

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RANGEL WARMELING FELDHAUS

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DO SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POSTO DE
DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL - ESTUDO DE CASO**

CRICIÚMA

2013

RANGEL WARMELING FELDHAUS

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POSTO DE
DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL - ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador(a): Prof. (ª) MSc. Clóvis Norberto Savi

CRICIÚMA

2013

RANGEL WARMELING FELDHAUS

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POSTO DE
DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL - ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Saúde Ambiental e Segurança do Trabalho.

Criciúma, 26 de julho de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Clóvis Norberto Savi - (UNESC) - Orientador

Prof. MSc. Sérgio Luciano Galatto - (UNESC)

Prof. Dr. Álvaro José Back - (UNESC)

Dedico primeiramente aos meus pais pelo esforço, dedicação e compreensão nesta jornada, aos meus irmão, a minha namorada pela paciência, ajuda e companhia e a meus primos e amigos sempre juntos nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Valdete e Evaldo por acreditarem em mim e no meu potencial nesses anos de faculdade.

Aos meus irmãos Fernando e Gustavo por estarem sempre ajudando e colaborando com os projetos e trabalhos.

A minha namorada Thatiane por seu companheirismo, inesgotável paciência e apoio nestes anos.

Ao meu Orientador Clóvis pelo incentivo, apoio e grande conhecimento repassado durante as aulas e no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu Supervisor de campo Edson Alberton e sua esposa Fernanda pela paciência, sinceridade, dedicação e conhecimento a mim concedido.

Aos proprietários do Auto Posto por cederem as instalações, pela ajuda na obtenção de dados e por não manterem restrições ou anseios em disponibilizar as informações.

Aos verdadeiros amigos e aos meus primos, pelo incentivo e amizade mesmo nos momentos onde estava ausente.

Enfim, a todos que de alguma forma puderam contribuir para mais um passo dado na minha vida.

“Quando cada um se responsabilizar e trabalhar com consciência pela preservação do meio ambiente haverá menos impacto ambiental, sendo que os aspectos poderão ser controlados por gente que entende que o planeta terra é também a sua própria casa.”

Márcio Dias De Andrade

RESUMO

A contaminação da água subterrânea por vazamento em postos de combustíveis vem merecendo cada vez mais atenção tanto da população em geral como dos órgãos estaduais de controle ambiental. O presente estudo aborda a avaliação do solo e da água subterrânea contaminada com derivados de petróleo e também faz a análise de risco através de dados lançados no *software* RBCA Tier 2 em um posto de combustível no município de São Ludgero, Santa Catarina, ampliando o entendimento da sociedade sobre os riscos a saúde causados por derramamento destes compostos derivados do petróleo. Ênfase é dada a delimitação da pluma de contaminação encontrada na área de estudo para que se possa avaliar e quantificar os riscos que os trabalhadores e a comunidade vizinha possam estar sofrendo ao localizar-se sobre a contaminação. Os resultados encontrados para risco carcinogênico nos trabalhadores do posto foram de $9,7 \times 10^{-6}$, inferior ao limite de $1,0 \times 10^{-5}$ estabelecidos pela legislação, para risco toxicológico nos trabalhadores encontrou-se $3,0 \times 10^{-1}$, inferior ao limite de 1,0, já para a vizinhança mais próxima que se encontra a doze metros da pluma de contaminação foram encontrados os valores de $6,3 \times 10^{-8}$, para risco carcinogênico, inferior ao limite de $1,0 \times 10^{-5}$ conforme a legislação vigente e $2,1 \times 10^{-3}$, para risco toxicológico inferior ao limite de 1,0.

Palavras-chave: Contaminação. Hidrocarbonetos. Postos de Combustíveis. Análise de Risco.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de Acesso.	27
Figura 2 - Vista aérea do pátio do Auto Posto.....	28
Figura 3 - Layout das instalações.....	29
Figura 5 - Perfuração da malha de COV – A, Leitura de COV com o aparelho PID - B	40
Figura 6 - Malha de COV, pontos de perfuração.....	42
Figura 7 - Perfurações dos poços para coleta de solo e água.	43
Figura 8 - Pontos de perfuração na primeira parte do estudo.	44
Figura 9 - Pontos de perfuração, segunda parte do estudo.	46
Figura 10 - Sentido do fluxo da água subterrânea.	48
Figura 11 - Comportamento da Pluma de Contaminação referente a substância benzeno.	54
Figura 12 - Comportamento da água subterrânea com valor de benzeno acima dos valores de referência.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos compostos presentes na gasolina e/ou óleo diesel.	23
Tabela 2 - Lista de compostos presentes na gasolina e/ou diesel e respectivos valores orientadores de qualidade das águas subterrâneas.	24
Tabela 3 - Normas técnicas para postos de combustíveis.	25
Tabela 4 - Resultado das leituras feitas nas perfurações para avaliar a presença de gases no subsolo da área do estudo.	41
Tabela 5 - Dados relativos aos níveis da água nas sondagens.	47
Tabela 6 - Dados em centímetros para o cálculo da permeabilidade da zona saturada do solo.	50
Tabela 7 - Resultados encontrados em relação ao tempo de coleta dos dados.	50
Tabela 8 - Teor de COV (ppm).....	51
Tabela 9 - Comparação dos valores laboratoriais das amostras de solo com a Resolução CONAMA 420/2009.....	53
Tabela 10 - Comparação dos valores laboratoriais das amostras de água com a Resolução CONAMA 420/2009.....	56
Tabela 11 - Valores de SSTL encontrados nas amostras de solo e água.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo
ABNT	Agência Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etil-benzeno e Xilenos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Composto Orgânico Volátil
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IN	Instrução Normativa
LAI	Licença Ambiental de Instalação
LAO	Licença Ambiental de Operação
LAP	Licença Ambiental Prévia
MME	Ministério de Minas e Energia
NABR	Níveis Aceitáveis Baseados no Risco
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PAH	Hidrocarboneto Aromático Policíclico
PID	GasAlertMicro 5 PID
PM	Poço de Monitoramento
PMA	Poço de Monitoramento Artesiano
PMC	Poço de Monitoramento Cacimba
RBCA	<i>Risk Based Corrective Action</i>
SAO	Sistema Separador de Água e Óleo
SASC	Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis
SISNAMA	Sistema Brasileiro do Meio Ambiente
TPH	Triptofano Hidroxilase

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 HISTÓRICO DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS	15
3.2 LICENCIAMENTO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS	16
3.3 CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL	17
3.4 PASSIVO AMBIENTAL	19
3.5 PROCESSOS DE MIGRAÇÃO E REMEDIAÇÃO DOS CONTAMINANTES	20
3.6 MONITORAMENTO AMBIENTAL	21
3.7 RISCOS PROVOCADOS À SAÚDE HUMANA	23
3.8 LEGISLAÇÕES BÁSICAS VIGENTES	24
4 METODOLOGIA	27
4.1 ÁREA DE ESTUDO	27
4.1.1 Instalações do comércio	28
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	30
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO	30
4.4 MALHA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)	31
4.5 SONDAGENS	31
4.6 PERMEABILIDADE DO SOLO	31
4.6.1 Permeabilidade da zona não saturada do solo	31
4.6.2 Permeabilidade da zona saturada do solo	32
4.7 INVESTIGAÇÃO DO MEIO SUBTERRÂNEO	32
4.7.1 Amostragem e análise laboratorial de solo	32
4.7.2 Amostragem e análise laboratorial de água	33
4.8 ANÁLISE DE RISCO - RBCA TIER 2	33
4.8.1 Fontes de contaminação	34
4.8.2 Compostos químicos de interesse	34
4.8.3 Meios afetados	35
4.8.4 Mecanismo de transporte dos contaminantes	35
4.8.5 Vias de exposição e potenciais receptores	35

4.8.6	Parâmetros utilizados para solo, água e ar.....	36
4.8.7	Concentração dos contaminantes utilizados para análise.....	36
4.8.8	Limite definido para risco máximo aceitável	36
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	37
5.1	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO	37
5.1.1	Geologia.....	37
5.1.2	Geomorfologia.....	37
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO	38
5.3	MALHA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)	39
5.4	SONDAGENS	43
5.5	SUPERFÍCIE FREÁTICA - FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	47
5.6	PERMEABILIDADE DO SOLO.....	49
5.6.1	Permeabilidade da zona não saturada do solo.....	49
5.6.2	Permeabilidade da zona saturada do solo	49
5.7	INVESTIGAÇÃO DO MEIO SUBTERRÂNEO.....	51
5.7.1	Amostragem e análise laboratorial de solo	51
5.7.2	Amostragem e análise laboratorial de água	55
5.8	ANÁLISE DE RISCO - RBCA TIER 2.....	59
5.8.1	Valores alvo de SSTL (<i>Site Specific Target Levels</i>)	59
6	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de muitos anos os recursos naturais não renováveis como o petróleo ocuparam um lugar de destaque no desenvolvimento da humanidade, sendo visto como um bem infindável e utilizado indiscriminadamente para todo e quaisquer fim que lhe fosse útil.

Um dos meios de distribuição do petróleo já refinado, são os postos distribuidores de combustíveis que devido a procura por estes produtos incentivada pela grande utilização de veículos automotores para todos os fins, se multiplicaram e se espalharam por todas as cidades, se instalando de quaisquer forma e utilizando de produtos não adequados para o armazenamento destes derivados.

Os acidentes envolvendo os derivados de petróleo geram um grande passivo ambiental sendo de difícil tratamento devido a elevados custos. Por este motivo, o governo interviu junto aos órgãos regulamentadores visando criar leis e normas a fim de regulamentar e adequar as instalações do comércio de combustíveis com o intuito de preservar o meio ambiente de todos os tipos de alterações que possam ocorrer.

Assim, foi criado o Licenciamento Ambiental, onde as atividades potencialmente poluidoras como os postos distribuidores de combustíveis tem o dever de garantir a segurança ambiental por meio de ações preventivas e corretivas a fim de evitar danos ambientais que possam ser gerados.

Como muitos dos postos de combustíveis foram instalados antes de serem sancionadas as leis e normas que regulamentam o comércio e a distribuição, os passivos gerados devem ser estudados para propor um tratamento adequado que não gere poluição ou venha contaminar áreas ainda despoluídas.

A saúde dos trabalhadores presentes sobre a pluma de contaminação e dos moradores das vizinhanças devem receber muita atenção sendo de extrema importância que se faça os estudos de análise de risco a saúde destas pessoas que ficam expostas a estes contaminantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar de forma integrada os perigos/riscos à saúde e segurança do trabalho e da vizinhança em um posto de distribuição de combustíveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados existentes sobre condições de saúde e segurança do trabalho.
- Avaliar a qualidade do solo e da água subterrânea encontrada na área do posto.
- Identificar os principais riscos/perigos a saúde e segurança do trabalho em um posto de combustível e vizinhança.
- Propor mecanismo integrado de monitoramento dos impactos ambientais e riscos a saúde e segurança do trabalho.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HISTÓRICO DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS

De acordo com Damis; Resende (2001, p. 02), a primeira multinacional autorizada por ato assinado pelo presidente da república, Marechal Hermes da Fonseca, a instalar-se no Brasil foi a *Standat Oil Company of Brazil*, atualmente chamada de Esso Brasileira do Petróleo, no início de 1912. Logo após em 1913 a empresa Shell, sob o nome *The Anglo Mexican Petroleum Products Company Limited*, foi autorizada pelo Decreto 10.168/1913 a iniciar sua comercialização no país. Inicialmente o combustível era comercializado em latas e tambores misturados a cereais e outras mercadorias do gênero.

Segundo Ferreira (1999, p.30 apud GOUVEIA, 2004, p. 07), os investimentos no comércio varejista de combustíveis aumentaram significativamente quando a Esso em 1921 inaugurou a primeira bomba de gasolina de rua, na Praça 15, na cidade do Rio de Janeiro, sendo que somente em 1925 foi construído o primeiro caminhão tanque transportando gasolina a granel. O autor cita que no mesmo ano a população brasileira era de 22 milhões de habitantes e o país possuía uma frota de 2400 veículos, cerca de um veículo para cada 9170 pessoas e todos importados.

Em 1953 foi criada a Petrobrás, que concretizou por vontade do governo e da opinião pública, da emancipação econômica do país, estabelecendo o monopólio estatal do petróleo, embora tenha preservado os investimentos estrangeiros do país, esta criação teve como objetivo principal o monopólio de exploração, produção, refino, transporte e comercialização do petróleo e seus derivados, além de suprir o mercado interno. A preocupação inicial por parte do governo foi estabelecer e estruturar a estatal para produzir e, principalmente, explorar áreas com potencial produtivo no país (DAMIS; RESENDE, 2001, P. 02).

Já em 1990, a revenda deixou de ter seus preços tabelados, entrou em vigor, o sistema de preços máximos cujos revendedores estavam livres para praticar seus descontos em seus preços máximos de bomba proporcionando aqueles que comprassem mais barato vender mais barato. Com afeito, iniciou-se uma disputa acirrada entre os postos revendedores cuja competição baseou-se, fundamentalmente, por meio da redução das margens de lucro com o objetivo de oferecer preços mais competitivos aos consumidores, sem que, por outro lado, tivessem êxito em negociações para a compra (DAMIS; RESENDE, 2001, P. 02).

A Lei Federal N°9.478 de 06 de Agosto de 1997, sanciona no CAPÍTULO IV Da Agência Nacional do Petróleo, na SEÇÃO I, "Art. 7°. "Fica instituída a Agência Nacional do Petróleo - ANP, entidade integrante da Administração Federal indireta, submetida ao regime autárquico especial, como órgão regulador da indústria do petróleo, vinculado ao Ministério de Minas e Energia" (BRASIL, 1997, p. 03).

