boletim
SBGf
Publicação da Sociedade Brasileira de Geofísica
Número 2 2010 – ISSN 2177-9090

# A Geofísica aplicada ao estudo de contaminação de solos e águas subterrâneas

A conscientização da proteção do solo e das águas subterrâneas e o enrijecimento da legislação ambiental têm ampliado a demanda pelo uso dos métodos geofísicos no estudo de áreas contaminadas. A rapidez na avaliação a custos relativamente baixos representa a principal vantagem destes métodos indiretos em relação às investigações diretas na subsuperfície.

Capes avalia programas de pós-graduação em Geociências, PÁG. 3

Levantamentos aerogeofísicos mapeiam 109 municípios baianos, PÁG. 7

## EDITORIAL

# A Geofísica e o Meio Ambiente

Esta edição do Boletim SBGf, dedicada ao meio ambiente, tem um caráter social de extrema importância, considerando o amplo debate sobre a área em todas as camadas da sociedade. Deve-se recordar que, primeiramente, foram os geocientistas que levantaram as discussões sobre o tema, demonstrando a sua importância e a necessidade de divulgação de problemas ambientais, zelando pelos valores que hoje são tratados como educação e conscientização ambiental. A preocupação da SBGf com o meio ambiente não é recente. Vale lembrar que já no ano de 1996, a SBGf promoveu em Belém, no Pará, o workshop intitulado "Geofísica Aplicada ao Meio Ambiente", quando trouxe para a comunidade várias questões sobre o tema e propostas tecnológicas de solução de problemas utilizando a Geofísica como importante ferramenta.

O Boletim SBGf traz ainda uma lúcida e isenta análise do professor Dall'Agnol, coordenador de Geociências da Capes, sobre a avaliação dos programas de pós-graduação em geofísica no país. Deve-se notar que o professor, ao fazer a crítica dos cursos, indica diretrizes para a melhoria qualitativa dos mesmos. As considerações do professor poderão ser utilizadas como plano de ação pelos nossos cursos.

Por outro lado, a entrevista com Ana Maria da Cunha, coordenadora de atividades do Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP) traz importantes esclarecimentos sobre um dos programas mais exitosos na qualificação de profissionais do Brasil e que tem contribuído para que se alcance um nível de excelência na formação acadêmica dos nossos estudantes. Boa leitura.

## CONFIRA NESTA EDIÇÃO


**3 UNIVERSIDADES**
- Capes avalia programas de pós-graduação em Geociências
- Acervo de mapas do IGc-USP agora disponível via internet
- Bibliotecas dos cursos de graduação em Geofísica

**7 NOTAS**
- Levantamentos aerogeofísicos mapeiam 109 municípios baianos
- Unipampa forma primeira turma de Geofísica
- Plataforma Lattes elogiada em artigo da Nature

**8 ENTREVISTA**
PRH-ANP: Formação de Recursos Humanos de alta qualificação

**10 ESPECIAL** A Geofísica aplicada ao estudo de contaminação de solos e águas subterrâneas

Arquivo Pessoal Otávio Gandolfo

Tambores encontrados na escavação após GPR

- Aumento da demanda
- Métodos
- Nova Norma ABNT para a Geofísica Ambiental
- Contaminação de lençóis freáticos na subsuperfície de cemitérios

**16 ARTIGO TÉCNICO**
Geofísica Aplicada à Contaminação do Meio Ambiente
*José Gouvêa Luiz - UFPA*


CAPA: Sondagem Elétrica Vertical (SEV) em aterro sanitário. Arquivo Pessoal César Moreira.

## FUNDO SBGf

OURO

WesternGeco

BRONZE

FUGRO

Ies BRAZIL Consulting & Services

stratageo


**DIRETORIA DA SBGf**

Presidente
Eduardo Lopes de Faria

Vice-presidente
Inez Staciarini Batista

Diretor-Geral
Renato Lopes Silveira

Diretor Financeiro
Neri João Boz

Diretor de Relações Institucionais
Jurandyr Schmidt

Diretor de Relações Acadêmicas
Ellen de Nazaré Souza Gomes

Diretor de Publicações
Francisco Carlos Neves de Aquino

Conselheiros
Carlos Cesar Nascimento da Silva
Edmundo Julio Jung Marques
Eliane da Costa Alves
Jorge Dagoberto Hildenbrand
Marcelo Sousa de Assumpção
Naomi Ussami
Patricia Pastana de Lugão
Paula Lucia Ferrucio da Rocha
Paulo Roberto Porto Siston
Renato Cordani

Secretário Divisão Centro-Sul
Adalberto da Silva

Secretário Divisão Centro-Oeste
Adalene Moreira Silva

Secretário Divisão Sul
Maria Amélia Novais Schleicher

Secretário Divisão Nordeste Meridional
Roberto Max de Argollo

Secretário Divisão Nordeste Setentrional
Aderson Farias do Nascimento

Secretário Divisão Norte
Jessé Carvalho Costa

Editor-chefe da Revista Brasileira de Geofísica
Cleverson Guizan Silva

Secretárias executivas
Ivete Berlice Dias
Luciene Victorino de Carvalho

Coordenadora de Eventos
Renata Vergasta

Assistente de Eventos
Carolina Santinoni Esteves

**BOLETIM SBGf**

Editora-chefe
Adriana Reis Xavier

Jornalistas responsáveis
Marcelo Cajueiro (MTb n. 15963/97/79)
Bruna Gama

Diagramação
Diagrama Comunicação

Tiragem: 2.500 exemplares
Distribuição restrita

O *Boletim SBGf* também está disponível no *site www.sbgf.org.br*



**Sociedade Brasileira de Geofísica – SBGf**
Av. Rio Branco 156, sala 2.509
20040-901 – Centro – Rio de Janeiro – RJ
Tel/Fax: (55-21) 2533-0064
*sbgf@sbgf.org.br*

UNIVERSIDADES

# Capes avalia programas de pós-graduação em Geociências

No segundo semestre de 2010, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) apresentou os resultados da avaliação trienal do desempenho dos programas de pós-graduação em Geociências. Um dos elementos fundamentais da avaliação é o Qualis da área que define a estratificação dos periódicos empregados por seus pesquisadores e permite avaliar com maior rigor a qualidade da produção científica dos programas. O Qualis foi inteiramente revisto ao longo do triênio.

Na reavaliação do Qualis da área de Geociências foram analisados 1030 títulos, dos quais 962 integraram o atual Qualis Geociências. Levando-se em conta critérios como periodicidade e composição do corpo editorial, os títulos são organizados em sete estratos: os estratos A1, A2, B1 e B3 são formados essencialmente por periódicos estrangeiros (595 periódicos, correspondendo a 61,85% do total), somados a poucos títulos nacionais, avaliados pelo Journal of Citation Reports (JCR) e com fator de impacto superior a 0,7. Já os estratos B2, B4 e B5 são compostos em sua maioria por periódicos nacionais (367 periódicos, ou seja, 38,15%).

Segundo o professor Roberto Dall'Agnol, coordenador de Geociências da Capes, nessa avaliação foram considerados os fatores de impacto do JCR de 2008 e apenas dois periódicos receberam tratamento diferenciado, sendo situados em estratos superiores aos indicados por seus fatores de impacto – um deles a revista Geophysics da SEG (Society of Exploration Geophysicists), que recebeu a classificação A1. Apenas 92 publicações de Geociências indexadas no Webqualis se encontram no estrato A1, o mais elevado da classificação, que caracteriza, entre outros fatores, ampla circulação internacional.

A nova classificação é uma boa notícia para os profissionais que publicam na revista Geophysics. Segundo o professor, a reclassificação da revista era uma reivindicação antiga devido ao fato da Geofísica Aplicada apresentar tendência a menor fator de impacto nos seus principais periódicos, quando comparada com outras subáreas da Geofísica.

"Considerando que há programas voltados essencialmente para Geofísica Aplicada, para os quais Geophysics constitui um dos principais veículos de divulgação, embora esses programas sejam poucos, para evitar qualquer distorção na avaliação gerada a partir do Qualis, optou-se por reclassificar o periódico, deslocando-o do estrato B1 para A1", esclarece.

Segundo um levantamento de 2008, o Qualis Geociências comporta aproximadamente 130 publicações pertencentes às áreas de Geofísica, sendo 43 periódicos em Geofísica da Terra Sólida, 55 revistas em Geofísica Aplicada - engenharias, e 32 em Geofísica Aplicada.

"Portanto, pode-se concluir que o número de periódicos voltados para temas de interesse da subárea é muito significativo, sobretudo se for considerada sua dimensão na área. É evidente, por outro lado, que esta classificação envolve um grau significativo de subjetividade, porque há muitos periódicos que não são altamente especializados e podem atender a diferentes subáreas", acrescenta Dall'Agnol.

"A Revista Brasileira de Geofísica (RBGf) obteve um avanço importante por meio de sua indexação no SciELO e no Geoabstracts, pela manutenção da regularidade e por sua divulgação atualizada."

Arquivo pessoal

## PRODUZINDO MAIS

Segundo Dall'Agnol, há indicações de que houve um crescimento na produção científica da área de Geociências. Contudo, na percepção do coordenador, o aumento foi mais qualitativo que quantitativo, uma vez que não houve expansão muito significativa no número de docentes e de doutores formados na área – os segmentos da comunidade mais produtivos em termos científicos. "Porém, medidas corretivas e indutivas adotadas pela área e pelos programas de pós-graduação, respondendo à necessidade de adaptação ao contexto atual, somados ao crescimento generalizado do setor de CT&I no país, fizeram com que muitos programas apresentassem uma clara melhoria na qualidade das publicações geradas", completa Dall'Agnol.

O professor explica que hoje, a Geofísica da Terra Sólida e a Geofísica Espacial possuem produção científica bastante expressiva, compatível com os padrões dos melhores programas da área. No entanto, a Geofísica Aplicada ainda apresenta produção científica abaixo do desejável, devido às pressões do mercado de trabalho por profissionais e ao baixo número de docentes.

Segundo Dall'Agnol, considerando o pouco alcance da língua portuguesa, o caráter regional de grande parte da pesquisa efetuada em Geociências e a inquestionável relevância dessa pesquisa para o país, no contexto interno, a área de Geociências da Capes e a comunidade de modo geral devem impulsionar os periódicos nacionais a tomar ações com o intuito de aumentar a visibilidade da produção brasileira no cenário mundial. Por essa razão, o coordenador julga indispensável adotar como estratégia a busca pela ampla indexação pelos indexadores internacionais de maior destaque, que implica assegurar recursos adequados para a editoração destas revistas e, ao mesmo tempo, garantir e aumentar sua qualidade (conteúdo e corpo editorial).

"Como a produção científica da área publicada em periódicos nacionais representa em torno de 50% da sua pro-

"A Geofísica da Terra Sólida e a Geofísica Espacial possuem produção científica bastante expressiva, compatível com os padrões dos melhores programas da área."

dução total em número de artigos, e a quase totalidade destes artigos não é considerada pelos mais importantes indexadores, tem-se, como consequência, que cerca de 50% da produção da área permanece 'escondida' e não aparece nos principais indicadores científicos. Para efeitos das estatísticas de agências e órgãos de planejamento, é praticamente como se esta produção não existisse", alerta.

Dall'Agnol reconhece que a questão da língua é um fortíssimo limitador para a penetração dos periódicos nacionais. Entretanto, avalia que a atual geração de pesquisadores já está em grande parte capacitada para ultrapassar esta barreira. "O que foi um obstáculo muito duro para, por exemplo, a geração formada nos anos 80, é hoje muito menos impactante para os jovens pesquisadores que já foram educados em meio científico onde a expressão em língua inglesa é muito valorizada e incentivada".

