagem e Captação do Chorume
 Fonte: SMMA, 2009.

O Aterro está inserido, integralmente na sub-bacia do Passaúna, a qual pertence ao sistema hidrográfico do Alto Iguaçu, e está localizada entre os paralelos 25°18'30" e 25°35'00" S e os meridianos 49°18'30" e 49°31'30" Gr. W, com área de drenagem de 179,7 km² (XAVIER, 2005).

A área de estudo possui relevo acidentado, com espigões alongados e retilíneos, vertentes curtas e declividades médias a elevadas, sustentado por rochas metamórficas do Grupo Açungui. O padrão de drenagem é do tipo subparalelo e retangular, obedecendo ao condicionamento tectônico fornecido pelos planos de foliação e pelo sistema de fraturas (SAVIAN, 2001). As altitudes máximas estão em torno de 1.025m e mínimas da ordem de 930m, originando desnível absoluto de 95m, porém a forma original do aterro foi modificada, em grande parte, com a disposição dos resíduos urbanos.

Apesar da Figura 2 demonstrar a presença de um afluente, este apresenta-se disperso nas canaletas da drenagem superficial, realizada na área do aterro, sendo encaminhado ao rio Passaúna sem tratamento prévio e monitoramento.

Geologicamente o aterro está inserido na Sequência Juruqui da Formação Capiru. Segundo o mapeamento realizado pelo Consórcio MULTISERVICE/SANIPLAN (1996, APUD. SAVIAN, 2001) ocorrem na região rochas metapelíticas, predominando filitos, metarritimitos e metargilitos com intercalações restritas de metarenitos e, cortando as litologias anteriores, diques de diabásio. As rochas mapeadas apresentam duas feições estruturais marcantes, a foliação principal e o sistema de fraturas. Esses elementos condicionam o menor ou maior grau de permeabilidade das rochas metapelíticas, que por sua natureza granulométrica (argila-silte) são pouco permeáveis (SAVIAN, 2001).

Na área do Aterro Lamenha Pequena circulam águas de três horizontes distintos, sendo superficiais na zona saturada sub-superficial e no aquífero confinado. As águas que circulam sobre a superfície convergem para o rio Passaúna. Logo abaixo da superfície, em meio às camadas de solo, circulam as águas da zona saturada e a dezenas de metros da superfície, contida em descontinuidades da rocha cristalina, circulam as águas subterrâneas do aquífero confinado.

Entre 16 de agosto e 10 de setembro de 2010 foram instalados 15 poços de monitoramento da água subterrânea na zona saturada, pela empresa Obetacem, com objetivo de analisar a qualidade e características da água sub-superficial local. Sendo assim, foi possível observar que o nível d'água na zona saturada, da área do aterro, varia de 0,80 a 13,5m de profundidade, com nível d'água médio de 5,70 m, obtido através do monitoramento dos poços existentes no local. O sentido preferencial do fluxo subterrâneo é de Sudeste (SE) para Noroeste (NO). Foi identificado topo rochoso em profundidade entre 2,5 e 10,0 metros (LARA & MARQUES, 2010).

METODOLOGIA

Modelo Matemático

Para realização desse estudo foi utilizado o modelo *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, versão 2.6, desenvolvido pela empresa GSI Environmental

Inc, o qual utiliza plataforma do Microsoft® Excel e é abastecido com dados referentes às características dos receptores, do meio físico e dos contaminantes, para realizar os cálculos matemáticos e estabelecer concentrações limites toleráveis específicos para a área para cada composto químico de interesse, denominados *SSTL's (Site Specific Target Level)*.

