

ESTUDO DE CASO PARA A COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO: RBCA *TIER 2* E ANÁLISE DE RISCO PARA POSTOS DE COMBUSTÍVEIS, SEGUNDO A CETESB

Larissa Lopes Endlich¹

Tiago Luis Haus²

RESUMO

O desenvolvimento econômico vivido pelo Brasil a partir dos anos 1970 promoveu uma adaptação do país aos novos mercados produtivos do petróleo e seus derivados. No final de 2012 já existiam no Brasil 16 refinarias, 329 bases de distribuição, 39.450 postos de revenda e uma comercialização de combustíveis de aproximadamente 230 mil m³/dia dos derivados de petróleo (ANP, 2013). Através do desenvolvimento desta atividade, muitos impactos ambientais foram identificados, especialmente no armazenamento, com o uso de sistemas subterrâneos adotados nos postos de vendas. A contaminação do solo e da água subterrânea pode ser altamente tóxica ao meio ambiente, principalmente os constituintes mais solúveis e móveis da fração da gasolina, os compostos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno. Para a avaliação da contaminação, é necessário o monitoramento das matrizes água e solo através de análises laboratoriais e, se detectada a contaminação, a avaliação dos impactos causados ao meio ambiente e à saúde humana afetada. A modelagem matemática para a análise de risco vem como um método de auxílio da interpretação entre o cruzamento de causas e efeitos da contaminação. Neste sentido, dois métodos são utilizados no Brasil: RBCA *Tier 2* e Decisão de Diretoria (DD) n. 263/2009. Porém, o país ainda não possui uma Norma Técnica ou mesmo uma Legislação que padronize esta análise. Um exemplo disso ocorre no Instituto Ambiental do Paraná e na Secretaria do Meio Ambiente de Curitiba, que utilizam diferentes métodos. A partir desta temática, o objetivo

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela FAE Centro Universitário.
E-mail: larissa.endlich@gmail.com

² Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR. Professor da FAE Centro Universitário. *E-mail:* tiago.haus@fae.edu

deste trabalho foi o de realizar a comparação, a partir de um estudo de caso com dados hipotéticos, dos métodos de análise RBCA *Tier 2* e DD n. 263/2009 solicitados perante os órgãos ambientais no município de Curitiba e Estado do Paraná, respectivamente, para discussão dos resultados e apontamento das vantagens e desvantagens para uma análise efetiva. A partir da elaboração dos métodos de risco, conclui-se que o RBCA é uma ferramenta de fácil uso e visualização de dados; já a DD 263 – CETESB, que possui o mesmo princípio que o outro método, foi elaborada em especial para aplicação no Estado de São Paulo, por isso não possui meios de inserção de dados essenciais (exemplo: pH, porosidade, entre outras características do solo contaminado) para uma análise de risco efetiva com informações do sítio estudado. Por fim, indica-se a revisão da legislação nacional Resolução Conama n. 420/2009, de forma que indique um método efetivo de análise para implantação em todo o país e que obrigue os estados e municípios a se desenvolverem neste tema com novas leis e o mapeamento das áreas contaminadas para simulação de cenários futuros.

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

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico vivido pelo Brasil ao longo partir dos anos promoveu uma adaptação do país aos novos mercados produtivos do petróleo e seus derivados. Após quatro décadas, foi possível identificar no país 16 refinarias, 55 terminais aquaviários e 33 terminais terrestres, 329 bases de distribuição, 293 distribuidoras, 39.450 postos de revenda e uma comercialização de combustíveis de aproximadamente 230 mil m³/dia dos principais derivados de petróleo segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2013).

Através do desenvolvimento desta atividade, muitos impactos ambientais foram reconhecidos, como sua produção, logística e formas de armazenamento, tendo este último estado relacionado diretamente ao uso de sistemas de armazenamento de combustíveis subterrâneos (SASC), adotados especialmente nos postos de vendas.

O uso do SASC é uma grande preocupação atualmente, pois pode causar a contaminação do solo e das águas subterrâneas por vazamento de combustíveis (gasolina, diesel, etanol), causando, além dos riscos ambientais, riscos para a saúde humana. A contaminação do solo e da água subterrânea pode ser altamente tóxica aos seres humanos, principalmente os constituintes mais solúveis e móveis da fração da gasolina (a cadeia de hidrocarbonetos aromáticos): benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX).

Para avaliar se há contaminação em um sítio (local do estudo), deve-se realizar o monitoramento de sua matriz água e solo através de análises laboratoriais. Caso a contaminação seja confirmada, passa-se para uma investigação de passivo ambiental onde se executa o detalhamento da área para delimitação do eixo e das dimensões das contaminações em fase livre, dissolvida e/ou residual.

Através de levantamento das características atuais do sítio, pode-se avaliar, através de *software* baseado em modelos matemáticos, o transporte do contaminante no solo e realizar uma análise de risco para definição do plano e das metas de remediação.

Atualmente, os órgãos ambientais nacionais têm adotado procedimentos baseados em RBCA (*Risk-Based Corrective Action* – Ações Corretivas Baseadas no Risco). O método encontra-se fundamentado nas normas ASTM 204-01 *Guide for Risk-Based Corrective Action (RBCA) at Chemical Release Sites* (Guia para Ações Corretivas Baseadas no Risco de Locais com Lançamento de Produtos Químicos) e ASTM E1739-95 *Guide for Risk-Based Corrective Action (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites* (Guia para Ações Corretivas Baseadas no Risco Aplicadas a Locais com Lançamento de Petróleo), ambas desenvolvidas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (CORSEUIL, MARINS, 1997).

Contudo, o Brasil ainda não possui uma Norma Técnica ou mesmo uma Legislação Nacional que padronize a Análise de Risco, um exemplo disso são os órgãos Instituto Ambiental do Paraná e Secretaria do Meio Ambiente de Curitiba, que utilizam diferentes métodos de avaliação.