Embora a área de Geociências tenha competência e, no geral, suas pesquisas despertem interesse internacional, ainda há muita informação científica de valor para o desenvolvimento do país, que não motiva grande impacto em periódicos internacionais e deve continuar sendo publicada em periódicos nacionais. Daí a preocupação da área em valorizar e preservar a produção nacional.

"É possível que no futuro se afirmem duas tendências: 1) internacionalização dos periódicos nacionais por meio de sua ampla indexação e gradual melhoria de qualidade em termos de conteúdo e editoração; e 2) crescente procura dos autores nacionais pelos melhores periódicos internacionais. Isso já vem acontecendo em certa medida e a tendência é se expandir, podendo chegar a uma situação em que os periódicos estritamente nacionais, sem ampla indexação, passem a ter menor importância", prevê Dall'Agnol.

Para o coordenador a Revista Brasileira de Geofísica (RBGf) obteve um avanço importante por meio de sua indexação no SciELO e no Geoabstracts, pela manutenção da regularidade e por sua divulgação atualizada. "Essas medidas garantem maior confiabilidade e visibilidade para os artigos publicados na revista. Caberia prosseguir nesse esforço e conseguir acesso aos grandes indexadores internacionais", ressalta.

## PRODUÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO

A produção científica juntamente com a formação de recursos humanos qualificados são os dois principais itens da avaliação dos programas de pós-graduação. Um aspecto importante no estabelecimento de uma produção científica mais consistente é o aprimoramento e a expansão dos programas de pós-graduação.

A avaliação dos cursos pela Capes se baseia fundamentalmente nas informações fornecidas pelos programas por meio do aplicativo Coleta ao longo do triênio. Os conceitos dos cursos são estabelecidos a partir da comparação entre os programas. Na primeira etapa são definidos os conceitos entre 3 e 5, assim como os programas que obtiveram conceito menor que 3 e que serão recomendados para descredenciamento. Numa segunda etapa, os programas com conceito 5 são reavaliados para que se verifique quais atendem os requisitos da área para programas de excelência, para os quais serão atribuídos conceito 6 ou 7.

Credenciados pela Capes, existem cinco programas de pós-graduação em Geofísica, todos com cursos de mestrado e doutorado, e vários outros nos quais a Geofísica constitui parte importante das pesquisas desenvolvidas. Segundo o professor Dall'Agnol, o quadro geral da área de Geociências não mudou substancialmente na atual avaliação trienal, e isso se verificou também no caso da Geofísica. Esta manteve um programa com conceito 6 e outro com conceito 5, que indicam serem programas muito bons e consolidados, o primeiro equivalente aos de nível internacional. Dois programas receberam conceito 4 (bom), sendo que um deles (Observatório Nacional) ascendeu do conceito 3, indicando melhoria expressiva no triênio. Porém, um programa tradicional da área teve seu conceito reduzido de 4 para 3 e outros programas com atuação importante em Geofísica mantiveram seus conceitos 3 e 4. "Isso demonstra que os programas de Geofísica ainda revelam fragilidades e precisam de cuidados especiais visando sua melhoria", avalia.

Segundo Dall'Agnol, os programas na área de Geofísica, especialmente Geofísica Aplicada, sofrem atualmente grande pressão do mercado de trabalho, que demanda muitos profissionais e acaba por enfraquecer a área acadêmica. Para ele, embora o fato de haver empregos na área não possa ser considerado prejudicial e parcerias empresa-universidade são recomendáveis para aumentar a relação entre a academia e o setor empresarial. "Caberia um melhor planejamento integrado entre agências, empresas e programas de pós-graduação, para que ao invés de simplesmente atrair pós-graduandos, fossem criados mecanismos mais efetivos para o fortalecimento e a expansão dos programas, até mesmo para assegurar o atendimento às crescentes demandas de mão de obra especializada previstas para futuro próximo", analisa o professor.

"A criação de novos cursos de graduação na área de Geociências como um todo e na de Geofísica em particular é a principal medida para garantir a expansão da formação de profissionais e pesquisadores em médio prazo."

Além disso, observa Dall'Agnol, a criação de novos cursos de graduação na área de Geociências como um todo e na de Geofísica em particular é a principal medida para garantir a expansão da formação de profissionais e pesquisadores em médio prazo. "Contudo, no estágio atual, seria prioritário fortalecer os programas já existentes com apoio por parte das empresas do setor e da ANP para lhes permitir ampliar seus quadros, compondo

corpos docentes experimentados. Isso não seria contraditório com a criação eventual de cursos de Geofísica, em regiões ainda não atendidas ou em áreas estratégicas, como no caso da Geofísica de petróleo, ligada às demandas excepcionais criadas pelo pré-sal. Expandir a pós-graduação sem expandir a graduação ou sem estimular profissionais de áreas afins a migrar para a Geofísica traria provavelmente resultados limitados, pelo menos em um primeiro momento", conclui Dall'Agnol.

**Com periodicidade trimestral, a Revista Brasileira de Geofísica (RBGf) é publicada desde 1982 e está indexada no Geoabstracts (Elsevier) e no SciELO (*www.scielo.br/rbg*), que disponibiliza gratuitamente o acesso aos artigos integrais de revistas de diversas áreas.**

| CLASSIFICAÇÃO QUALIS REVISTA BRASILEIRA DE GEOFÍSICA | |
|---|---|
| B1 | Interdisciplinar |
| B2 | Engenharias III |
| | Geociências |
| | Geografia |
| | Matemática / Probabilidade e Estatística |
| B3 | Ecologia e Meio Ambiente |
| | Engenharias I |
| B4 | Ciências Agrárias I |
| | Ciências Biológicas I |
| C | Astronomia / Física |

# Acervo de mapas do IGc-USP agora disponível via internet

A mapoteca do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) passou por uma extensa reformulação que resultou na inclusão do acervo de mapas no catálogo *online* do Sistema Integrado de Bibliotecas da USP (SIBiUSP).

Agora, as informações sobre os mais de 5.000 mapas do IGc podem ser acessadas de qualquer lugar do planeta através do banco de dados bibliográficos da universidade (Dedalus) e também da base Geomapas, onde é possível realizar busca textual ou georreferenciada dos mapas. O acesso às imagens digitalizadas, entretanto, é autorizado apenas através dos computadores localizados na biblioteca, devido às restrições da Lei de Direitos Autorais.

Segundo Érica Moreschi, diretora da biblioteca do IGc, a reformulação da mapoteca começou em 2004 e incluiu uma remodelação física, com aquisição de mapotecas deslizantes, a exclusão de material não correlato e a inclusão de material ainda não processado no acervo, além do desenvolvimento de uma base de dados interna onde estão integrados os registros e as imagens digitalizadas dos mapas.

O acervo do IGc é especializado em mapas geológicos. De acordo com Érica, a mapoteca dispõe de mapas geológicos de todas as regiões do país, além de mapas da Europa, África e América do Sul. Além disso, a mapoteca também conta com um grande número de mapas topográficos da região Sudeste do Brasil, especialmente do Estado de São Paulo.

Os empréstimos dos mapas não são permitidos, mas a consulta na própria biblioteca é aberta ao público em geral e também é possível fazer cópias reprográficas desde que seja justificado o motivo da pesquisa. Empresas podem consultar o material na biblioteca, mas o IGc não fornece cópias nem arquivo digital para fins comerciais.

Outra mapoteca que em breve será incorporada ao catálogo *online* da USP pertence ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG). Segundo Rosa Maria Silva Santos, bibliotecária do instituto, os mais de 5.000 mapas do acervo cobrem as áreas de Geografia, Geofísica e Geologia e por ora estão disponíveis apenas para consulta local.

A base Dedalus pode ser acessada em *www.usp.br/sibi* e a Geomapas, que comporta o acervo do IGc, pode ser encontrada em *http://mapoteca.igc.usp.br/busca/busca_rapida.php*.

Arquivo IGc-USP

Setor de Mapoteca e Audiovisuais da Biblioteca do IGc-USP

Confira a seguir os dados das bibliotecas que atendem os cursos de graduação em Geofísica. Embora o empréstimo de publicações seja permitido apenas ao público interno das universidades, outros serviços são oferecidos à comunidade em geral, como a comutação bibliográfica (Comut), que permite aos usuários cadastrados no programa, a obtenção de cópias de documentos técnico-científicos pela internet ou por meio da biblioteca pertencente à rede.

A doação das coleções pessoais de profissionais, algumas vezes ex-alunos, é de grande importância para a formação dos estudantes universitários. Os interessados em doar livros na área devem entrar em contato com a biblioteca indicando os títulos dos mesmos para que seja feita uma avaliação preliminar, objetivando um desenvolvimento tanto quantitativo como qualitativo do acervo dessas instituições.

**UFBA – BIBLIOTECA PROFESSOR SHIGUEMI FUJIMORI.** Possui aproximadamente 5.790 títulos no acervo, sendo 120 da área de Geofísica. Atende também os cursos de Geografia, Geologia, Oceanografia, Engenharia, Biologia e Ciências Sociais. Permite consulta no local e *online*, além de Comut. Bibl. responsável: Aldacy Cristina Ribeiro Nascimento. 8h-21h (seg. a qui.), 8h-18h (sex.). Rua Barão de Geremoabo, s/nº, 3° piso - Campus Universitário de Ondina, 40170-020, Salvador - BA. (71) 3283-8628 / 8630. *bigeo@ufba.br.* *www.twiki.ufba.br/twiki/bin/view/IGeo/Biblioteca.*

**UFF – BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (BIG).** Tem em torno de 6.800 títulos, destes cerca de 80 são da área de Geofísica, disponíveis também para consulta *online*. Apoia os cursos de Geofísica (grad.), Geografia (grad. e pós), Geologia e Geofísica Marinha (pós), Ciência Ambiental (pós) e Geotecnologias (pós). Admite acesso livre ao acervo para consultas, estudo e cópias. Bibl. responsável: Ligia Polycarpo Martins Medeiros. 9h-21h (seg. a sex.). Avenida Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº, Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem, 24210-340, Niterói - RJ. (21) 2629-5944. *big@ndc.uff.br.* *www.ndc.uff.br.*

Foto: Marco Cetale

Biblioteca do Instituto de Geociências da UFF

**UFPA – BIBLIOTECA GEÓLOGO RAIMUNDO MONTENEGRO GARCIA DE MONTALVÃO.** O acervo é formado por 5.377 títulos, sendo aproximadamente 1.200 de Geofísica. Assiste aos cursos de Geofísica, Geologia, Oceanografia, Meteorologia, Geologia e Geoquímica (pós) e Ciências Ambientais (pós). Oferece os serviços de Comut, reprodução de artigos de revistas, cópias em CD-ROM de teses e dissertações, levantamento bibliográfico através de *e-mail* e consulta *online* aos títulos. Bibl. responsável: Lúcia de Fátima Imbiriba de Sousa. 8h-18h (seg. a sex.). Rua Augusto Correa, 1, Campus Universitário Prof. José da Silveira Netto, Caixa Postal: 1611, Guamá, 66075-110, Belém - PA. (91) 3201-7484. *bibgeociencias@ufpa.br.* *bibcentral.ufpa.br/pergamum/biblioteca/index.php?resolution2=1024_1.*

