



APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE GÁS RADÔNIO E DE IMAGEAMENTO ELÉTRICO 3D E 2D EM ÁREAS SOB CONTAMINAÇÃO DE HIDROCARBONETO

Sérgio Luiz da Silva Quintão – Petrobras/SMS Corporativo, Andresa Oliva - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Mathias Du Puits – Gicon GmbH, Axel Schmidt e Holger Weiß – Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Jorge Ibirajara Coelho – Transpetro, Marcus Paulus Martins Baessa – Petrobras/Cenpes, Fátima do Rosário Petrobras/Cenpes, José Ribamar Silveira da Silva – Petrobras/SMS Corporativo Carlos Silva Rosa e Flávia Castro – AB-CR/SMS-MA, Marco Aurélio Zequim Pede, Chang Hung Kiang e Márcio Costa Alberto - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

A contaminação do solo por NAPL (contaminantes não-voláteis) oriundo de vazamentos de combustíveis, óleo mineral e solventes orgânicos é considerada um problema mundial. Para a realização de uma remediação adequada em áreas impactadas é fundamental o conhecimento da distribuição do NAPL no subsolo. Para se estabelecer um plano de remediação adequado, geralmente são coletadas amostras de solo que posteriormente serão enviadas ao laboratório para as análises pertinentes. Entretanto, o número de amostras pode ser limitado, impedindo assim a delimitação adequada da pluma de contaminação. Além disso, a análise das amostras em laboratório pode levar algum tempo, causando atraso no trabalho de investigação. Dessa maneira, técnicas que permitam tanto um aumento no número de pontos de investigação, como rapidez na obtenção de dados, vêm sendo cada vez mais utilizadas com sucesso na identificação de áreas impactadas.

Neste trabalho utilizou-se as técnicas de imageamento elétrico 3D e 2D e uma nova técnica envolvendo a medição de gás Radônio 222 em solos/sedimentos, para identificar e delimitar as áreas impactadas em subsuperfície.

Introdução

A PETROBRAS (SMS-CR / AB-CR/SMS / CENPES), em parceria com as instituições LEBAC – Laboratório de Estudos de Bacias (UNESP-IGCE-Rio Claro/SP) e UFZ – Zentrum für Umweltforschung (Leipzig – Alemanha), realizou testes com uma técnica de identificação de hidrocarboneto em fase livre e residual, utilizando

medições de teores do gás radônio-222 (Rn), em duas áreas com presença de contaminantes (hidrocarboneto).

A técnica baseada na medição de teores de gás radônio-222 constitui uma inovação que vem sendo utilizada na identificação de contaminantes não-voláteis (NAPLs) no solo. O Rn é um gás nobre radioativo (meia vida de 3,83 dias), que ocorre naturalmente na água e no ar contidos no solos/sedimentos, sendo produto de desintegração radioativa do urânio-238. Pelo fato do urânio estar presente na maioria dos minerais constituintes de rocha e de sedimentos, sua presença ubíqua resulta na geração de “produtos filhos”, como o Rn.

A presença de NAPLs concentra o Rn disponível nos poros do solo devido à sua boa solubilidade, reduzindo assim a concentração do gás na vizinhança do volume contaminado do solo. Em relação à água, os hidrocarbonetos (NAPLs) caracterizam-se por apresentarem elevados coeficientes de partição de Rn entre NAPL e água (KNAPL/W). Para óleo parafínico, benzeno e hexano, os valores de KNAPL/W são 32,3, 45,0 e 58,1, respectivamente (Schubert *et al.*, 2007).

As áreas para a aplicação das técnicas foram escolhidas devido à presença de contaminantes (hidrocarboneto), e devido às localizações geográficas distintas.

Anteriormente à realização das sondagens para a medição de Rn, foi feito levantamento geofísico detalhado por meio do método da eletrorresistividade, em ambas as áreas, denominadas aqui de 1 e 2. Nesses ensaios geofísicos foi utilizado um método bem conhecido, que vem sendo aplicado em muitas refinarias e terminais, com resultados satisfatórios quanto à identificação de áreas potencialmente contaminadas.