Baseado em um estudo de caso realizado em um posto de abastecimento de combustíveis com dados hipotéticos no município de Curitiba, o objetivo geral deste artigo foi realizar uma discussão sobre dois métodos de Análise de Risco a partir do *software* RBCA *Tier 2* e a análise para postos de combustíveis segundo a Decisão de Diretoria (DD) n. 263/2009 da CETESB, adotados pelos órgãos estadual e municipal, respectivamente.

Para atingir este objetivo, foi realizada uma revisão sobre a problemática de áreas contaminadas, em especial por combustíveis; foi realizado o levantamento das legislações federais, estaduais e municipais sobre áreas contaminadas a partir de combustíveis; foram levantadas as descrições da área contaminada do estudo de caso; foram avaliados todos os elementos necessários para a elaboração de análise de risco para o *software* RBCA *Tier 2* e a análise para postos de combustíveis segundo a CETESB, por meio da DD n. 263/2009; e, por fim, foi realizada a análise de risco com os dois métodos escolhidos e a discussão dos resultados dos dois métodos de análise de risco aplicados, elencando suas vantagens e desvantagens para uma análise efetiva.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 ÁREAS CONTAMINADAS

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), uma área contaminada pode ser definida como um local onde existe comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de qualquer tipo de substância ou resíduo que nela tenha se acumulado, armazenado, enterrado ou infiltrado, como por exemplo os combustíveis derivados do petróleo, de forma planejada, acidental ou mesmo natural.

Nesta área, os poluentes ou contaminantes podem se concentrar nos diferentes compartimentos do ambiente, podendo estar depositados na matriz rocha, solo e nas águas subterrâneas, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções (CETESB, 1999).

1.2 DERIVADOS DO PETRÓLEO: GASOLINA E DIESEL

O petróleo bruto representa a fonte primária de quase todos os derivados de petróleo e é formado por uma mistura de hidrocarbonetos de peso molecular variável, representado por 84,5% de carbono, 13% de hidrogênio, 1,5% de enxofre, 0,5% de nitrogênio e 0,5% de oxigênio (SOLOMONS, 1996).

Segundo Fetter (1999), no petróleo podem ser identificados mais de 600 hidrocarbonetos, sendo 25% alcanos (parafinas), 50% cicloalcanos, 17% aromáticos (inclui os aromáticos policíclicos) e 8% compostos asfálticos, sendo este último constituído por cadeias carbônicas de peso molecular elevado, com mais de 40 átomos de carbono.

A gasolina, exemplar de um produto derivado do petróleo, é considerada um produto leve, pois possui uma cadeia carbônica de 4 a 12 carbonos em cadeia linear ou em compostos aromáticos. Dentre os compostos que compõem a gasolina destacam-se os monoaromáticos: benzeno, tolueno, etilbenzeno e três isômeros de xileno (BTEX), em maior proporção, e em menor proporção pelos Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclico (PAHs) (SILVA, 2002).

O óleo diesel, também exemplar de produto derivado do petróleo, é composto por uma cadeia carbônica que varia de 10 a 20 carbonos com uma proporção de 25 a 35 de compostos aromáticos, possuem maior peso molecular, são menos voláteis, menos solúveis em água e possuem menor mobilidade no meio ambiente, quando comparados à gasolina (ASTM, 1995 apud FINOTTI et al., 2001).

1.3 LEGISLAÇÕES FEDERAIS, ESTADUAIS E MUNICIPAIS

As principais legislações no âmbito nacional, estadual (Paraná) e municipal (Curitiba) que apontam os padrões de recomendação/métodos de avaliação para áreas contaminadas são: Resolução Conama n. 420/2009, Resolução Sema n. 21/2011, Decisão de Diretoria n. 263/2009 e Decreto Municipal de Curitiba n. 1.190/2004.

1.4 MODELAGEM MATEMÁTICA: ANÁLISE DE RISCO

A modelagem matemática consiste na representação matemática do que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base no levantamento e interpretação de dados e observações *in loco*, tendo como objetivo uma melhor compreensão do sistema real, possibilitando prever situações futuras, com o objetivo voltado à tomada de decisões (IRITANI, 1998; CAVALCANTI, 2002).

Por causa das dificuldades tecnológicas e econômicas, associadas à remediação de solos e aquíferos, e, principalmente, por falta de critérios de qualidade ambiental que levem em consideração fatores específicos do local contaminado, foram desenvolvidas metodologias de avaliação de áreas degradadas utilizando a análise de risco baseada na modelagem matemática como ferramenta para a tomada de decisão (CORSEUIL; MARINS, 1997).

1.4.1 Análise de Risco – RBCA *Tier 2*

O RBCA é um modelo bidimensional e numérico que simula os cenários de contaminação de aquíferos não confinados por derramamentos de combustíveis, baseado na avaliação relativa ao risco à saúde humana e ao meio ambiente (CONNOR et al. apud GOMES, 2008).

A estrutura da metodologia é composta por três abordagens distintas, em função da quantidade de dados relativos ao local de estudo e do grau de complexidade para a representação dos processos de fluxo e transporte de contaminantes, denominados de *Tier 1* (nível 1), *Tier 2* (nível 2) e *Tier 3* (nível 3) (GOMES, 2008).

O nível 1 faz a comparação entre as concentrações das substâncias químicas de interesse e os níveis preliminares baseados no risco, termo denominado em inglês de *Risk-Based Screening Levels* (RBSLs), que são utilizados para determinar se as condições do sítio estão regulares legalmente. No nível 2, são fornecidos os *Site-Specific Target Levels* (SSTLs), em português Níveis de Remediação Específicos para o Sítio, que fornecem subsídios ao processo de tomada de decisões relacionadas a ações corretivas e à necessidade de remediação aos níveis aceitáveis. O nível 3 é elaborado quando conclui-se que o Nível 2 é inadequado para ser utilizado como nível de remediação. Assim, o Nível 3 gera SSTLs para caminhos de exposição diretos e indiretos com o uso de parâmetros específicos do sítio.