**UFRN – BIBLIOTECA CENTRAL ZILA MAMEDE.** Cuida de todo o acervo da universidade. Oferece à comunidade em geral acesso livre à consulta de publicações, à internet e reprografia de documentos. Bibl. responsável: Ana Cristina Cavalcanti Tinoco. Caixa Postal: 1524, Lagoa Nova, 59072-970, Natal - RN. (84) 3215-3841. *bcdir@bczm.ufrn.br.* *www.bczm.ufrn.br.*

**UnB – COLEÇÃO SETORIAL DO MUSEU DE GEOCIÊNCIAS (IG).** Vinculada à Biblioteca Central da UnB (BCE), a coleção do Museu de Geociências está no momento em inventário. O acervo concentra cerca de 4.500 exemplares entre livros e periódicos, ainda com poucos de Geofísica. Os títulos estão disponíveis para consulta *online*. Atende, além do curso de Geofísica, os de Geologia e Ciências Ambientais e alunos de outras unidades que cursam disciplinas no Instituto. No local é possível fazer consultas e ter acesso a kits geológicos e paleontológicos, que são emprestados a professores do ensino fundamental e médio. A biblioteca ainda monta kits para auxiliar os estudos dos alunos de graduação da universidade. Coordenador-geral do Museu: Prof. Dr. Dermeval Aparecido do Carmo. 8h-18h (seg. a sex.). Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, sala AT279, 70910-900, Brasília - DF. (61) 3307-2433. *igd@unb.br.* *www.ig.unb.br/museu; www.bce.unb.br.*

**UNIPAMPA – BIBLIOTECA UNIPAMPA – CAMPUS CAÇAPAVA DO SUL.** Abriga 1.750 títulos relacionados aos cursos de Geofísica, Tecnologia em Mineração e Licenciatura em Ciências Exatas. Disponibiliza consulta local e *online* aos títulos do acervo. Bibl. responsável: Dóris de Souza Santana. 8h-21h (seg. a sex.). Avenida Pedro Anunciação, s/nº, Vila Batista, 96570-000, Caçapava do Sul - RS. (55) 3281-1711. *biblioteca.cacapava@unipampa.edu.br.* *http://porteiras.r.unipampa.edu.br/portais/sisbi.*

**USP – SERVIÇO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO – INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS (IAG).** Conta com 21.181 títulos em seu acervo, dos quais quase 5.000 são relacionados à Geofísica, incluindo trabalhos finais de graduação e pós, disponíveis também para consulta *online*. Presta serviços ainda aos cursos de Geofísica, Astronomia e Meteorologia. Permite pesquisa no local, cópias de artigos científicos e capítulos de livros (*e-mail* e Correio). Além de oferecer os serviços de empréstimo entre bibliotecas (EEB) e Comut, fornece orientação e treinamento sobre o uso das coleções do acervo e das Bases de Dados e Reprografia. Bibl. responsável: Sandra Aparecida Marques dos Santos. 8h-21h (seg. a sex.), 8h-17h30 (período de férias) Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, 05508-090, São Paulo - SP. (11) 3091-4771. *bibiag@edu.usp.br.* *www.iag.usp.br/bib; www.usp.br/sibi.*

NOTAS

## Levantamentos aerogeofísicos mapeiam 109 municípios baianos

A Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), ligada à Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração (SICM), iniciou em agosto dois levantamentos aerogeofísicos nas regiões de Ipirá – Ilhéus e Porto Seguro – Caravelas, que têm como objetivo descobrir novas jazidas minerais.

Os levantamentos fazem parte do Programa de Cobertura Aerogeofísica do Estado da Bahia, iniciado pela CBPM em 1975. Em 2010, estão incluídos nos levantamentos 109 municípios das regiões econômicas do Extremo Sul, Litoral Sul, Paraguaçu, Recôncavo Sul e Sudoeste, nas regiões sul e sudeste do Estado. A área a ser mapeada chega a 48.877km², ou 8,7% do território baiano.

O projeto está sendo executado em um convênio de R$ 4,5 milhões com o governo federal, com participação de 40% da CBPM e 60% do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A cobertura está sendo realizada por uma empresa especializada em aerogeofísica, com a utilização de um multissistema aerogeofísico, configurado pelos métodos magnético e gamaespectrométrico.

Segundo Ives Antônio de Almeida Garrido, geólogo da CBPM e chefe do projeto, o prazo de conclusão dos levantamentos é de 210 dias, entre planejamento e mobilização (15 dias), aquisição de dados (150 dias), e elaboração do relatório final (45 dias).

A CBPM já realizou 34 projetos (incluindo os dois novos) de levantamentos aerogeofísicos na Bahia, cobrindo uma área total de 307.328km², que correspondem a 54% do território baiano. Somados aos 40.508km² cobertos pelos levantamentos aerogeofísicos da CPRM, o percentual já mapeado do estado chega a 60% – o maior do país.

A companhia é responsável por descobrir as jazidas minerais da Bahia. As áreas são em seguida licitadas para empresas privadas para exploração, gerando royalties que variam de 2,5 a 8%.

O Estado da Bahia tem um alto potencial mineral e é, segundo um levantamento de 2007 do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o maior produtor nacional de magnesita, urânio, cromo, quartzo, talco e diatomita.

## Plataforma Lattes elogiada em artigo da Nature

A Plataforma Lattes, mantida pelo CNPq, foi citada em um artigo da revista científica, mundialmente conhecida, Nature como um exemplo de banco de dados completo e altamente qualificado. Em artigo intitulado "Let's make science metrics more scientific" (Vamos tornar as métricas científicas mais científicas, em português), a diretora da Fundação Nacional da Ciência dos EUA, Julia Lane, ressaltou a importância da medição e avaliação do desempenho acadêmico de profissionais e instituições.

Segundo o artigo, é essencial a criação de um sistema "aberto, sólido e consistente" que permita a medição da produção científica, de modo a fornecer dados mais concretos para a tomada de decisões, como por exemplo o financiamento de projetos acadêmicos. Além disso, a partir da avaliação da produtividade acadêmica, é possível identificar as áreas que recebem mais investimentos e as que ainda apresentam déficit, facilitando a formulação de políticas para a área de ciência e tecnologia.

Lane considerou a Plataforma Lattes um dos bancos de dados mais confiáveis do mundo, com uma estrutura abrangente e precisa. De acordo com a autora, é necessário o desenvolvimento de uma base de dados similar em nível internacional, que permita uma padronização na medição da produção acadêmica. Ela também elogiou a criação de incentivos para que pesquisadores e instituições acadêmicas usassem o banco de dados de maneira correta. Atualmente, a Plataforma Lattes possui cerca de 1,6 milhões de currículos e quatro mil instituições cadastradas; oito por cento destes currículos são de doutores e em torno de treze por cento são de mestres.

A versão lançada pelo CNPq nos 10 anos da Plataforma Lattes possui um conjunto de implementos, novas funcionalidades e cruzamento de dados. Entre as inovações está a Rede de Colaboração, que permite visualizar graficamente a partir do currículo do pesquisador, a rede de coautores cadastrados na plataforma, cuja produção científica conjunta tenha sido referenciada na base de dados.

## Unipampa forma primeira turma de Geofísica

A Universidade Federal do Pampa (Unipampa), no Rio Grande do Sul, acaba de formar sua primeira turma de graduação em Geofísica.

A cerimônia foi realizada no dia 11 de setembro no campus de Caçapava do Sul. A paraninfa da turma foi a professora Jurselem Carvalho Perez. Dos oito recém-graduados, dois já estão trabalhando e seis optaram por prosseguir os estudos, inscrevendo-se em cursos de pós-graduação.

Arquivo Unipampa

Formandos do curso de Geofísica

Segundo o professor Ivan Zevallos, coordenador do curso, a graduação em Geofísica foi criada em 2006, ano de fundação da Unipampa. A universidade oferece 40 vagas anuais para o curso, que tem duração de oito semestres.

Atualmente, 87 alunos estão matriculados na graduação, cujas atividades práticas começam já a partir do segundo período. Zevallos destaca que todos os 17 professores do curso têm doutorado e trabalham em regime de dedicação exclusiva.

O curso da Unipampa desenvolve pesquisas nas áreas de sísmica aplicada ao meio ambiente e à exploração mineral, magnetometria terrestre em jazidas minerais, prospecção elétrica aplicada ao meio ambiente e a águas subterrâneas, sismologia, e gravimetria em temas de geotectônica regional.

Segundo Zevallos, o curso da Unipampa já possui um bom nível acadêmico, e as perspectivas para o futuro são muito positivas. "As bases para o alavancamento qualitativo do curso estão sendo postas com a implantação de um novo plano de ensino; isto, junto com a infraestrutura e o quadro de docentes, será a garantia de formação de geofísicos de primeiro nível", diz ele.

A Unipampa oferece 48 cursos em 10 campi espalhados pelo Estado do Rio Grande do Sul. O ingresso é feito exclusivamente pelo Exame Nacional do Ensino Médio (Enem).

# PRH-ANP: Formação de Recursos Humanos de alta qualificação

*O Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP) visa à formação de mão de obra qualificada para o setor de petróleo, gás e biocombustíveis e já concedeu em 11 anos de atividade mais de cinco mil bolsas de estudo e pesquisa desde o nível técnico até o doutorado. Com atenção direcionada aos desafios concernentes à área e à demanda crescente de pessoal qualificado, o PRH-ANP investe em cursos ligados diretamente à exploração e produção, entre eles Geofísica, Geologia, Oceanografia, Engenharia do Petróleo, e ainda em outros suplementares às atividades, como Direito, Economia e Administração. Atualmente, quatro instituições conveniadas possuem linha de pesquisa na área de Geofísica: as universidades federais do Rio Grande do Norte (UFRN), do Pará (UFPA), da Bahia (UFBA) e Fluminense (UFF). Para falar mais sobre as conquistas do PRH e as perspectivas para o futuro, o Boletim SBGf entrevistou* Ana Maria da Cunha*, coordenadora de atividades do programa.*

**O que motivou a criação do PRH-ANP?** O PRH-ANP foi implantado em 1999 para atender às atribuições, previstas para a ANP na Lei nº 9.478/1997, de contribuir de forma efetiva com as políticas de apoio ao desenvolvimento econômico, a partir de um programa para incentivar a formação de mão de obra especializada, em resposta à expansão da indústria do petróleo e gás natural verificada após a abertura do setor à iniciativa privada.

**Qual é o objetivo principal do programa?** O programa visa estimular a formação e especialização de estudantes de graduação, mestrado e doutorado, oferecendo recursos financeiros na forma de bolsas de estudo e taxa de bancada, de forma a contribuir para o aumento da oferta de mão de obra especializada para o setor de petróleo, gás natural e biocombustíveis.

**Como ocorre a interação com as empresas do setor para o fornecimento desta mão de obra formada nas universidades?** A interação com as empresas do setor para o fornecimento de mão de obra é atribuição dos pesquisadores visitantes dos programas, que levam os bolsistas a visitas técnicas, palestras, promovem estágios e estabelecem parcerias com as empresas. Além disso, os coordenadores dos programas pesquisam a demanda da indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis, adequando a formação dos alunos às necessidades observadas. O PRH-ANP teve como base a inclusão, no currículo de instituições de ensino, de disciplinas de especialização específicas para atender às necessidades do setor.