Em 2002 acaba o período de transição para a liberação do mercado, com a livre formação de preços nas refinarias e liberdade para a importação de Gasolina e Óleo Diesel. Em 2006 entra em vigor a obrigatoriedade da adoção do corante no álcool anidro, instituída pela ANP, a fim de inviabilizar a fraude neste combustível. Em 2007 é publicada a Resolução ANP n° 07/2007, que proíbe a venda pelas distribuidoras a postos de outras bandeiras e restringe a venda entre distribuidoras em até 5% (MALCUN, 2009, p. 15).

3.2 LICENCIAMENTO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Segundo a Resolução CONAMA n°237/97, Licenciamento Ambiental é um "Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetivas ou potencialmente poluidoras[...]".

De acordo com BRASÍLIA (2009, p.9), o Licenciamento Ambiental é um instrumento instituído pela Lei n° 6938, de 31 de agosto de 1981, que possui a finalidade de gerenciar a construção, instalação, ampliação e funcionamento de empreendimentos utilizadores de recursos naturais e os considerados efetivos ou potencialmente degradadores do meio ambiente.

"O licenciamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, previsto no art 9.º da Lei 6.939/1981, que tem por objetivo a prevenção de danos ambientais causados por atividades consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras. Complementarmente, o art. 10 desta mesma lei descreve que a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento, integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis IBAMA". (DALMAGRO, 2011, p.78).

De acordo com a FEPAM (2006, p.21, apud DALMAGRO, 2011, p.79), o Licenciamento Ambiental é composto por uma série de etapas sequenciadas essenciais para avaliar os empreendimentos de acordo com os parâmetros

ambientais e as necessidades socioeconômicas, definindo medidas de controle, tendo como base os objetivos, critérios e normas de conservação, defesa e melhoria do meio ambiente.

Em acordo com o Art. 8 da Resolução CONAMA 237/1997, o licenciamento ambiental decorre em um processo com três etapas, a primeira é a obtenção da Licença Ambiental Prévia - LAP, concedida na fase inicial do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade técnica e estabelece os requisitos básicos e condicionantes a serem cumpridas nas próximas etapas de sua implementação. A segunda etapa é a Licença Ambiental de Instalação - LAI, que autoriza a instalação do empreendimento ou atividade, sendo integrados os planos, programas e projetos anteriormente aprovados. Por fim, a obtenção da Licença Ambiental de Operação - LAO, autorizando a operação da atividade ou empreendimento, após a efetiva vistoria do órgão licenciador sobre as condicionantes estabelecidas anteriormente.

Segundo Dalmagro (2011, p. 80), é preciso levar em consideração a importância do poder público em relação a fiscalização dos postos, considerando que muitos empreendedores compartilham de uma mesma consciência ambiental, mostrando-se muitas vezes aprendizes na operacionalização preventiva, eles apenas visam lucro imediato, não investindo em medidas de controle a longo prazo, assim, prevenindo gastos posteriores e a contaminação do meio ambiente.

3.3 CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

De acordo com Dalmagro (2011, p. 85) os postos de combustíveis inevitavelmente geram resíduos contaminados com hidrocarbonetos, estes são gerados no abastecimento veicular com a contaminação de estopas ou panos e em eventuais vazamentos, na lavagem de veicular com a contaminação da água, na troca de óleo com eventuais derramamentos e na lubrificação de veículos que consiste na inserção de lubrificantes na forma de graxas em pontos específicos na parte inferior do motor e peças.

Conforme Takeuchi (2008, p.14, apud Dalmagro, 2011, p.89) as áreas contaminadas decorrentes da industrialização tornaram-se os grandes passivos ambientais, os vazamentos e derramamentos de derivados de petróleo representam a maioria dos acidentes ambientais no Brasil e no mundo, em virtude do grande

número de postos de serviços, distribuidoras, bases e refinarias. Estas estatísticas despertaram muito interesse da comunidade científica, órgãos públicos e empresas privadas visando soluções para a proteção humana e ambiental.

Os postos de combustíveis apresentam um Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis (SASC) composto por vários equipamentos de operação, como tanques de combustíveis, bombas de abastecimento, tubulações, entre outros, que servem para armazenar, distribuir e comercializar os combustíveis veiculares. Ao longo do tempo, esses equipamentos sofrem danos em suas estruturas, o que pode provocar o vazamento dos produtos e a contaminação do meio ambiente. Para evitar que isso aconteça, os equipamentos devem sofrer manutenção periódica e, quando necessário a substituição completa. (DALMAGRO, 2011, p.89).

Segundo Alonso (1999, p. 66) a contaminação da água subterrânea está recebendo uma atenção diferenciada no âmbito Federal, Estadual, Municipal e dos próprios usuários, como resultado desse interesse, a contaminação encontra-se mais espalhada que o esperado. Esta preocupação também traz a tona os fatos que a poluição da água subterrânea pode gerar uma série de ameaças à saúde e que a purificação dos sistemas de água subterrânea poluídos podem levar séculos ou a soma de elevados recursos financeiros. Estes fatos por si só faz com que a poluição de água por substâncias danosas seja evitada ao máximo.

As contaminações subsuperficiais como derivados de petróleo constituem um dos acidentes ambientais mais sérios na atualidade, por três motivos: primeiro motivo é que os postos fazem parte da nossa vida cotidianamente; segundo, a poluição da água subsuperficial diminui os recursos naturais disponíveis; e, por fim, a contaminação subsuperficial é difícil de ser detectada e recuperada. (FINOOTI; CAICEDO, 2001 p. 30).

“Poluição de água subterrânea, como usada nesta discussão, refere-se a qualquer deterioração na qualidade da água resultante de atividades humanas”. (ALONSO, 1999, p. 66).

A maioria das fontes de poluição de água subterrânea resulta da disposição inadequada de resíduos na superfície da terra, em escavações rasas, através de poços profundos, tanques de armazenamento e dutos. A magnitude de qualquer problema de poluição depende do tamanho da área afetada e da quantidade deste derramamento, da solubilidade, toxicidade e densidade do poluente, da composição mineral e das características hidráulicas de solos e rochas. (HEATH, 1983, p. 66).

Dos hidrocarbonetos constituintes da gasolina e do óleo diesel os que causam maior preocupação são os compostos aromáticos, principalmente o benzeno, o tolueno, o etil-benzeno e os xilenos (orto, meta e para), por serem eles os mais solúveis e os mais tóxicos entre os demais. Esses compostos (comumente denominados BTEX) são poderosos depressores do sistema nervoso central, apresentando toxicidade crônica, mesmo em pequenas concentrações. (OLIVEIRA; LOUREIRO, 1998, p. 4).

Segundo DALMAGRO (2011, p.93), os compostos encontrados nas contaminações por óleo diesel são os PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos), pouco solúveis, voláteis e menos móveis que os BTXE (Benzeno, tolueno, xileno e etileno).

Finotti (2001, p. 32), salienta que “o fato de serem pouco móveis parece ter sido uma das maiores preocupações com estes contaminantes do que com os da gasolina e explica o porquê de existirem menos estudos nesta área”.

3.4 PASSIVO AMBIENTAL

O grande número de acidentes envolvendo produtos contaminantes trazem enormes consequências ao meio ambiente; esta “agressão ao meio ambiente gera passivos, conceito emprestado das ciências contábeis, que expressa, a princípio, o valor monetário necessário ao reparo do dano causado”. (SIEDLIECKI; CAVA, 2008, p. 01).

A cultura da banalização de procedimentos operacionais em instalações e equipamentos de pontos de distribuição de combustíveis, o entendimento da inocuidade de sistemas de abastecimento subterrâneo de combustíveis (SASC), associados ao caráter tardio da legislação específica, potencializaram os riscos de poluição em áreas de empreendimentos já existentes. (SIEDLIECKI; CAVA, 2008, p. 01).

“Os passivos ambientais representam 17,6% das causas de atendimentos emergenciais e referem-se a casos que estão em fase de investigação ou remediação da área contaminada, sem ter sido possível identificar a origem do vazamento”. (GOUVEIA, 2004, p. 27).

Podemos observar que muitas cidades sofreram e sofrem por algum tipo de passivo ambiental provindos de atividades de postos de combustíveis. Em um derramamento de gasolina, uma das principais preocupações é a poluição de aquíferos que sejam usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano. (CORSEUIL, 1997).

3.5 PROCESSOS DE MIGRAÇÃO E REMEDIAÇÃO DOS CONTAMINANTES

De acordo com Domenico; Schwartz (1998 apud TRESSOLDI, 2002, p. 13), os contaminantes na forma de íons, moléculas ou partículas sólidas presentes na água subterrânea são transportados e sofrem reações durante este processo. A advecção e dispersão são os processos de transporte, já os processos químicos, nucleares e biológicos são devidos às reações ácidos-bases, solução, precipitação, volatilização, complexação, oxidação-redução, reações de sorção, hidrólise, processos envolvendo microrganismos e processos isotópicos.

Os transportes em meios porosos saturados dos contaminantes dependem dos processos físicos denominados advecção e dispersão hidrodinâmica, enquanto o ganho ou perda de massa de contaminantes reativos podem ocorrer devido à reações químicas, bioquímicas ou decaimento radioativo (FREEZE; CHERRY, 1979).

A advecção deve-se ao fluxo da água subterrânea e quando o transporte de contaminantes não influencia o fluxo, a velocidade e direção desse transporte coincidem com aquelas da água subterrânea. (TRESSOLDI, 2002, p.13).

Segundo Freeze; Cherry (1979), a dispersão hidrodinâmica depende de dois processos, a difusão e a dispersão mecânica. O coeficiente de difusão molecular no meio poroso, processo segundo o qual os constituintes iônicos ou moleculares movimentam-se na direção de seus gradientes de concentração e a dispersão mecânica depende da velocidade do fluxo e da dispersividade do meio, sendo responsável pela mistura dos constituintes iônicos ou moleculares.

De acordo com WIEDMEIER et al., (1996), apud CORSEUIL; MARINS, (1997, p. 52) a Remediação Natural é uma nova abordagem para a poluição do solo e águas subterrâneas, ganhando cada vez mais aceitação nas áreas com derramamento de compostos derivados do petróleo, como nos postos de gasolina. A remediação é um processo de gerenciamento não uma forma de tratamento, baseado em mecanismos naturais de atenuação para remediar contaminantes dissolvidos na água. A atenuação natural refere-se aos processos físicos, químicos e biológicos que facilitam a remediação natural dos compostos.

Para Corseuil; Marins (1997, p. 52), os pesquisadores tem comprovado que a atenuação limita o deslocamento dos contaminantes reduzindo a área contaminada. A remediação natural não é uma alternativa de tratamento mas uma

forma de minimizar os riscos para a saúde humana, monitorando-se o deslocamento da pluma de contaminação.

De acordo com Corseuil; Marins (1997, p. 52), as condições hidrogeológicas no local da poluição influenciam nas taxas de biodegradação, uma vez que é o principal mecanismo de transformação dos hidrocarbonetos de petróleo. A determinação da taxa de transformação é de grande importância para se prever a extensão que a pluma de contaminação irá atingir. Quando a taxa de biodegradação for igual ou maior que a taxa de deslocamento dos contaminantes a pluma deixará de se movimentar e diminuirá de tamanho.

Segundo Corseuil; Marins (1997, p. 53), para que se possa demonstrar que a remediação natural é uma forma adequada de descontaminação de hidrocarbonetos de petróleo é necessário que se faça uma boa caracterização hidrogeológica da área degradada, uma delimitação da pluma de contaminação e garantir que a pluma não vai se movimentar para áreas com alto risco a saúde humana. Para tal é necessário que se determine a taxa de migração e de redução de tamanho da pluma através de estudos de campo e de laboratório.

3.6 MONITORAMENTO AMBIENTAL

De acordo com BARSÍLIA, (2009, p. 67), o Monitoramento Ambiental é o procedimento destinado a verificar a variação, ao longo do tempo, das condições ambientais em função das atividades humanas.

O monitoramento ambiental pode ser realizado em dois métodos: passivo e ativo. Devem ser acompanhados por testes laboratoriais para conhecimento da ecologia dos organismos em condições padronizadas. Para realizar este monitoramento devem ser obtidas três fases: a análise *in situ* da reação dos organismos; análise das reações destes organismos em laboratório; cruzamento dos dados e formulação de critérios (ALMEIDA; OLIVEIRA; PANNON, 2000, p. 71).

O primeiro é o monitoramento passivo, denominação dada à metodologia de avaliação que leva em consideração a qualidade de um parâmetro ambiental analisando as características físico-químicas ou de indicadores das comunidades bióticas presente. Estas possibilitam a determinação de condicionantes ecológicos atuantes no presente ou passado (ALMEIDA; OLIVEIRA; PANNON, 2000, p. 71).

O segundo grupo é o monitoramento ativo que é constituído de métodos físico-químicos complementares que possibilitam uma avaliação ecológica do parâmetro ambiental. O grau de sobrevivência do organismo à exposição de substâncias tóxicas é um critério biológico a ser preliminarmente considerado (ALMEIDA; OLIVEIRA; PANNO, 2000, p. 71).

O sistema de monitoramento tem o papel de acusar a influência de uma determinada fonte de poluição no subsolo e na qualidade da água subterrânea. As amostras são efetuadas num conjunto de poços distribuídos estrategicamente, nas proximidades da área de interesse do empreendimento. A localização estratégica e a construção racional dos poços de monitoramento aliados aos métodos eficientes de coleta, acondicionamento e análise de amostras, permitem resultados bastante precisos sobre a influência da poluição e rebaixamento de nível. (OLIVEIRA; MAGNO, 2010, p. 10).

Países como Estados Unidos, Canadá, Holanda, Alemanha, Inglaterra elaboraram padrões de referência com base no risco, e, mais recentemente, o Brasil, por meio da CETESB, apresentou valores orientadores para o Estado de São Paulo.(CETESB, 2007).