1.4.2 Análise de Risco – Análise para Postos de Combustíveis Segundo a CETESB

O procedimento de RBCA para a saúde humana é uma metodologia para tomada de decisões baseadas em risco elaborada com base na norma ASTM 204-01 *Guide for Risk Based Corrective Action at Chemical Release Sites* (RBCA), desenvolvida pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para áreas com problemas de contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo (HDP) (CETESB, 2006).

A análise de risco faz parte da Decisão de Diretoria n. 10/2006/C, de 26 de janeiro de 2006, que trata sobre procedimentos para licenciamento de postos e sistemas retalhistas de combustíveis, que ficam divididos entre sete anexos, sendo que no Anexo VII são tratados os procedimentos necessários para elaboração de RBCAs aplicadas a áreas contaminadas por hidrocarbonetos.

Os objetivos do Anexo VII são: estabelecer uma metodologia de tomada de decisão com base no risco, adaptada às condições do meio físico e exposicionais encontradas

no Estado de São Paulo, e estabelecer Tabelas de Referência para a análise de nível 1, considerando a proteção à saúde humana e a parametrização adequada para o Estado de São Paulo (CETESB, 2006).

2 METODOLOGIA

Para elaboração do estudo de caso, primeiramente foi escolhido um sítio, que possui um posto de abastecimento interno, onde o cenário de contaminação é hipotético e tem caracterização crítica, pois o mesmo já fora constatado com a concentração de parâmetros acima dos limites permitidos pela legislação municipal através de laudos e relatórios já finalizados, sendo que os dados de pesquisa foram disponibilizados pela empresa Geoparaná Consultoria Ltda.

A partir das coletas de dados disponibilizadas, foram escolhidos para diagnóstico do local dois métodos de Análise de Risco para avaliação das concentrações dos parâmetros benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, denominados BTEX, e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, chamados de PAH. Excluiu-se a avaliação de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH).

Também foram considerados dados físicos e químicos do sítio (*site*), como características do solo, porosidade, dentre outras (que são elementos necessários para o processamento de dados pelo *software* RBCA, *Tier 2*) e da análise para postos de combustíveis segundo a DD n. 263/2009, da CETESB.

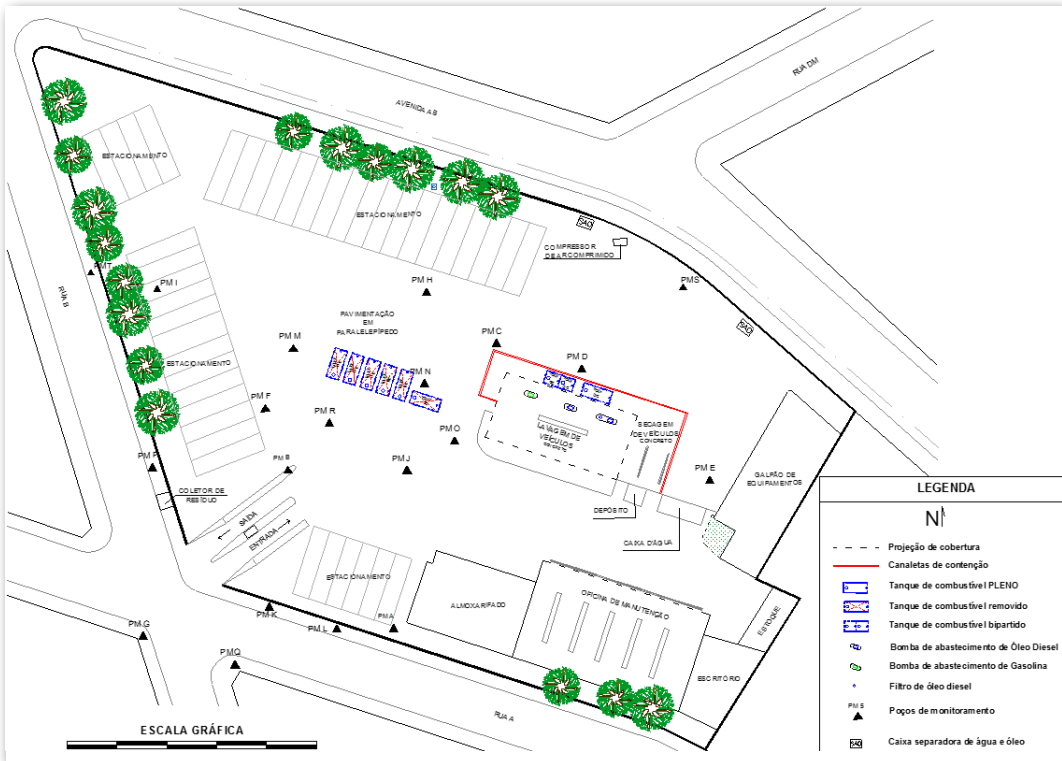
Finalmente, a partir da elaboração dos dois métodos de análise de risco, realizou-se uma discussão dos resultados obtidos comparando os dois métodos aplicados, elencando suas vantagens e desvantagens para uma avaliação efetiva.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO DE CASO

O empreendimento está situado em Curitiba, capital do Paraná, em um bairro localizado na porção centro-leste da capital, na Rua A, esquina com a Rua B.