**Qual estratégia foi traçada pelo PRH-ANP para atender a demanda por profissionais qualificados para atuar em projetos no pré-sal?** O quarto edital do PRH-ANP, cujo resultado foi divulgado recentemente, selecionou 10 novos programas de universidades de nove estados brasileiros, sendo três destes na área de estudos sobre o pré-sal e os outros com ênfase em eficiência energética, biocombustíveis e saúde ocupacional e segurança operacional. Cada um dos programas receberá oito bolsas de graduação, quatro bolsas de mestrado, duas de doutorado, uma bolsa de coordenador e uma de pesquisador visitante. Até o final de 2010, serão aplicados R$ 224.752,80 na concessão de bolsas de estudo e R$ 93.172,14 em taxas de bancada.

Arquivo ANP

"Para concretizar as parcerias com as instituições de ensino, a ANP organizou um sistema de editais. Foram realizadas quatro chamadas, nas quais instituições de nível superior de vários estados apresentaram suas propostas."

**Existe algum levantamento sobre a atual situação profissional dos ex-bolsistas do programa?** Setenta por cento dos ex-bolsistas do PRH atuam na indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis.

**Alguns ex-bolsistas do PRH-ANP são atualmente servidores da ANP. Qual é o perfil deste profissional?** O perfil do profissional ex-bolsista do PRH-ANP é diferenciado pelo conhecimento que já possui da área. As disciplinas de especialização, os intercâmbios e as participações em congressos e eventos específicos do setor formam um profissional qualificado e pró-ativo.

**Quanto às instituições de ensino, quais critérios são levados em consideração para que um curso integre o programa?** Para concretizar as parcerias com as instituições de ensino, a ANP organizou um sistema de editais. Foram realizadas quatro chamadas, nas quais instituições de

nível superior de vários estados apresentaram suas propostas. Ao fim deste processo, foram celebradas as parcerias e criados Comitês Gestores compostos por docentes das instituições participantes. Foi estabelecido um conjunto nacional de instituições que privilegia as competências regionais e o desenvolvimento de uma cultura de ensino e pesquisa aplicada à indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis.

Os Comitês Gestores das instituições participantes definem os critérios para a seleção dos bolsistas e para a aplicação dos recursos do PRH-ANP oriundos de duas fontes. A primeira fonte era o orçamento da ANP, voltado principalmente ao nível técnico. A segunda, que permanece dirigida para o nível superior, é o Fundo Setorial CT-Petro - Plano Nacional de Ciência e Tecnologia do Setor de Petróleo e Gás Natural. É importante ressaltar que o PRH-ANP é executado pelas instituições e conduzido sob a orientação da agência no que se refere aos aspectos técnicos relacionados às tendências do setor regulado.

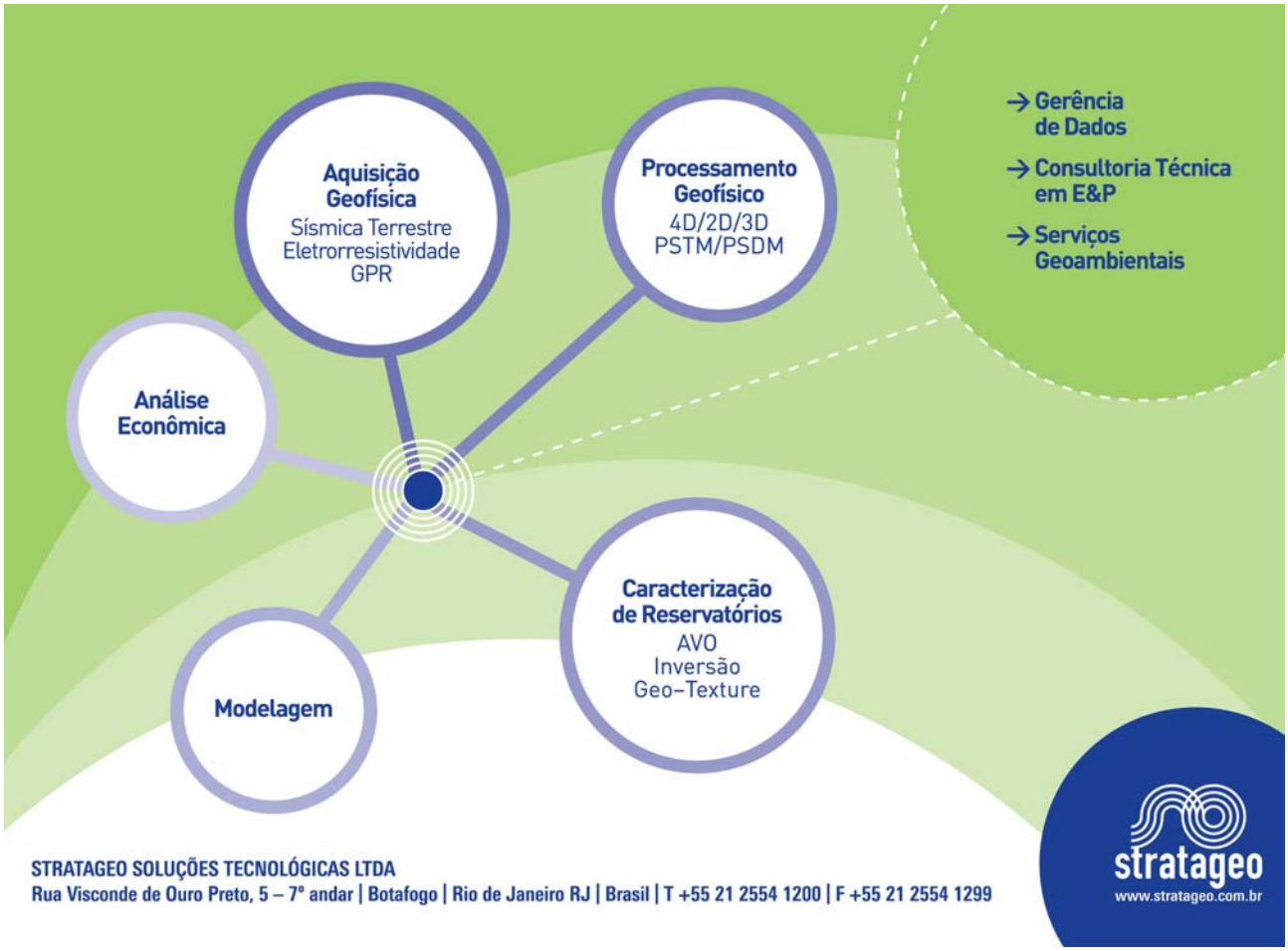
**Além das bolsas oferecidas aos estudantes, coordenadores e pesquisadores visitantes, o programa concede "taxa de bancada" para a infraestrutura da instituição. Qual foi o valor do investimento feito nos últimos anos? De onde provêm esses recursos?** De 2000 a 2009, foram concedidas 4.293 bolsas em 36 cursos de especialização, em 23 instituições de ensino superior em 13 estados, com o apoio financeiro do CT-Petro, a partir do repasse de R$ 178,4 milhões via Financiadora de Estudos e Projetos (Finep).

A partir de 2009 foi estabelecida uma parceria com a Petrobras, pela qual a empresa se tornou cofinanciadora do PRH-ANP, utilizando recursos da Cláusula de Investimento em P&D.

**O programa pretende retomar a oferta de bolsas para o nível técnico?** O PRH Técnico está sendo retomado pela Petrobras com a utilização de recursos da Cláusula de Investimento em P&D. A aprovação para utilização desses recursos é atribuição da ANP.

**Quais são as perspectivas e os desafios do PRH-ANP para os próximos anos?** Continuar contribuindo com a formação de recursos humanos especializados para o setor de petróleo, gás natural e biocombustíveis, visando sempre ao desenvolvimento do setor em âmbito nacional, atendendo as necessidades e acompanhando o estado-da-arte da tecnologia.

**Veja a entrevista completa no *site* da SBGf**



ESPECIAL

# A Geofísica aplicada ao estudo de contaminação de solos e águas subterrâneas

**A conscientização da sociedade brasileira a respeito da importância da proteção do solo e das águas subterrâneas e o consequente enrijecimento da legislação ambiental têm ampliado a demanda pelo uso dos métodos geofísicos recomendados para estudos nesta área. A rapidez na avaliação de grandes áreas a custos relativamente baixos representa a principal vantagem destas técnicas indiretas em relação às investigações diretas na subsuperfície.**

O movimento ecologista centrou seus esforços inicialmente na proteção das águas e da atmosfera, o que acarretou em um adiamento na percepção da degradação do solo. Por muito tempo, mesmo nos países desenvolvidos da Europa e América do Norte, o solo foi considerado um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais. Somente nos anos 70 surgiu o conceito de "áreas contaminadas" a partir da compreensão da limitação do solo para armazenar estes resíduos e depurar-se. Esta tomada de consciência, estimulada por uma série de acidentes ambientais, resultou no estabelecimento nos países desenvolvidos, no final daquela década e no início da de 1980, de políticas públicas e legislações ambientais pertinentes ao solo.

No Brasil, de acordo com Vagner Roberto Elis, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), a conscientização dos problemas com as áreas de solo contaminadas tem início nos anos 80. Em meados daquela década, afirma, já se tem registro do uso de métodos geofísicos, como o eletromagnético e a eletrorresistividade nestes locais.

César Augusto Moreira, professor da Unipampa, relata que foi após eventos como a ECO-92, no Rio de Janeiro, que a conscientização sobre o solo ganhou força.

Arquivo pessoal

"As áreas mais afetadas no Brasil são onde estão localizados postos de abastecimento de combustíveis, indústrias, refinarias, faixas de oleodutos, locais de mineração, campos de produção de petróleo em terra, antigas indústrias com passivos ambientais, lixões, aterros, entre outros", afirma Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, geofísico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) estima que há hoje no país cerca de 35 mil postos de distribuição de combustíveis ao consumidor final, atividade que, segundo o órgão, é responsável pela maior parcela de áreas contaminadas no Estado de São Paulo.

Arquivo pessoal

Os materiais potencialmente perigosos e que oferecem risco de contaminação das águas subterrâneas, acrescenta Rinaldo Moreira Marques, diretor da Geopesquisa Investigações Geológicas, são os resíduos orgânicos e inorgânicos, lixo hospitalar, tintas, solventes, pesticidas, combustíveis, óleos lubrificantes, baterias, pilhas, frascos de aerossóis e lâmpadas fluorescentes. A contaminação das águas subterrâneas ocorre através do transporte por percolação e infiltração de águas pluviais e outros líquidos gerados pela própria degradação dos resíduos que atingem a água subterrânea.

Arquivo Pessoal César Moreira

Aquisição TDEM em área industrial contaminada

"A degradação das águas superficiais e subterrâneas por problemas de contaminação e poluição vem gerando dificuldades para o aproveitamento desses recursos hídricos e intensificando sua escassez", alerta Rinaldo. "A poluição das águas subterrâneas é muito mais preocupante do que a das águas superficiais, visto que estas rapidamente se renovam e se recuperam após cessar o lançamento de efluentes ou serem tratadas".

## AUMENTO DA DEMANDA

O governo federal aprovou neste ano a política nacional de gestão de resíduos, que na prática consiste em uma série de medidas que estimulam a regularização de áreas de disposição de resíduos e, ainda, a seleção e reciclagem de materiais.

Segundo César Augusto, órgãos ambientais da esfera estadual estão atuando em conjunto com prefeituras com o objetivo de regular estas áreas. Em São Paulo existe um projeto desenvolvido pela Secretaria do Meio Ambiente de regulamentação de lixões em municípios com até 25 mil habitantes. O programa prevê a construção por meio de convênios de aterros sanitários em valas, a implantação de projetos técnicos para a seleção de áreas adequadas, e procedimentos de operação baseados no maquinário disponível em prefeituras de pequenos municípios.