De acordo com Dalmagro (2011, p.91) os valores com base no risco não substituem a investigação ambiental mais detalhada nem a avaliação de risco específica da área contaminada, porém, possibilitam um melhor gerenciamento comparando-se com áreas onde os riscos apresentaram-se inaceitáveis.

Metodologias de criação de decisões baseadas no risco foram desenvolvidas para o gerenciamento ambiental de áreas impactadas. Assim, a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) publicou a metodologia *Risk Based Corrective Action* (RBCA), expressão traduzida como Ação Corretiva Baseada no Risco. Inicialmente elaborada para hidrocarbonetos e posteriormente ampliada a outras substâncias químicas. A RBCA divide-se em três estágios (Tier 1, Tier 2 e Tier 3) que tornam-se progressivamente mais complexos à medida que se passa de um estágio para outro de nível superior, aumentando a quantidade de dados da área para a quantificação do risco a saúde humana. No primeiro estágio (Tier 1), são estabelecidos os Níveis Aceitáveis Baseados no Risco (NABR) representam as concentrações máximas aceitáveis calculadas com os parâmetros regionais conservadores, já os Tier 2 e 3 são estabelecidas concentrações-alvo com dados específicos da área de estudo (TAKEUCHI, 2008, p. 14).

3.7 RISCOS PROVOCADOS À SAÚDE HUMANA

De acordo com Dalmagro (2011, p.96) os compostos BTEX encontrados na gasolina e no óleo diesel são classificados de alguma forma como perigosos, o benzeno tem sua classificação como carcinogênico, enquanto o tolueno, etilbenzeno e xileno são classificados como tóxico.

Em relação ao que explica Dalmagro (2011, p.96), existem diferenças no tratamento dos compostos carcinogênicos e dos tóxicos; os tóxicos, são estudados os valores que se considera como não significativos a saúde humana, são os chamados valores limites de exposição. Para os carcinogênicos, considera-se como potencial cancerígeno todo e qualquer tipo de exposição, não sendo considerados os níveis ou a concentração que o indivíduo ficou a exposição, sendo considerados os padrões muito mais exigentes para os carcinogênicos do que para os tóxicos.

Os compostos presentes no diesel são suspeitos de aumentarem a incidência de câncer podendo ser vistos na Tabela 1 (MONTGOMERY; WELKOM, 1989 apud FINOTTI; CAICEDO, 2001, p.32).

Tabela 1 - Classificação dos compostos presentes na gasolina e/ou óleo diesel.

Composto	Fórmula	Toxicologia
Benzeno	C6H6	Carcinogênico
Etilbenzeno	C8H10	Tóxico
Tolueno	C7H8	Tóxico
Xileno	C8H10	Tóxico
Pireno	C16H10	Carcinogênico Potencial
Benzo(a)pireno	C20H12	Provável carcinogênico humano. Comprovado em animais, mas ainda não provados em humanos através de estudos epidemiológicos.
Naftaleno	C10H8	Não classificado como carcinogênico para o homem, faltam dados também com outros animais.
Antraceno	C14H6	Carcinogênico Potencial
Fenantreno	C14H16	Carcinogênico Potencial
Fluoranteno	C16H10	Carcinogênico Potencial
Benzo(a)antraceno	C18H12	Carcinogênico Potencial
Criceno	C18H12	Carcinogênico Potencia
Benzo(k)fluoranteno	C20H12	Carcinogênico Potencial

Fonte: Montgomery; Welkon, (1989).

De acordo com a Resolução CONAMA 420/2009, dispões sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo enquanto à presença de substâncias

químicas e estabelecem diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas, (Tabela 2).

Tabela 2 - Lista de compostos presentes na gasolina e/ou diesel e respectivos valores orientadores de qualidade das águas subterrâneas.

Hidrocarbonetos aromáticos voláteis	Água subterrânea (µg.L-1)
Benzeno	5*
Estireno	20*
Etilbenzeno	300**
Tolueno	700**
Xileno	500**
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos	Água subterrânea (µg.L-1)
Antraceno	--
Benzo(a)antraceno	1,75
Benzo(k)fluoranteno	--
Benzo(g,h,i)perileno	--
Benzo(a)pireno	0,7*
Criceno	--
Dibenzo(a,h)antraceno	0,18
Fenantreno	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,17
Naftaleno	140

Fonte: Resolução CONAMA 420/2009.

* padrões de portabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

** valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução nº 420/2009.

3.8 LEGISLAÇÕES BÁSICAS VIGENTES

A Lei Federal nº 6938/81, regulamentada pelo Decreto Federal nº 99274/90, dispõe-se sobre a Política Nacional de Meio Ambiente e menciona as atividades potencialmente poluidoras. A atividade de comércio de combustíveis é regulamentada através da Lei 9478/97, chamada Lei do Petróleo. Esta Lei estabelece como função da Agência Nacional de Petróleo (ANP) – órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia – a regulação, contratação e fiscalização do setor, incentivando a livre concorrência e o desenvolvimento nacional, com responsabilidade pela preservação do interesse público e do meio ambiente. Além desta lei existe a Portaria nº 9/97 do Ministério de Minas e Energia e as Portarias nº

116/00 e nº 32/01 da ANP que regulamentam o exercício desta atividade; enquanto a Resolução CONAMA nº 237/90 regulamenta os critérios para utilização do sistema de licenciamento ambiental do empreendimento (MARANHÃO; TEIXEIRA; TEIXEIRA 2007, p.17).

Na Tabela 3 são apresentadas as normas em vigor que abrangem os postos de combustíveis, estabelecendo normas e critérios para a construção das instalações (MARANHÃO; TEIXEIRA; TEIXEIRA 2007, p.19).

Tabela 3 - Normas técnicas para postos de combustíveis.

Nº	Número	Título
1	NBR 13212:2004	Posto de serviço – Construção de tanque atmosférico subterrâneo em resina termofixa reforçada com fibras de vidro, de parede simples ou dupla
2	NBR 13312:2003	Posto de serviço - Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono.
3	NBR 13781:2001	Posto de serviço - Manuseio e instalação de tanque subterrâneo de combustíveis
4	NBR 13782:2001	Posto de serviço - Sistemas de proteção externa para tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono
5	NBR 13783:2005	Posto de serviço - Instalação do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis – SASC
6	NBR 13784:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção de métodos para detecção de vazamentos e ensaios de estanqueidade em sistemas de abastecimento subterrâneo de combustíveis (SASC)
7	NBR 13785:2003	Posto de serviço - Construção de tanque atmosférico de parede dupla, jaquetado
8	NBR 13786:2005	Posto de serviço - Seleção dos equipamentos para sistemas das instalações subterrâneas de combustíveis
9	NBR 13787:1987	Controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) nos postos de serviço
10	NBR 13895:2000	Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem - Procedimentos
11	NBR 14605:2000	Sistema de drenagem oleosa
12	NBR 14606:2000	Entrada em espaço confinado
13	NBR 14639:2001	Instalações elétricas
14	NBR 14722:2001	Tubulação não metálica
15	NBR 14867:2002	Tubos metálicos flexíveis
16	NBR 14973:2004	Remoção e destinação de tanques subterrâneos usados
17	NBR 15005:2003	Válvula antitransbordamento
18	NBR 15015:2006	Válvulas de esfera flutuante
19	NBR 15072:2004	Construção de tanque atmosférico subterrâneo ou aéreo em aço-carbono ou resina termofixa reforçada com fibra de vidro para óleo usado
20	NBR 15118:2004	Câmaras de contenção construídas em polietileno

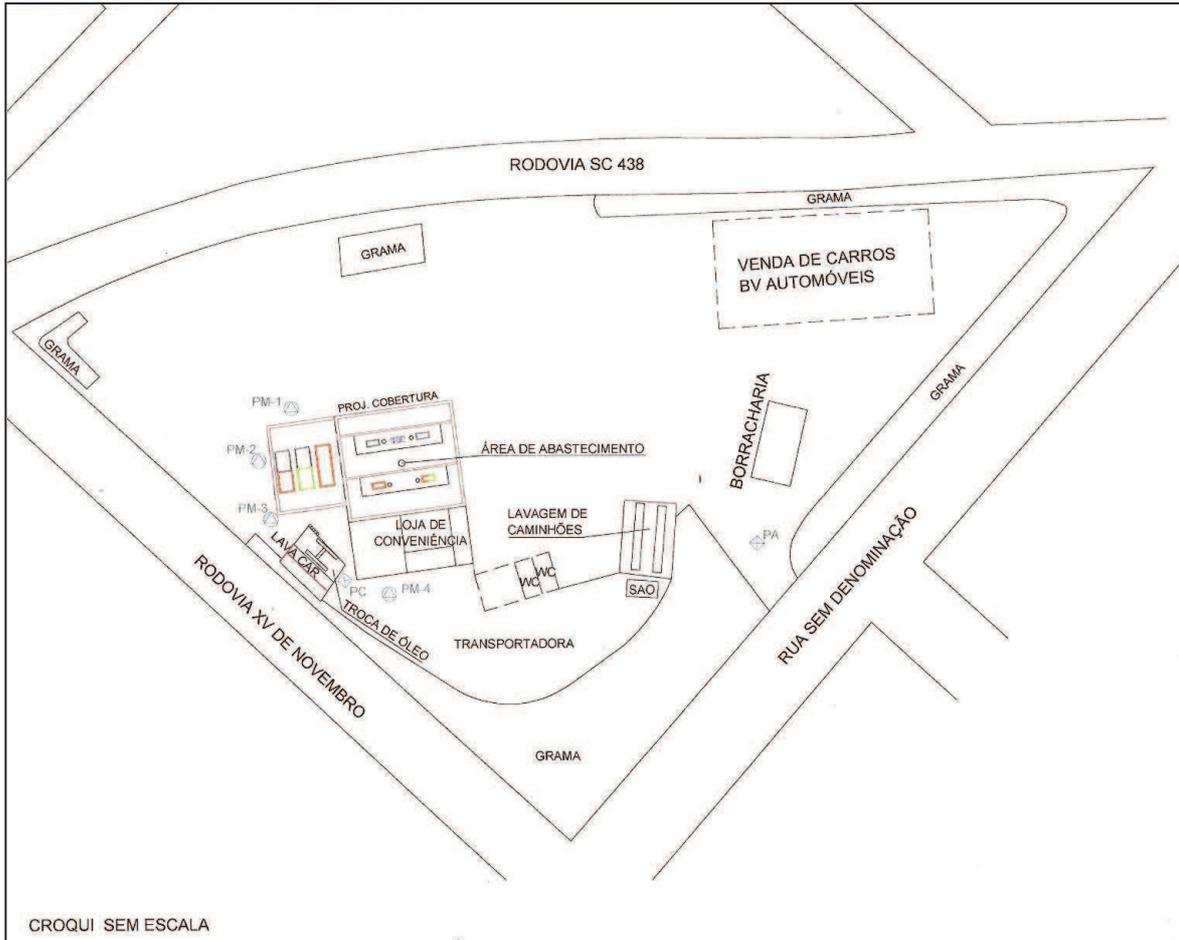
21	NBR 15138:2004	Armazenagem de combustível - Dispositivo para descarga selada
22	NBR 15139:2004	Armazenagem de combustível - Válvula de retenção instalada em linhas de sucção
23	NBR 15205:2005	Armazenamento de combustível – Revestimento interno de tanque instalado, com a criação de parede dupla e espaço intersticial
24	NBR 15288:2005	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor veicular (serviços) — Plano de atendimento a emergências (PAE)
25	NBR 15427:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Válvula de segurança da mangueira
26	NBR 15428:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Manutenção de unidade de abastecimento
27	NBR 17505-1:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1: Disposições gerais
28	NBR 17505-2:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 2: Armazenamento em tanque e em vasos
29	NBR 17505-3:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 3: Sistemas de tubulações
30	NBR 17505-4:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 4: Armazenamento em recipientes e em tanques portáteis
31	NBR 17505-5:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 5: Instalações e equipamentos elétricos
32	NBR 17505-6:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 6: Instalações e equipamentos elétricos
32	NBR 17505-7:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 7: Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários

Fonte: Maranhão; Teixeira; Teixeira (2007, p.19).

5. Um tanque de gasolina com quinze metros cúbicos, paredes duplas e subterrâneo;
6. Um tanque de trinta metros cúbicos dividido em óleo diesel comum e etanol, parede dupla e subterrâneo;
7. Um tanque de trinta metros cúbicos dividido em óleo diesel aditivado e gasolina aditivada com paredes duplas e subterrâneo;
8. Um Box com elevador para troca de óleo usado;
9. Duas áreas para lavagem de automóveis e caminhões;
10. Pista de abastecimento;
11. Seis poços de monitoramento da água subterrânea;
12. Um poço cacimba;
13. Um poço artesianos;
14. Uma caixa separadora de água/óleo (SAO);

Todas as instalações seguem o modelo descrito na Figura 3, sendo representadas as localizações dos equipamentos e das construções na área do empreendimento.

Figura 3 - Layout das instalações.



Fonte: Geoparáná, (2012, p.5).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Com o intuito de se fazer uma descrição mais detalhada da área de estudo, buscou-se na literatura, referências que trazem a caracterização geológica e geomorfológica da região, servindo como base para a caracterização do solo nos poços piezométricos, para determinar o fluxo da água subterrânea e para saber a tipologia pedológica encontrada na área do posto para que se faça a permeabilidade do solo com o melhor método possível.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO

No processo de caracterização do entorno procurou-se identificar as residências, comércios, terrenos vagos e edifícios em um raio de aproximadamente 100 (cem) metros.

4.4 MALHA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)

A malha de compostos orgânicos voláteis (COV) foi efetuada para identificar e quantificar a presença de gases no subsolo do posto. Utilizou-se um aparelho portátil GasAlertMicro 5 (PID), que se baseia na metodologia de fotoionização. As leituras foram efetuadas a 1m (um metro) de profundidade, sendo efetuadas 133 (cento e trinta e três) perfurações na área total do empreendimento.