O pacote do *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, versão 2.6, permite realizar análises em três níveis de aprofundamento, baseados no processo de planejamento da *American Society for Testing Materials*, definido na ASTM E-2081-00 *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action* (ASTM,2000) e de acordo com as orientações da *Environmental Protection Agency*, para avaliação dos riscos para a saúde humana (EPA, 1989), os quais são ajustados de acordo com a necessidade do estudo e a quantidade de dados existente

O Nível 1 (*tier 1*) envolve o risco genérico para a exposição local, pois são omitidos propriedades e fatores de exposição específicos da área. O Nível 2 (*tier 2*) permite avaliar os níveis-alvo específicos para a área (*SSTL's*), tanto no local (*on-site*) quanto para fora (*off site*), baseado em dados específicos da área de estudo para cada meio afetado (solo, água subterrânea e ar). Já o Nível 3 (*tier 3*) é comparável a um cálculo nível 2, no entanto não utiliza o modelo padrão do destino e transporte fornecido no *software* para realizar os cálculos, e sim o fator de atenuação natural determinado a partir de outro modelo externo ou a partir de medições específicas (BARROS & CARVALHO, 2010).

Para este estudo será utilizado o *Tier 2*, por carência de dados do fator de atenuação natural dos compostos determinados nessa análise.

Para a caracterização dos riscos foi necessário elaborar um cenário representativo da área em estudo, genericamente denominado de modelo conceitual da área, contendo os seguintes elementos:

- ✓ Área contaminada;
- ✓ Vias de exposição; e
- ✓ Receptores atuais ou potenciais;

A área contaminada refere-se à porção compreendida pelos poços de monitoramento presentes na área de estudo. É importante ressaltar que o polígono estipulado não ultrapassou os limites de aterro.

Para este estudo foi considerada via de exposição ingestão d'água. Esse cenário de exposição está associado ao transporte de água subterrânea afetada, a qual aflora em determinados pontos ou migra para a água superficial. É importante ressaltar que a população local não é abastecida pela água aflorante nestes pontos, sendo que está é ingerida eventualmente.

Com base na área contaminada e na via de exposição estabelecida é possível determinar os eventuais receptores.

No *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, versão 2.6, o termo *on-site* se refere a um receptor localizado na área contaminada, já o termo *off-site* refere-se a um receptor em qualquer ponto de distância fora da zona da fonte da contaminação, mesmo que esteja dentro da área de estudo (BARROS & CARVALHO, 2010).

Foram considerados os receptores descritos abaixo, sendo todos reais, ou seja, não foram contemplados cenários hipotéticos:

- **On-site (0,00 m):** Essa via de exposição foi considerada para receptores residenciais expostos nos pontos de afloramento da zona saturada, localizados na área de deposição dos resíduos no aterro. Na área determinada foram verificados quatro pontos de afloramento, sendo três a jusante e um a montante da área de deposição de resíduos;
- **Off-site 1 (20,00 m):** Via de exposição considerada para receptores residenciais, considerando o caso de ingestão da água subterrânea proveniente dos pontos de afloramento da zona saturada, localizados a aproximadamente 20,0m da área contaminada. Destaca-se que destes pontos estão localizadas à jusante da área de deposição dos resíduos e uma a montante; e
- **Off-site 2 (25,00 m):** Via de exposição considerada para receptor residencial, considerando a migração da água subterrânea ao rio Passaúna, o qual localiza-se a aproximadamente 25 metros da área contaminada definida.

A Figura 3 é possível observar a área contaminada, os poços de monitoramento, e os receptores determinados para este estudo (nacentes).

