

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DE CONTAMINAÇÕES EM SUBSUPERFÍCIE EM ÁREAS DE ARMAZENAMENTO, TRANSPORTE E ATERROS POR RESÍDUOS DERIVADOS DE PETRÓLEO NO BRASIL.

Salgueiro, R. S.^{1,3}; Ribeiro, R.L.^{1,4}; Bampa Sauerbronn, J.L.²; Gomes, O.V.O.^{1,5}

RESUMO

O presente trabalho propõe uma metodologia de investigação preliminar para solo e água subterrânea, de modo a se oferecer uma avaliação precisa da contaminação por hidrocarbonetos ocorrida em áreas de estocagem, transporte e deposição de borras de petróleo. Este trabalho baseia-se em metodologias recomendadas internacionalmente e utilizadas em dois estudos de casos de contaminações em subsuperfície em diferentes regiões do Brasil. Cada área apresenta características geológicas, hidrogeológicas e meteorológicas distintas, o que implicou em estudos específicos. A metodologia empregada nesses casos deve ser baseada em inventários de dados geológicos da área em questão e em trabalhos de campo para definir a localização de poços de monitoramento e as realizações de ensaios *in situ* e amostragens de água. A indicação correta de metodologias para realização de sondagens, amostragens, análises e investigações devem estar baseadas nas características físicas do meio estudado, fato que é imprescindível para a obtenção de bons resultados quanto à compreensão do comportamento dos contaminantes em subsuperfície. O Brasil precisa evoluir muito nessa direção, cabendo aos acadêmicos, técnicos de órgãos ambientais, consultores e as empresas que tratam dessa temática o aperfeiçoamento das metodologias bem como aplicação de procedimentos que assegurem bons resultados. Técnicas geofísicas podem ser extremamente valiosas, porém sua aplicação deve ser muito criteriosa, já que em áreas de alto teor de matéria orgânica e em terrenos com níveis freáticos rasos existem dificuldades na aplicação de algumas dessas técnicas.

PALAVRAS-CHAVE

Água Subterrânea, Contaminantes, Derivados de Petróleo, Metodologia de Investigação.

1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Brigadeiro Trompowsky, s/nº. Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental, Bloco J, Sala J005, Departamento de Geologia, CCMN, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ. - Tel-fax: +55 (21) 25908091.

2) PETROBRAS S.A. - Segurança, Meio Ambiente e Saúde, Av. República do Chile, 65, 6º Andar, Sala 602, Centro, Rio de Janeiro, RJ. e-mail: <bampa@petrobras.com.br>

3) e-mail: <rodrigo_stutz@yahoo.com.br>

4) e-mail: <rodrigo_ecologia@hotmail.com>

5) e-mail: <olgavenimat@yahoo.com.br>

1. INTRODUÇÃO

Há inúmeros exemplos de contaminação de água subterrânea devido a processos industriais, seja durante a fase de obtenção da matéria prima (indústria mineral ou extrativista), seja na operação, ou ainda durante e após a disposição de resíduos provenientes da produção. Pode-se dizer que os exemplos são quase tantos quanto o número de indústrias implantadas, sendo que a quantidade de substâncias que estão envolvidas nesses processos de contaminação é virtualmente incalculável (SILVA Jr., 2003).

Grandes empresas do setor petrolífero estão sendo responsabilizadas legalmente por órgãos competentes pela degradação ambiental causada em função da disposição inadequada de resíduos e por acidentes no transporte e no armazenamento de derivados de petróleo, como consequência da recente legislação ambiental brasileira. Essa responsabilidade é declarada em função dos impactos ambientais decorrentes dessas atividades, sendo que os resíduos constituem o passivo ambiental da empresa. Tais instrumentos determinam que as empresas responsáveis devem reabilitar o espaço físico afetado, de maneira a oferecer novamente condições adequadas de vivência biológica e humana, dependendo do uso futuro de cada área.

Em função disso, as pesquisas para o desenvolvimento de metodologias apropriadas ao entendimento da disposição dos contaminantes em subsuperfície e seus efeitos constituem um desafio para os profissionais das ciências da Terra, em razão da diversidade de modos de penetração e dispersão desses contaminantes, fator este que está subordinado aos parâmetros físicos da área, condições de contorno, direção de fluxo em subsuperfície, transporte de soluto no meio, composição química do mesmo e capacidade de atenuação de tais poluentes no subsolo (Figura 1).