4.5 SONDAGENS

Foram efetuadas primeiramente 9 (nove) perfurações a trado manual para efetuar a caracterização da pluma de contaminação, sendo duas destas executadas de acordo com os resultados obtidos na malha de COV. Posteriormente efetuou-se a perfuração de mais 7 (sete) sondagens a jusante da fonte de poluição com o intuito de delimitar a pluma de contaminação.

4.6 PERMEABILIDADE DO SOLO

4.6.1 Permeabilidade da zona não saturada do solo

No processo de obtenção da permeabilidade da zona não saturada do solo utilizou-se o método descrito por Lima (1983) para determinação do coeficiente de permeabilidade de solos em furos de sondagem. Este método além de fornecer um bom resultado, é bastante prático quanto a execução.

Procedeu-se ao ensaio do tipo "carga variável", que constou de perfuração com trado manual no diâmetro de 4" (quatro polegadas) a uma profundidade de 1,00m. Executou-se uma limpeza cuidadosa do furo, de forma a obter uma superfície limpa do solo, o mais inderformado possível. Instalou-se um Tubo Edutor DN40, completou-se o espaço interior do mesmo com água limpa até o nível considerado zero. A partir de então procedeu-se a cronometragem do tempo de descida da água, medindo-se a posição do nível em escala graduada.

4.6.2 Permeabilidade da zona saturada do solo

Com o intuito de determinar a condutividade hidráulica em poços piezométricos, utilizou-se o método descrito em HVORSLEV (1951, apud FETTER 1994), útil para determinar a condutividade hidráulica de aquíferos confinados não gotejante. O método Hvorslev também produz estimativas adequadas do coeficiente de permeabilidade (K) para testes em aquíferos livres.

O teste foi efetuado no poço de monitoramento PMA (Poço de Monitoramento Artesiano). O nível da água foi rebaixado 3,80 metros. A partir da paralisação do bombeamento, foram efetuadas as leituras dos níveis da água durante sua recuperação.

4.7 INVESTIGAÇÃO DO MEIO SUBTERRÂNEO

4.7.1 Amostragem e análise laboratorial de solo

Para fazer a investigação do meio subterrâneo foram feitas análises de solo e água nas sondagens efetuadas na área.

As perfurações para coleta de solo foram efetuadas com trado helicoidal, diâmetro de 6" (seis polegadas). Ao término de cada avanço de perfuração a partir de 90 centímetros de profundidade, o sistema trado - haste de perfuração era submetido a lavagem com sabão neutro para que a coleta pudesse ser efetuada sem poluição cruzada.

As amostras de solo foram coletadas em duas alíquotas. Uma das alíquotas foi coletada com o uso de "*liner*", para evitar a perda de compostos orgânicos voláteis, enquanto a outra alíquota foi acondicionada em saco plástico. A alíquota coletada com "*liner*" foi guardada sob refrigeração para manutenção adequada da amostragem, a descrição das características do solo foram feitas "*in loco*" para a medição de COV e em laboratório a medição de PAH e BTEX nas amostras

Na alíquota acondicionada em saco plástico efetuou-se a leitura de Composto Orgânico Volátil (COV). Para fazer a leitura, com uso de aparelho *GasAlertMicro 5* (PID), sem abrir o saco plástico, procedeu-se agitação vigorosa durante 15 segundos, com desagregação dos torrões. Após permanecer em repouso

por 10 minutos, a amostra foi agitada novamente durante 15 segundos. Então, foi introduzida a sonda do PID no saco plástico, por meio de um pequeno orifício feito com a própria sonda. A leitura do teor de COV foi feita cerca de 30 segundos posteriores, sempre que a tela apresentou o valor mais elevado.

Após efetuar a leitura de COV das amostras coletadas em cada furo da sondagem, foi selecionada uma amostra de cada um dos furos para ser acondicionada em frascos de vidro e, depois, ser mantida sob refrigeração para encaminhamento ao laboratório.

4.7.2 Amostragem e análise laboratorial de água

Para a descrição das características da água subterrânea foram verificados os seguintes compostos: Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzeno, Benzo[a]antraceno, Benzo[a]pireno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[ghi]perileno, Benzo[k]fluoranteno, Criseno, Dibenzo[a,h]antraceno, Etilbenzeno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno[1,2,3-cd]pireno, Naftaleno e Pireno, baseando-se na tabela de orientações da Resolução CONAMA 420/2009.

A comparação dos teores detectados nas amostras da água para as substâncias BTEX e PAH foi feita com os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009. Já para as substâncias TPH a comparação foi realizada com a Lista Holandesa.

4.8 ANÁLISE DE RISCO - RBCA TIER 2

Para se fazer a análise dos riscos a saúde humana utilizou-se o *software Risk Based Corrective Action* - RBCA, estabelecida pelas normas ASTM E1739-1995 e ASTM E2081-2000, desenvolvida pela *American Society for Testing na Materials* para áreas contaminadas por hidrocarbonetos derivados do petróleo.

O RBCA é um procedimento que integra métodos de avaliação de exposição e de riscos associados aos modelos matemáticos de transporte de contaminantes, fornecendo subsídios ao processo de tomada de decisões relacionadas a ações corretivas e á necessidade de remediação aos níveis aceitáveis.

Na metodologia RBCA a quantificação do risco à saúde humana é realizada por meio da integração das características dos contaminantes (mobilidade, solubilidade, volatilização, etc.), do meio impactado (porosidade do solo, gradiente hidráulico da água subterrânea, permeabilidade do solo, etc.), dos meios de exposição (ingestão, inalação e cutânea) e das populações receptoras potenciais.

Para que o risco possa ser avaliado é indispensável à composição do cenário local, devendo ser caracterizados os seguintes elementos:

- Fontes de poluição;
- Compostos químicos de interesse;
- Meios afetados;
- Mecanismo de transporte dos contaminantes;
- Receptores atuais e potenciais;

Para a modelagem matemática e obtenção dos resultados, foi utilizado o *software RBCA Tool Kit for Chemical Releases Versão 1.3b*.

4.8.1 Fontes de poluição

Para postos de abastecimento de combustíveis as principais fontes potenciais de poluição são os tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, as linhas de sucção que conduzem os combustíveis até os pontos de abastecimento, os pontos de abastecimento (bombas e filtros) e as caixas Separadoras de Água e Óleo (SAO). Estas fonte podem causar vazamento de combustíveis ocasionando a poluição do solo e da água subterrânea.

4.8.2 Compostos químicos de interesse

Os compostos químicos de interesse são aqueles relacionados com derivados de petróleo: gasolina, óleo diesel, óleo lubrificante e graxa.

No presente estudo de caso, foram analisados os compostos BTEX, PAH e TPH. Como as análises de TPH apresentaram-se dentro dos limites necessários, estes compostos não foram lançados para o cálculo do software.

4.8.3 Meios afetados

Foram considerados os seguintes meios afetados:

- Água subterrânea: devido à presença de compostos derivados de petróleo em concentração acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009, detectado em seis amostras (S2, S5, S6, S8, PM1 e PM2).
- Solo subterrâneo: devido a presença de compostos derivados do petróleo em concentração acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009, detectado em duas amostras (S5 e S6).
- Ar: por ser suscetível a presença de vapores a partir de substâncias em concentrações acima dos limites presentes na água subterrânea e solo.

4.8.4 Mecanismo de transporte dos contaminantes

Os mecanismos de transporte dos contaminantes considerados para os poluentes encontrados nas amostras são: Ar, para os compostos orgânicos voláteis e Água Subterrânea para os compostos BTEX e PAH. Estes mecanismos transportam os poluentes para outras regiões atingindo a comunidade do entorno do empreendimento.

Não sendo considerado o solo como um mecanismo de transporte, pois sua movimentação depende da ação do homem ou de outras causas naturais como a erosão para se movimentar e carregar os poluentes.

4.8.5 Vias de exposição e potenciais receptores

Foram consideradas reais as seguintes vias de exposição e potenciais receptores:

a) Inalação de vapores contaminados em ambiente aberto e fechado - trabalhadores do posto localizados sobre a pluma de contaminação ("*on site*").

b) Inalação de vapores contaminados em ambiente aberto - residente próximo ao empreendimento (12 m do limite norte da pluma de contaminação - "*of site*").

c)

4.8.6 Parâmetros utilizados para solo, água e ar

Os parâmetros utilizados para a água e solo envolveram resultados de análises laboratoriais, levantamentos de campo além da utilização de alguns parâmetros "*default*" do programa.

Para o ar utilizou-se parâmetros "*default*" do programa e considerações referentes a residência vizinha mais próxima (área de 98 m² e 41 m de perímetro) e o escritório/loja de conveniência do posto (área de 197 m² e 60 m de perímetro).

4.8.7 Concentração dos contaminantes utilizados para análise

Utilizou-se os maiores valores (caráter mais restritivo) detectados nas análises laboratoriais para cada substância considerada presente no solo e água subterrânea.

Quando a substância foi analisada, mas não detectada, utilizou-se o limite de detecção do laboratório como concentração da substância.

Outra ferramenta para tornar o processo mais restritivo (conservador) é considerar que toda a pluma delimitada apresenta as concentrações máximas de todos os compostos.

4.8.8 Limite definido para risco máximo aceitável

A meta para risco carcinogênico representa o potencial para efeitos carcinogênicos incrementais sobre a saúde humana em função de exposição a um contaminante. No presente estudo de caso o parâmetro utilizado foi 1×10^{-5} . Isto quer dizer que no máximo 01(uma) pessoa entre 100.000 (cem mil) terá o risco (aceitável) de desenvolver câncer durante sua vida como resultado aos compostos carcinogênicos presentes no local de estudo.

Também foi considerado para efeitos tóxicos (não carcinogênicos) o fator de risco (Hazard Quotient e Hazard Index) sendo igual a 1(um), representando o limite para a inexistência de ocorrências de efeitos adversos à saúde humana como resultado da exposição aos compostos carcinogênicos presentes no local de estudo contaminado.

Estes parâmetros estão de acordo com o definido na Resolução CONAMA Nº 420/2009.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Tendo em vista as metodologias apresentadas acima, pode-se assim fazer a discussão dos dados e análise dos resultados encontrados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

5.1.1 Geologia

De acordo com a EPAGRI (2009, p.5) a área de estudo está inserida no domínio do Embasamento Cristalino, ou seja, o conjunto de rochas mais antigas do Estado de Santa Catarina. A principal litologia associada ao município de São Ludgero é a Suíte Intrusiva Pedras Grandes, composta por granitóides não deformados com domínio sub-alcálinos, em geral biotíticos. Geralmente as rochas graníticas constituem altos topográficos, destacando-se das litologias adjacentes, devido sua maior resistência ao intemperismo.

No município encontra-se sedimentos da Bacia do Paraná, e os solos são de alto a pouco desenvolvidos, com porosidade baixa a média, ácidos, de fácil erodibilidade e pouco mecanizáveis. Os solos predominantes são orgânicos e distróficos e pertencentes as Classes 3 (47%) e 2 (22%), indicando aptidão regular e com restrições para culturas anuais e para fruticultura, porém com boa aptidão para pastagens e reflorestamento. Segundo o Projeto Microbacias, o uso rural em São Ludgero encontra-se 46% sem restrições, 46% com restrições e 8% com restrição severa. (EPAGRI, 2009, p.5).

Em termos de geologia econômica, o Município de São Ludgero apresenta potenciais para exploração de quartzo e riolito, ambos utilizados na indústria cerâmica; além de materiais para a construção civil, dentre os quais destacando a areia, saibro e granito para fundação (São Ludgero, 2007, p.4).

5.1.2 Geomorfologia

Segundo São Ludgero (2007, p.4), sob o aspecto geomorfológico é possível reconhecer, na área de estudo, duas unidades de relevo distintas: as planícies fluviais e as serras do Leste Catarinense.

As planícies fluviais correspondem às áreas planas situadas junto ao rio Braço do Norte e seus maiores afluentes, como o Rio Pinheiros, periodicamente inundadas e frequentemente utilizadas para agricultura ou pequenos núcleos rurais ao longo de estradas vicinais. Por sua localização ocorrem, ao contrário de outros modelados, de forma descontínua e em pequenas extensões (São Ludgero, 2007, p.4).

