

CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO POR DERIVADOS DE HIDROCARBONETOS: UMA ANÁLISE SOBRE UM VAZAMENTO OCORRIDO EM BELÉM/PA

Groundwater contamination by hydrocarbon derivatives: an analysis of a leak occurred in Belém/PA

Gustavo Nogueira Dias*

Helen do Socorro Rodrigues Dias**

Keila Cristine Souza Braga***

Luis Augusto Ruffeil****

RESUMO – Uma das principais fontes de contaminação da água subterrânea é causada por vazamentos de combustíveis, contidos nos Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis dos postos de revenda. Na presente pesquisa será abordado um estudo de caso sobre contaminação do lençol freático pelo vazamento de derivados de hidrocarbonetos ocorrido na região metropolitana de Belém, Pará (2008). Primeiramente foi aplicado um questionário para levantamento de dados com a comunidade local, com o intuito de verificarmos os fatores que afetaram a vida dos moradores após a contaminação; posteriormente, com um levantamento geofísico realizado nas imediações do posto, na Rua Hélio Pinheiro próximo a rodovia Augusto Montenegro, na cidade de Belém, PA, foram utilizadas as seguintes metodologias: 1) Método geofísico GPR (Radar de Penetração no Solo), na intenção de detectarmos o deslocamento da pluma de contaminação e a presença de uma assinatura eletromagnética distinta. 2) A análise bacteriológica, no total de doze amostras, indicando a presença de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno confirmando e ratificando a presença de contaminantes e o possível grau de contaminação.

ABSTRACT – A major source of groundwater contamination is caused by fuel leaks, contained in Underground Fuel Storage Systems of resale stations. In this research will be discussed a case study on groundwater contamination by leaking hydrocarbon derivatives occurred in the metropolitan region of Belém, Pará (2008). First we applied a questionnaire to obtain data with the local community, in order to review the factors that affected the lives of residents after contamination; later with a geophysical survey conducted in the vicinity of the station, on Street Helio Pinheiro near the freeway Augusto Montenegro, in Belém, PA, we used the following methods: 1) Geophysical method GPR (Ground Penetrating Radar), in an attempt to detect the displacement of the plume and the presence of a distinct electromagnetic signature. 2) The bacteriological analysis, the total of twelve samples, indicating the presence of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene ratifying and confirming the presence of contaminants and potential extent of contamination.

PALAVRAS CHAVE – Lençol freático. Contaminação. GPR. Hidrocarbonetos.

KEYWORDS – Groundwater. Contamination. GPR. Hydrocarbons.

* Pesquisador da Universidade Federal do Pará, Belém, Mestre em Geofísica.

Email: gustavondias@ig.com.br;

** Pesquisadora da Universidade Estadual Vale do Acaraú, Belém, Especialista em Informática.

Email: helensrdias@yahoo.com.br;

*** Pesquisadora da Universidade Estadual Vale do Acaraú, Belém, Graduada em Biologia.

Email: khiskeila@hotmail.com;

**** Professor da Universidade Vale do Acaraú, Belém, Mestre. Email: prof.gutoruffeil@gmail.com

1 – INTRODUÇÃO

Existem inúmeros contaminantes de subsuperfície, como compostos orgânicos biodegradáveis, poluentes recalcitrantes ou refratários, hidrocarbonetos, entre outros, e várias formas de degradação ambiental.

A contaminação de subsuperfície pode acontecer devido à corrosão de tanques de armazenamento e da tubulação que conecta o tanque às bombas de abastecimento de combustível. Os tanques de armazenamento subterrâneos são, em sua maioria, de aço e não possuem revestimento que os protejam da corrosão. A fuga de combustíveis pode provocar incêndios, explosões e contaminação do solo, do subsolo e da água superficial e subterrânea, podendo gerar problemas de saúde e segurança às populações do entorno dessas empresas comerciais (Júnior, 2009).

A gasolina, quando em contato com a água subterrânea, dissolve-se parcialmente, sendo os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos), seus constituintes mais solúveis em água, os primeiros a atingirem o lençol freático (Corseuil, 1992).

Quando a contaminação é de subsuperfície a maioria dos combustíveis (entre eles a gasolina) flutua na água subterrânea, sendo caracterizados como LNAPLs (*light nonaqueous phase liquids*), que são líquidos mais leves que a água (Marques, 2007).

Já em contato com a subsuperfície os derivados dos hidrocarbonetos irão se diferenciar por fases: residual é a retenção do LNAPL entre os espaços porosos (Marques, 2007); móvel aonde o LNAPL irá se deslocar de acordo com o movimento da água subterrânea vertical ou horizontalmente (Júnior, 2009); dissolvida quando o combustível entra em contato com a água subterrânea, a solubilidade dos hidrocarbonetos dependerá de seus compostos, é a fase mais preocupante, pelos impactos ambientais que pode causar (Marques, 2007), sendo importante frisar que no Brasil a pluma de contaminação possui maior mobilidade do BTEX dissolvido em água e a biodegradação natural do BTEX dificultada, o que aumenta a persistência destes compostos na água subterrânea, pois a gasolina brasileira é acrescida em 22% de etanol (Corseuil e Martins, 1997); vapor que é a volatilização dos compostos da fase líquida, ou ainda da fase residual, e em menor quantidade da fase dissolvida (Nobre, 2007).