No ano de 2007 foi realizado no empreendimento um teste de estanqueidade nas linhas e tanques do posto de abastecimento e o resultado comprovou que um dos tanques que armazenava gasolina comum não se encontrava estanque. Um ano depois, os seis tanques antigos existentes no local foram removidos em conjunto com 14,55 toneladas de solo contaminado (STYGAR, 2012). A seguir, é apresentado o *layout* das instalações do empreendimento (FIG. 1).

FIGURA 1 – Layout das instalações do empreendimento



FONTE: Stygar (2012, adaptado)

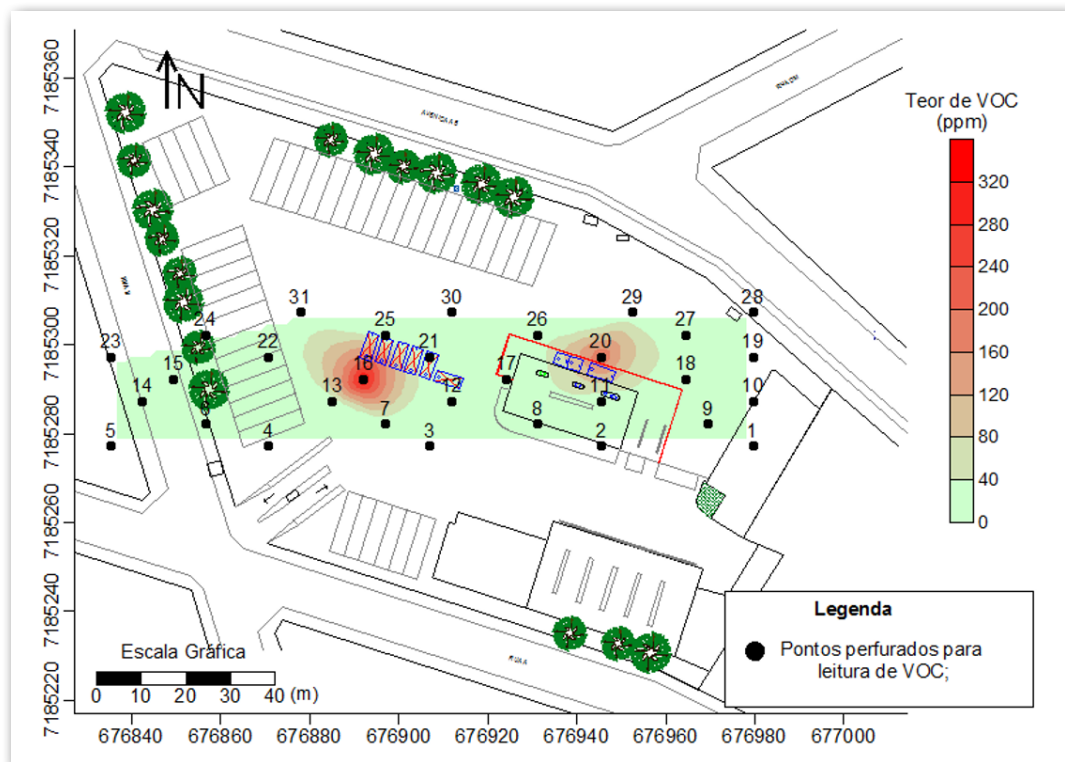
Após diversos estudos, em 2010, foi realizado o relatório de *Investigação Ambiental do Solo e das Águas Subterrâneas e Análise de Risco RBCA Tier 2*, o qual não verificou presença de combustível em fase livre nos poços de monitoramento e não constatou presença de risco à saúde humana (STYGAR, 2012).

Em 2013, foi realizada uma nova investigação para a delimitação da fase dissolvida existente no local, com o objetivo de realizar a remediação do sítio, sendo necessária a realização de uma análise de risco e proporção (BUCHMANN; BETINARDI, 2013).

As sondagens feitas no sítio através de estudo para caracterização do solo, realizada no estudo 2013, detectaram aterro, com composto de rachão variando entre 0,50 e 1,80 metros de profundidade. Abaixo do perfil de aterro, por vezes, há argila com matéria orgânica, sendo que no intervalo mais profundo foi identificada camada de areia argilosa (BUCHMANN; BETINARDI, 2013).

Através da elaboração da malha de compostos orgânicos voláteis (COV) com 31 pontos elaborados pelo estudo da Geoparaná (2013), obteve-se orientação para a perfuração de dois pontos (FIG. 2).

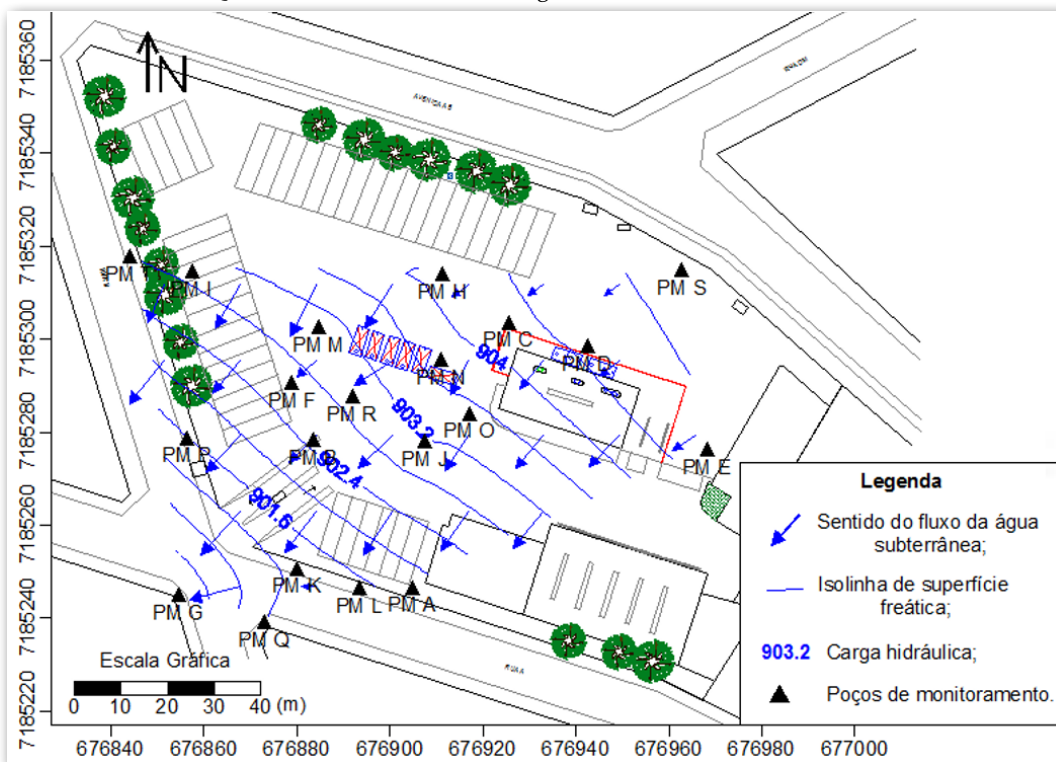
FIGURA 2 – Distribuição das perfurações efetuadas para leitura de COV com a indicação dos locais onde foram efetuadas as sondagens e os pontos com os maiores teores