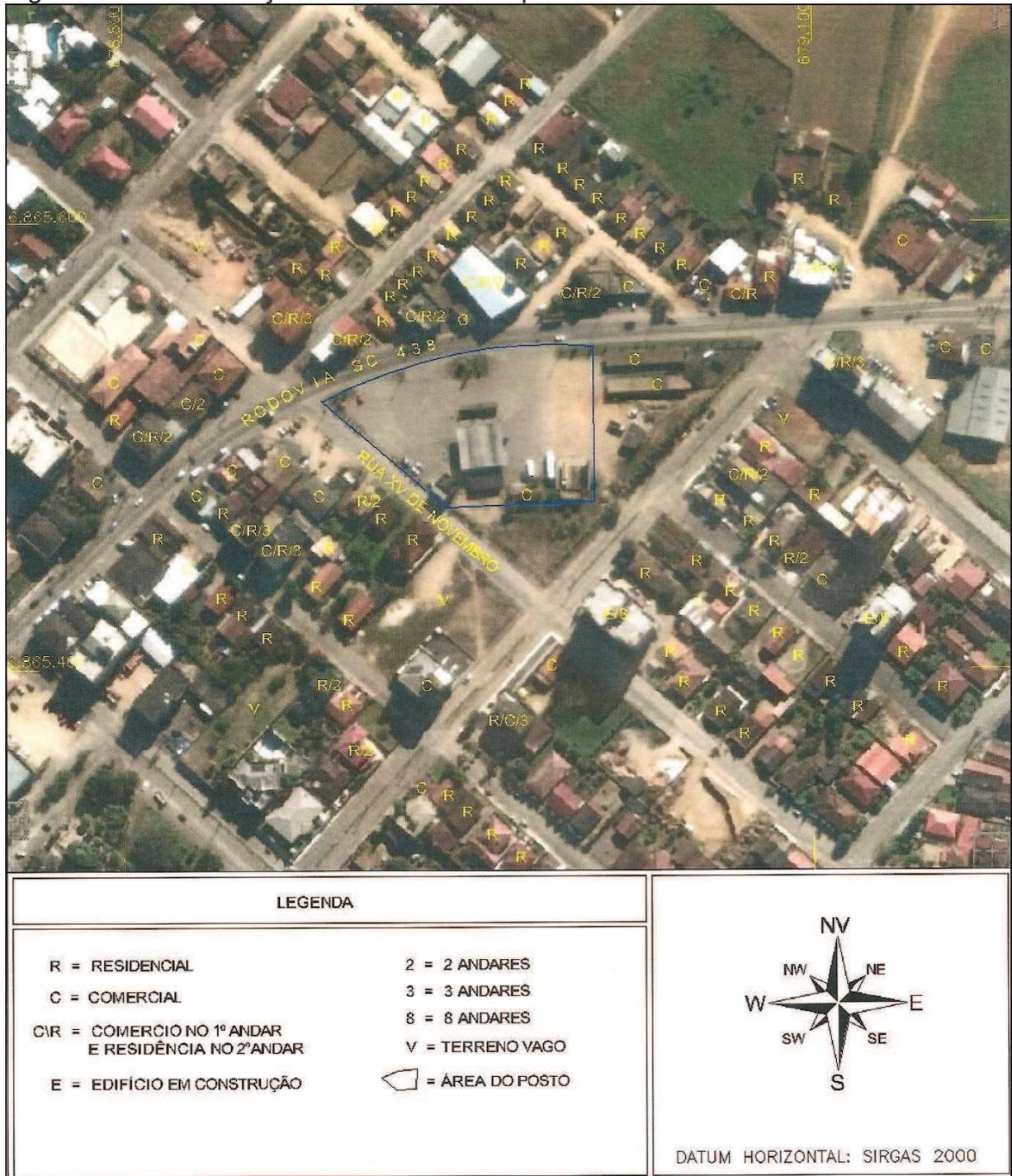
A morfologia predominante no município de São Ludgero são as serras do Leste Catarinense, uma sequência de serras que fazem o prolongamento das serras do Tabuleiro, Anitápolis e Serra Geral, disposto de forma sub-paralela, predominantemente no sentido nordeste-sudoeste. São serras com altitudes decrescentes em direção à zona costeira, apresentando vales profundos e encostas íngremes nas proximidades das nascentes, rios e vertentes suavizadas pela dissecação em colinas no médio curso. Estas serras estão sujeitas a processos erosivos, principalmente em encostas desmatadas (São Ludgero, 2007, p.4).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO

No entorno do empreendimento pode-se identificar a existência de residências, estabelecimentos comerciais e edifícios em construção. Na Figura 4 apresenta-se a ocupação do entorno do empreendimento, sendo caracterizado um raio de 100(cem) metros a partir dos limites do posto.

Nas proximidades do posto encontra-se 85 (oitenta e cinco) residências, 32 (trinta e dois) comércios e 2 (dois) edifícios em construção. Caracterizando-se assim a área onde encontra-se instalado o empreendimento como uma zona residencial com uma grande incidência de comércios.

Figura 4 - Caracterização do entorno do empreendimento.



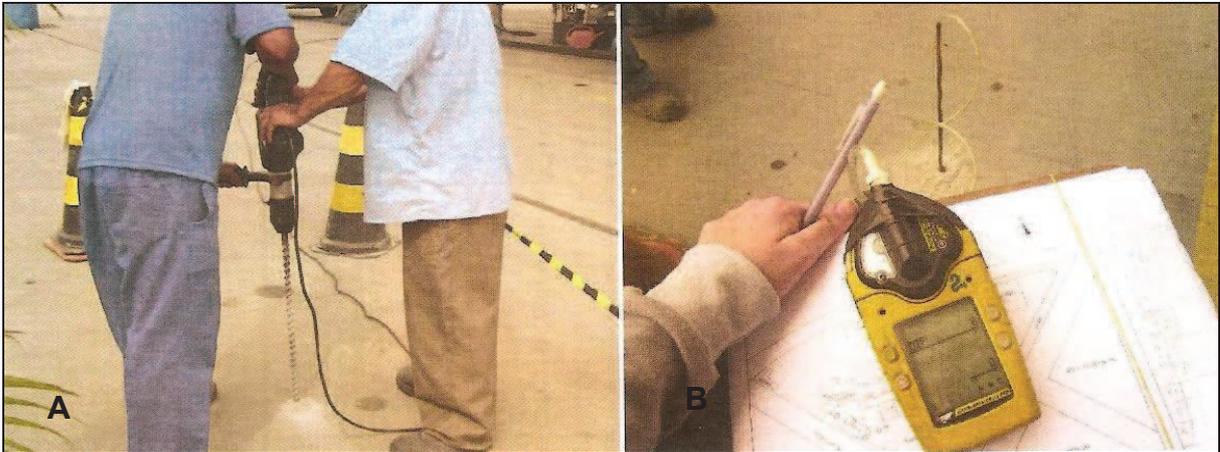
Fonte: Geoparáná, (2012, p.10).

5.3 MALHA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)

Para atingir esse nível, foi utilizada uma furadeira industrial com broca de 3/4". Após o furo concluído, foi introduzida uma haste metálica dotada de furos para permitir a passagem dos gases e facilitar o trabalho de sucção dos mesmos (Figuras

5A e 5B). Na parte superior da haste foi feita a conexão com a mangueira do aparelho para se efetuar as medições.

Figura 5 - Perfuração da malha de COV – A, Leitura de COV com o aparelho PID - B



Fonte: Geoparaná, (2012, p.16).

Fonte: Geoparaná, (2012, p.16).

Foram executadas 133 (cento e trinta e três) perfurações para a leitura de COV. A posição das perfurações está indicada na Figura 6 e os resultados analíticos obtidos pelas leituras podem ser observados na Tabela 4, onde também consta os pontos onde os teores de COV em níveis muito elevado.

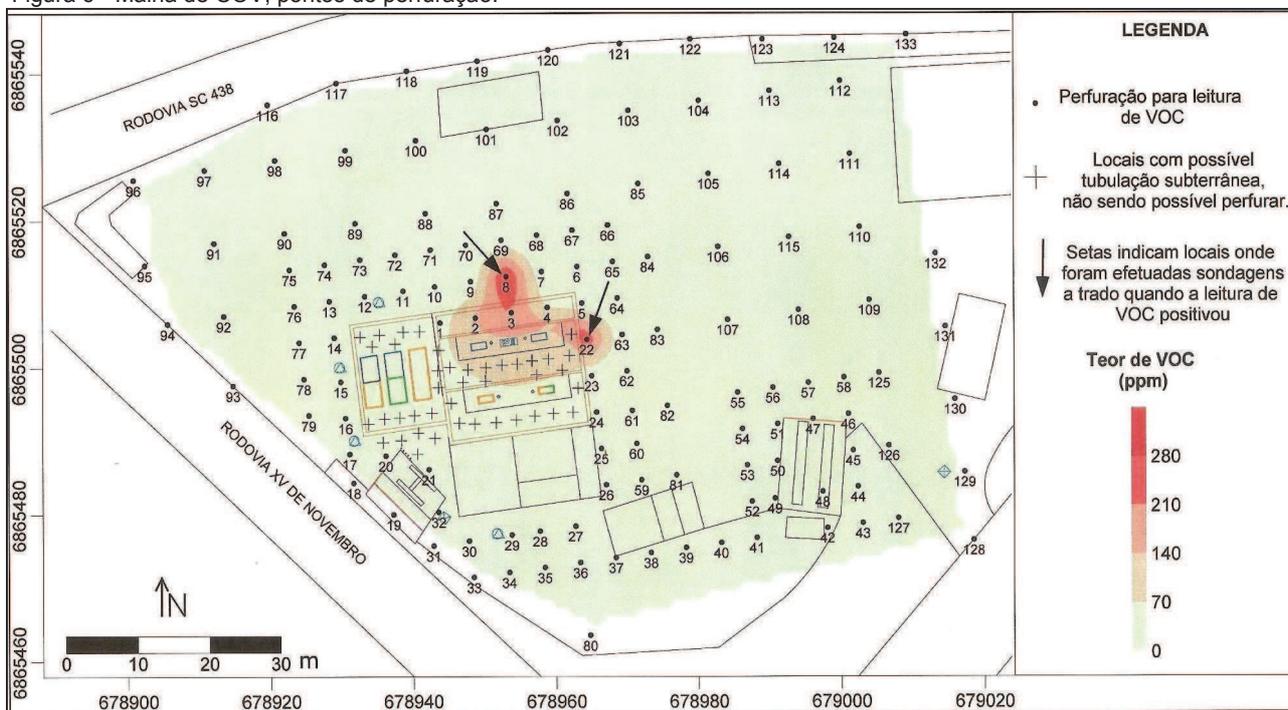
Tabela 4 - Resultado das leituras nas perfurações para avaliar a presença de gases no subsolo da área do estudo.

Ponto de Perfuração	Teor Lido (ppm)						
1	17	36	2	71	5	106	3
2	15	37	2	72	3	107	3
3	21	38	0	73	6	108	2
4	60	39	0	74	4	109	2
5	17	40	3	75	3	110	2
6	8	41	2	76	6	111	2
7	5	42	15	77	4	112	3
8	308	43	2	78	6	113	3
9	5	44	2	79	4	114	4
10	7	45	2	80	2	115	3
11	2	46	3	81	3	116	0
12	2	47	6	82	2	117	0
13	2	48	5	83	4	118	2
14	6	49	10	84	2	119	2
15	6	50	4	85	2	120	2
16	10	51	2	86	3	121	2
17	3	52	6	87	2	122	3
18	5	53	3	88	4	123	3
19	7	54	2	89	4	124	2
20	3	55	2	90	3	125	2
21	5	56	3	91	0	126	0
22	283	57	6	92	2	127	0
23	7	58	3	93	2	128	3
24	3	59	3	94	2	129	0
25	2	60	2	95	3	130	3
26	3	61	2	96	3	131	2
27	3	62	3	97	3	132	0
28	2	63	3	98	2	133	0
29	2	64	5	99	2		
30	2	65	7	100	2		
31	6	66	2	101	2		
32	18	67	3	102	3		
33	0	68	3	103	2		
34	3	69	12	104	3		
35	0	70	2	105	0		

Fonte: Geoparaná, (2012, p.17).

Os resultados das leituras de COV orientou a perfuração de duas sondagens para confirmar a poluição, no local das perfurações realçadas em negrito foram efetuadas sondagens a trado manual para coleta de amostras de solo e água.

Figura 6 - Malha de COV, pontos de perfuração.



Fonte: Geoparaná, (2012, p.18).

5.4 SONDAGENS

Inicialmente foram efetuadas 9 (nove) sondagens a trado manual como relata a Figura 7, dentro da área do posto com o intuito de interceptar o aquífero freático e viabilizar amostras de solo e água. As sondagens S5 e S6 foram realizadas tendo como base os resultados obtidos na malha de COV.

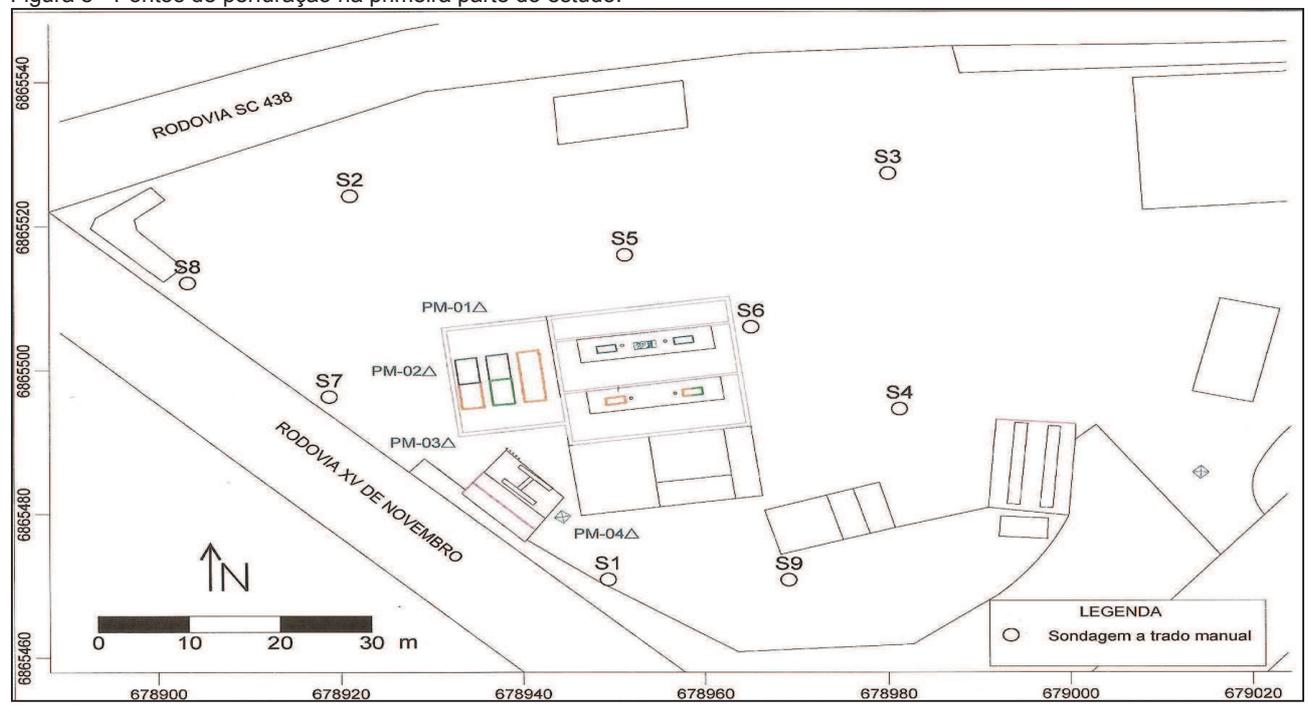
Figura 7 - Perfurações dos poços para coleta de solo e água.