Quanto à movimentação da pluma de contaminação, em um vazamento de LNAPL em subsuperfície parte fica retido nos poros do solo, como produto imóvel (Marques, 2007), o restante a gravidade tende a empurrar os contaminantes para baixo; em contrapartida o ar presente na zona não saturada, agirá em sentido contrário, e quando a pressão do ar for menor que a pressão exercida pelo hidrocarboneto este tenderá a migrar para baixo (Galante, 2008); outra etapa é a advecção, onde os contaminantes tendem a seguir o fluxo da água subterrânea (Marques, 2007), que pode ser reduzida pela atenuação dos contaminantes, através de reações químicas ou físico-química (Júnior, 2009); pode ocorrer ainda fenômeno do retardamento dos hidrocarbonetos, aonde irão se locomover mais lentamente que a água subterrânea, fato influenciado pela sorção, que é quando os contaminantes aderem aos grãos da matéria presente na subsuperfície (Marques, 2007).

Contudo deve-se ressaltar que o contato direto dos compostos BTEX desempenha um papel de risco aos humanos. Segundo a portaria de número 1.4690/2000 do Ministério da Saúde que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, os valores máximos permitidos de BTEX na água potável são 5 mg/L de benzeno, 0,17 mg/L de tolueno, 0,2 mg/L de etil-benzeno e 0,3 mg/L de xilenos, sendo que a ingestão de índices superiores a estes são depressores do sistema nervoso central e, mesmo que em pequenas quantidade, podem causar toxicidade crônica.

Os maiores problemas da contaminação por combustível são atribuídos aos hidrocarbonetos monoaromáticos, que são os constituintes mais solúveis e mais móveis da fração da gasolina, tais como Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) que são para o homem poderosos depressores do sistema nervoso central, apresentando toxidade crônica, mesmo em pequenas concentra-

ções (na ordem de ng/mL). Outra fração bastante abundante da gasolina são os hidrocarbonetos leves, aqueles com cadeia carbônica de C5 a C8 (Costa *et al.*, 2002).

Tiburtius *et al.* (2004) afirmam que a toxicidade dos BTXE pode desencadear carcinomas e mutações, e alertam que a inalação de tolueno ou xilenos pode induzir distúrbios na fala, na visão, audição, no controle dos músculos, podendo ocorrer também a interação de benzeno e xilenos no aparecimento de tumores cerebrais.

2 – METODOLOGIA

O Posto onde ocorreu a suspeita do vazamento fica localizado na Rodovia Augusto Montenegro no perímetro entre a Rua José Custodio de Almeida e Alameda Helio Pinheiro de Almeida no bairro do Parque Verde. Sendo esta região densamente habitada por imóveis residenciais e comerciais (Figura 1). Esta região é caracterizada por baixa declividade, com profundidade do nível em média, 4,75 m, podendo variar de acordo com a época do ano, porosidade efetiva para sedimento argilo-arenoso de 7% e sentido do fluxo da água subterrânea é Oeste/Sudoeste (ENSR, 2007).

Na área do posto, até a profundidade de 6,5 m foi encontrado solo constituído por aterro; solo-arenoso, solo arenoso com fragmentos de rocha, solo argiloso arenoso, solo argiloso e solo argilo arenoso com fragmentos de rocha (ENSR, 2007).

A cidade de Belém está assentada, quase que totalmente, sobre a unidade Pós-Barreiras do Quaternário, sobreposta ao Grupo Barreiras do Terciário (Matta, 2002).

A geomorfologia da área e seus arredores é caracterizada por baixa declividade. A profundidade do nível hidrostático é, em média, 4,75 m, variando de acordo com a época do ano; o sentido do fluxo das águas subterrâneas é Oeste/ Sudoeste; a condutividade hidráulica é $2,27 \times 10^{-5}$ cm/s e a porosidade efetiva para o sedimento argilo-arenoso é 7 % (ENSR, 2007).

Na intenção de se verificar a presença e transporte da pluma de contaminação no local ao entorno do suposto vazamento, utilizou-se o equipamento GPR, modelo System-3000 de fabricação da empresa Geophysical Survey Systems Inc (GSSI), com antena de 200 MHz e janela de tempo de 150 ns.