Em relação às áreas industriais degradadas e desativadas, para emissão de licenças de instalação para novas operações, os órgãos ambientais exigem estudos de passivo ambiental. O entendimento legal, ressalta César Augusto, é a aquisição do passivo ambiental pelo empreendedor que compra terrenos ou instalações onde haja contaminações. Ou seja, a responsabilidade pela contaminação na área adquirida passa para o comprador.

"Na cidade de São Paulo a comercialização de terrenos para implantação de empreendimentos tem sido precedida de levantamentos de passivo ambiental, que podem

Arquivo SBGf

incluir levantamentos geofísicos", reitera o professor Fabio Taioli, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP).

Além disso, acrescenta César Augusto, a legislação estimula a autodenúncia dos responsáveis pelas contaminações e estabelece prazos e metas para o tratamento e a remediação das áreas degradadas.

O conjunto destas regulamentações e políticas públicas na gestão de resíduos e na recuperação de áreas industriais degradadas está produzindo um aumento na demanda por serviços baseados em métodos geofísicos: "São frequentes os estudos de passivo ambiental de áreas industriais, nos quais a Geofísica é fundamental", afirma César Augusto. "E há um crescimento no uso da Geofísica em estudos ambientais no Brasil, principalmente impulsionado por legislações estaduais. A Cetesb, por exemplo, recomenda a Geofísica como forma de investigação em seu Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas".

## MÉTODOS

Arquivo pessoal

Os métodos elétricos e eletromagnéticos são os mais indicados e empregados em estudos de áreas contaminadas, seguido pela magnetometria em casos específicos, como na detecção de tambores, dutos ou metais enterrados, afirma César Augusto Moreira. O método mais aplicado neste tipo de estudo é a eletrorresistividade, principalmente devido à ampla variação do parâmetro físico da resistividade elétrica no ambiente geológico e pelo acentuado contraste de medidas em áreas contaminadas, além do relativo baixo custo do equipamento.

A principal limitação deste método, acrescenta César Augusto, é a necessidade de aterramento de alguns sensores ou eletrodos, algo que pode inviabilizar seu uso em superfícies pavimentadas, como ruas asfaltadas ou pisos concretados. Segundo Rinaldo, no entanto, já há equipamentos que utilizam métodos elétricos capacitivos que não requerem a cravação de eletrodos no solo.

Outro obstáculo pertinente ao uso de métodos elétricos, segundo César Augusto, é a relativa susceptibilidade a ruídos, como linhas de alta tensão, transformadores elétricos, dentre outros, comuns no ambiente urbano, onde se encontra a maioria das áreas dos empreendimentos potencialmente contaminadores.

Os métodos eletromagnéticos também são susceptíveis a ruídos, avalia César Augusto, mas apresentam vantagens em relação aos métodos elétricos de contato galvânico, pois possibilitam o desenvolvimento de campanhas de investigação em áreas onde tais métodos são inviáveis, como sobre o asfalto ou sobre o concreto sem armação metálica, com o diferencial de propiciar levantamentos rápidos e de propriedades físicas também susceptíveis a alterações na presença de contaminantes.

Os critérios que devem ser considerados na definição do método ou dos métodos mais adequados são basicamente o parâmetro físico alterado na presença de contaminantes e seu contraste com o meio em redor, afirma César Augusto. Também deve ser levada em consideração a presença de ruídos que dificultem ou inviabilizem a aplicação de determinados métodos, como superfícies revestidas, no caso de métodos que exijam aterramento, ou áreas com muitas estruturas metálicas, como postos de combustíveis, que muitas vezes impossibilitam o uso de métodos eletromagnéticos ou a magnetometria.

"Os métodos geofísicos são ferramentas não-invasivas que, dentro de limitações, oferecem a possibilidade de tomada de decisões prévias em casos de descomissionamento de instalações, minimizando as sondagens do arcabouço geológico", afirma Olyverson Lyra Porto, gerente de projetos ambientais da Stratageo. "Cada método possui sua limitação, mas o conjunto dos métodos se complementa".

"Na escolha do método, deve ser levado em conta se aquele tipo de contaminante causa uma alteração mensurável na propriedade física estudada por esse método", complementa Vagner Elis. "Outro aspecto a ser considerado é se o método tem capacidade de penetração e resolução suficiente para aquele objetivo".

A Geofísica é muito utilizada nos estudos de investigação confirmatória (diagnóstico), afirma Rinaldo Marques. Em geral, áreas que estão sendo diagnosticadas não possuem um escopo definido de trabalho, e tampouco se sabe a extensão do problema. Nesta etapa, a Geofísica, por oferecer métodos indiretos, possui vantagem sobre os métodos diretos, ou invasivos (as sondagens), porque geralmente permite estudar grandes áreas a custos relativamente inferiores aos de uma campanha de sondagem.

Em um levantamento que utilize métodos elétricos e eletromagnéticos, acrescenta Rinaldo, pode-se realizar aquisições com um nível de detalhe de dados de cinco em cinco metros para uma área de 1.000 metros quadrados e uma profundidade de investigação em torno de 20 metros, levando em média quatro dias de aquisição de dados e aproximadamente seis a oito dias para a elaboração de um relatório. Uma campanha de sondagem com o mesmo nível de informação demora cerca de 40 a 60 dias, dependendo das dificuldades encontradas e do acesso à área de trabalho.

Além dos prazos de execução, os custos dos estudos geofísicos são muito inferiores. Segundo Rinaldo, levando-se em consideração que atualmente o preço por metro de um furo de sondagem pode variar de 70 a 150 reais, dependendo da empresa que executa a atividade, os valores finais seriam em torno de R$ 560 mil para o mencionado levantamento, enquanto um estudo geofísico na mesma área envolveria um gasto da ordem de 20% a 25% deste valor.

"Obviamente a quantidade de informação quantitativa obtida numa campanha de sondagem é superior à adquirida numa campanha geofísica", argumenta Rinaldo. "No entanto, um bom planejamento de ambas as atividades pode gerar economia da ordem de 60% dos valores a serem gastos até a fase de emissão de um relatório conclusivo".

"Os métodos geofísicos devem ser utilizados juntamente com outros métodos de investigação", ressalta Fabio Taioli. "Eu não diria que somente o uso deles identificaria uma área contaminada. Porém, se outros dados estão disponíveis, por exemplo, análises químicas do solo e da água subterrânea, os métodos

Arquivo Pessoal Otávio Gandolfo

Equipamento Eletromagnético em campo

Arquivo Pessoal Otávio Gandolfo

Levantamento GPR em área contaminada por hidrocarboneto

geofísicos podem contribuir muito na definição da extensão tanto em área como em profundidade da contaminação. A aplicação de métodos geofísicos neste contexto é rápida e eventualmente pode direcionar a aplicação de outros métodos, por exemplo, a instalação de poços de monitoramento somente nas áreas mais impactadas".

Além de certas vantagens comparativas, há casos em que a utilização de métodos geofísicos deveria ser compulsória, afirma César Augusto. Em estudos de áreas contaminadas por compostos mais densos que a água (DNAPL), como organoclorados, é fundamental uma investigação preliminar por meio de Geofísica, com o objetivo primordial de definir a profundidade do nível freático e do topo rochoso. Desta forma, é possível programar com precisão a locação e perfuração de poços de amostragem e a remediação da área, e assim evitar a geração de eventuais caminhos de fluxo do contaminante para maiores profundidades.

Outro caso em que a Geofísica é fundamental, César Augusto acrescenta, é na detecção de dutos ou tambores enterrados, cuja investigação a partir de técnicas diretas, como perfurações, pode resultar em vazamentos de possíveis substâncias armazenadas, além de explosões provenientes da combustão de líquidos e gases inflamáveis contidos nos recipientes.

Se a expansão da aplicação da Geofísica no estudo de contaminação de solos e águas subterrâneas é um processo positivo para a categoria, Rinaldo alerta para o risco apresentado pela informalidade do mercado de trabalho.

"No Brasil, um dos desafios da área de investigação geofísica é o de manter a credibilidade dos métodos e dos profissionais. Existe muita informalidade, ocasionada principalmente pela falta de regulamentação da profissão", enfatiza Rinaldo. "Há profissionais de outras áreas que possuem autorização para execução e têm responsabilidade técnica para assinar relatórios de levantamentos geofísicos. Em muitos casos, são pessoas que não realizaram qualquer curso da área e não participaram de atividades que lhes dessem condições mínimas de conhecimento acadêmico e profissional para poder aplicar ou interpretar um conjunto de dados geofísicos".

## Nova norma ABNT para a Geofísica Ambiental

O grupo de trabalho (GT) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) encarregado de elaborar norma sobre a aplicação de métodos geofísicos em investigações ambientais chegou a um texto de consenso que, no momento do fechamento desta edição em outubro, estava submetido à consulta pública, através do *site* da ABNT (*www.abnt.org.br*), no ícone "Consulta Nacional".

Arquivo pessoal

A norma tem como objetivo guiar a seleção de métodos geofísicos aplicáveis em investigações ambientais de solo e água subterrânea, embora não descreva os procedimentos específicos para cada método, segundo José Agnelo Soares, professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e relator do GT de Geofísica da ABNT.

Durante o período de consulta, que irá até o dia 6 de dezembro, qualquer interessado pode se manifestar, sem ônus, a fim de recomendar à comissão de estudo a aprovação do texto como apresentado, a aprovação do texto com alterações, ou a sua não aprovação, devendo apresentar as objeções técnicas que justifiquem a sua manifestação.

Depois da consulta pública, o projeto voltará para a reunião plenária, onde deverá receber a aprovação final e será publicado após 30 dias para os ajustes finais.

No documento, afirma Agnelo, são discutidos os métodos geofísicos de superfície e de poço aplicáveis à caracterização geológica e hidrogeológica do meio físico, detecção e/ou delimitação de contaminantes, detecção de resíduos, objetos enterrados, cavas e delimitação de aterros e lixões. Não se discute a aplicação dos métodos geofísicos na investigação de contaminantes radioativos, explosivos enterrados e anomalias térmicas.

Agnelo explica que há duas tabelas para seleção dos métodos de acordo com a aplicação: uma para métodos de superfície, e outra para métodos de poço ou superfície-poço. Nesse projeto de norma, destaca-se o amplo uso dos métodos elétricos e eletromagnéticos nos serviços de investigação e monitoramento geoambiental, bem como o uso de outros métodos geofísicos em aplicações específicas.

Nota-se ainda, ressalta Agnelo, a importância crescente da perfilagem de poços e de métodos interpoços ou do espaço poço-superfície, como as tomografias elétrica, sísmica e de GPR, para a caracterização detalhada do meio físico e de zonas com contaminantes.

A importância desse projeto de norma reside no fato de se tratar de um documento preparado por entidades representativas do setor, com reconhecida capacitação na área, que dará suporte técnico às boas práticas do uso dos métodos geofísicos em aplicações ambientais, possibilitando maior segurança tanto aos fornecedores quanto aos consumidores destes serviços.

"A norma tem caráter orientativo, não recomendando uma linha de ação específica, pois isto depende dos aspectos próprios de cada projeto. Ela também não substitui a formação técnica especializada nem a experiência profissional, devendo sempre ser usada em conjunto com a avaliação de um profissional qualificado", adverte Agnelo.