Para ambas as áreas levou-se em consideração que as altas condutividades caracterizam porções possivelmente contaminadas. Este fato foi confirmado após a perfuração das sondagens, que identificaram a presença de hidrocarboneto nas porções onde ocorreram altas condutividades.

Posteriormente, os resultados obtidos com o levantamento geofísico e com as medições de Rn foram comparados.

Aquisição e Processamento dos Dados

Nos levantamentos geofísicos, foram utilizados o método da eletrorresistividade e as técnicas de imageamento elétrico 2D e 3D.

Em cada uma das áreas, foram realizados 1 imageamento 3D e 3 imageamentos 2D, utilizando 56 e 28 eletrodos, respectivamente (Figura 1).



Figura 1 – Disposição dos cabos multi-eletrodos nos imageamentos elétricos 3D e 2D.

No imageamento 3D da área 1, utilizou-se a técnica *slide-along*, que permitiu estender a área de estudo. O espaçamento dos eletrodos adotados no imageamento 3D foi de 4 m, abrangendo uma área de 503,7 m² e atingindo profundidade de aproximadamente 11,6 m. Para o imageamento 2D, o espaçamento entre os eletrodos foi de 2 m, atingindo profundidades entre 8 m e 10 m.

Na área 2, o espaçamento dos eletrodos adotado no imageamento 3D foi de 2 m, abrangendo uma área de 136,5 m² e atingindo profundidade de aproximadamente 5,9 m. Para o imageamento 2D, o espaçamento entre os eletrodos também foi de 2 m, atingindo profundidades entre 8 m e 10 m.

O tipo de arranjo escolhido para a realização dos imageamentos 2D e 3D foi o Gradiente, uma vez que possui sinal forte, recomendado para áreas que apresentam ruídos externos (cercas elétricas, fios de alta tensão, etc), e apresenta boa resolução vertical e horizontal.

O aparelho utilizado para aquisição dos dados foi o **SuperSting R8/IP**, e os programas aqui utilizados para inversão dos dados foram: **EarthImager 3D** e **2D**, produzidos pela AGI (USA); o método de inversão adotado foi o *smoothness constrained* (GROOT-HEDLIN

e *CONTABLE*, 1990). O RMS (root mean square), obtido após a modelagem dos dados, foi menor que 10%.

Como as áreas do levantamento são planas, não foi necessária a correção topográfica nas seções e nos blocos.

Para as medições de Rn foram perfuradas, na área 1, 14 sondagens e, na área 2, 15. As perfurações foram realizadas até aproximadamente 50 cm antes de atingir o NA. Em seguida, foi inserido no furo uma ponteira especial unida a uma bomba de gás. O gás do solo foi então puxado para a câmara de ionização do **AlphaGUARD**, onde permaneceu por aproximadamente 15 minutos até que ocorresse o decaimento do radônio 222.

Discussão dos Resultados

Os resultados geofísicos obtidos para as duas áreas são apresentados nas Figuras 2 a 5. Os dados geofísicos, aliados à descrição das sondagens realizadas nessas áreas, definiram como anomalia condutiva os valores de resistividade \leq a 50 ohm.m, para a uma área e para outra \leq a 30 ohm.m.

De modo geral, os valores da concentração de gás radônio-222 na área 1 foram maiores do que os medidos na área 2. Na área 1, também prevaleceram valores de resistividades maiores (\leq 85 ohm.m) do que na área 2 (\leq 70 ohm.m). Dessa forma, a amplitude dos valores da concentração de Rn é concordante com a dos valores de resistividade.

As maiores concentrações de gás radônio-222 na área 1 estão presentes nas amostras R18 (281 kBq/m³) e R10 (260 kBq/m³) e correspondem aos valores de resistividade maiores que 80 ohm.m. Já os valores da concentração de Rn menores, identificados nas amostras R13 (6 kBq/m³) e R12 (8 kBq/m³), coincidem com as resistividades \leq 50 ohm.m, que caracterizam as anomalias condutivas (Figura 6). Para a elaboração do mapa de isovalores de concentração de Rn, adotou-se os intervalos medidos entre 1,5 m e 2 m de profundidade.