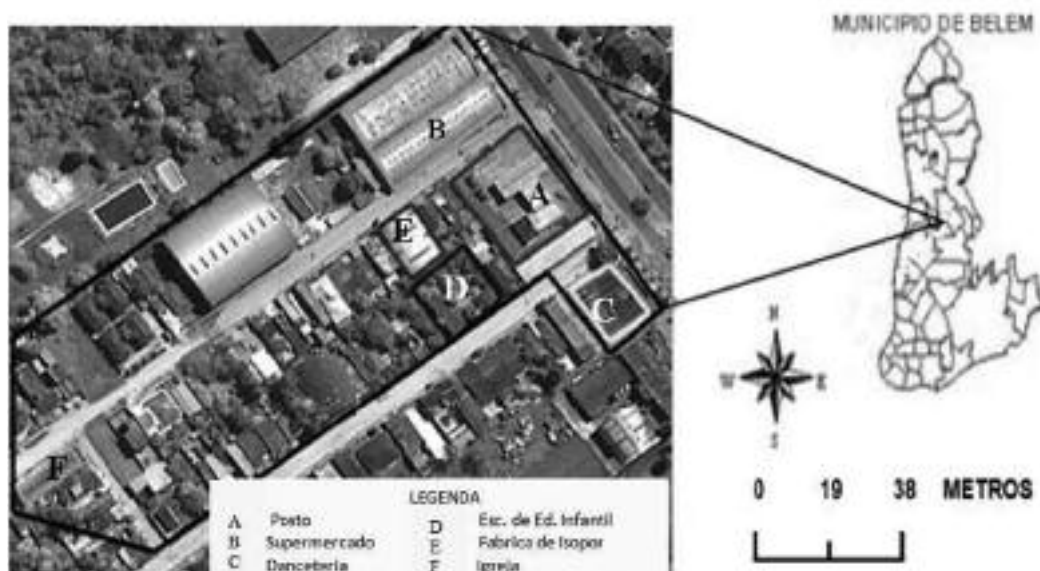


Fig. 1 – Imagem aérea do local atingido pelo suposto vazamento, com identificação dos principais pontos, na cidade de Belém/PA Brasil.

O equipamento foi cedido pela Universidade Federal do Pará (UFPA), e as medidas foram realizadas no dia 21 de agosto de 2010 (sábado, pela manhã), dois blocos 3D.

O método Radar de Penetração do Solo (GPR do inglês Ground Penetrating Radar) emprega a radiação de ondas eletromagnéticas na faixa de frequências de 2 a 2500 MHz a partir de uma antena transmissora colocada próxima à superfície do terreno, as quais se propagam nos materiais da subsuperfície sofrendo reflexão, refração e difração que encontram mudanças nas propriedades eletromagnéticas do meio (resistividade elétrica, constante dielétrica e permeabilidade magnética) (Daniels, 2004). As ondas refletidas retornam à superfície, sendo detectadas na mesma antena transmissora ou em antena receptora colocada próximo da antena transmissora. O radar vem sendo aplicado para fins diversos, como: meio ambiente, geologia, geotecnia, arqueologia, planejamento urbano, etc. (Nunes, 2005).

Vários autores têm utilizado o GPR no mapeamento e caracterização de fraturas e falhas (Grasmueck *et al.*, 2005a, b; Jeannin *et al.*, 2006), na detecção de cavernas e feições cársticas (Alfares *et al.*, 2002; Chamberlain *et al.*, 2000); em imageamento estratigráfico (Davis e Annan, 1989; Grasmueck e Weger, 2002); em aplicações de geomecânica e engenharia (Corin *et al.*, 1997; Orlando, 2003) e em estudos de afloramentos calcários análogos a reservatórios de hidrocarbonetos (Reyes Perez *et al.*, 2008; Grasmueck *et al.*, 2005a, b; Takayama *et al.*, 2008; Jesus, 2012; Jesus *et al.*, 2012; Forte *et al.*, 2012).

A pesquisa pretende sugerir padrões científicos para a aplicação do método geofísico *Radar de Penetração do Solo* (GPR) em áreas sujeitas à contaminação por hidrocarbonetos, produzida por vazamento em postos de combustíveis.

Neste trabalho, o processamento dos dados de GPR foi realizado com o programa REFLEX-WIN 5.2 desenvolvido pela Sandmeier Software. Foram feitos os seguintes processamentos:

- Correção estática,
- Interpolação das marcas de posicionamento,
- Remoção do ganho inicial,
- Aplicação do ganho linear e exponencial,
- Aplicação de filtros 1D (Butterworth e Dewow),
- Aplicação de filtro 2D (Running Average) e
- Conversão do tempo em profundidade a partir do cálculo da velocidade por meio do ajuste de hipérbole aos dados obtidos para o macaco de veículo enterrado de 30 cm de profundidade, o que forneceu a velocidade de 0,085 m/ns.

O primeiro bloco 3D foi na Rua Hélio Pinheiro, a 58 m da Rodovia Augusto Montenegro, com 50 m de extensão. A posição do perfil na rua é de 58 m a 108 m, a 93 cm de profundidade (Figura 2). Este primeiro levantamento foi realizado ao longo de quinze perfis paralelos de 50 m de extensão, separados entre si de 50 cm (área de 6 m x 50 m).