A definição da norma é responsabilidade da comissão especial de estudo instituída pela ABNT para propor normas técnicas a respeito da avaliação da qualidade do solo e da água subterrânea. A comissão, por sua vez, organizou grupos de trabalho para propor projetos de norma sobre assuntos específicos, como o GT de Geofísica, que desde junho de 2009 mantém reuniões mensais na sede da Cetesb, em São Paulo.

Um GT formado para preparar um projeto de norma técnica, esclarece Agnelo, deve ser sempre composto por representantes dos três segmentos interessados: produtores, consumidores e independentes. Os produtores são empresas que fornecem aquele tipo de serviço (no caso, os serviços geofísicos), os consumidores são as empresas que demandam os serviços, e os independentes são as universidades, os centros de pesquisa e órgãos governamentais de regulação e controle. O GT deve buscar um texto consensual e representativo da realidade daquele segmento de serviços. O GT de Geofísica foi constituído por 16 entidades: cinco representantes da classe dos produtores, seis dos consumidores e cinco dos independentes.

# Contaminação de lençóis freáticos na subsuperfície de cemitérios

Arquivo pessoal

David Lopes de Castro, *professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), alerta nesta entrevista para o risco de contaminação por necrochorume dos mananciais hídricos localizados abaixo de cemitérios. A ingestão de água com microorganismos patogênicos contidos no necrochorume pode causar infecções diversas, enquanto o simples contato pode originar problemas dermatológicos.*

*Impulsionados pela tomada de consciência e novas regulamentações sobre o tema, pesquisadores intensificaram na última década os estudos nestas áreas através de métodos geofísicos. Em 2001, a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) declarou os cemitérios como um risco potencial para o meio ambiente e para a saúde pública. Dois anos depois, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) publicou resolução exigindo licença ambiental para a implantação de novos cemitérios e a adequação dos atuais aos novos parâmetros regulatórios.*

**O que é necrochorume? Como ele é composto?** Após o sepultamento, o corpo humano inicia seu processo de decomposição, passando a ser um ecossistema de populações de artrópodes, bactérias, microrganismos patogênicos e destruidores de matéria orgânica e outros. O produto desta decomposição gera gases e líquidos putrefeitos, conhecidos genericamente por necrochorume. O líquido, constituído de água, sais minerais e substâncias orgânicas, incluindo duas diaminas, que são muito tóxicas, a cadaverina e a putrescina, é um meio ideal para a proliferação de substâncias responsáveis pela transmissão de doenças infectocontagiosas, entre elas a febre tifóide, hepatite e poliomielite. Aproximadamente 57% do corpo humano em decomposição é transformado em necrochorume.

**Quanto tempo aproximadamente dura o processo de decomposição dos corpos enterrados?** A putrefação do corpo humano pode ser observada 24 horas após a morte e durar de poucos meses até vários anos, resultando na dissolução gradual dos tecidos em gases, líquidos e sais. O processo de decomposição do corpo depende da ação ambiental – variação climática, regime pluviométrico, entre outros – e do meio físico – tipo e espessura do solo, nível freático etc.

**Qual é a importância das técnicas geofísicas na identificação de áreas contaminadas por necrochorume se comparadas com outras ferramentas?** Por serem técnicas não-invasivas que podem cobrir rapidamente grandes áreas, os métodos geofísicos fornecem dados detalhados sobre o meio rochoso e o aquífero livre, como topografia do topo da rocha sã, espessura e propriedades petrofísicas do solo, localização do nível freático. Variações consideráveis na composição físico-química da água subterrânea causadas por necrochorume podem, sob certas condições, ser detectadas por alguns métodos geofísicos que, associados a análises de solo e água obtidas em furos de sondagem e poços de observação, permitem delimitar plumas de contaminação em subsuperfície.

**Quais são os métodos geofísicos empregados nessa pesquisa? O que é levado em consideração na escolha do(s) método(s) mais adequado(s)?** Os métodos geofísicos empregados são a eletrorresistividade (ER), o radar de penetração no solo (GPR) e eletromagnético indutivo (EM-34). A profundidade de investigação e a resolução espacial de cada método são levadas em consideração em função da profundidade da camada de solo (localmente inferior a 25 metros) e do tipo de alvo (pluma de contaminação no lençol freático). A vantagem da ER é fornecer informações sobre as camadas geoelétricas, que normalmente incluem o nível freático, as camadas de solo e a rocha sã. O GPR fornece um imageamento da subsuperfície e a detecção de plumas de contaminação, dependendo do contraste de permissividade dielétrica entre as zonas contaminadas e não contaminadas. O EM fornece informações similares ao GPR, sendo que atinge profundidades de investigação maiores que o GPR, porém com menor resolução.

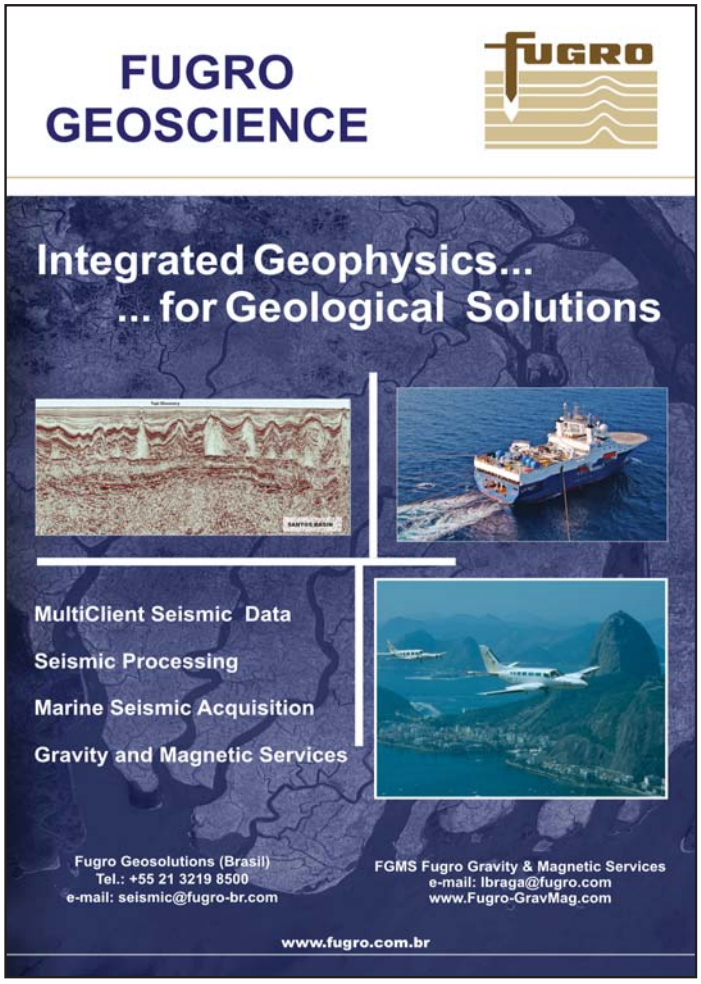
**Como pode ser definida uma distância segura para o estabelecimento de habitações na circunvizinhança dos cemitérios?** Não há restrições específicas para o estabelecimento de habitações na circunvizinhança dos cemitérios. Contudo, uma zona de algumas centenas de metros é normalmente delimitada em torno do cemitério, onde é proibida a captação de água subterrânea. As dimensões desta área de segurança são definidas em função do tamanho do cemitério e das condições geoambientais locais, como regime pluviométrico, declividade do terreno, tipo e espessura do solo, fluxo subterrâneo, entre outras.

Projeto CNPq 480409/2004-8

Levantamento geofísico no Cemitério Bom Jardim, Fortaleza (CE)

**Quais soluções estão sendo atualmente discutidas quanto aos cemitérios já estabelecidos no Brasil?** Pela Resolução do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 28 de maio de 2003, os cemitérios horizontais e verticais a serem implantados no Brasil terão que requerer licença ambiental para funcionarem. A resolução estabelece critérios mínimos que devem ser integralmente cumpridos na confecção dos projetos de implantação, como forma de garantir a decomposição normal do corpo e proteger os mananciais subterrâneos da infiltração do necrochorume. Os cemitérios já existentes tiveram 180 dias após aquela data para se adequarem às exigências junto aos órgãos ambientais municipais e/ou estaduais competentes. Aparentemente, poucos cemitérios atenderam à solicitação do Conama ou mesmo tomaram conhecimento desta resolução.

**Quais são os riscos para saúde da população decorrentes da contaminação por necrochorume?** A contaminação por necrochorume ocorre quando os microorganismos gerados pela decomposição dos corpos atingem os mananciais hídricos subterrâneos. Os microorganismos patogênicos são capazes de causar tétano, hepatite e infecções diversas quando ingeridos. O contato com água contaminada pode também causar doenças dermatológicas. Contudo, fatores como tempo de vida de poucos dias de tais organismos, a condutividade hidráulica das camadas de solo, o regime pluviométrico, a profundidade do nível freático e o fluxo subterrâneo são determinantes para o risco de propagação dos vetores patogênicos associados aos corpos em decomposição.



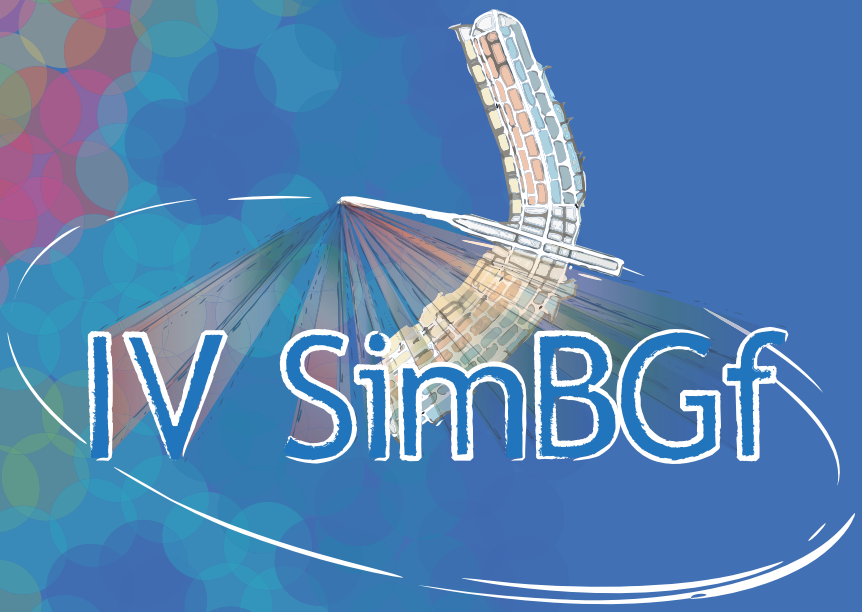

"Variações consideráveis na composição físico-química da água subterrânea causadas por necrochorume podem, sob certas condições, ser detectadas por alguns métodos geofísicos que, associados a análises de solo e água obtidas em furos de sondagem e poços de observação, permitem delimitar plumas de contaminação em subsuperfície."

**Como a contaminação por necrochorume pode atingir um indivíduo dentro de sua casa?** Em suas casas, os indivíduos só poderão ser atingidos pela contaminação por necrochorume se ingerir ou tiver contato com a água subterrânea coletada em poços, cacimbões ou água captada em drenagens superficiais que recebam afluentes subterrâneos contaminados. Em situações excepcionais, como enchentes, o necrochorume pode ser misturado às águas superficiais e eventualmente contaminar a população local.