FONTE: Stygar (2012, adaptado)

Conforme estabelecido, na data do estudo da Geoparaná (STYGAR, 2012), o fluxo da água subterrânea (aquífero freático) desloca-se generalizadamente para sudoeste, conforme um gradiente de inclinação. A FIG. 3 representa o mapa piezométrico.

FIGURA 3 – Indicação do sentido de fluxo da água freática



FONTE: Stygar (2012)

O teste de permeabilidade, realizado conforme o método de Hvorslev (1951 apud FETTER, 1994) através do estudo da Geoparaná (2013), obteve como resultado um coeficiente de permeabilidade de $2,51 \times 10^{-4}$ cm/s (BUCHMANN; BETINARDI, 2013).

2.1.1 Caracterização do Solo e da Água

As amostras de solo e água, coletadas no estudo realizado pela Geoparaná (BUCHMANN; BETINARDI, 2013), foram submetidas aos ensaios de BTEX e PAH, conforme solicitado pela legislação em vigor.

Na TAB. 1 e na TAB. 2 estão transcritos, resumidamente, os resultados da análise laboratorial fornecidos pelo trabalho (BUCHMANN; BETINARDI, 2013) e resultados hipotéticos que obtiveram resultados acima dos valores de comparação.

TABELA 1 – Resultados laboratoriais das amostras de solo com resultados acima das legislações vigentes

Substâncias (mg/kg)	S1	Decreto Municipal n. 1190/2004				Resolução CONAMA n. 420/2009			
		Solo (mg/kg)		Industrial	Solo (mg/kg)				
		Residencial/APA	Comercial/Serviços		Agrícola/ APMáx	Residencial	Industrial		
Benzeno	nd	1,5	1,5	3	0,06	0,08	0,15		
Tolueno	<0,001	40	40	140	30	30	75		
Etilbenzeno	nd	1,2	20	20	35	40	95		
Xileno	nd	6	6	15	25	30	70		
Naftaleno	0,30	60	---	---	30	60	90		
Acenaftileno	nd	---	---	---	---	---	---		
Acenafteno	0,09	---	---	---	---	---	---		
Fluoreno	0,21	1	10	10	---	---	---		
Fenantreno	0,47	5	0,7	0,7	15	40	95		
Antraceno	0,02	---	---	---	---	---	---		
Fluoranteno	<0,01	---	---	---	---	---	---		
Pireno	0,03	10	10	10	---	---	---		
Benzo(a)antraceno	<0,01	1	---	---	9	20	65		
Criseno	0,03	---	10	10	---	---	---		
Benzo(b)fluoranteno	nd	---	50	50	---	---	---		
Benzo(k)fluoranteno	1,5	1	---	---	---	---	---		
Benzo(a)pireno	nd	0,7	---	---	0,4	1,5	3,5		
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	1	1	10	2	25	130		
Dibenz(a,h)antraceno	nd	1	60	90	0,15	0,6	1,3		
Benzo(g,h,i)perileno	nd	---	100	100	---	---	---		

nd = não detectado

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

■ Teores que ultrapassaram os valores de referência mais restritivos (Decreto n. 1190/2004).

FONTE: Buchmann e Betinardi (2013)

TABELA 2 – Resultados laboratoriais das amostras de água subterrânea com resultados acima das legislações vigentes

Substâncias (µg/L)	PM K	S 1 (PM R)	S 2	Decreto n. 1190/2004 Água subterrânea (µg/L) Res./APA/ Com./Serv.	Resolução CONAMA n. 420/2009 Água subterrânea (µg/L)
Benzeno	nd	250.030,00	nd	5	5
Tolueno	6,7	<1,0	nd	170	700
Etilbenzeno	<1,0	nd	nd	150	300
Xilenos	<1,0	nd	nd	70	500
Naftaleno	12,78	3.000,98	0,01	10	140
Acenaftileno	nd	nd	0,31	---	---
Acenafteno	3,49	12,58	0,30	---	---
Fluoreno	6,26	28,42	1,15	---	---
Fenantreno	7,40	64,70	3,23	5	140
Antraceno	0,25	2,64	0,60	5	---
Fluoranteno	0,10	1,48	1,02	1	---
Pireno	0,58	6,80	0,68	100	---
Benzo(a)antraceno	0,22	2,40	0,08	0,5	1,75
Criseno	1,21	7,54	0,11	0,05	---
Benzo(b)fluoranteno	0,06	0,56	0,02	---	---
Benzo(k)fluoranteno	0,07	0,30	0,02	0,05	---
Benzo(a)pireno	0,11	<0,20	0,02	0,05	0,7
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	<0,01	0,05	0,17
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	<0,01	0,05	0,18
Benzo(g,h,i)perileno	nd	nd	0,01	0,05	---

nd = não detectado

■ Teores que ultrapassaram os valores de referência mais restritivos (Decreto n. 1190/2004).