O segundo bloco 3D, ainda na Rua Hélio Pinheiro, a 127 m da Rodovia Augusto Montenegro, com 50 m de extensão. A posição do perfil na rua é de 127 m a 177 m, a 90 cm de profundidade (Figura 3). Neste levantamento, por sua vez, foi realizado ao longo de quinze perfis paralelos de 50 m de extensão, separados entre si de 50 cm (área de 7,5 m x 50 m). Os dois primeiros levantamentos foram feitos no sentido de NE para SW.

Com relação a esta pesquisa observou-se que alguns radargramas apresentam uma assinatura eletromagnética distinta, sob a forma de ausência de reflexão do sinal GPR, denominadas de zonas de baixa reflexão, sinal atenuado, que possivelmente estão associadas às plumas contaminantes de hidrocarbonetos (Castro e Castelo Branco, 2003). A atenuação do sinal está ligada à resistividade do meio atravessado pelas ondas refletidas a maiores profundidades, o que devemos concluir que a resistividade do meio diminuiu na zona contaminada provavelmente associada a ação dos hidrocarbonetos.

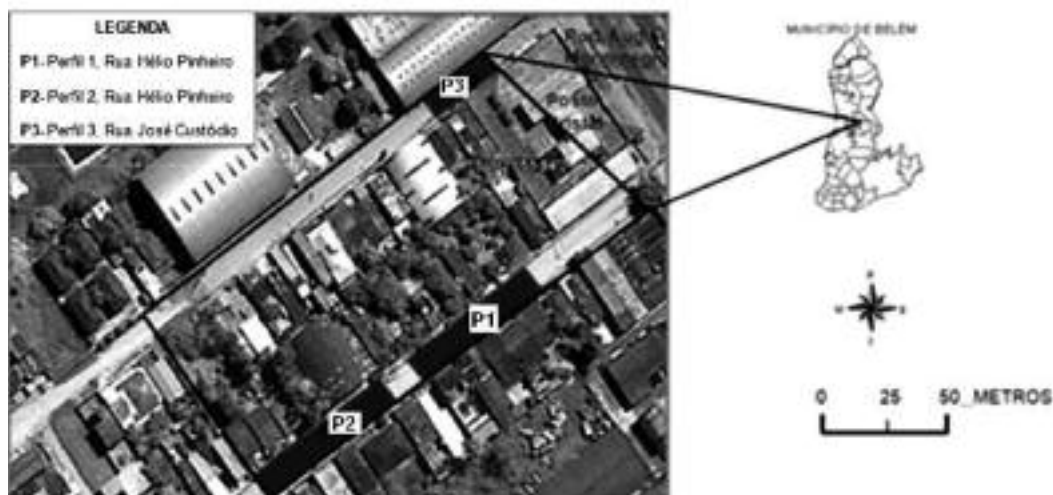


Fig. 2 – Imagem com a localização dos perfis de GPR.

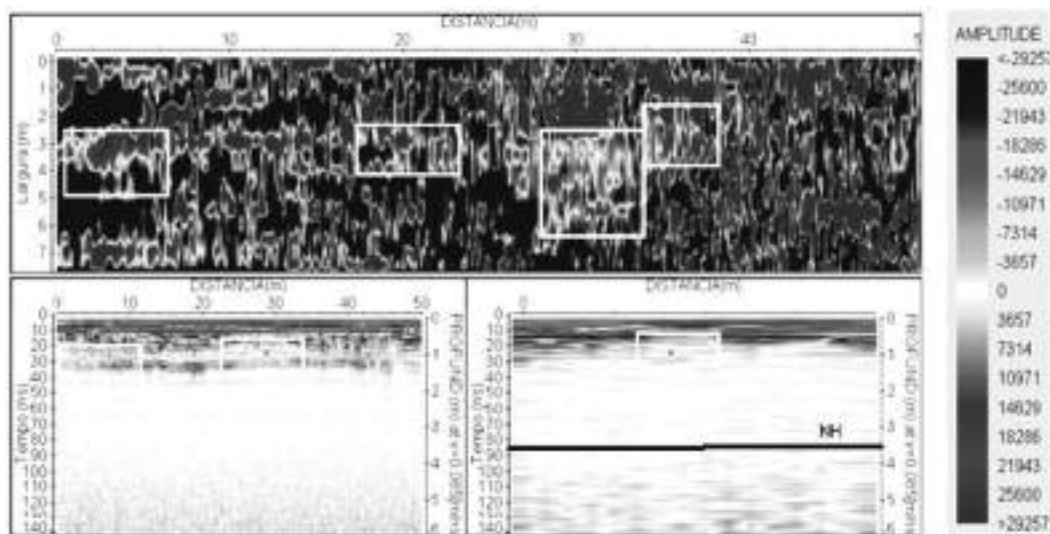


Fig. 3 – Perfil 1, Bloco 3D em planta, parte superior, lateral, lado esquerdo e frontal, lado direito, das medidas do GPR da Rua Hélio Pinheiro. Retângulos destacados representam área de atenuação do sinal. Linha preta localizada a 3,6 m de profundidade representa o Nível Hidrostático.