**Em qual década o Brasil começou a se conscientizar dos problemas causados pelas áreas contaminadas por necrochorume e passou a realizar levantamentos geofísicos nesse campo?** Com exceção de raros trabalhos pioneiros, somente no final da década de 90 iniciaram-se estudos geoambientais sistemáticos em cemitérios no Brasil, com emprego de métodos geofísicos e perfurações de poços específicos com a coleta de solo e água subterrânea para análises físico-químicas e biológicas. Em 2001, a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) declarou os cemitérios como um risco potencial para o meio ambiente, em particular para as águas subterrâneas e para a saúde pública. Desde então, pesquisadores que atuam na área de Geologia e Geofísica Ambiental vêm intensificando estudos em diversos cemitérios em todo o país.

FONTE DE PESQUISA:

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 1999. Norma Técnica L1.040 – Implantação de Cemitérios, SP.
CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2003. Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003.
DE CASTRO DL. 2008. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza - CE. Revista Brasileira de Geofísica, 26(3): 251-271.
MATOS BA. 2001. Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aqüífero freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. Tese de Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências – USP, 161 p.
PACHECO A, MENDES JMB, MARTINS T, HASSUDA S & KIMMELMAN AA. 1991. Cemeteries – a potential risk to groundwater. Water Science and Technology, 24(11):97-104.




# IV Simpósio Brasileiro de Geofísica

## BRASILIA 14-17 NOVEMBRO 2010

**Minicurso 1 - Gravity and Magnetics for Explorationists - Misac Nabighian (CSM)**

**Minicurso 2 - Application of Transient Electromagnetic Soundings to Groundwater Studies - David Fitterman (MIT)**

**Minicurso 3 - Inversion of Airborne Electromagnetic Data - Practical Aspects - Maria Deszcz-Pan (USGS)**

**Minicurso 4 - GêBR - Uma plataforma livre para processamento sísmico - Ricardo Biloti (Unicamp)**

**Os minicursos serão realizados no dia 14/11/2010 no horário de 08 às 15 horas.**

**www.simposio.sbgf.org.br**

Local do simpósio:

**Royal Tulip Brasília Alvorada**

*www.royaltulipbrasiliaalvorada.com*

Organização:

Patrocínio:

Ouro

Prata

Bronze

Apoio:

ARTIGO TÉCNICO

# Geofísica aplicada à contaminação do meio ambiente

José Gouvêa Luiz – Faculdade de Geofísica
e Programa de Pós-Graduação em Geofísica/UFPA

## INTRODUÇÃO

Meio onde os seres vivos habitam, o meio ambiente é caracterizado por uma série de fenômenos e processos que se desenvolvem naturalmente com a finalidade de que ele seja mantido em equilíbrio físico. O homem, para sobreviver nesse ambiente, precisa estudar e compreender esses eventos naturais, muitos dos quais envolvem fenômenos geológicos como terremotos, vulcanismo e erosão.

Por outro lado, na procura de benefícios que facilitem a sua sobrevivência, o ser humano vem introduzindo desequilíbrios no meio ambiente, que, paradoxalmente, atentam contra a sua existência. Esses desequilíbrios artificiais não podem, em geral, ser absorvidos pela natureza e necessitam ser contornados pelo próprio homem.

Desse modo, tanto os acontecimentos naturais, como aqueles desencadeados artificialmente pela sociedade precisam ser investigados, trazendo um amplo leque de assuntos cruciais para os estudos do meio ambiente. Isso lhes dá um caráter extremamente multidisciplinar.

Este artigo, entretanto, é dirigido a apenas uma pequena parte dos estudos – a parte referente à aplicação de métodos geofísicos a problemas de contaminação ambiental.

## ESTUDOS SOBRE CONTAMINAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

Um programa completo de estudos sobre a contaminação de determinada região somente pode ser satisfatoriamente desenvolvido por uma equipe de especialistas com formação em diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, geólogos, hidrogeólogos, hidrólogos, geofísicos, meteorologistas, químicos, físicos, agrônomos, engenheiros florestais, engenheiros químicos, sanitaristas, biólogos, oceanógrafos, entre outros.

Esses estudos podem ser desenvolvidos em áreas onde já existem instaladas fontes potenciais de contaminação, para descobrir se está havendo poluição e em que níveis, bem como em áreas onde é pretendida a instalação dessas possíveis fontes, para estabelecer critérios a serem adotados de modo a evitar que se tornem fontes poluidoras. Os estudos podem também ser desenvolvidos com o objetivo de encontrar locais onde poluentes poderão ser despejados, com um mínimo de comprometimento em termos de degradação do ambiente e da vida, isto é, contaminação.

Nas áreas onde já há fontes potenciais de poluição, as etapas de um programa de estudos sobre contaminação são, em primeira aproximação, as seguintes:

- Identificação do perigo de contaminação;
- Caracterização do tipo de contaminação e seu efeito;
- Delimitação da área e da extensão da contaminação;
- Interrupção da contaminação e limpeza da área;
- Monitorização da contaminação.

A etapa de identificação do perigo de contaminação envolve um levantamento das diversas fontes potenciais de contaminação que estão presentes na área. Dentre essas, as mais comuns são indústrias que produzem resíduos tóxicos, plantas nucleares, armazenamento e transporte de petróleo e seus derivados, oleodutos, cemitérios, fossas, esgotos, aterros sanitários, depósitos de lixo doméstico e hospitalar (lixões), agrotóxicos e fertilizantes.

Na fase de caracterização da contaminação e seu efeito, amostras de solo e de água superficial e subterrânea são coletadas para análises diversas (físico-química, bacteriológica, radiológica, metais pesados, etc.) realizadas em laboratório, bem como são feitas medidas *in situ* (pH, resistividade elétrica, radiometria, etc.). Os resultados das análises e medidas devem ser apresentados em um mapa.

O passo seguinte, delimitação da área e da extensão da contaminação, é planejado a partir do mapa elaborado na fase anterior. Aqui, um levantamento sistemático, envolvendo a coleta de amostras e medidas, é feito em pontos que obedecem, em geral, a uma malha regular. O objetivo deste procedimento é detalhar a zona de contaminação. É nesse estágio que a Geofísica pode dar a sua maior contribuição.

Dependendo da avaliação dos resultados obtidos nas etapas anteriores, é determinada a interrupção da contaminação e estabelecida uma estratégia de descontaminação ou limpeza da área.

Nas áreas adjacentes às fontes potenciais de contaminação é recomendado que se estabeleçam pontos fixos onde serão realizadas análises e/ou medidas periódicas, com o objetivo de monitorar os níveis de contaminação. A monitorização é aconselhada ainda que os resultados do estudo não tenham indicado contaminação ou que seus níveis tenham sido considerados aceitáveis. Também na fase de monitorização, a Geofísica pode contribuir de modo significativo.

Quando o objetivo é procurar locais que possam servir para o despejo de poluentes, os estudos são programados de modo que esses locais se encaixem dentro das seguintes características básicas:

- Possuir permeabilidade muito baixa;
- Ser isentos de agentes geológicos modificadores, como os terremotos e a erosão;
- Ser estéreis do ponto de vista de mineralizações ou de outros recursos econômicos.

Locais com essas características têm sido procurados tanto em áreas continentais como nos mares. No caso de áreas marinhas, é requerido que a lâmina de água seja de pelo menos 4.000 m e que elas estejam fora de rotas marítimas comerciais e de zonas de pesca.

## TÉCNICAS DE DETECÇÃO DA CONTAMINAÇÃO

Normalmente a contaminação é gerada na superfície do terreno e despejada no solo, infiltrando na subsuperfície e alcançando a água subterrânea (Balek, 1983; Araújo, 1989;

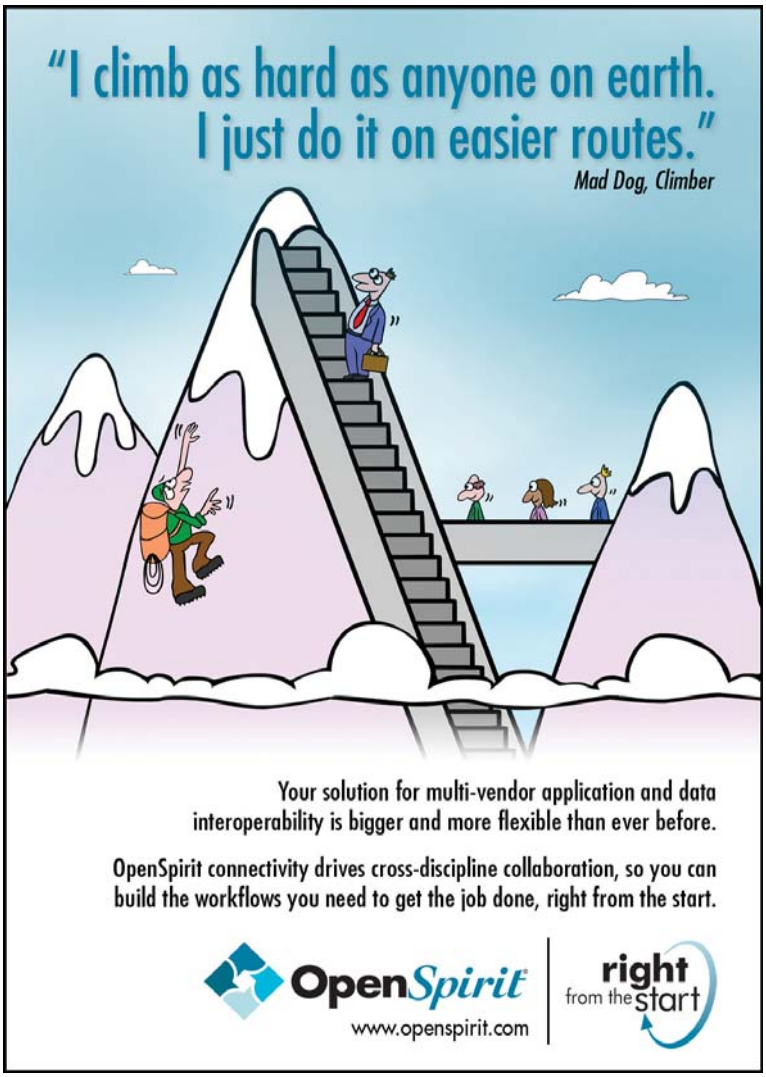
Cavalcante & Sabadia, 1992; Jackson & McCann, 1993). A contaminação pode atingir uma área muito grande, dependendo das características das camadas geológicas e das condições climáticas na área. Camadas arenosas (material de elevada permeabilidade), por exemplo, permitem uma maior e mais rápida migração da contaminação, enquanto camadas argilosas (material de baixa permeabilidade) podem restringir o seu avanço. Pluviosidade elevada também favorece uma maior dispersão de substâncias contaminantes.

Poluentes ainda podem ser lançados na atmosfera e nas redes de drenagem, percorrendo extensas áreas antes de contaminarem a água subterrânea.

Em algumas situações a contaminação pode ser gerada abaixo da superfície no estado gasoso e migrar através de fraturas nas rochas, acumulando-se em ambientes fechados.

Nos casos da contaminação da subsuperfície, a sua detecção requer a coleta e o exame dos materiais do subsolo. Nessas circunstâncias, a subsuperfície pode ser alcançada através de poços e de levantamentos geofísicos realizados na superfície do terreno. Os poços permitem um exame direto do material da subsuperfície, enquanto os levantamentos geofísicos permitem a sua visualização de modo indireto.