FONTE: Buchmann e Betinardi (2013)

2.2 ANÁLISE DE RISCO

2.2.1 Análise de Risco – RBCA TIER 2

Para a realização da análise de risco foram avaliados os principais elementos potencialmente causadores da contaminação do solo e água do empreendimento,

sendo eles os tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, as linhas de sucção que conduzem os combustíveis até os pontos de abastecimento e as bombas de elementos comuns em qualquer posto de abastecimento de combustíveis.

Por se tratar de um empreendimento com a atividade de abastecimento de combustíveis (gasolina e diesel), os compostos químicos de interesse estão relacionados aos derivados de petróleo: BTEX e PAH.

Através da investigação realizada *in situ*, para a análise de risco, foram considerados os seguintes meios afetados:

- solo: em uma das sondagens (S 1) apresentou teor de componentes derivados de petróleo acima da legislação;
- água: devido à presença de componentes derivados de petróleo em concentrações acima do estabelecido das seguintes amostras coletadas: S 1, S 2 e PM K;
- ar: por ser suscetível à presença de vapores a partir de substâncias em concentrações acima dos limites presentes no solo e na água subterrânea.

Os mecanismos de transporte dos contaminantes considerados para o sítio foram a água subterrânea e o ar.

As principais vias de exposição e potenciais receptores podem ser divididos como reais e hipotéticos, sendo:

Reais:

- Inalação de vapores contaminados em ambiente aberto e fechado – trabalhadores do empreendimento, localizados sobre a pluma de contaminação (*on site*).
- Inalação de vapores contaminados em ambiente aberto – residentes nas imediações do empreendimento (50 m da pluma de contaminação – *off site* – residência mais próxima à pluma de contaminação localizada na porção sul do PM R).

Hipotético:

- Ingestão de água subterrânea (poço) – captação de água subterrânea para ingestão dentro da área com a pluma de contaminação (*on site*) afetando o público comercial, a 50 m distância com a localização da residência considerada a mais próxima (*off site*).

Os dados reais obtidos em campo, por meio do estudo realizado pela Geoparaná (BUCHMANN; BETINARDI, 2013) para caracterização do empreendimento e para elaboração da análise de risco em nível 2, encontram-se na TAB. 3.

TABELA 3 – Dados utilizados para a elaboração da análise de risco

Parâmetro	Valor numérico	Justificativa/Fonte
Matéria orgânica	1,0165% (0,010165)	Laboratorial
Porosidade	0,718 cm ³ /cm ³	Laboratorial
Densidade	1,36 g/cm ³	Laboratorial
Umidade da zona seca	0,476	Laboratorial
Umidade na zona da franja capilar	0,6462	Laboratorial – corresponde a 90% do valor da porosidade
Condutividade hidráulica vertical	1x10 ⁻⁶ m ²	Valor de <i>default</i> * para silte argiloso
Permeabilidade de vapor	1x10 ⁻¹⁵ m ²	Valor de <i>default</i> para silte argiloso
Espessura da franja capilar	0,27 m	Valor de <i>default</i> para silte argiloso
pH	5,9	Laboratorial
Permeabilidade	2,51x10 ⁻⁴ cm/s	Laboratorial
Porosidade efetiva	5,3%	Laboratorial

*Valor do banco de dados do programa

FONTE: Buchmann e Betinardi (2013)

2.2.2 Análise de Risco – Análise para Postos de Combustíveis Segundo a CETESB

A partir do cenário existente no estudo de caso, foram levados em consideração os seguintes elementos:

- Resultados analíticos das substâncias químicas de interesse (SQI) que apresentaram concentrações acima dos valores limites de intervenção (VI):
 - benzeno;
 - naftaleno;
 - benzo(a)antraceno;
 - benzo(b)fluoranteno.
- Distribuição das substâncias detectadas: definição dos pontos de exposição (POE) e dos *hot spots* (HS).
- Meio afetado: água subterrânea.
- Receptores: comercial e residencial.

O cenário no qual o empreendimento está inserido tem como receptor comercial os seguintes ambientes:

- Ambiente aberto: trabalhadores do empreendimento (*on site*).
- Ambiente fechado: escritório, copa e sala de funcionários (*off site*).

Conforme instrução da DD n. 263/2009 – CETESB, deverá ser considerado que o primeiro receptor identificado na área externa será um receptor residencial para os cenários de exposição de inalação de vapores a partir do solo e das águas subterrâneas. Dessa forma, o ambiente ao qual o receptor residencial está caracterizado é:

- Ambiente aberto: imóvel residencial (*off site*).
- Ambiente fechado: imóvel residencial (*off site*).

Com o objetivo de realizar a comparação entre os dois métodos, a via de exposição ingestão foi considerada no cenário hipotético para uma residência a 50 metros, mesmo o local sendo abastecido por companhia pública.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A TAB. 4 apresenta os resultados dos níveis de remediação específicos para o sítio contaminado, também denominado como metas de remediação, elaborado a partir de dois métodos de análise cobrados pelos órgãos ambientais estadual e municipal.

O RBCA *Tier 2*, solicitado atualmente pela Secretaria do Meio Ambiente de Curitiba, apresentou as metas de remediação a partir da inserção dos dados coletados *in loco*, através da pesquisa de características do solo (pH, porosidade, umidade etc.), dos resultados das análises de solo e água para BTEX/PAH e dos dados escolhidos através do tipo de cenário desejado para a avaliação do risco.