De acordo com a análise bacteriológica, realizada com os moradores do entorno, em 2007 a água de suas residências apresentou gosto amargo e no início de 2008 o caso agravou-se, pois a mesma apresentou cheiro forte e sabor de gasolina. Alguns moradores passaram a apresentar problemas de saúde como alergias respiratórias e cutâneas severas, coceiras por todo corpo, queda de cabelos, asma, náuseas, dores abdominais, ardência nos olhos, garganta e narinas, dores de cabeça e insônia. Observaram, ainda, que nos períodos em que se ausentavam de suas casas, os sintomas desapareciam. Diante de tantos problemas alguns moradores decidiram individualmente denunciar o caso à Delegacia de Meio Ambiente (DEMA) e levaram os fatos ao conhecimento da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SEMMA). Posteriormente recorreram ao Ministério Público do

Quadro 1 – Resultados das análises da água dos poços coletados em 2009.

n.o	Amostra	Local coleta	Hora coleta	Coordenadas do poço	Prof. do poço (m)	Resultado análise (ppm)
01	AM-0536-08-01	Al. José Custódio Almeida, n.o 03 Resid. Sr. Mauro Roberto	11h15min	S 01° 21,862' W 48° 26,993'	12,0	Benzeno 0,331 Tolueno 0,492 Etilbenzeno 0,057 m, p-Xilenos 0,637 o-Xileno 0,363 Xilenos tot 0,999
02	AM-0536-08-02	Al. José Custódio Almeida, n.o 11 Resid. Sr. Carlos Cardoso Pinho	11h32min	S 01° 21,883' W 48° 27,017'	14,0	Benzeno ND Tolueno ND Etilbenzeno ND m, p-Xilenos ND o-Xileno ND Xilenos tot ND
03	AM-0536-08-03	Al. José Custódio Almeida, n.o 06 ISOAMAZON Ind. e Comércio de Art. de Plástico	11h40min	S 01° 21,860' W 48° 27,010'	12,0	Benzeno 0,003 Tolueno 0,001 Etilbenzeno ND m, p-Xilenos ND o-Xileno ND Xilenos tot ND
04	AM-0536-08-04	Al. Hélio Pinheiro, n.o 40 Resid. Sra. Maria do Socorro de Araújo	11h58min	S 01° 21,881' W 48° 26,993'	9,0	Benzeno 0,332 Tolueno 0,511 Etilbenzeno 0,031 m, p-Xilenos 0,554 o-Xileno 0,325 Xilenos tot 0,879
05	AM-0536-08-05	Al. Hélio Pinheiro, n.o 07 Resid. Sr. Valmir Castro	12h07min	S 01° 21,906' W 48° 26,978'	14,0	Benzeno 0,278 Tolueno 0,389 Etilbenzeno 0,014 m, p-Xilenos 0,628 o-Xileno 0,378 Xilenos tot 1,006
06	AM-0536-08-06	Al. Hélio Pinheiro, n.o 09 Resid. Sra. Maria de Fátima / Oficina mecân.	12h24min	S 01° 21,914' W 48° 26,982'	?	Benzeno 0,578 Tolueno 1,414 Etilbenzeno 0,118 m, p-Xilenos 1,915 o-Xileno 1,001 Xilenos tot 2,916
07	AM-0536-08-07	Al. Hélio Pinheiro, n.o 43 Resid. Sra. Júlia Teixeira do Amaral	12h38min	S 01° 21,867' W 48° 26,981'	14,0	Benzeno 0,957 Tolueno 3,765 Etilbenzeno 0,491 m, p-Xilenos 3,302 o-Xileno 1,406 Xilenos tot 4,708
08	AM-0536-08-08	Rod. Augusto Montenegro Km 05, s/n Posto Cristal Com. e Deriv. de Pet.	12h41min	S 01° 21,869' W 48° 26,973'	?	Benzeno 0,327 Tolueno 0,790 Etilbenzeno 0,073 m, p-Xilenos 1,117 o-Xileno 0,599 Xilenos tot 1,716

Fonte: CEIMIC (2009)

Estado do Pará, que logo solicitou a análise da água dos poços do entorno do posto e ajuizou o processo para interdição do posto causador da contaminação e remediação dos danos socioambientais pelos proprietários do mesmo. A análise efetuada pela CEIMIC Análises Ambientais (SP) em 2009 encontrou os valores de 0,957 ppm, 0,790 ppm, 0,491 ppm e 4,708 ppm para benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, Quadro 1, respectivamente, confirmando a contaminação já antes detectada pelo passivo ambiental, pois os valores estavam acima do estipulado pela Portaria de número 1.469/2000 do Ministério da Saúde.

Na água subterrânea próxima ao posto foi encontrada: BTEX – a análise de 12 amostras de água subterrânea indicaram a presença de benzeno (0,00775 mg/L) e tolueno (0,02471 mg/L) e xileno (0,02236 mg/L), identificando a presença de pluma de fase dissolvida de BTEX, (ENSR, 2007).