A contaminação do solo e do aquífero em uma determinada área está portanto sujeita aos condicionantes citados no parágrafo anterior. Uma investigação apurada da área contaminada permite um estudo mais preciso da pluma contaminante, e para tanto deve-se saber a posição, a quantidade e o comportamento do contaminante.

Neste artigo será avaliada a etapa inicial dos estudos visando caracterizar uma contaminação em subsuperfície em áreas de armazenamento, transporte e aterros por resíduos derivados de petróleo, para a proposição de sugestões de melhoria em sua realização, particularmente nas condições encontradas em nosso país. A investigação preliminar é uma análise inicial e sucinta sobre as informações disponíveis no local contaminado, que associado à uma visita ao local e a medições rápidas de alguns parâmetros físicos. O tempo e o custo necessários para a realização dessa etapa estão associados ao estudo dos impactos ambientais provocados pelas atividades do empreendimento no presente e posteriormente no futuro, não se correlacionando, portanto, com o tamanho do local. (LECOMTE & MARIOTTI, 1997).

2. OBJETIVOS

O estudo teve como objetivo apresentar a metodologia de investigação preliminar do solo e da água subterrânea, a fim de se ter uma avaliação precisa do impacto causado pela contaminação no local decorrido em função da disposição inadequada dos resíduos derivados de petróleo. Para tanto, foram avaliados dois casos de estudo em locais distintos da geografia brasileira, a partir dos quais avaliou-se a problemática envolvida nesses casos, propondo-se, através da comparação dos problemas, formas de aperfeiçoamento dessas metodologias.

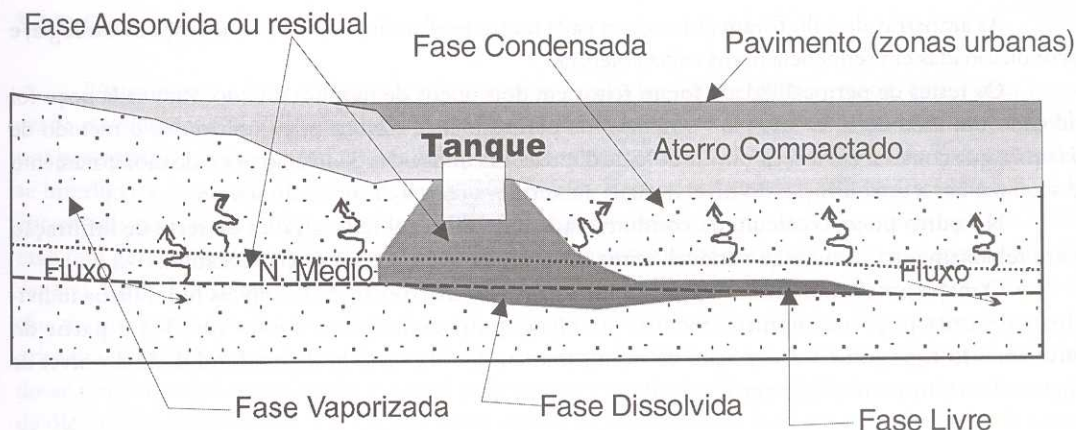


Figura 1 – Fases de Contaminação por LNAPL (Azambuja, 2000 - adaptado).

3. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

ÁREA 1

3.1.1) Apresentação do problema

A área em questão localiza-se em um platô aterrado, onde os resíduos de uma antiga fábrica de sabão eram acumulados. Posteriormente esta área passou a ser utilizada como depósito de resíduos sólidos de uma refinaria de petróleo, onde tais resíduos começaram a ser empilhados, e depois espalhados pelo terreno. Pretende-se construir um sistema de *landfarming* nesta área.

3.1.2) Caracterização física

O contexto geológico local é representado por sedimentos arenosos e argilosos até a profundidade de 6,0 m, os quais gradam para areia média e grossa até 20,0 m, e arenito até 34,0 m, o qual foi considerado o limite da investigação. Neste local, o nível do aquífero livre é em torno de 28,0 m de profundidade, com fluxo de água subterrânea deslocando-se para sudeste, em direção a um riacho local próximo.

3.1.3) Metodologia de estudo

Para investigação dos contaminantes existentes no solo e na água foi desenvolvida uma metodologia que compreende as seguintes atividades: inventário dos dados geológicos da área, visita à área, instalação de poços de monitoramento, teste de permeabilidade e confecção de mapa potenciométrico.