Já a avaliação realizada por meio da Decisão de Diretoria n. 263/2009, solicitada pelo Instituto Ambiental do Paraná como método de análise de risco, baseada também nos resultados laboratoriais através de análises de solo e água coletadas *in loco* dos parâmetros BTEX/PAH, contém dados da característica da matriz solo preestabelecidos em estudo prévio, visto o objetivo de padronizar a avaliação para o Estado de São Paulo, trazendo as metas de remediação estabelecidas por meio de tabelas referentes a cada SQI (Anexo III da DD).

Para ambas as análises de risco, foram considerados o mesmo tipo de cenário, em ambiente comercial dentro da pluma de contaminação, denominada *on site*, considerando nesta situação a inalação de compostos volatilizados da matriz de água subterrânea em local fechado e aberto, e o consumo de água subterrânea para ingestão.

Uma segunda hipótese, tratada em ambas as análises, foi a exposição em ambiente residencial, ou seja, a residência mais próxima da borda da pluma de contaminação, tendo uma distância de aproximadamente 50 metros, sendo considerada a exposição em ambiente aberto à inalação de compostos volatilizados da água e a ingestão de água captada por poço.

TABELA 4 – Resumo dos resultados de análise de risco para o RBCA Tier 2 e análise de risco conforme a DD n. 263/2009 da CETESB

Parâmetro	Concentração (µg/L)	Cenário	Exposição a partir da água subterrânea	Distância da pluma	Meta de Remediação (µg/L)		Apresentou risco	
					RBCA Tier 2	DD 263/2009	RBCA Tier 2	DD 263/2009
Benzeno	250.030,00	Comercial	Inalação de vapores em ambientes abertos	0 m on site	330.000	149.000	NÃO	SIM
			Inalação de vapores em ambientes fechados		4.900	892	SIM	SIM
			Ingestão de água subterrânea		52	5	SIM	SIM
		Residencial	Inalação de vapores em ambientes abertos	50 m off site	200.000	1.790.000	SIM	SIM
			Ingestão de água subterrânea		39	5	SIM	SIM
Naftaleno	3.000,98	Comercial	Inalação de vapores em ambientes abertos	0 m on site	>31.000	31.000	NÃO	NÃO
			Inalação de vapores em ambientes fechados		13.000	2.630	NÃO	SIM
			Ingestão de água subterrânea		2.000	ND	SIM	SIM
		Residencial	Inalação de vapores em ambientes abertos	50 m off site	>31.000	31.000	NÃO	NÃO
			Ingestão de água subterrânea		39	ND	SIM	SIM

Resultado obtido através da DD n. 263/2009, em que o composto benzeno apresentou concentração acima da solubilidade na água, devendo este ser remediado em específico, mesmo com SQI > CMA-POE.

FONTE: Os autores (2014)

O resultado da modelagem através do RBCA apresentou como resultado que dois dos 20 diferentes compostos de análise apresentaram contaminação em diferentes tipos de exposição, sendo que somente quando ocorre a exposição em ambientes abertos/fechados *on site* em cenário comercial é que não há risco para naftaleno.

Para a análise através do método da CETESB com cenário comercial, repetiu-se o resultado quanto aos compostos que apresentaram risco: benzeno e naftaleno. Porém, em qualquer um dos cenários, ambas as substâncias foram consideradas de risco.

Como a análise de risco por meio da DD 263 – CETESB é realizada, através da comparação dos resultados das análises laboratoriais, inicialmente com os Valores de Intervenção (VI) da DD n. 045/2014, foram classificados como substâncias químicas de interesse os compostos: benzeno, naftaleno, benzo(a)antraceno e benzo(b)fluoranteno.

As metas de remediação são apresentadas no estudo de análise de risco da CETESB quando as concentrações de SQIs são maiores do que as concentrações máximas aceitáveis no ponto de exposição. Sendo assim, foram apresentadas somente as metas para os compostos de benzeno e naftaleno.

Para a análise de risco realizada através do RBCA, os níveis de remediação apresentaram um resultado maior se comparados com os valores da DD 263 – CETESB. Pode-se observar através dos resultados de benzeno para inalação de vapores em ambientes abertos em cenário comercial, por exemplo, que a meta de remediação para o RBCA foi de 330.000 $\mu\text{g/L}$, em contrapartida aos 149.000 $\mu\text{g/L}$ de meta de remediação do método da CETESB.

Também é importante apontar os resultados da meta de remediação para a ingestão de água subterrânea em ambiente contaminado por benzeno, pois a DD 263 – CETESB taxa o valor para os cenários comercial e residencial iguais com o valor de 5 $\mu\text{g/L}$, enquanto o RBCA resultou em 52 e 39 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. Isso porque, para a ingestão de água subterrânea, a concentração do composto de interesse já é estabelecida através da Portaria do Ministério da Saúde n. 2.914/2011 no Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O RBCA *Tier 2* possui uma interface que facilita a sua utilização, pois o *software* é distribuído em diferentes etapas para a adição das respostas obtidas através de coleta *in loco*, conforme o desenvolvimento do processo, e os resultados obtidos são de fácil compreensão e visualização.

Além disso, no RBCA os resultados são facilmente interpretados através das tabelas-resumo, que são geradas após a compilação da modelagem matemática baseada no modelo de Domenico (DOMENICO; SCHWARTZ, 1990).

Entretanto, por ser um *software* que possui em seu sistema um banco de dados com acesso ao usuário, ele pode ser manipulado, o que não é interessante para o tipo de estudo.

A DD n. 263/2009, que foi elaborada pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB, em conjunto com equipe multidisciplinar, possui o mesmo princípio de desenvolvimento matemático que o método RBCA, mas é voltado para as informações obtidas através de anos de pesquisas referentes à contaminação por compostos derivados de petróleo no Estado de São Paulo.