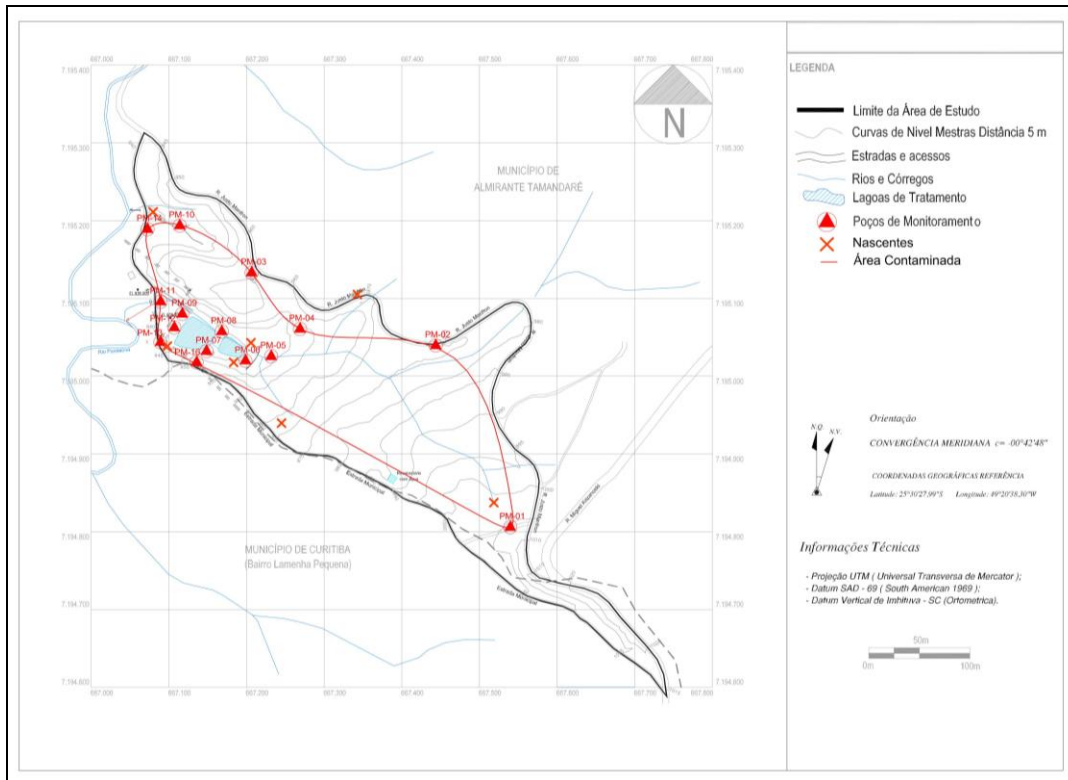


Figura 3 - Área Contaminada, Poços de Monitoramento e Receptores
Fonte: SMMA, 2010.

O programa possui uma janela específica para identificar as vias de exposição. A Figura 4 reproduz a tela do programa para a identificação das vias de exposição. Nota-se que apenas a via de exposição o campo 1 “Groundwater Exposure” está habilitada.

Exposure Pathway Identification

1. Groundwater Exposure

*Groundwater Ingestion/
Surface Water Impact*

Receptor: Res. Res. S.W.
 On-site Off-site1 Off-site2
 Distance: 0 20 25 (m)

Source Media:
 Affected Groundwater
 Affected Soils Leaching to Groundwater

Option:
 Apply MCL value as ingestion RBEL (backward mode only)

GW Discharge to Surface Water Exposure

Swimming
 Fish Consumption
 Specified Water Quality Criteria

Enter Criteria

2. Surface Soil Exposure

Combined Exposure

Receptor: None
 On-site
 Construction Worker

Source Media:
 Direct Ingestion
 Dermal Contact
 Inhalation (vol+part)
 Vegetable Ingestion

Option:
 Apply UK (CLEA) SGV as soil concentration limit

Veg Options

Site Name: Aterro da Lamenha Pequena
 Location: Curitiba - PR
 Compl. By: Ian de Lima Ribeiro
 Job ID: _____ Date: 4-Nov-14

3. Air Exposure

*Volatilization and Particulates
to Outdoor Air Inhalation*

Receptor: None None None
 On-site Off-site1 Off-site2
 Distance: 0 70 130 (m)

Source Media: Construction worker
 Affected Soils--Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Groundwater--Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Surface Soils--Particulates to Ambient Outdoor Air

Volatilization to Indoor Air Inhalation

Receptor: None None None
 On-site Off-site1 Off-site2
 Distance: 0 70 130 (m)

Source Media:
 Affected Soils--Volatilization to Enclosed Space
 Affected Soils Leaching to GW--Volatilization to Enclosed Space
 Affected Groundwater--Volatilization to Enclosed Space

Bldg Options

4. Commands and Options

Exposure Factors & Target Risks

Figura 4: Tela de caracterização das vias de exposição

Dados de Entrada

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba realizou três campanhas de amostragem, sendo uma em junho de 2012, outra em novembro de 2012 e a última em abril de 2013. Destaca-se que dos 15 poços de monitoramento, 12 apresentaram condições de amostragem, tendo sido realizadas as coletas (SMMA, 2013). Foram analisados 31 parâmetros, entre físico-químicos e bacteriológicos, cujos resultados obtidos são apresentados no Relatório do Monitoramento Ambiental do Percolado do Aterro Controlado Lamenha Pequena (2013), emitido pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba.