A amostra 7, por exemplo, apresenta cerca de 191 vezes o valor máximo permitido para o benzeno, 18 vezes o permitido para o tolueno e 15 vezes o permitido para o xileno, Quadro 1.

Com a finalidade de compreendermos a real situação dos moradores, elaborou-se um questionário para levantamento de dados, os fatores que afetaram a vida dos moradores após a contaminação. A aplicação do questionário ocorreu em um sábado dia 15 de maio de 2010, pela manhã, totalizando 33 consultas.

3 – RESULTADOS PARA O GPR

O primeiro levantamento na Rua Hélio Pinheiro foi realizado ao longo de quinze perfis paralelos de 50 m de extensão, separados entre si de 50 cm (área de 6 m x 50 m), distante a 58 m da Rodovia Augusto Montenegro. (Figura 2). Pode-se observar que, provavelmente a pluma de contaminação, nas regiões mais atenuadas (que estão sendo delimitadas pelas linhas brancas na imagem) onde o sinal do GPR está se propagando com uma onda de amplitude baixa, próximo de zero (Figura 3).

O segundo conjunto de perfis do levantamento, ainda na Rua Hélio Pinheiro, foi realizado ao longo de quinze perfis paralelos de 50 m de extensão, separados entre si de 50 cm (área de 6 m x 50 m), distante a 127 m da Rodovia Augusto Montenegro (Figura 2). A posição do perfil na rua é de 127 m a 177 m, a 90 cm de profundidade (Figura 4).

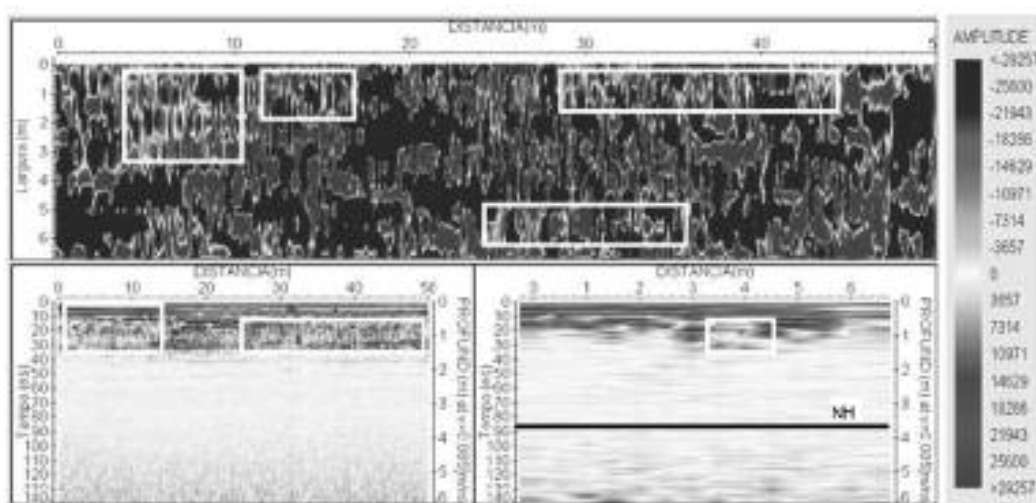


Fig. 4 – Perfil 2, Bloco 3D em planta, parte superior, lateral lado esquerdo e frontal, lado direito das medidas do GPR da Rua Hélio Pinheiro. Retângulos destacados representam área de atenuação do sinal. Linha preta localizada a 3,6 m representa o nível hidrostático.

Pode-se observar que, provavelmente a pluma de contaminação, nas regiões pouco atenuadas (que estão sendo delimitadas pelas linhas brancas na imagem) onde o sinal do GPR está se propagando com uma onda de amplitude baixa, próximo de zero, onde notamos regiões de alteração, atenuações do sinal, provavelmente associadas ao efeito da contaminação, destacadas em branco.

4 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Do número total de pessoas que responderam o questionário 33% foram do sexo masculino e 67% do sexo feminino. O questionário foi aplicado a moradores maiores de 18 anos. Destes 27% na faixa de 18 a 28 anos; 18% na faixa 29 a 39 anos; 21% na faixa de 40 a 50 anos; 31% acima de 50 anos; 3% estavam sem resposta.

Quando perguntado sobre a finalidade do uso da água 12% fazem uso doméstico e comercial; 88% somente em uso doméstico, demonstrando que a região afetada pelo suposto vazamento compreende em sua maioria residências. Quando indagado sobre o primeiro momento em que houve a suspeita da contaminação (2008), de onde provinha a água utilizada observamos que a maioria das pessoas faz uso da água proveniente de poços, pois a Empresa responsável pelo abastecimento de água não consegue fornecer água de forma eficiente aos moradores do entorno do Posto (Figura 5).



Fig. 5 – Procedência da água, usada pelos moradores antes do suposto vazamento de combustível no Posto.

Ao analisarmos o gráfico sobre qual fator social o acidente mais afetou a vida das famílias, detectamos que o consumo está no topo (Figura 6), devido à maioria dos imóveis da região ser residências e utilizarem a água para uso doméstico.