Fonte: Geoparaná, (2012, p.17).

As sondagens S1, S2, S3, S4, S7, S8 e S9, foram perfuradas visando uma caracterização da pluma de contaminação. Os locais onde foram efetuadas as sondagens estão indicados na Figura 8.

Figura 8 - Pontos de perfuração na primeira parte do estudo.



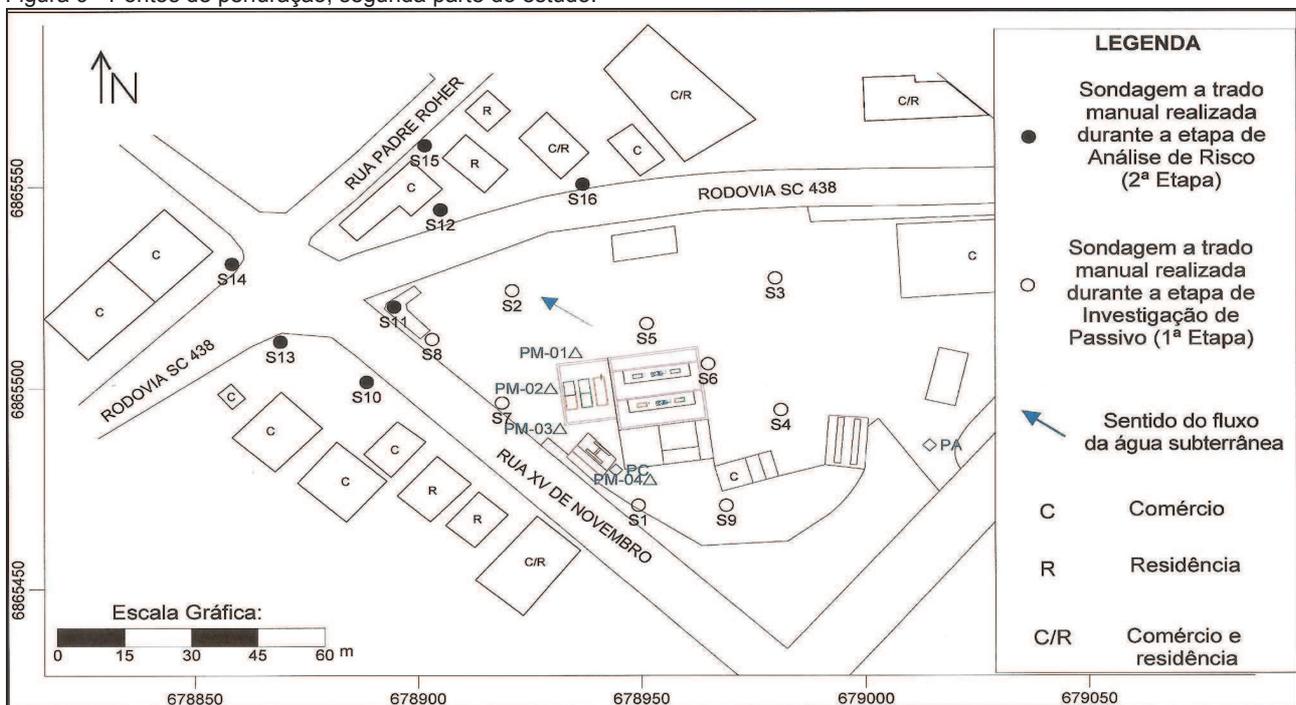
Fonte: Geoparáná, (2012, p.25).

Como as perfurações feitas inicialmente não trouxeram os resultados esperados, fez-se posteriormente novas perfurações. Nesta segunda etapa foi efetuado mais 7 (sete) sondagens a trado manual com o intuito de interceptar o aquífero freático e viabilizar a amostragens de solo e água para assim delimitar a pluma de contaminação e analisar a existência de riscos a saúde.

A localização das novas sondagens foi estabelecida de acordo com os resultados das análises das amostras de solo e água obtidos na etapa anterior e o fluxo da água subterrânea.

Desta forma, as sondagens foram perfuradas a jusante da poluição: S10, S11, S12, S13, S14, S15 e S16, os locais onde foram perfuradas as sondagens estão indicados na Figura 9.

Figura 9 - Pontos de perfuração, segunda parte do estudo.



Fonte: Geoparaná, (2012, p.16).

5.5 SUPERFÍCIE FREÁTICA - FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O nível da água, considerado aqui como o nível estático para as condições hídricas prevalecentes na época de estudo.

Foi utilizado 3 (três) medidas de nível da água nas sondagens S1, S2 e S3, que estão resumidas na Tabela 5, onde mostra as coordenadas geográficas de cada ponto perfurado, a cota em relação ao nível do mar, a altura do nível da água dentro de cada perfuração e a carga hidráulica.

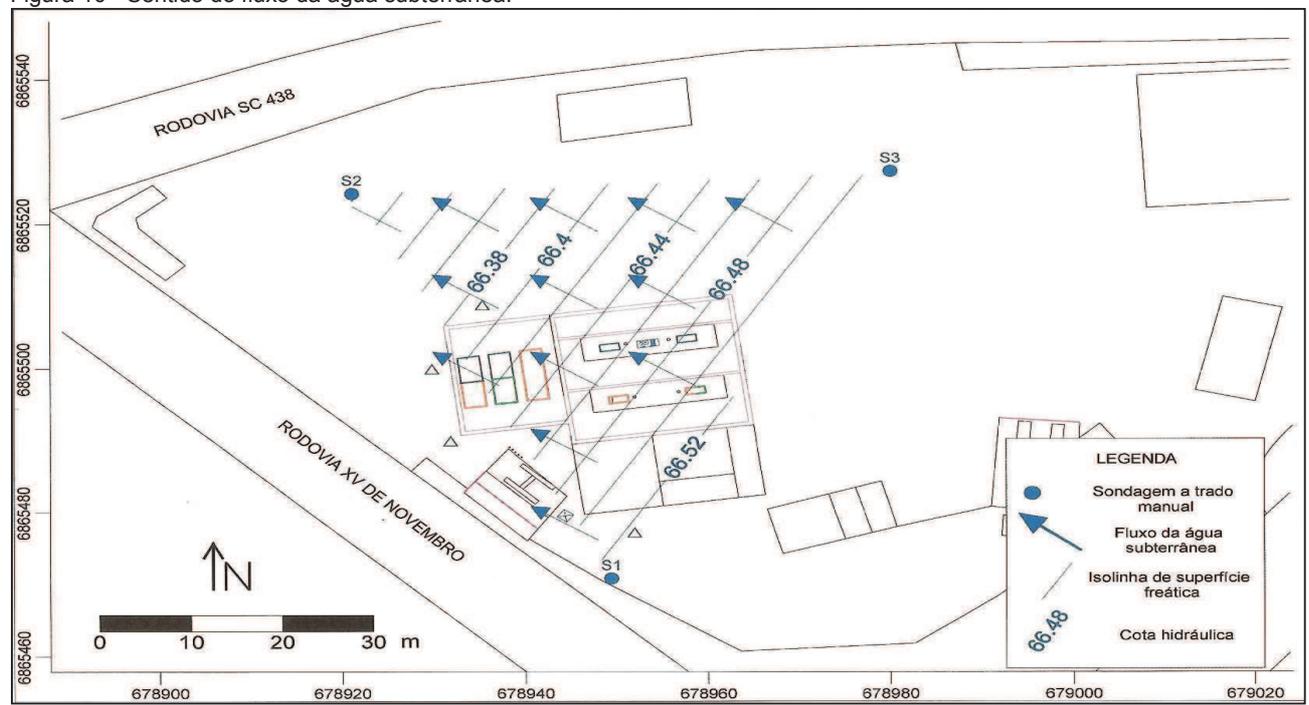
Tabela 5 - Dados relativos aos níveis da água nas sondagens.

Pontos de Medida do Nível da Água	Coordenadas Geográficas		Cota do Ponto (m)	Nível da Água (m)	Cota do Nível da Água (Carga Hidráulica) - (m)
	UTM Leste-Oeste	UTM Norte-Sul			
S1	678949,345	6865470,841	69,17	2,64	66,53
S2	678921,088	6865524,236	69,59	3,29	66,30
S3	678980,066	6865527,356	70,37	3,86	66,51

Fonte: Geoparaná, (2012, p.26).

Após a perfuração de três poços piezométricos, foi determinado o fluxo da água subterrânea na qual aponta em direção a noroeste como se pode observar na Figura 10.

Figura 10 - Sentido do fluxo da água subterrânea.



Fonte: Geopará, (2012, p.18).

5.6 PERMEABILIDADE DO SOLO

5.6.1 Permeabilidade da zona não saturada do solo

Os valores obtidos na realização do método foram substituídos na fórmula a seguir, por meio da qual se determinou o coeficiente de permeabilidade (K).

$$K = \frac{\pi r^2}{11D(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right)$$

Onde:

K - coeficiente de permeabilidade (cm/s);

r - raio da pipeta (cm);

D - diâmetro do furo da amostra (cm);

(t₂ - t₁) - tempo de espera (s);

H₁ - altura da coluna da água em t = t₁ (cm);

H₂ - altura da coluna da água em t = t₂ (cm);

Após realizado as medições e efetuado os cálculos obteve-se o valor de $2,21 \times 10^{-4}$ cm/s para o coeficiente de permeabilidade na zona não saturada do solo, este resultado nos mostra a facilidade de permeabilidade da zona não saturada do solo na região.

5.6.2 Permeabilidade da zona saturada do solo

Na Tabela 6 encontram-se os valores em centímetros (cm) coletados na execução da permeabilidade do solo, estes valores serão utilizados no cálculo do coeficiente de permeabilidade.

O teste efetuado no poço de monitoramento artesiano PMA, revelou os resultados encontrados conforme os tempos em minutos registrados na Tabela 7 do ensaio de recuperação do nível da água.

Com a execução do teste obteve-se o valor de $5,15 \times 10^{-4}$ cm/s para o coeficiente de permeabilidade na zona saturada do local, com os resultados obtidos pode-se fazer a descrição do solo como, sendo o mesmo composto de areais médias, esta, com fator de permeabilidade de 1×10^{-4} .

Tabela 6 - Dados em centímetros para o cálculo da permeabilidade da zona saturada do solo.

Dados	Resultado
Raio do revestimento do poço (r)	10,16 cm
Raio da perfuração (R)	20,32 cm
Comprimento do filtro (L)	300 cm
Nível estático (NE)	257 cm
Nível da água no início do teste (h ₀)	380 cm

Fonte: Geoparaná, (2012, p.19).

Tabela 7 - Resultados encontrados em relação ao tempo de coleta dos dados.

Tempo (min.)	Na (cm)	NA -NE	(NA - NE) / (h₀ - NE)
0	380,0	123,0	1,000
1	374,0	117,0	0,951
2	367,5	110,5	0,898
3	361,0	104,0	0,846
4	356,0	99,0	0,805
5	349,0	92,0	0,748
6	342,0	85,0	0,691
7	337,0	80,0	0,650
8	331,5	74,5	0,606
9	327,0	70,0	0,569
10	323,0	66,0	0,537
12	313,0	56,0	0,455
15	303,0	46,0	0,374
20	288,0	31,0	0,252
25	278,0	21,0	0,171
30	270,0	13,0	0,106

Fonte: Geoparaná, (2012, p.19).

Na = Nível da água.

Ne = Nível Estático.

h₀ = Nível da água no início do teste.

t₀ = tempo decorrido até que o nível da água atinja 37% da profundidade inicial, 900 segundos.

Utilizando a fórmula para o cálculo da condutividade hidráulica:

$$K = \frac{r^2 \times \ln(L \times R)}{2 \times L \times t_0}$$

O resultado encontrado com o cálculo da condutividade hidráulica foi de:

$$K = 5,15 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

5.7 INVESTIGAÇÃO DO MEIO SUBTERRÂNEO

5.7.1 Amostragem e análise laboratorial de solo

A Tabela 8 apresenta as leituras efetuadas a cada metro de profundidade nas amostras de solo coletadas nas sondagens com a indicação das respectivas amostras que foram enviadas ao laboratório.

Tabela 8 - Teor de COV (ppm)

Sondagem	Profundidade da leitura (m)	Teor (ppm)	Sondagem	Profundidade da leitura (m)	Teor (ppm)
S1	1	5	S9	1	3
	2	0		2	0
	3	0		3	0
	4 = EA	13		3,2 = EA	5
S2	1	19	S10	1	9
	2	20		2	0
	3	14		3	0
	4 = EA	46		3,1 = EA	12
S3	1	11	S11	1	2
	2	6		2	2
	3	7		3 = EA	3
	4 = EA	2		S12	1
S4	1	6		2	15
	2	8	3 = EA	18	
	3 = EA	10	S13	1	3
	1	2	2	0	
S5	2	3	3 = EA	5	
	3	6	S14	1	2
	4 = EA	365	2	3	
	1	8	3 = EA	6	
S6	2	3	S15	1	2
	3	360	2 = EA	3	
	4 = EA	47	S16	1	0
	1	52	2	0	
S7	2	27	3	0	
	3	52	3,7 = EA	27	
	3,1 = EA	54			
	1	11			
S8	2	9			
	3	5			
	3,8 = EA	26			

Fonte: Geoparaná, (2012, p.21).