O *software RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Version 2.6.*, apresenta uma gama enorme de parâmetros orgânicos e inorgânicos no banco de dados.

Porém nem todos os parâmetros apresentados no Relatório de Monitoramento Ambiental do Percolado do Aterro Controlado Lamenha Pequena constam no banco de dados do *software* utilizado. Sendo assim, os parâmetros selecionados para esse estudo são os que constam em ambos os casos no *software* e no relatório.

Após selecionados os parâmetros foram observadas as maiores concentrações registradas durante as três campanhas de amostragem, representando o cenário mais extremo observado. Ressalta-se que para os compostos que apresentaram concentrações inferiores ao valor de quantificação do método analítico laboratorial foram considerados estes valores.

A Tabela 1 apresenta a relação dos parâmetros selecionados e concentrações máximas obtidas, os quais foram utilizados como parâmetros de entrada no *software*, em conformidade com sua demanda.

Tabela 1– Concentrações máximas dos Parâmetros Selecionados

Parâmetro	Concentração máxima obtida (mg/L)
Alumínio	2,797
Arsênio	0,001
Bário	2,0
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cobre	0,857
Cromo	0,006
Estanho	0,000005
Fósforo	6,9
Manganês	11,139
Merúrio	0,001
Níquel	0,006
Nitrato	16,6
Nitrito	7,04
Prata	0,02
Zinco	0,146

Fonte: SMMA, 2013.

Como as campanhas foram realizadas em períodos distintos, em diferentes momentos pluviométricos, foi calculada a média dos compostos das três campanhas de amostragem para cada posto amostrado, com o objetivo de avaliar o cenário mais homogêneo. Após a modelagem realizada, as médias calculadas foram comparadas aos níveis alvo para verificar quais concentrações ultrapassaram os *SSTL*

Como parâmetro de entradas, utilizou-se as características físicas da área de estudo. Os parâmetros do meio físico caracterizam as condições do

solo e do aquífero que influenciam na mobilidade e persistência dos compostos no meio.

Para a condutividade hidráulica e porosidade efetiva do solo foram utilizados valores médios para solos argilo-siltosos, conforme apresentado no estudo de Fetter (1994). O gradiente hidráulico refere-se à média da carga hidráulica, e a espessura da zona saturada refere-se à média do nível d'água e a média da profundidade que foi interceptada o topo rochoso, dados estes apresentados no Relatório de Implantação de Poços de Monitoramento do Aterro Municipal da Lamenha Pequena (LARA & MARQUES, 2010).

Para a largura da área contaminada na descarga da água subterrânea para superficial foi calculado o comprimento da área contaminada que margeia o Rio Passaúna. Quanto à espessura da área contaminada na descarga da água subterrânea para superficial foi utilizada a espessura da zona saturada nos poços de monitoramento mais próximos ao Rio Passaúna.

A vazão do rio foi obtida através da série histórica da 65020995 - AI28 – “Montante Aterro Sanitário”, durante o Período de 10/1991 a 08/2011 (ÁGUASPARANÁ, 2014).

Para o pH da água subterrânea foi utilizada a média dos resultados apresentados no Relatório de Monitoramento Ambiental do Percolado do Aterro Controlado Lamenha Pequena (SMMA, 2013).

A Figura 5 apresenta a janela onde são inseridos os dados de entrada dos parâmetros físicos específicos da área.