A instalação de poços de monitoramento teve por objetivos a medição do nível da água subterrânea e a identificação das suas características organolépticas, e os critérios utilizados para o posicionamento destes foram a proximidade das áreas potenciais de risco, os locais com ausência de informações quanto ao nível d'água, os resultados analíticos e a direção do fluxo.

Os poços de monitoramento foram construídos com 6" de diâmetro até a profundidade máxima de investigação de 34 metros. Eles são revestidos com tubos e filtros em PVC geomecânicos de 2" de diâmetro, com ranhuras de 0,5 mm nas seções filtrantes. Estes poços foram instalados no aquífero livre e estão distribuídos no perímetro do terreno, numa área de aproximadamente 10.000 m².

As amostras de solo foram coletadas a cada metro perfurado, ou a cada mudança de litologia, e acondicionadas em seqüência numa caixa coletora.

Os testes de permeabilidade foram feitos em dois poços de monitoramento. Para cada poço foi adotado um método diferente para obtenção da permeabilidade. Num poço utilizou-se o método de *Hvorslev*, que consiste em inserir um êmbolo de dimensões conhecidas dentro do poço de monitoramento e acompanhar a estabilização do nível de água subterrânea com o decorrer do tempo.

No outro poço, o cálculo da condutividade hidráulica foi feito através de teste de infiltração para rebaixamento com carga variável acima do nível de água, e com poço revestido.

O mapa potenciométrico foi elaborado através da interpolação dos níveis hidráulicos individuais de cada poço de monitoramento. Os níveis potenciométricos foram obtidos a partir do nivelamento topográfico dos poços de monitoramento, e da medida da profundidade do nível de água subterrânea em cada ponto.

3.1.4) Avaliação da contaminação e integração dos dados

Durante a coleta das amostras de água subterrânea feita em alguns poços de monitoramento, verificou-se que as mesmas apresentaram alteração na coloração e no odor em virtude da percolação de hidrocarbonetos nos quatro primeiros metros de profundidade.

A condutividade hidráulica (K) média é de $3,89 \times 10^{-3}$ m/dia, caracterizando a litologia da área como sendo predominantemente arenítica com elevada permeabilidade.

Sugere-se que as coletas de água para posteriores análises devam ser efetuadas quando houver recarga dos níveis freáticos, pois desta forma os resultados apresentarão valores mais conclusivos. Acredita-se que no período das cheias (a partir do mês de março) os níveis devam estar em torno de 25,0 m.

Baseado nos dados obtidos a partir dos ensaios realizados, sugere-se ainda que seja feito um trabalho de impermeabilização da área antes de se efetuar a construção do *landfarming*.

ÁREA 2

3.2.1) Apresentação do problema

As atividades relativas ao transporte e ao armazenamento de hidrocarbonetos e de seus derivados constituem-se em potenciais fontes de risco de contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas. Partindo da solicitação de uma empresa de armazenamento e transporte para investigações de seu passivo ambiental, foram realizadas investigações de caracterização dos problemas encontrados nos solos e nas águas da área adjacente a um terminal de armazenamento de petróleo. Estas investigações foram elaboradas a partir de visitas de campo e a partir de um programa preliminar de investigações geoambientais para subsidiar o gerenciamento da área impactada.

Um possível indicativo da extensão dessa contaminação é uma mudança no tipo da vegetação que, na área impactada, apresenta-se na forma de gramíneas escuras e árvores secas, enquanto que na área circunvizinha, aparentemente não afetada, ocorrem espécies de médio à grande porte, coníferas com a vegetação padrão observada na área.

Tomou-se para a delimitação da possível área contaminada este câmbio da vegetação, tomando-se o cuidado de estender a investigação dentro da área de vegetação nativa para avaliação do branco de amostragem.

O traçado do canal ficou, em princípio, modificado por razões de segurança ambiental. Ficou pendente, todavia, uma avaliação ambiental do sítio contaminado, ora proposta.