Da mesma forma que na área 1, os resultados obtidos com as medições de gás radônio-222 na área 2 são concordantes com os resultados obtidos por meio dos levantamentos geofísicos, como ilustrado nas Figuras 7 e 8.

Os menores valores da concentração de Rn coincidem com as anomalias condutivas (Figura 7).

Os gráficos ilustrados na Figura 8 mostram que existe concordância entre a variação dos valores da concentração do Rn e os valores de resistividade.

Conclusão e Recomendação

Com base nesses resultados pode-se dizer que o teste realizado com as medições de gás radônio-222 foi conclusivo na identificação de áreas contaminadas. No entanto, foi inconclusivo com relação à delimitação da pluma, devido à limitação de espaço para a realização dos ensaios.

Alguns resultados obtidos com as medições de gás radônio-222 devem ser destacados. Um deles refere-se aos valores de concentração de gás radônio-222 igual a 0 kBq/m³, medidos na franja capilar (3 m de profundidade) da área 1. A ocorrência desses valores pode ser interpretada como se em toda área investigada, a essa profundidade, houvesse a presença de fase livre; pode também ser reflexo de uma fase residual ou, ainda, uma espessura muito pequena de fase livre.

Outro resultado interessante, foi o valor muito elevado (281 kBq/m³) de concentração de Rn na área 1. É possível que esta concentração não seja natural da área, mas fruto de algum material antrópico, ali disposto.

Pode-se afirmar que os ensaios-teste realizados nas áreas 1 e 2 foram bem sucedidos, mostrando o potencial do método de Rn na identificação e delimitação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos.

Finalmente, recomenda-se a utilização deste método, em conjunto com levantamentos geofísicos e de PID, pois as respostas desses métodos à presença de hidrocarboneto, em função de sua distribuição em profundidade, espessura e idade, se complementam.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras por disponibilizar as áreas para execução dos ensaios.

Referências Bibliográficas

Schubert, M., Paschke, A., Lau, S., Geyer, W., Knöller, K. 2007. Radon as a naturally occurring tracer for assessment of residual NAPL contamination of aquifers. *Environmental Pollution*, **145**: 920-927.

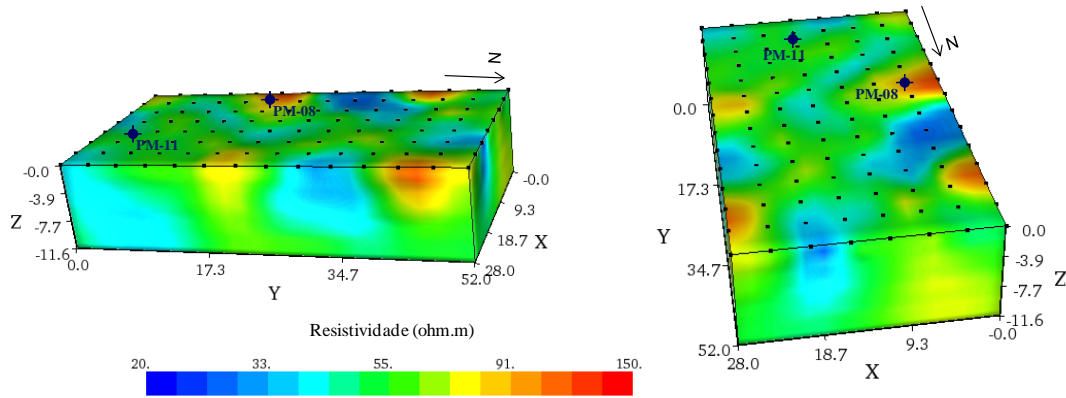


Figura 2 – Resultado do imageamento elétrico 3D – Área 1.