Site-Specific Groundwater Parameters

Site Name: Aterro da Lamenha Pequena Job ID:
 Location: Curitiba - PR Date: 4-Nov-14
 Compl. By: Ian de Lima Ribeiro

1. Water-Bearing Unit

Hydrogeology

Groundwater Darcy velocity: 7.6E-4 (m/d)
 Groundwater seepage velocity: 3.8E-1 (m/d)
 or Calculate

Hydraulic conductivity: 1.0E-5 (m/d)
 Hydraulic gradient: 76 (-)
 Effective porosity: 0.002 (-)

Sorption

Fraction organic carbon-saturated zone: 0.001 (-)
 Groundwater pH: 6.5 (-)

2. Groundwater Source Zone

Groundwater plume width at source: 600 (m)
 Plume (mixing zone) thickness at source: 1.5 (m)
 Calculate

Saturated thickness: 1.5 (m)
 Length of source zone: 50 (m)

3. Groundwater Dispersion

Model: ASTM Default

	GW Ingestion		GW to Indoor Air	
	Off-site 1	Off-site 2	Off-site 1	Off-site 2
Distance to GW receptors	20	25	70	130
Longitudinal dispersivity	2	2.5	7	13
Transverse dispersivity	0.66	0.825	2.31	4.29
Vertical dispersivity	0.1	0.125	0.35	0.65

4. Groundwater Discharge to Surface Water

Distance to GW/SW discharge point: 25 (m) [Off-site 2]
 Plume width at GW/SW discharge: 150 (m)
 Plume thickness at GW/SW discharge: 4.9 (m)
 Surface water flowrate at GW/SW discharge: 0.4 (m³/s)

5. Commands and Options

Main Screen Use/Set Default Values Print Sheet
 Set Units Help

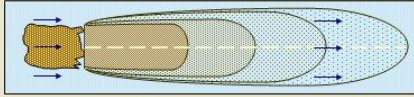


Figura 5: Tela dos parâmetros específicos da área.

Foram mantidos os valores originais fornecido pelo *software*, quantos aos dados referentes a peso corpóreo, frequência de exposição aos compostos carcinogênicos, taxa de ingestão de água, exposição dermal e outros dados relevantes quanto aos receptores.

RESULTADOS

Para os receptores selecionados são apresentados os riscos individuais referentes a cada composto de interesse e cumulativos (somatória dos riscos individuais) de cada água subterrânea e superficial, além da somatória dos riscos carcinogênicos e não carcinogênicos de todas as vias de exposição aplicáveis ao receptor.

A Tabela 2 apresenta o quadro de quantificação dos riscos individuais e cumulativos identificados na área Aterro da Lamenha Pequena, através do índice e coeficiente de perigo, de acordo com o *Hazard Index*.

Tabela 2 - Quantificação dos riscos individuais e cumulativos carcinogênicos e não carcinogênicos considerando todas as vias de exposição

Risco Carcinogênico				Limite do Risco Excedido "■" se sim	Efeitos Tóxicos				Limite de Toxicidade Excedido "■" se sim
Risco do COC Específico		Risco do COC Cumulativo			Quociente de Perigo		Índice de Perigo		
Valor Máximo	Risco Alvo	Valor Total	Risco Alvo		Valor Máximo	Limite Aplicável	Valor Total	Limite Aplicável	
Água Subterrânea									
2,2X10 ⁻⁵	1,0X10 ⁻⁵	2,2X10 ⁻⁵	1,0X10 ⁻⁵	■	2,2X10 ⁴	1,0	2,2X10 ⁴	1,0	■
Água Superficial									
NC	1,0X10 ⁻⁵	NC	1,0X10 ⁻⁵	□	NC	1,0	NC	1,0	□
Via de Exposição Crítica (Valores Máximos)									
2,2X10 ⁻⁵	1,0X10 ⁻⁵	2,2X10 ⁻⁵	1,0X10 ⁻⁵	■	2,2X10 ⁴	1,0	2,2X10 ⁴	1,0	■
Água Subterrânea		Água Subterrânea			Água Subterrânea		Água Subterrânea		

Legenda:NC: não calculado. Fonte: Autor

Para os compostos químicos de interesse considerados na análise de risco, foram identificados riscos individuais e cumulativos, tanto carcinogênicos quanto tóxicos, apenas para ingestão da água subterrânea, pois, como é possível observar na Tabela 2 foram ultrapassados os valores de risco alvo e limites aplicáveis em todas as situações.