Fig. 6 – Fatores sociais que afetaram a vida dos moradores, após a suspeita de vazamento.

5 – DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os hidrocarbonetos quando presentes em subsuperfície podem modificar as propriedades físicas do meio. Na medida em que os hidrocarbonetos, nas fases vapor e líquida, ocupam os poros das rochas e parte da água subterrânea vai sendo expulsa dos interstícios entre os grãos minerais, ocorre uma perturbação na situação natural em que o meio se encontrava antes da contaminação (Oliveira, 1992).

Nos resultados obtidos com o GPR podem-se observar em todos os perfis, regiões atenuadas, ou seja, áreas que sugerem a existência da presença da pluma de contaminação. Nas seções amostradas pelo GPR, as Figuras 3 e 4 apontaram evidências de zonas com baixa reflexão e fraca amplitude, designadas neste trabalho como zona de atenuação de sinal ou também de baixa reflexão, características de áreas impactadas por vazamento de combustível (Pedrosa *et al.*, 2006).

Nas Figuras 3 e 4 percebemos zonas onde ocorre uma acentuada perda do sinal eletromagnético, principalmente nas áreas onde há reclamações dos moradores quanto a possível presença de contaminantes, ocasionando um importante contraste de sinal chegando a uma amplitude quase nula, sendo possivelmente uma região afetada pelo vazamento de combustíveis.

A análise bacteriológica apresentada ratifica a contaminação ambiental ocorrida aos arredores do posto, em alguns casos com contaminação até cem vezes maior que o permitido.

Com os resultados obtidos através da aplicação do questionário, conclui-se que o vazamento afetou os moradores do entorno do posto de forma direta, economicamente e socialmente, uma vez que a maioria utiliza a água subterrânea no dia a dia. E em alguns casos pontuais também afetou a saúde física e psicológica de alguns moradores. Os contaminantes tendem a seguir o fluxo da água subterrânea (Marques, 2007), que pode ser reduzida pela atenuação dos contaminantes, através de reações químicas ou físico-químicas (Júnior, 2009), pode ocorrer ainda fenômeno do retardamento dos hidrocarbonetos, aonde irão se deslocar mais lentamente que a água subterrânea, fato influenciado pela sorção, que é quando os contaminantes aderem aos grãos da matéria presente na subsuperfície (Marques, 2007). Contudo deve-se ressaltar que o contato direto dos compostos BTEX desempenham um papel de risco aos humanos. Segundo a portaria de número 1.4690/2000 do Ministério da Saúde que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, os valores máximos permitidos de BTEX na água potável são 5 mg/L de benzeno, 0,17 mg/L de tolueno, 0,2 mg/L de etil-benzeno e 0,3 mg/L de xilenos, sendo que a ingestão de índices superiores a estes são depressores do sistema nervoso central e, mesmo que em pequenas quantidade, podem causar toxicidade crônica. Tiburtius *et al.* (2004) afirmam que a toxicidade dos BTEX pode desencadear carcinomas e mutações, e alertam que a inalação de tolueno ou xilenos pode induzir distúrbios na fala, na visão, audição, no controle dos músculos, podendo ocorrer também na interação de benzeno e xilenos no aparecimento de tumores cerebrais.

6 – AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Welitom Borges, da UNB, pela utilização e manipulação do software REFLEX e suporte a interpretações.