3.2.2) Caracterização física

Fisicamente a área é formada por terrenos saturados (nível freático raso), com baixa topografia e eventuais suscetíveis alagamentos causados tanto por elevação do nível freático originada por precipitações pluviométricas, quanto por efeitos de maré, uma vez que a referida área encontra-se interligada, por meio de valas e canais, a uma baía. A composição do solo, verificada a partir de entrevistas com empreiteiros do canal e de alguns poços manuais de inspeção e sondagens a trado raso (em geral menos de 1 m de profundidade), é de materiais argilosos ricos em matéria orgânica e vegetal, formando intrincada trama de material em decomposição (solo-vegetal). Durante a construção de um canal observou-se que o perfil geológico característico da área é composto por uma primeira camada superficial com cerca de 20 cm de espessura, formada por solos orgânicos, seguindo-se um solo argiloso saturado, no qual podem ser encontradas “lentes” de serragem impregnadas de óleo em alguns pontos. A presença desse material contaminante fez com que o avanço da construção do canal de drenagem fosse retardado a fim de se evitar o possível transporte do contaminante para as águas do canal e, conseqüentemente, para a baía.

3.2.3) Metodologia de estudo

Com a visita técnica de reconhecimento ao local impactado identificou-se, visualmente, a presença da serragem com óleo em diversos pontos da área-alvo do presente plano de estudo. Com o objetivo de detalhar a real extensão do problema, fez-se necessária a realização de uma campanha de sondagens, amostragens e análises *in situ* e laboratoriais. As sondagens tiveram como objetivo o melhor conhecimento do perfil geológico do terreno, e as amostragens e análises permitiram a caracterização geoquímica do solo e das águas, assim como a delimitação da área contaminada. Outros dados de interesse, porém, devem ser providenciados para o prosseguimento dos estudos, como os boletins das sondagens geotécnicas (percussão, rotativa ou a trado) da época da construção do terminal e do canal presentemente em construção, e outros como topografia, fotos aéreas, dados meteorológicos (chuvas, temperaturas) da região e outros eventualmente disponíveis. Além destes, é importante a relação de pontos adicionais da área onde pode haver a presença de resíduos enterrados, deliberadamente ou não, ou decorrentes de vazamentos pretéritos ou de transbordamentos repetitivos do separador óleo/água que se encontra instalado na planta.. Estes dados podem ser obtidos, por exemplo, com informações verbais de antigos funcionários do sítio de interesse.

Deve-se aqui salientar que o terreno apresenta determinadas características, como o alto teor de matéria orgânica, a presença de argila saturada e nível freático muito raso, que dificultam ou impedem o uso de certas técnicas investigativas, cujo uso, por essas razões, não se recomendou aqui ou indicou-se com cautela. Por exemplo, as técnicas de investigação geofísica podem ser de utilidade limitada no caso em questão, haja vista que técnicas como GPR ou técnicas geoeletricas, em princípio, seriam de difícil aplicação e, muito provavelmente, pouco elucidativas nas condições do terreno. A utilização de detectores do tipo PID, FID e outros sensores de fase gasosa também estão sujeitas a fatores limitantes, como a presença de água.

Os trabalhos de campo deverão ser realizados em duas fases, aqui denominados Fase I: levantamentos de dados geológico-ambientais e topográficos, investigação preliminar (*screening*), e avaliação prévia do sítio de estudo; e Fase II: caracterização geológico-ambiental; realização de amostragens de solo e água nos furos pré-selecionados de sondagem, instalação de piezômetros para o monitoramento continuado da área e posterior avaliação e controle das medidas de remediação, análises geoquímicas e hidrogeoquímicas de solos e águas, respectivamente, nas amostras coletadas nas sondagens e piezômetros.

3.2.4) Avaliação da contaminação e integração dos dados

A caracterização hidrogeológica e geoquímica será definida através do resultado do cruzamento de dados das investigações, levantamentos plani-altimétricos e geológicos, e terá como objetivo obter informações preliminares de direções de fluxo e profundidades dos aquíferos, que auxiliarão na instalação de uma rede de monitoramento das águas subterrâneas. Também permitirá avaliar a situação da contaminação dos solos locais e nortear o gerenciamento de áreas contaminadas. Serão representados, em mapa, os isotores de contaminantes diversos de interesse, tanto dissolvidos na água subterrânea, quanto adsorvidos na fase sólida no solo ou em fase livre. Outras aplicações serão a determinação da rede de fluxo subterrâneo da área através do nivelamento de pontos de sondagem, e a definição da localização no terreno de eventuais plumas ou pontos de contaminação do solo ou da água subterrânea.