Através dos modelos de avaliação de exposição e de risco, foram calculadas as concentrações-alvo nos pontos de exposição. A partir destes valores, utilizando-se os modelos de transporte de massa em estado estacionário, foram calculadas as concentrações denominadas de Níveis Alvo Específicos da Área ou *Specific Site Target Level (SSTL)*, que correspondem às máximas concentrações permitidas no solo e na água subterrânea da área-fonte, para que os receptores identificados não estejam expostos ao risco, segundo os critérios estabelecidos.

Na Tabela 3 são apresentados os valores *SSTL* calculados para a avaliação da água subterrânea para cada via de exposição e os compostos de interesse. A coluna referente ao *SSTL* aplicável apresenta os valores mais restritivos obtidos por composto, entre todas as vias de exposição analisadas.

Tabela 3– Níveis Alvo Específicos da Área para a Água Subterrânea

Valores SSTL		Risco-Alvo: (Classe A & B) = $1,0 \cdot 10^{-5}$; Quociente Alvo de Perigo: 1,0				
		Opção DAF Água Subterrânea: Domenico - Sem decaimento (Unidirecional com dispersão vertical)				
Constituinte de Preocupação	Concentração Representativa	Resultado do SSTL para Via de Exposição Considerada				
		Ingestão de Água Subterrânea			SSTL Aplicável	SSTL Excedido?
		Onsite (0 m)	Off site 1 (20m)	Off site 2 (25 m)		
Nome	mg/L	Residencial	Residencial	Água Superficial	mg/L	“■” se Sim
Alumínio	2,80	15,64	15,64	NC	15,64	□
Arsênio	0,001	0,01	0,01	NC	0,01	□
Bário	2,00	2,00	2,00	NC	2,00	□
Cádmio	0,01	0,01	0,01	NC	0,01	□
Chumbo	0,01	NC	NC	NC	NC	□
Cobre	0,86	1,30	1,30	NC	1,30	□
Cromo	0,01	23,46	23,46	NC	23,46	□
Estanho	0,00001	9,39	9,39	NC	9,39	□
Fósforo	6,90	0,0003	0,0003	NC	0,0003	■
Manganês	11,14	2,19	2,19	NC	2,19	■
Mercúrio	0,001	0,002	0,002	NC	0,002	□
Níquel	0,01	0,10	0,10	NC	0,10	□
Nitrato	16,60	10,00	10,00	NC	10,00	■
Nitrito	7,04	1,00	1,00	NC	1,00	■
Prata	0,02	0,08	0,08	NC	0,08	□
Zinco	0,15	4,69	4,69	NC	4,69	□

Legenda: SSTL: *Site Specific Target Level*; m: metro; mg: miligrama; L: litro; (-): via de exposição não analisada; NC: não calculado; na: não avaliado; mg: miligrama; L: litro.

Fonte: Autor

Os resultados obtidos na avaliação de risco foram comparados com as concentrações máximas observadas nas amostragens dos poços de monitoramento existentes na área de estudo. Sendo assim, foi possível observar que, no pior cenário, os compostos Fósforo, Manganês, Nitrato e Nitrito, apresentaram concentrações superiores aos níveis alvos para ingestão de água subterrânea para receptores residenciais *on-site* quanto para *off-site* 20,0 m.

De acordo com as tabelas acima, é possível observar que para o receptor água superficial os SSTL's, foram apresentados como não calculados,

significando que para a distância considerada os compostos analisados não oferecem risco, independente da concentração obtida nas análises laboratoriais. Esse fato está relacionado a características físicas do rio receptor e do lençol freático local.

Após calculados os *SSTL* para a área de estudo, foi possível realizar um comparativo entre os níveis alvo e a média das concentrações dos parâmetros selecionados obtida para cada poço amostrado, o qual é apresentado na Tabela 4, com o objetivo de verificar se o cenário mais estável, a média, apresentará risco.

De acordo com a Tabela 4 é possível observar que para o parâmetro Fósforo apresentou concentrações superiores ao *SSTL* em todos os poços, apresentando risco de ingestão da água subterrânea tanto para receptores *on-site* quanto para *off-site* em 20,0m. Para o composto Manganês, apenas os poços PM-06 e PM-08 apresentaram risco para ingestão da água subterrânea. Os compostos Nitrato e Nitrito apresentaram risco para ingestão nos poços de monitoramento, PM-05 e PM-12 respectivamente.