A amostra de solo encaminhada ao laboratório foi aquela que em cada furo apresentou o maior teor na leitura de COV. As análises solicitadas ao laboratório foram de BTEX e PAH, foram realizadas também, a análise de TPH nas amostras das sondagens S1, S2 e S9, pelo fato destas sondagens encontrarem-se nas proximidades e sob a possível influência do antigo tanque de óleo lubrificante usado ou da caixa separadora de água e óleo (SAO), conforme orientação da Instrução Normativa - IN 01 - FATMA.

A comparação dos teores detectados para as substâncias BTEX e PAH foi feita com os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009, na categoria de uso residencial. Já para as substâncias TPH a comparação foi realizada com a Lista Holandesa, de acordo com a orientação da Instrução Normativa - IN 01 - FATMA.

Na Tabela 9 apresenta uma transcrição dos resultados obtidos por meio das análises laboratoriais das 16 amostras de solo encaminhada ao laboratório seguido dos valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009.

Na Figura 11 apresenta-se a projeção identificada para o comportamento da pluma de contaminação detectada para o solo.

Tabela 9 - Comparação dos valores laboratoriais das amostras de solo com a Resolução CONAMA 420/2009.

Substâncias (mg/Kg)	Amostras de Solo																Valores Orientadores - Resolução CONAMA 420/2009 Solo (mg/Kg)		
	S1 4m	S2 4m	S3 1m	S4 3m	S5 4m	S6 3m	S7 3m	S8 3m	S9 3,2m	S10 3,1m	S11 3m	S12 3m	S13 3m	S14 3m	S15 2m	S16 3,7m	Agrícola	Residencial	Industrial
Benzeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,142	0,467	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,06	0,08	0,15
Etilbenzeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,348	0,012	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	35	40	95
Tolueno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,021	0,302	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	30	30	75
Xilenos	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,111	0,329	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	25	30	70
Acenafeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,002	0,0162	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Acenafileno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0013	0,0125	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Benzo[a]antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,063	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	20	65
Benzo[a]pireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,4	1,5	3,5
Benzo[b]fluoranteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Benzo[ghi]perileno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Benzo[k]fluoranteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Criseno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Dibenzo[a,h]antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,15	0,6	1,3
Fenantreno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,019	0,19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,5	40	95
Fluoranteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0032	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Fluoreno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0053	0,0593	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Indeno[1,2,3-cd]pireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2	25	130
Naftaleno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,036	0,032	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	30	60	90
Pireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0102	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
TPH	3,12	---	---	2,87	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.000*		

Fonte: Geoparaná, (2012, p.22).

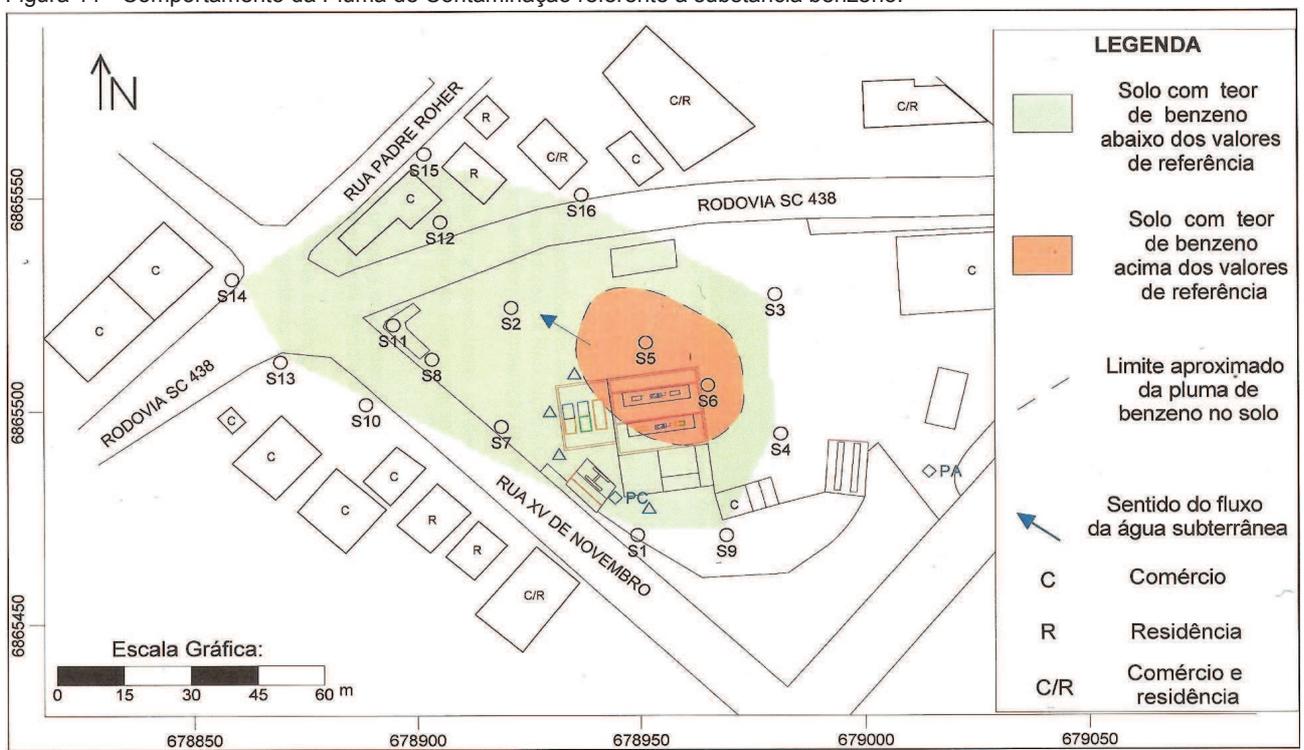
N.D. = não detectado

* Lista Holandesa - Valor de Intervenção (I).

 Categoria de solo utilizada para comparação com os valores detectados nas análises de laboratório.

 Substâncias cujo teor analisado ultrapassou os valores orientadores.

Figura 11 - Comportamento da Pluma de Contaminação referente a substância benzeno.



Fonte: Geoparáná, (2012, p.18).

5.7.2 Amostragem e análise laboratorial de água

A comparação dos teores detectados nas amostras da água para as substâncias BTEX e PAH foi feita com os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009. Já para as substâncias TPH a comparação foi realizada com a Lista Holandesa.

Foi detectada a concentração de benzeno acima do valor de referência nas amostras coletadas nas sondagens S2, S6, S8, PM 1 e PM 2. Foi também detectada a concentração de substâncias PAH acima do valor de referência na amostra da sondagem S5.

Estes resultados mostram que ocorreram vazamentos de compostos derivados do petróleo na área do posto, caracterizando-se como passivo ambiental, sujeito a interrupção das atividades ou no processo de retirada total do solo contaminado.

Na Tabela 10 apresenta-se uma transcrição dos resultados obtidos por meio das análises laboratoriais das amostras coletadas e nas Figuras 12 e 13 são apresentadas as projeções identificadas para o comportamento da pluma de contaminação detectada na água subterrânea.

Tabela 10 - Comparação dos valores laboratoriais das amostras de água com a Resolução CONAMA 420/2009.

Substâncias (µg/L)	Amostras de Água																				Valores Orientadores Resolução CONAMA 420/2009 Água Subterrânea (µg/L)		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	PM1	PM2	PM3	PM4	PC	PA	
Benzeno	N.D.	10,4	N.D.	N.D.	2,9	15,9	2,9	16,6	N.D.	51,7	104	1,4	N.D.	N.D.	N.D.		5						
Etilbenzeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6,8	31,1	1,5	N.D.	N.D.	N.D.		300
Tolueno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,9	N.D.	N.D.	N.D.	2,3		700
Xilenos	N.D.	11,7	N.D.	N.D.	3,7	11,2	3,7	112,2	N.D.	7,1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.			500						
Acenafteño	N.D.	0,129	N.D.	0,174	10,93	0,166	N.D.	0,503	N.D.	0,3	0,22	0,124	0,046	N.D.	N.D.		---						
Acenafteño	N.D.	0,086	N.D.	0,065	7,314	0,196	0,035	0,574	N.D.	0,035	0,03	0,018	0,01	N.D.	N.D.		---						
Antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		---
Benzo[a]antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5,492	N.D.	N.D.	0,321	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		1,75							
Benzo[a]pireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0,7
Benzo[b]fluoranteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		---
Benzo[ghi]perileno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		---
Benzo[k]fluoranteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		---
Criseno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4,111	N.D.	N.D.	0,22	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		---							
Dibenzo[a,h]antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0,18
Fenantreno	N.D.	1,73	N.D.	0,68	158,4	2,26	0,59	8,7	N.D.	0,24	0,76	0,18	N.D.	N.D.	N.D.		140						
Fluoranteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,791	N.D.	N.D.	0,099	N.D.	0,025	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		---						
Fluoreno	N.D.	0,781	N.D.	0,554	42,17	1,24	0,207	2,832	N.D.	0,516	0,597	0,22	0,098	N.D.	N.D.		---						
Indeno[1,2,3-cd]pireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0,17
Naftaleno	0,5	0,64	N.D.	2,08	365,5	53,07	0,37	55,27	N.D.	1,22	0,63	0,69	N.D.	N.D.	N.D.		140						
Pireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7,412	N.D.	N.D.	0,297	N.D.	0,032	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		---						
TPH	18,25	---	---	171,9	---	---	---	---	8,93	---	---	---	---	---	---	---	273,6	181,1	172,9	---	---		600*

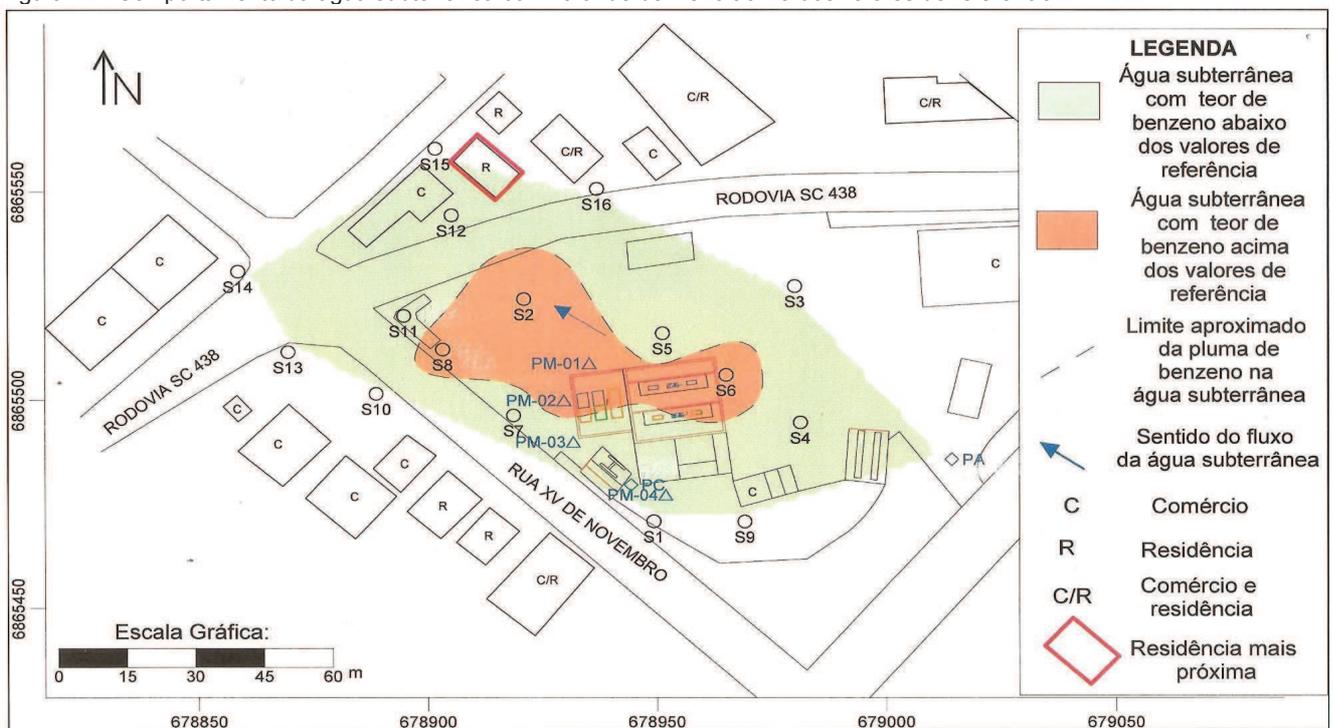
Fonte: Geoparaná, (2012, p.25).