Uma vez encontradas áreas contaminadas ou situações potencialmente perigosas ao meio ambiente e à população vizinha, recomenda-se a caracterização do risco e a previsão da necessidade de investigação e/ou monitoramento das porções mais profundas do sistema aquífero. Caso seja julgado pertinente, devem ser realizadas com base nos padrões existentes (Portaria MS 1469/2000, CETESB, ou EPA) uma avaliação do risco toxicológico envolvendo o uso de metodologia reconhecida (RBCA-ASTM, Dutch Reference Framework – STI ou similar).

Os poços de monitoramento serão instalados no entorno das áreas consideradas mais problemáticas, em particular nos pontos em que forem encontradas concentrações anormais de contaminantes dissolvidos, presença de fase livre ou contaminação do solo, preferencialmente à jusante do fluxo subterrâneo previsível. A malha de piezômetros está relacionada com as características hidrogeológicas locais e com o posicionamento das fontes potenciais de contaminação. Seu posicionamento e quantitativos, portanto, só poderão ser definidos ao longo dos estudos, o que não impede que se faça uma previsão com base em hipóteses razoáveis.

Depois de concluídos e desenvolvidos os piezômetros, sugere-se a realização, em pontos selecionados, de medições do nível d'água, determinações *in situ* de pH, condutividade elétrica e ensaios de permeabilidade, bem como a retirada de amostras de água para análises laboratoriais. Essas determinações devem ser repetidas com uma periodicidade que vai depender da situação hidrogeológica local, do tipo e das propriedades dos eventuais contaminantes encontrados.

Os cálculos da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico servirão para definir a velocidade do fluxo e da dispersão da eventual pluma contaminante. O cruzamento dos resultados obtidos nos ensaios para caracterização hidrodinâmica com os dados meteorológicos servirá para definir o tempo de residência da água subterrânea e o volume renovável anualmente. Essas informações são úteis na definição da vulnerabilidade tanto à contaminação dos aquíferos, quanto à possibilidade de aplicação de certas metodologias de remediação do subsolo contaminado, se for o caso. A periodicidade das medições de parâmetros e amostragens de água será definida conforme as necessidades do trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os trabalhos aqui descritos seguiram basicamente a mesma metodologia de trabalho. Há casos em que alguns itens não puderam ser utilizados em virtude da distinção das características físicas do terreno.

Inicialmente são levantados dados geológicos, meteorológicos (chuvas, temperaturas), ambientais, topográficos, fotos aéreas da região, boletins de sondagens geotécnicas (percussão, rotativa ou a trado) da época da construção do terminal e do canal presentemente em construção e outros eventualmente disponíveis da área a ser estudada.

Além destes, é importante a relação de pontos adicionais das áreas onde pode haver presenças de resíduos enterrados, deliberadamente ou não, ou decorrentes de vazamentos pretéritos. Estes

dados podem ser obtidos, por exemplo, com informações verbais de antigos funcionários do sítio de interesse. A finalidade desse levantamento é realizar uma investigação preliminar (*screening*), que tem como intuito a otimização dos trabalhos numa futura visita à campo. A partir dessa visita é realizada uma avaliação prévia do sítio de estudo.

Na fase seguinte é feita a caracterização geológico-ambiental da área, a fim de se iniciar a campanha de amostragens de solo e água nos furos pré-selecionados de sondagem.

As amostras de solo devem ser coletadas a cada metro perfurado ou a cada mudança de litologia, e acondicionadas em seqüência numa caixa coletora.

A realização das coletas e a preservação das amostras de águas dos poços devem atender aos requisitos contidos no Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água (1987) e Norma 06.010-Anexo A- Orientação para Coleta de Amostras (nov/1987), ambos elaborados pela CETESB.

A partir daí inicia-se a instalação de piezômetros para o monitoramento continuado da área e posterior avaliação e controle das medidas de remediação. Com o material recolhido realizam-se análises geoquímicas e hidrogeoquímicas de solos e águas, respectivamente.

A seguir são realizadas medidas de parâmetros de interesse hidrogeológico em poços de monitoramento, tendo como objetivos principais a medição do nível potenciométrico e direção de fluxo do aquífero, a identificação das suas características organolépticas para detecção de possíveis contaminantes e a realização de testes de permeabilidade para a determinação da condutividade hidráulica de cada poço. Os critérios utilizados para o posicionamento desses poços de monitoramento são a proximidade das áreas potenciais de risco, os locais com ausência de informações quanto ao nível d'água, os resultados analíticos e a direção do fluxo d'água.