Tabela 4 – Média dos resultados analíticos dos parâmetros selecionados em água subterrânea com valores SSTL (mg/L)

Parâmetros	PM 01	PM 02	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	PM 10	PM 12	PM 13	PM 14	Onsite (0 m)	Off site 1 (20m)	Off site 2 (25 m)
													Residencial	Residencial	Água Superficial
Alumínio	0,026	0,026	0,026	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,758	0,278	15,64	15,64	NC
Arsênio	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	NC
Bário	0,101	0,100	0,100	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,701	2,00	2,00	NC
Cádmio	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,01	0,01	NC
Chumbo	0,005	0,005	0,005	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	NC	NC	NC
Cobre	0,005	0,005	0,005	0,007	0,017	0,013	0,010	0,011	0,196	0,013	0,300	0,013	1,30	1,30	NC
Cromo	0,012	0,002	0,012	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	23,46	23,46	NC
Estanho	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	9,39	9,39	NC
Fósforo	0,784	0,204	0,013	0,877	0,667	0,027	0,040	0,063	0,134	0,083	2,307	0,343	0,0003	0,0003	NC
Manganês	0,474	1,462	0,003	0,070	3,786	1,554	3,747	0,168	0,159	0,040	0,685	0,249	2,19	2,19	NC
Mercúrio	0,0004	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	NC
Níquel	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,10	0,10	NC
Nitrato	4,433	2,933	1,800	10,700	4,000	9,567	2,433	2,667	1,467	3,167	3,533	1,433	10,00	10,00	NC
Nitrito	0,104	0,007	0,004	0,002	0,002	0,336	0,015	0,002	0,002	3,521	0,024	0,002	1,00	1,00	NC
Prata	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,08	0,08	NC
Zinco	0,037	0,027	0,031	0,074	0,033	0,032	0,037	0,035	0,082	0,036	0,150	0,037	4,69	4,69	NC

Legenda: SSTL: Site Specific Target Level; PM: poço de monitoramento; mg: miligrama; L: litro; m: metros; NC: não calculado; **X,XX**: concentração superior ao SSTL. Fonte: Autor

CONCLUSÃO

Para a Avaliação de Risco, através da metodologia *RBCA Tier 2*, considerou-se as características da área de estudo, as características da contaminação na água subterrânea, além de receptores estabelecidos, sendo então gerado o modelo conceitual da área investigada.

Para realização deste estudo, foram mapeados pontos de afloramento da zona saturada, na área do aterro desativado da Lamenha Pequena e suas adjacências. Foram identificados 7 pontos, sendo 4 na área contaminada e 3 fora dela.

De acordo com os resultados obtidos com a utilização da metodologia aplicada, observou-se que foram ultrapassados os valores de risco alvo e limites aplicáveis sendo assim, foi identificado risco tóxico e carcinogênico a partir de exposições individuais e cumulativas aos compostos identificados na área para as vias de exposição ingestão da água subterrânea.

Quando comparados os resultados obtidos da avaliação de risco com as concentrações máximas observadas nas amostragens dos poços de monitoramento existentes na área de estudo, verificou-se que os compostos Fósforo, Manganês, Nitrato e Nitrito, apresentaram concentrações superiores aos níveis alvo para ingestão de água subterrânea para receptores residenciais *on-site* quanto para *off-site* 20,0 m. Essa comparação indicou que no pior cenário identificados há risco individual para os compostos supracitados.

Para avaliar um cenário mais estável, foi realizada a média das concentrações dos compostos utilizados nesse estudo, nas três campanhas de amostragem realizada pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba, para os poços de monitoramento amostrados, e comparada com os níveis alvo obtido, sendo assim foram comparadas as médias de concentrações de cada compostos, poço a poço.

Foi possível observar que o parâmetro Fósforo apresentou concentrações superiores ao SSTL calculado em todos os poços amostrados, apresentando risco real de ingestão nos receptores definidos, tanto para *on-site* quanto para *off-site* em 20,0m.

Para o composto Manganês, somente os poços PM-06 e PM-08 apresentaram risco para ingestão da água subterrânea. Os compostos Nitrato e Nitrito apresentaram risco para ingestão apenas em um poço de monitoramento, PM-05 e PM-12 respectivamente.