Ao Prof. Dr. José Luiz Gouvêa, da UFPA, quem disponibilizou o equipamento GPR.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Fares, W.; Bakalowicza, M.; Guérinc, R.; Dukhan, M. (2002). *Analysis of the karst aquifer structure of the Lamalou area (Hérault, France) with ground penetrating radar*. Journal of Applied Geophysics 51, 97-106.
- Castro, D. L.; Castelo Branco, R. M. G. (2003). *4-D ground penetrating radar monitoring of a hydrocarbon leakage site in Fortaleza (Brazil) during its remediation process: a case history*. Journal Applied Geophysics, 54: 127-144.
- Corseuil, H. X. (1992). *Enhanced degradation of monoaromatic hydrocarbons in Sandy aquifer materials by inoculation using biologically active carbon reactors*. Dissertação (Mestrado) Ann Arbor; University Microfilms International.
- Corseuil, H. X.; Martins, M. D. M. (1997). *Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema é Grave?*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 2, p. 50-54.
- Costa, J.A.; Ferreira, J.C.; Ferreira, J.F.; Paschoalato, C.F.P.R.; Soares, V.L.; Latanze, R.; Carregari, E.G.; Ferreira, C.H. (2002). *Estudo para a Identificação de Áreas Contaminadas com Combustível em Solo Utilizando Micro Detector Portátil de Ionização de Chama*. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancún, México, 27 a 31 de outubro de 2002.
- Chamberlain, A.T.; Andrew, T. C.; William, S.; Chis, P.; Roslyn, C. (2000). *Cave detection in limestone using ground penetrating radar*. Journal of Archaeological Science 27, 957-964.
- Corin, L.; Couchart, I.; Dethy, B.; Halleux, L.; Monjoie, A.; Richter, T.; Wauters, J.P. (1997). *Radar Tomography Applied to Foundation Design in a Karstic Environment*. Modern Geophysics and Engineering Geology: Geological Society of London, Special Publication, Engineering Geology, 12, pp. 167-173.
- Daniels, D. J. (2004). *Ground Penetrating Radar*, 2nd Ed. London, U.K.: The Institution of Electric Engineers, IEE Radar, Sonar and Navigation Series.
- ENRS (2007). *Environmental Services*. Investigação Ambiental Detalhada e Análise de Risco Tier 1. Belém.
- Davis, J. L.; Annan, A. P. (1989). *Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy*. Geophysical Prospecting 37, 531-551.
- Forte, E.; Pipan, M.; Casabianca D., Di Cuia, R.; Riva, A. (2012). *Imaging and characterization of a carbonate hydrocarbon reservoir analogue using GPR attributes*. Journal of Applied Geophysics, in press, 12 p.
- Galante, G. C. S. (2008). *Plumas de contaminação por hidrocarbonetos em diferentes cenários hidrogeológicos paulistas*. Dissertação de mestrado, programa de pós-graduação em recursos minerais e hidrogeologia, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo.
- Grasmueck, M.; Weger, R. J. (2002). *3D GPR reveals complex internal structure of Pleistocene oolitic sandbar*. The Leading Edge, Vol. 21, No. 7, pp. 634-639.
- Grasmueck, M.; Viggiano, D.; Smith, L.; Nyahay, R. (2005). *A. 3-D vision Ground Penetrating Radar (GPR): Reservoir anatomy beyond the outcrop surface*. Abstracts of the AAPG Annual Meeting, June 19-22, 2005, Calgary, Alberta.

- Grasmueck, M.; Weger, R.; Horstmeyer, H. (2005). B. *Full-resolution 3D GPR imaging*. Geophysics 70 (1), K12-K19.
- Jeannin, M.; Garambois, S.; Grégoire, C.; Jongmans, D. (2006). *Multiconfiguration GPR measurements for geometric fracture characterization in limestone cliffs (Alps)*. Geophysics 71 (3), B85-B92. 2006.
- Jesus, T.E.S (2012). *Imageamento Digital de Paleocavernas Colapsadas com Georadar*. Dissertação de Mestrado em Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 43p.
- Jesus, T. E. S.; Reis Jr, J. A.; De Castro, David L.; Lima Filho, F. P. (2012). *Imageamento digital de paleocavernas colapsadas com ground penetrating radar*. Geologia USP. Série Científica, v. 12, p. 71-84.
- Junior J. A. R. (2009). *Estudo de Pluma de Contaminação por Combustíveis com o Método GPR e desenvolvimento do simulador geofísico para fins Educativos*, UFPA.
- Marques, S. G. (2007). *Metodologia geofísica para contaminação por hidrocarbonetos- Estudo de caso em posto de combustível*. Dissertação de mestrado, USP-SP.
- Matta, M. A. S. (2002). *Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana de Belém / Ananindeua – Pará, Brasil 2002*. Tese de Doutorado em Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Nobre, M. M. M. (2007). *Soluções Geotécnicas na Remediação de Solos e Águas Subterrâneas*. V Seminário de Políticas de Gestão da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas. São Paulo-SP: Instituto de Geociências, IGDEMA/UFPA, BRASIL.
- Nunes, L. P. M. (2005). *Caracterização geolétrica da área de curtume localizado no Distrito Industrial de Icoaraci, Belém-Pará*; Dissertação de Mestrado; Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Oliveira, E. (1992). *Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, 112p.
- Orlando, L. (2003). *Semiquantitative evaluation of massive rock quality using ground penetrating radar*. Journal of Applied Geophysics 52, 1-9.
- Pedrosa, T. R. M. A. M.; Castro, D. L.; Castelo Branco, R. M. G. (2006). *Caracterização de plumas contaminantes de hidrocarbonetos em postos de abastecimento em Fortaleza, usando o método Radar de Penetração do Solo (GPR)*, Revista de Geologia, Vol. 19, nº 1, 73-86.
- Reyes-Péres, Y.A. (2008). *Caracterização Geométrica e Parametrização de Depósitos Transicionais Recentes e sua Aplicação na Modelagem de Reservatórios Petrolíferos*. Tese de Doutorado UFRN, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós- Graduação em Geodinâmica e Geofísica.
- Takayama, P.; Menezes, P.; Travassos, J. (2008). *High-Resolution 3D GPR imaging of carbonate analogue reservoirs*. Proceedings of 33rd International Geological Congress, August 6–14, 2008, Oslo, pp. 234-237.
- Tiburtius, E. R. L.; Zamora, P. P.; Leal, E. S. (2004). *Contaminação de águas por BTEX e processos utilizados na remediação de sítios contaminados*. Química Nova, V 27, n. 3, p. 441-446.