N.D. = não detectado

* Lista Holandesa - Valor de Intervenção (I)

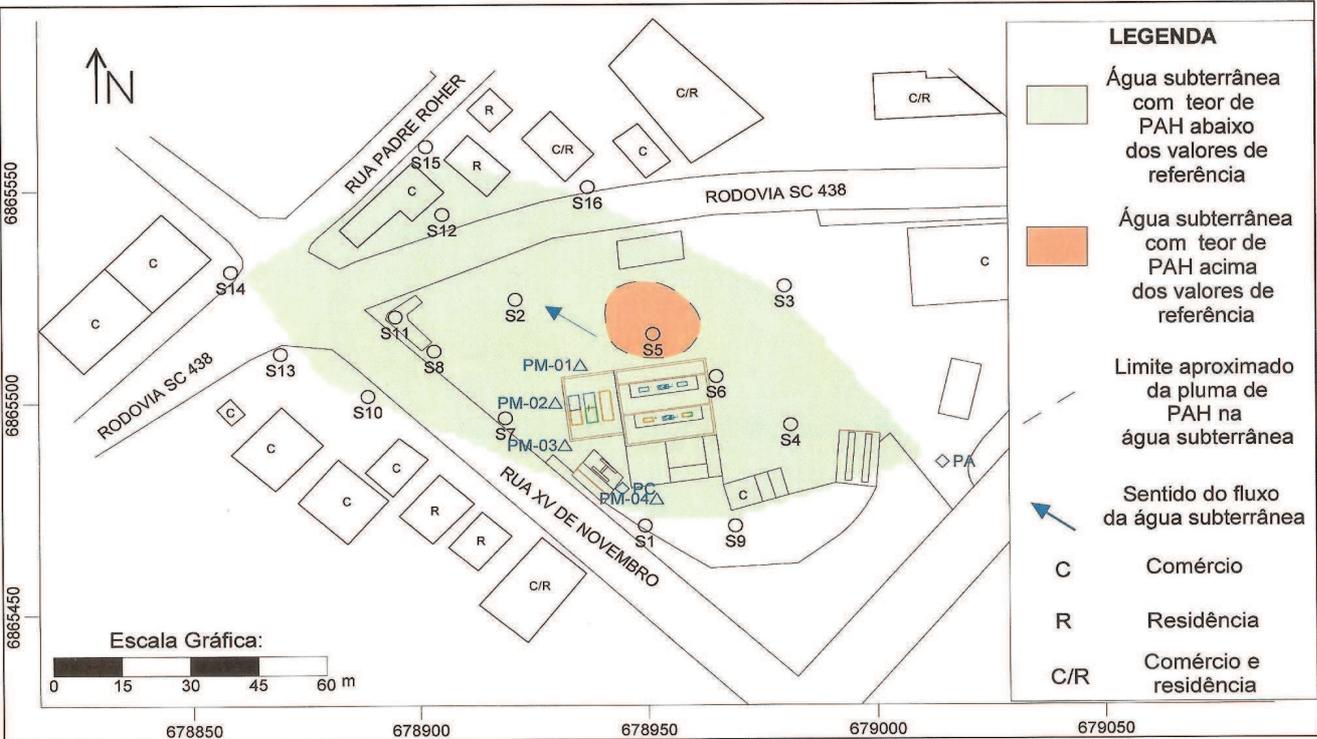
 Substância cujo teor analisado ultrapassou o valor orientador

Figura 12 - Comportamento da água subterrânea com valor de benzeno acima dos valores de referência.



Fonte: Geoparaná, (2012, p.26).

Figura 13 - Comportamento da água subterrânea com valor de PAH acima do valor de referência.



Fonte: Geoparáná, (2012, p.27)

5.8 ANÁLISE DE RISCO - RBCA TIER 2

a) Inalação de vapores contaminados em ambiente aberto e fechado - trabalhadores do posto localizados sobre a pluma de contaminação "*on site*":

- Não representou risco carcinogênico: valor total de $9,7 \times 10^{-6}$, inferior ao limite de $1,0 \times 10^{-5}$.
- Não representou risco toxicológico: valor total de $3,0 \times 10^{-1}$, inferior ao limite de 1,0.

b) Inalação de vapores contaminados em ambiente aberto - residentes próximos ao empreendimento (12 m do limite norte da pluma de contaminação - "*of site*"):

- Não apresentou risco carcinogênico: valor total de $6,3 \times 10^{-8}$, inferior ao limite de $1,0 \times 10^{-5}$.
- Não apresentou risco toxicológico: valor total de $2,1 \times 10^{-3}$, inferior ao limite de 1,0.

5.8.1 Valores alvo de SSTL (*Site Specific Target Levels*)

Os SSTL (*Site Specific Target Levels*) representam os valores alvos que devem ser atingidos na remediação quando é detectado risco.

Conforme apresentado no item anterior, o *software* nos indicou que a poluição detectada não representa risco considerando-se as vias de exposição reais. Desta forma não existe necessidade de remediação do local.

Na Tabela 11 são representados os SSTL requeridos, calculados para o caso mais restritivo: Inalação de vapores contaminados em ambientes aberto e fechado - trabalhadores do posto (considerado "*on site*" - sobre a pluma de contaminação).

Observa-se que os SSTL requeridos estão sempre acima da Concentração Máxima Encontrada (análises das amostras), pelo fato de que não detectou risco.

Tabela 11 - Valores de SSTL encontrados nas amostras de solo e água.

Substâncias	Concentração	SSTL	Concentração	SSTL
	Máxima Encontrada - Amostras de Solo (mg/Kg)	Requerido - Solo (mg/Kg)	Máxima Encontrada - Amostras de Água (mg/L)	Requerido - Água (mg/L)
Acenafteno	1,6E-2	NC	1,1E-2	NC
Acenaftileno	1,3E-2	NC	7,3E-3	NC
Antraceno	8,0E-4	NC	8,0E-3	NC
Benzo[a]antraceno	6,3E-3	>31	5,5E-3	>57E-4
Benzo[a]pireno	8,0E-4	>6	8,0E-6	>16E-4
Benzo[b]fluoranteno	8,0E-4	>31	8,0E-6	>147E-4
Benzo[ghi]perileno	8,0E-4	NC	8,0E-6	NC
Benzo[K]fluoranteno	8,0E-4	>9	8,0E-6	>43E-4
Criseno	5,0E-3	>1	4,1E-3	>18E-4
Dibenzo[a,h]antraceno	8,0E-4	>1	8,0E-6	>5E-4
Fenantreno	1,9E-1	NC	1,6E-1	NC
Fluoranteno	3,2E-3	NC	1,8E-3	NC
Fluoreno	5,9E-2	NC	4,2E-2	NC
Indeno[1,2,3-cd]pireno	8,0E-4	>8.179	8,0E-6	>620E-4
Naftaleno	3,6E-2	>243	3,7E-1	>31
Pireno	1,0E-2	NC	7,4E-3	NC
Benzeno	0,467	0,720	0,104	0,320
Etilbenzeno	3,0E-1	1,6E+2	2,9E-3	6,7E+1
Tolueno	3,5E-1	>259	3,1E-2	1,6E+2
Xilenos (isômeros)	1,1	>208	1,1E-1	>198

Fonte: Geoparaná, (2012, p.31).

NC - Não calculado

> - Indica concentrações-alvo maiores que o valor de saturação residual do composto.

6 CONCLUSÃO

Os resultados foram obtidos para as condições de uso do empreendimento e vizinhança detectada no momento da investigação, qualquer mudança que possa ocorrer no cenário atual pode implicar em alterações nos presentes resultados.

Os resultados obtidos para inalação de vapores contaminados com risco carcinogênico foram de $9,7 \times 10^{-6}$ representando um valor inferior ao limite estabelecido pela legislação que é de $1,0 \times 10^{-5}$ e para risco toxicológico encontrou-se $3,0 \times 10^{-1}$ inferior ao limite de 1, conforme a legislação.

Os valores encontrados para riscos carcinogênicos e toxicológicos para comunidade foram de $6,3 \times 10^{-8}$ e $2,1 \times 10^{-3}$ inferiores ao limite de $1,0 \times 10^{-5}$ e 1, respectivamente.

A poluição detectada no Auto Posto não representa risco para saúde humana. Conforme apresentado nos resultados no item 4, não será necessário a remediação do *site*, que implicaria na remoção de um grande volume de solo e um alto valor para depositar este material em local adequado.

Não deve estar havendo aporte de mais contaminantes, uma vez que as instalações encontram-se em boas condições, tendo ocorrido reforma completa do empreendimento em 2009, incluindo a troca dos tanques e tubulações.

Recomenda-se a instalação de dois Poços de Monitoramento do lençol freático, um entre as sondagens S8 e S11 e o outro entre a sondagem S2 e a Rodovia para que assim se possa fazer o acompanhamento da pluma de contaminação e o monitoramento das concentrações. Além de manter o plano de monitoramento analítico do poço cacimba, poço artesiano e dos poços de monitoramento até que se possa afirmar que a concentração dos contaminantes esteja dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação vigente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; PANNO, Márcia; OLIVEIRA, Simone Gomes de. **Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Thex, 2000. 207 p.

ALONSO, U. R. **Rebaixamento Temporário de Aquífero**. São Paulo: Laramara, 1999. 131p.

BAGLEY, R. *Risck-Based Remediation Guidelines Take Hold*, *Environ. Sci. Technol.*, v. 30, p.438A-441A, 1996.

BRASÍLIA. **Programa Nacional de Capacitação de Gestores Ambientais: Licenciamento Ambiental**. Brasília: MMA, 2009. 90 p.

CETESB. **Procedimentos para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis**. São Paulo; 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 22 maio 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 1997. Resolução CONAMA n° 237. Disponível em:< www.mma.conama.gov.br/conama> Acesso em 31/03/2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2009. Resolução CONAMA N° 420. Disponível em:< www.mma.conama.gov.br/conama> Acesso em 31/03/2013.

CORSEUIL, Henry Xavier; MARINS, Marcus Dal Molin. **Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: o Problema é Grave?** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro,v.2, n.2 , p.50-54, 02 fev. 1997.

COSTA, M. C. O. **Mapeamento de vulnerabilidade das águas subterrâneas por contaminação de hidrocarbonetos na Sub-bacia Arroio Dilúvio, POA-RS**. Porto Alegre, Instituto de Geociência, UFRS, 2003, p.18.

DALMAGRO, Anabel Dalle Laste. **Licenciamento de postos de combustíveis em Porto Alegre: uma visão jurídico-ambiental.** Revista de Direito Ambiental, São Paulo, v. 16, n. 64, p.71-115, dez. 2011.

DAMIS, Francisco Cláudio Teixeira; RESENDE, Patrícia Teixeira Damis. **A Revenda de Combustíveis: Uma Nova Estratégia.** Patrocínio: Abrepro, 2001. 8 p. Disponível em :<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2001_TR72_0218.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2013.

DOMINICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. **Physical and chemical hydrogeology.** 2. Ed. New York, John Wiley & Sons, ins., 1998.

FERREIRA, R N. **Na Trilha do Sucesso - Uma história da revenda de combustíveis.** Brasília; Quick Printer; 1999 apud GOUVEIA, Jorge Luiz Nobre. **Atuação de Equipes de Atendimento Emergencial em Vazamento de Combustíveis em Postos e Sistemas Retalhistas.** 2004. 214 f. Dissertação (3) - Curso de Mestrado, Departamento de Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/postos/dissertacao_gouveia.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2013.

FINOTTI, Alexandra R.; CAICEDO, Nelson O. L. **Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 6, n. 2, p.30, Porto Alegre, 2001.

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - FEPAM. **O licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul: conceitos jurídicos e documentos associados.** 2 ed. Porto Alegre, 2006. P.21.

GEOPARANÁ. **Análise de Risco RBCA Tier 2.** Curitiba, 2012. 132 p.

GEOPARANÁ. **Estudo de Investigação de Passivo Ambiental.** Curitiba, 2012. 96 p.

GOUVEIA, Jorge Luiz Nobre. **Atuação de Equipes de Atendimento Emergencial em Vazamento de Combustíveis em Postos e Sistemas Retalhistas**. 2004. 214 f. Dissertação (3) - Curso de Mestrado, Departamento de Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/postos/dissertacao_gouveia.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2013.

HEATH, H. C. **Hidrologia Básica de água Subterrânea**. Washington: U.S.: Geological Survey, 1983. 84p.

MALCUM, Karin Ceroni. **Avaliação da Capacitação de Frentistas em Postos de Combustíveis na Cidade de Porto Alegre**. 2009. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento de Eng. Mecânica, Ufrgs, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28704/000748709.pdf?sequence=1>>. Acesso em 25 mar. 2013.

MARANHÃO D.; TEIXEIRA C. A.; TEIXEIRA T. M. A.. **Procedimento de Investigação e Avaliação da Contaminação em Postos de Combustíveis, Utilizando Metodologia da Análise de Risco: Aplicação da ACBR em Estudo de Caso na RMS**. 2007, p. 121, Salvador, UFBA.

MONTGOMERY, J. M.; WELKON, L. M. **Groundwater chemicals desk reference**. Michigan: Lewis Publishers, 1989 apud FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L. **Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados do petróleo: toxicidade e a legislação brasileira**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 6, n.2, p.32, Porto Alegre, 2001.

OLIVEIRA, Josafá Ribeiro de; MAGNO, Paulo Sérgio do Livramento. **Investigação Hidrogeologica em Postos de Combustíveis em Monte Alegre / PA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., 2010, Monte Alegre. Posto de Combustíveis Monte Alegre. São Luiz: Acqua, 2010. p. 1 - 17. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22916/15057>>. Acesso em: 08 abr. 2013.

OLIVEIRA, Leonardo Inácio de; LOUREIRO, Celso de Oliveira. **Contaminação de Aquíferos por Combustíveis Orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação Preliminar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., 1998, Belo Horizonte. **Contaminação de Aquíferos por Combustíveis Orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação Preliminar**. São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 1998. p. 1 - 5. Disponível em:<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22287>>. Acesso em: 01 abr. 2013.

SIEDLIECKI, Kátia; CAVA, Luiz Augusto. **Contaminação por combustíveis é um passivo ambiental comum**. Curitiba: 2008. p. 1.

STANLEY, C. C.; JOHNSON, P. C.; ROUNDS, D. D. **Na Overview of Risk-Based Corrective Action (RBCA) for Petroleum Release Sites**. In: Proceedings of the 1994, Petroleum Hydrocarbon and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection and Restoration Conference, Houston, Texas. P. 11-18, 1994.

TRESSOLDI, Marilda. **Proposições para investigação de parâmetros controladores da contaminação do subsolo e das águas subterrâneas**. 242 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

VISSER, W. J. F. **Contaminated Land Policies in Some Industrialized Countries: Netherlands**. Technical Soil Protection Committee, 1993, 240p.