Devido à relação das características físicas do rio receptor (Rio Passaúna) e das características do lençol freático local, não foi identificado risco por ingestão da água superficial independente das concentrações dos compostos.

De acordo com as informações levantadas conclui-se que há risco real para ingestão de água subterrânea através das nascentes mapeadas, para receptores residenciais. Portanto recomenda-se que não se ingira água do subsolo, bem como, não se implante poços de captação de água subterrânea nas adjacências da área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUASPARANÁ, Instituto das Águas do Paraná, **Sistemas de Informações Hidrológicas**, Curitiba, 2014.

ASTM, American Society for Testing Materials. **E2081-00**, Standard Guide for Risk-Based Corrective Action. Philadelphia, EUA, 2000.

BARROS, Débora, CARVALHO, Denize Dias. **Utilização da Metodologia RBCA em Atividades De Revenda De Combustíveis – Estudo De Caso No Município Do Rio De Janeiro**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luiz – MA, 2010.

BRAYNER, F.M.M. **Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana**. Dissertação de Doutorado. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo. 1998. 103 p.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aterro Sanitário**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Aterro%20Sanit%C3%A1rio/21-Aterro%20Sanit%C3%A1rio>
Acessado em: 27/11/14.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Decisão de Diretoria nº 010-2006-C** (ANEXO VII: Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos – procedimentos), São Paulo, SP, 2006.

EPA, Environmental Protection Agency. **Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures**, Washington, EUA, 1986.

EPA. Environmental Protection Agency. **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual**, Washington, EUA, 1986.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**, 3ª ed., Nova Jersey, Prentice Hall. 1994, 91 p.

LARA, Luciano J., MARQUES, Bruno Boletta. **Implantação de Poços de Monitoramento: Aterro Municipal da Lamenha Pequena**. Curitiba – PR, 2010.

NAVARRO, Marcus Vinícius Teixeira. **Risco, Radiodiagnóstico e Vigilância Sanitária**. Salvador-BA: EDUFBA, 2009, 37-75 p. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acessado em 03/03/2015

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

OLIVEIRA, Everton. **Persistência e Mobilidade**. ABAS informa, São Paulo, 1998.

, Bianca. **Avaliação de risco à saúde humana do aterro controlado de Morretes**. Eng Sanit Ambient v.19, n°.4, 441-452 p, 2014.

SAVIAN, Michelle. **Aplicação e Discussão do Método GPR para a Identificação de Plumões de Contaminação Decorrentes da Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos**: Estudo de Caso: Aterro Sanitário da Lamenha Pequena, Trabalho de Conclusão da Especialização em Sistema de Gestão Ambienta - PUCPR, Curitiba – PR, 2001.

SMMA, Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba. **Elaboração de Projetos Executivos para a Recuperação do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais, dos Acessos Internos, do Sistema de Tratamento de Efluentes e do Sistema de Monitoramento de Águas Subterrâneas** **Elaboração de Projetos Executivos para a Recuperação do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais, dos Acessos Internos, do Sistema de Tratamento de Efluentes**: Aterro Encerrado da Lamenha Pequena PR, Curitiba-PR, 2009.

SMMA, Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba. **Plano de Gestão Integrada De Resíduos Sólidos de Curitiba**, Curitiba - PR, 2010.

SMMA, Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba. **Relatório do Monitoramento Ambiental do Percolado do Aterro Controlado Lamenha Pequena**, Curitiba - PR, 2013.

XAVIER, C. **Avaliação da Influência do Uso e Ocupação do Solo e de Características Geomorfológicas Sobre a Qualidade das Águas de Dois Reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba – Paraná**. Dissertação de Mestrado em Solos no Curso de Pós Graduação em Ciências do Solo – UFPR, Curitiba-PR, 2005, 167 p.

LOUREIRO, Celso de Oliveira. XAVIER, Léa Lignani. **Análise de Risco Ambiental em Cenários de Contaminação do Solo: Uma Avaliação Metodológica Comparativa.** XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, Brasil, 1-19p, 2004