A elaboração do mapa potenciométrico e a determinação da direção e da velocidade do fluxo serão conclusivos para o estudo do comportamento da pluma contaminante no aquífero.

Outras metodologias para avaliações específicas de contaminações por hidrocarbonetos são utilizadas para estudos de subsuperfície, como por exemplo, investigações geoquímicas por amostragens de compostos voláteis de emanações no solo (*Gas Survey*), investigações geofísicas e outras, que aqui não foram descritas em razão da não aplicabilidade para as características físicas dos substratos estudados.

5. CONCLUSÕES

Informações sobre as condições do local em tempos passados são importantes para traçar a rota de migração do contaminante em subsuperfície. Essas informações podem ser obtidas através de antigos relatórios e conversas com funcionários e moradores do local.

A realização de uma investigação preliminar é imprescindível para a indicação de investigações mais apuradas, a fim de que se utilizem as metodologias mais indicadas, baseando-se nas características físicas do local contaminado e na minimização custos nas fases de investigações e principalmente na fase de remediação da área.

O conhecimento das características geológicas, hidrogeológicas, meteorológicas e da origem do contaminante são os principais parâmetros a serem conhecidos para a compreensão do seu comportamento em meio saturado.

As propriedades físicas do terreno são informações cruciais para a seleção das técnicas investigativas. Em áreas de alto teor de matéria orgânica e em terrenos com níveis freáticos rasos existem dificuldades na aplicação de técnicas de investigações geofísicas, que podem apresentar uma utilidade limitada no caso em questão, haja vista que técnicas como GPR, ou técnicas geoeletricas, em princípio, seriam de difícil aplicação e, muito provavelmente, pouco elucidativas nas condições do terreno. A utilização de detectores do tipo PID, FID e outros sensores de fase gasosa também estão sujeitas a fatores limitantes, como a presença de água.

Épocas de chuvas são ideais para realizações de amostragens, já que a carga hidráulica dos piezômetros ascende, permitindo uma melhor caracterização da abrangência da área contaminada e

do tipo de contaminante. Isto, contudo pode não ser verdade em determinadas situações, tendo-se em conta as condições específicas locais. Deve-se, portanto, atentar-se para as especificidades locais de cada sítio contaminado e evitar “receitas prontas” que podem levar a equívocos custosos em tempo e dinheiro. Na abordagem futura do projeto de remediação, este será tão mais eficiente e economicamente viável na medida em que os estudos de investigação que tiverem maior consistência e confiabilidade.

No Brasil ainda é embrionária a cultura relativa a estudos geológico-ambientais, sua importância e a necessidade de apurada tecnologia e conhecimento científico, além de rigoroso respeito à metodologia recomendada na realização de sondagens, amostragem, análises e investigações em geral para a realização desse tipo de estudo. Isto é imprescindível para se alcançar bons resultados nas avaliações e soluções dos problemas. Cabe aos agentes envolvidos nesta temática (acadêmicos, técnicos de órgãos ambientais, consultores, empresas, etc.) o aperfeiçoamento das metodologias e procedimentos e a garantia de sua aplicação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZAMBUJA, E.; CANCELIER, D. B.; NANNI, S.A. – *Contaminação dos Solos por LNAPL: Discussão sobre Diagnóstico e Remediação* – CPGEO/URFGS, Azambuja Engenharia e Geotecnia LTDA. Santa Catarina, 23 p. < <http://www.azambuja.com.br/acervo/geosul2000.pdf>>
- BENJAMIN, A. H. *Direito, Água e Vida = Law, Water and The Web of Life*. 7º Congresso Internacional de Direito Ambiental. São Paulo, Brasil, 2003.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. *Hidrologia subterrânea*. Ed. Omega, Barcelona, v.2, 2189 p. 1983
- ESLINGER, E.; OKO, U.; SMITH, J.A.; HOLLIDAY, G.H. *Introduction to Environmental Hydrogeology*. (SEPM – Society for Sedimentary Geology). Tulsa, Oklahoma, U.S.A, 1994 p.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM: Serviço Geológico do Brasil, 2000. 391p.
- FETTER, C.W. *Contaminant Hydrogeology*. University of Wisconsin – Oshkosh, New Jersey, U.S.A
- LECOMTE, P.; & MARIOTTI, C. *Handbook of diagnostic procedures for petroleum-contaminated sites: (Rescopp Project, EU13)*. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 143p.