Por isso, a interpretação dos dados pode ser questionável, pois a caracterização geológica não é levantada. Conforme visto neste trabalho, características da matriz solo, como pH, umidade, porosidade, tipo de granulometria (exemplo: areia, silte, argila), densidade, entre outros, são essências, pois a interação entre o composto orgânico que fora derramado e o mecanismo de movimentação dependem destas características.

A elaboração da análise de risco da DD 263 – CETESB em comparação ao número de informações que devem ser apresentadas no RBCA é relativamente simples, porém a Decisão de Diretoria não deixa clara informações como se é necessário considerar a distância entre o ponto do *hot spot* e o CMA-POE, ou a borda da pluma de contaminação e o CMA-POE, ou ainda entre a curva de mapa de risco e o CMA-POE para considerar o resultado de meta de remediação.

Também o uso do Quadro de Intervenção, Anexo II da DD 263 – CETESB, mesmo obtendo campos para a elaboração de resumo do tipo de intervenção e outras informações, é confuso para a distribuição dos dados.

Ambas as análises de risco para postos de combustíveis, RBCA e DD 263, demonstram ser instrumentos de avaliação importantes para a tomada de decisão quanto ao tipo de gerenciamento de risco e método de remediação visando à proteção à saúde humana e ao meio ambiente, porém, a necessidade na padronização é essencial para que seja comumente utilizado em todo o país.

Com o objetivo de padronizar a forma de pesquisa e elaboração da análise de risco em sítios contaminados por derivados de petróleo, verificado por meio deste trabalho, é necessária a revisão da Resolução Conama n. 420/2009, que trata sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas, que hoje não tratam sobre o estudo de análise de risco diretamente.

Todavia há grande carência de instrumentos normativos e regulamentadores em todas as esferas cuja especificidade seja o mapeamento das áreas passíveis de contaminação por BTEX, inclusive a simulação de cenários futuros considerando-se o impacto sobre a área circunvizinha.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCUMSUTÍVEIS (ANP). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2013. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/paper/2013/Anuario_Estatistico_Brasileiro_Petroleo_Gas_Biocombustiveis_ANP_2013.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Manual RBCA fate and transport models: compendium and selection guidance** 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oust/rbdm/rbcafntm.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2014.
- _____. **Norma ASTM 1739-95**. 2002. Disponível em: <<http://www.astm.org/Standards/E1739.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2014.
- BETINARDI, E.; BUCHMANN, F. M. **Análise de risco: RBCA Tier 2**. Curitiba: Geoparaná Consultoria Ambiental, 2013.
- BRASIL. Resolução Conama n. 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 9 mar. 2014.
- CAVALCANTI, M. A. M. P. **A modelagem matemática associada ao sistema de informação geográfica como instrumento de previsão no estudo do impacto hidrogeológico de reservatórios**. 2002. 188f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decisão de Diretoria n. 10-2006-C, de 26 de janeiro de 2006. Dispõe sobre os novos Procedimentos para o licenciamento de postos e sistemas retalhistas de combustíveis e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, São Paulo, 26 jan. 2006. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/decisao_diretoria_26_01_06.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2014.
- _____. Anexo VII da Decisão de Diretoria nº 10-2006-C, de 26 de janeiro de 2006. Dispõe sobre os procedimentos para a tomada de ações corretivas baseadas em risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, São Paulo, 26 jan. 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/acbr.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2014.
- _____. Decisão de Diretoria n. 263/2009/P, de 20 de outubro de 2009. Dispõe sobre a aprovação do roteiro para execução de investigação detalhada e elaboração de plano de intervenção em postos e sistemas retalhistas de combustíveis. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, São Paulo, out. 2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/05_camaras.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2014.
- CORSEUIL, H.; MARINS, M. dal M. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave? **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 50-54, abr./jun. 1997. Disponível em: <http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_08.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2014.

CURITIBA (Prefeitura). Decreto n. 1.190, de 14 de dezembro de 2004. Ficam definidos no Município de Curitiba, os parâmetros de referência para qualidade de solo e água subterrânea. **Diário Oficial do Município de Curitiba**, Curitiba, 14 dez. 2004. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/multimedia/00086377.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. **Physical and chemical hydrogeology**. 2nd ed. Hoboken: J. Wiley and Sons, 1990.

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**. 2nd ed. Upper Saddle River, N. J.: Prentice-Hall, 1999.

FINOTTI, A. R.; CORSEUIL, H. X. Uso da ação corretiva baseada no risco – RBCA – nos casos de contaminação de solos e águas subterrâneas por gasolina no Brasil dos autores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/accion.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2014.

GOMES, J. **Uso de uma abordagem estocástica para a avaliação do risco à saúde humana devido à ingestão de água subterrânea contaminada**. 2008. 330f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

IRITANI, M. A. **Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea**. 1999. 210f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PARANÁ. Resolução SEMA n. 21, de 4 de julho de 2011. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para Postos de combustíveis e/ou Sistemas Retalhistas de Combustíveis, revoga a Resolução n. 038/09/SEMA, Resolução n. 018/2010/SEMA e Resolução n. 077/2010/SEMA dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Paraná**, Curitiba, 4 jul. 2011. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucaoSema021.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2014.

SILVA, J. A. F. da. **Sistematização e avaliação de técnicas de investigação aplicadas à caracterização e diagnóstico de área contaminada por hidrocarbonetos de petróleo**. 2002. 160f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

SOLOMONS, T. W. G. **Organic chemistry**. 6th ed. New York: J. Wiley, 1996. v. 1.

STYGAR, R. **Delimitação de pluma de fase livre**. Curitiba: Geoparaná Consultoria Ambiental, 2012.