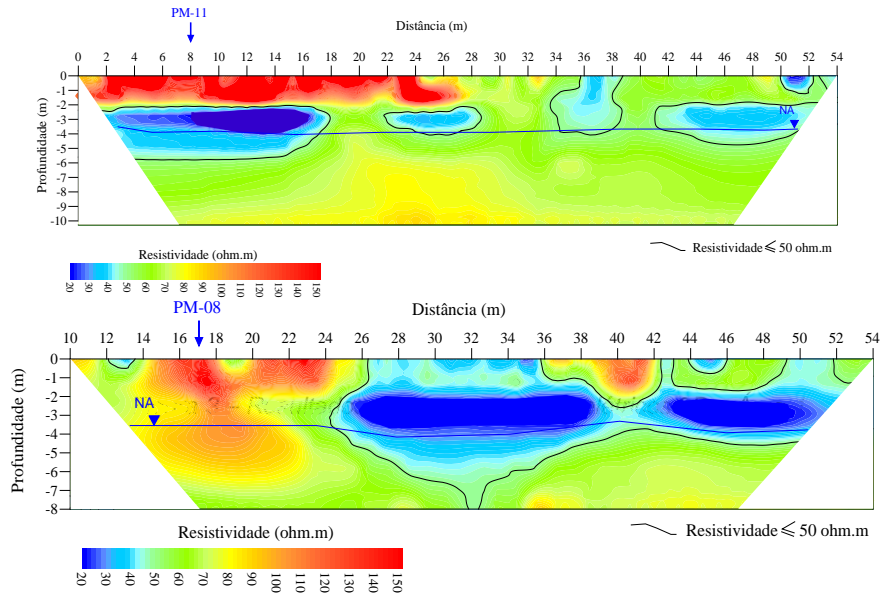


Figura 3 – Resultado do imageamento elétrico 2D – Área 1.

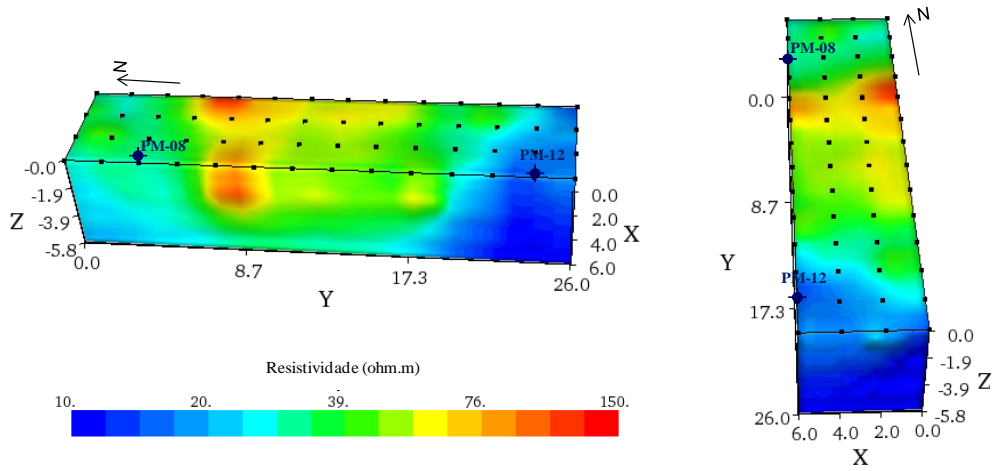


Figura 4 – Resultado do imageamento elétrico 3D – Área 2.

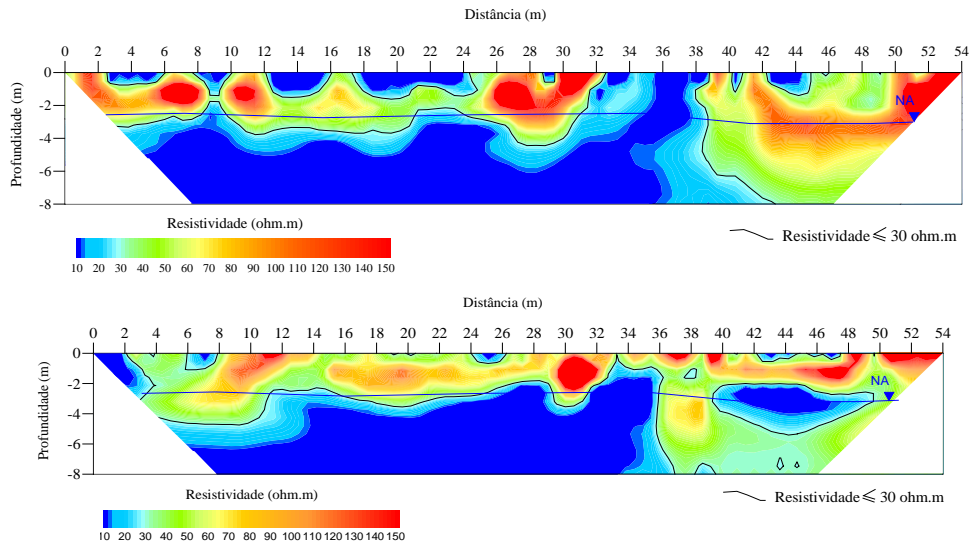


Figura 5 – Resultado do imageamento elétrico 3D – Área 2.

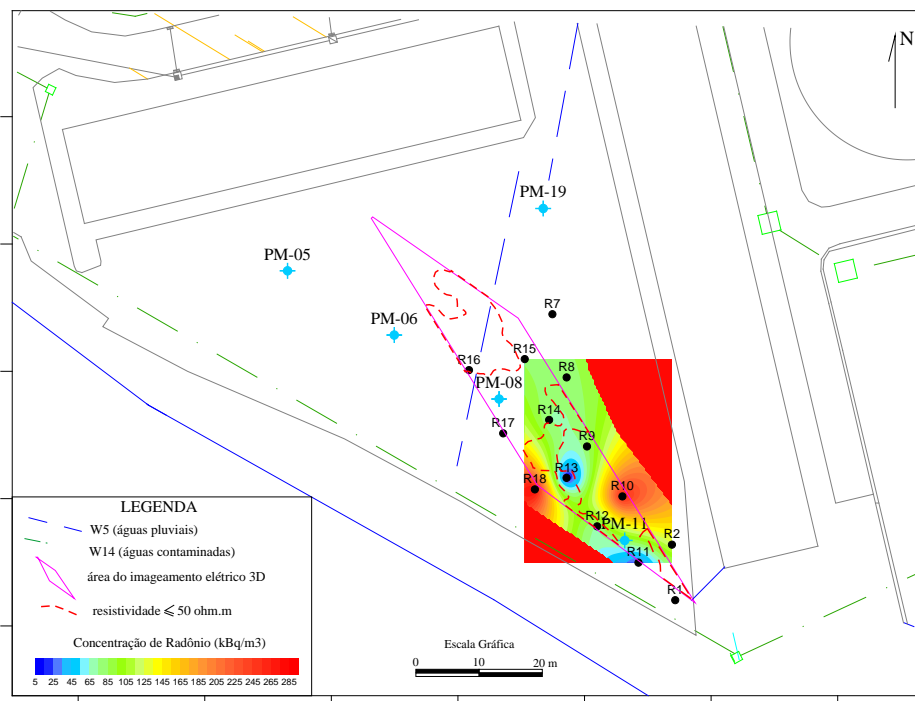


Figura 6 – Mapa de isovalores de concentração de gás radônio-222 (Rn) e delimitação das anomalias condutivas ($\rho \leq 50 \text{ ohm.m}$) Área 1.

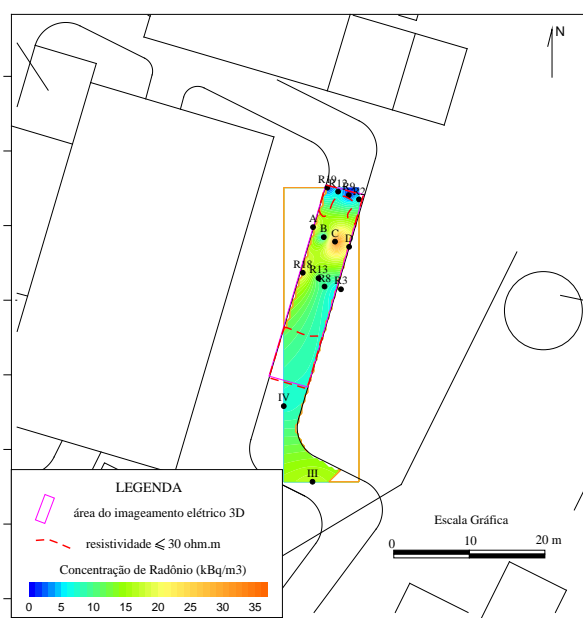


Figura 7 – Mapa de isovalores de concentração de gás radônio-222 (Rn) e delimitação das anomalias condutivas ($\rho \leq 30 \text{ ohm.m}$) Área 2.

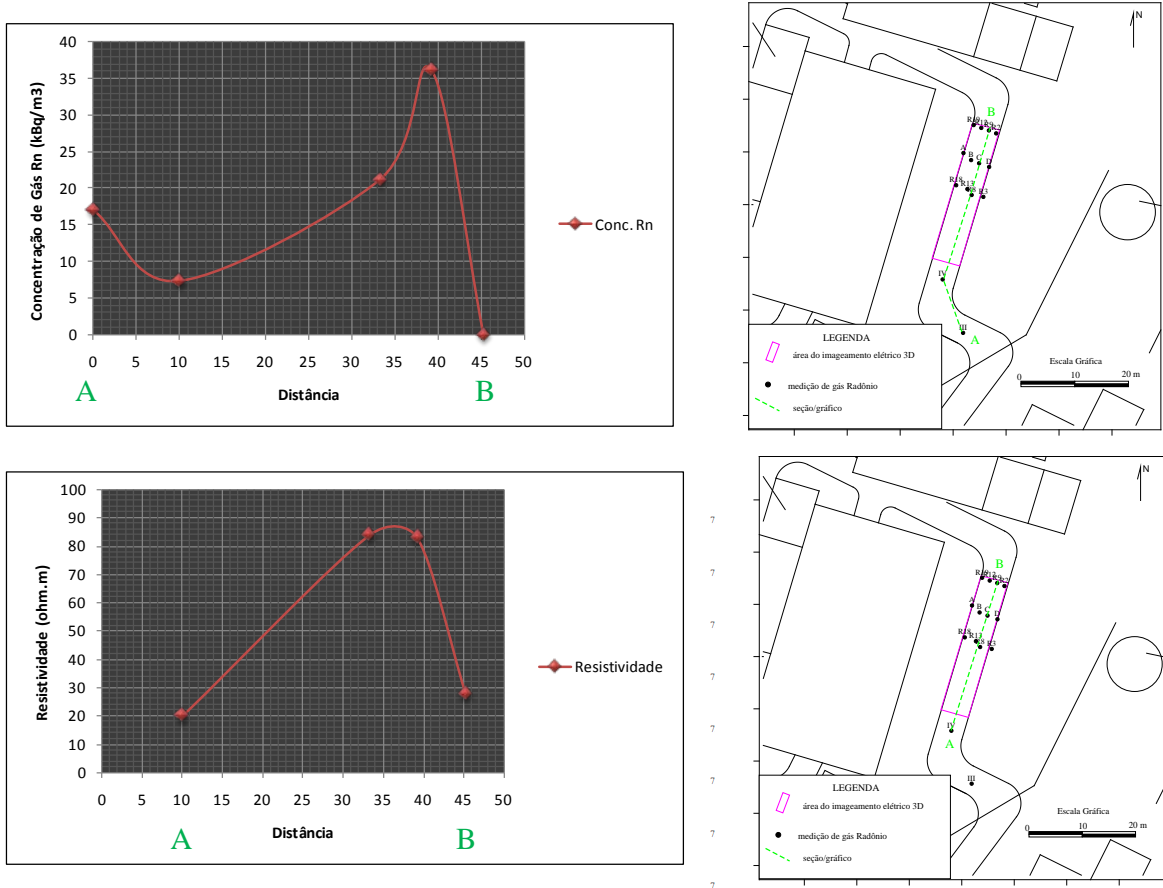


Figura 8 – Distribuição dos valores de concentração de gás radônio-222 (Rn) e de resistividade – Área 2.