Os custos de amostragem sistemática da subsuperfície por meio de poços são normalmente muito mais altos do que os dos levantamentos geofísicos (podem chegar a uma proporção de 10:1), além de demandarem um tempo maior para a sua realização. Outra desvantagem dos poços é que eles passam a ser um caminho potencial para a introdução de contaminação na subsuperfície. Por outro lado, a grande vantagem dos poços é permitirem a observação direta da subsuperfície, ainda que restrita ao diâmetro da perfuração. A experiência tem demonstrado que muito bons resultados são obtidos com a construção de alguns poucos poços em locais indicados pelo levantamento geofísico.




## TIPOS DE CONTAMINAÇÃO

Os principais tipos de contaminação a que podem ser expostas as zonas urbanas são a contaminação devida ao petróleo e seus derivados, contaminação que provém de esgotos, fossas, lixões e cemitérios, contaminação por rejeitos industriais e por radioatividade. Em zonas costeiras há o perigo da contaminação dos lençóis de água subterrânea potável por água salgada. Nas zonas rurais, fertilizantes e agrotóxicos podem contaminar o lençol freático e a rede de drenagem. Há ainda a contaminação proveniente de atividade de mineração, que tanto pode ser urbana, como rural.

### Petróleo e seus Derivados

Este tipo de contaminação pode provir do armazenamento e transporte de petróleo e dos combustíveis dele derivados, bem como da queima de combustível por veículos automotores.

O transporte de combustíveis é realizado por via marítima, terrestre ou por meio de oleodutos e gasodutos. Acidentes com as embarcações ou com os veículos transportadores e vazamentos nos dutos podem causar danos imensos ao meio ambiente; e infelizmente esses acidentes não têm sido raros nos dias de hoje.

O armazenamento de combustíveis é feito em tanques instalados na superfície do terreno ou enterrados no subsolo. Esses tanques podem sofrer corrosão e vazar, principalmente quando desprovidos de proteção. Defeitos em válvulas, assim como o manuseio inadequado de equipamentos podem resultar também em derramamento de combustível no solo.

A queima de combustíveis libera metais pesados como chumbo, zinco, níquel e cádmio.

Os combustíveis derivados do petróleo podem contaminar os lençóis de água subterrânea, a drenagem da área, os mares e a atmosfera com compostos orgânicos e metais pesados (aditivos), todos de elevada toxidade para os seres vivos.

É comum nas cidades brasileiras o estabelecimento de feiras ao ar livre nas calçadas de ruas com tráfego intenso de veículos. Existe, portanto, uma probabilidade muito grande de que nessas feiras os produtos oferecidos (legumes, frutas, carne e peixe) estejam contaminados por metais pesados provenientes da queima dos combustíveis dos veículos que circulam às suas proximidades.

### Esgotos, Fossas, Lixo e Cemitérios

Os esgotos e as fossas são ricos em dejetos líquidos que podem conter compostos amoniacais, nitratos, coliformes fecais, bactérias patogênicas, protozoários, vermes e outros componentes prejudiciais aos seres vivos. Os esgotos, não raro, despejam seus dejetos nas redes de drenagem,

nas baías, nos lagos ou mares, sem nenhum tratamento. As fossas, em contato direto com o subsolo, constituem uma fonte de contaminação imediata para os aquíferos superficiais e que pode atingir os aquíferos mais profundos.

O lixo doméstico e hospitalar é muitas vezes depositado diretamente no solo, a céu aberto, em áreas denominadas de lixões. Esse material fica sujeito às intempéries e degrada por ação bacteriana produzindo um líquido denominado chorume (rico em produtos químicos e bactérias patogênicas), que pode infiltrar no subsolo e chegar aos lençóis de água subterrânea e à rede de drenagem.

Plásticos misturados ao lixo podem liberar um dos seus constituintes, o PCB (difenil policlorinatado) que é altamente tóxico, além de cancerígeno.

Cadáveres enterrados no subsolo decompõem-se pela ação bacteriana produzindo compostos inorgânicos ricos em nitratos, enquanto os adornos de urnas funerárias podem liberar metais para o subsolo. O perigo maior de contaminação ocorre quando o nível freático é muito raso, porque o resultado da decomposição cadavérica pode passar imediatamente para os aquíferos.

### Rejeitos Industriais

Os rejeitos industriais são constituídos basicamente de gases, ácidos, compostos orgânicos e metais tóxicos. Esses rejeitos podem ser depositados em tanques ou em lagoas de decantação, ser despejados diretamente no solo, em aterros industriais, em rios, lagos ou mares, podendo ainda ser injetados no subsolo por meio de poços profundos ou ser lançados na atmosfera.

### Radioatividade

A desintegração radioativa produz três emissões principais: partículas alfa, partículas beta e radiação gama. Essas emissões são perigosas por causarem câncer.

A radiação gama tem natureza eletromagnética (frequência superior a 1017 Hz) e é a emissão de menor poder ionizante. Entretanto, sua capacidade de penetração é bem maior do que a das outras emissões, podendo percorrer centenas de metros no ar, cerca de 30 a 50 cm no subsolo e alguns centímetros de chumbo.

Na natureza, as emissões alfa, beta e gama provêm principalmente do isótopo $^{40}K$ (potássio-40) e de isótopos pertencentes às famílias do $^{238}U$ (urânio-238) e $^{232}Th$ (tório-232). Dessas famílias, os filhos $^{222}Rn$ (radônio-222, filho do $^{238}U$) e $^{220}Rn$ (radônio-220, filho do $^{232}Th$) são importantes no estudo da contaminação porque, por ser um gás nobre, o radônio pode deslocar-se por longas distâncias através de fraturas nas rochas, atingir a superfície e irradiar ambientes fechados (casas e cavernas, por exemplo).

Os perigos da contaminação radioativa podem advir de vazamentos de usinas nucleares, de despejos de resíduos dessas instalações, de equipamentos que utilizam isótopos radioativos (fontes usadas em quimioterapia e para-raios, por exemplo) descartados em locais não apropriados, da construção de casas com rochas de elevada concentração de minerais radioativos ou da concentração de radônio em cavernas, túneis e minas subterrâneas.

A contaminação pode ainda provir do uso continuado de elevadas quantidades de fertilizantes à base de potássio e fósforo (NPK, por exemplo).

### Produtos Agrícolas

A maioria das plantações é pulverizada com uma série de agrotóxicos (herbicidas e pesticidas) e tem o seu solo tratado com fertilizantes, numa tentativa de exterminar ervas daninhas e, ainda, pragas e enriquecer o solo com nutrientes, visando uma maior produção.

O uso desses produtos sem controle adequado pode resultar na contaminação, tanto da rede de drenagem, como dos lençóis de água subterrânea por compostos altamente tóxicos, como DDT, nitratos e fosfatos.

### Atividades de Mineração

As atividades de mineração podem produzir contaminação na água subterrânea, na água superficial, na atmosfera e em animais que fazem parte da cadeia alimentar humana.

Elementos como chumbo e zinco, por exemplo, podem chegar aos aquíferos a partir da atividade de mineração desenvolvida em minas, quando não são tomados os cuidados devidos na construção e no manuseio de poços, túneis e sondagens.

O carvão mineral vem sendo uma das mais efetivas fontes de poluição dos aquíferos nas regiões de sua exploração. Seus rejeitos, quando ricos em pirita, podem contribuir para a produção de soluções ácidas.

A liberação de fibras de amianto para a atmosfera ou para os aquíferos e rede de drenagem é uma fonte de contaminação extremamente perigosa, pois essas fibras são cancerígenas.

O uso inadequado de mercúrio na extração de ouro em garimpos pode poluir a rede de drenagem e contaminar peixes e seres humanos.

O processo de cianetação (cianeto de potássio) empregado para tratar ouro e prata nas plantas de mineração pode liberar ácido cianídrico (o gás das câmaras da morte usado nas prisões) para a atmosfera, caso não haja um controle das condições de pH, de modo a mantê-lo extremamente básico.

### Água Salgada

Em zonas costeiras e em campos de petróleo existe a possibilidade da contaminação dos aquíferos de água doce por água salgada do mar ou por águas salinas profundas associadas à ocorrência dos lençóis de petróleo. O perigo reside na má construção ou nos vazamentos dos poços.

## CONTAMINAÇÃO E AS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DA SUBSUPERFÍCIE

As mais fortes mudanças que se observam nos materiais da subsuperfície com a introdução de poluentes no subsolo estão relacionadas com as suas características elétricas.

Como nos primeiros quilômetros de profundidade abaixo da superfície terrestre a condução da eletricidade é feita basicamente através dos fluidos presentes nos poros das rochas, a sua resistividade é diretamente afetada pelos poluentes. Enquanto a introdução de poluentes ácidos e salinos causa um decréscimo na resistividade elétrica (aumento na condutividade) das rochas, poluentes orgânicos podem causar tanto um aumento como uma diminuição da resistividade, dependendo do tempo de contaminação. Os combustíveis (poluentes orgânicos), por exemplo, elevam a resistividade do ambiente logo após a contaminação e, com o passar do tempo, ao reagirem com o meio e serem atacados por bactérias, podem produzir um decréscimo na resistividade (Sauck et al., 1998).

A injeção de poluentes pode também aumentar a concentração de íons nos fluidos que ocupam os po-

ros, produzindo um gradiente iônico que possibilita a geração espontânea de corrente elétrica. Ao serem injetados, os poluentes podem também criar gradientes de temperatura.

Os resíduos radioativos, quando despejados no subsolo, podem provocar aumentos significativos de temperatura, como resultado da desintegração dos seus isótopos. Por conseguinte, um aumento de temperatura pode expulsar a água presente nos poros das rochas, tornando-as mais fechadas e produzir mudanças nas suas propriedades elétricas e elásticas e na sua densidade.

Todas essas mudanças nas propriedades dos materiais da subsuperfície podem ser aproveitadas pela Geofísica para a detecção dos contaminantes.

## A GEOFÍSICA NO ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

O sucesso da Geofísica como ferramenta de detecção e/ou monitorização depende de vários fatores, dentre os quais se destaca o contraste entre as propriedades físicas do objeto que está sendo investigado e as do ambiente que o rodeia. Desse modo, um objeto com densidade superior a 5 g/cm$^3$, por exemplo, pode ter boas chances de ser detectado dentro do ambiente geológico, onde as rochas raramente apresentam valores de densidade superior a 3 g/cm$^3$. Embora o contraste de propriedade física seja muito importante, outro fator que deve ser destacado é a concentração do objeto dentro do volume de material amostrado durante as medidas geofísicas. Por esse motivo, apesar do ouro possuir densidade e condutividade elétrica elevadíssimas em relação às das rochas hospedeiras, as medidas geofísicas não permitem que se detecte diretamente esse mineral, porque sua concentração nas rochas geralmente é inferior a 50 ppm. A concentração controla, pois, o contraste de propriedades físicas. Quanto menor a concentração, menor será o contraste, independente do valor absoluto da propriedade física do objeto da investigação e quanto menor o contraste, mais difícil se tornará a detecção direta através de medidas geofísicas. Para que um contraste possa ser percebido pela Geofísica, a concentração não deve ser inferior a 1% (10000 ppm).

A Geofísica quando aplicada na resolução de problemas associados ao meio ambiente investiga uma profundidade que geralmente se estende até 50 m abaixo da superfície terrestre. Essa profundidade e o volume de material amostrado pelas medidas são inferiores aos investigados na maioria dos casos de prospecção de bens minerais e de petróleo. Isso é um ponto que favorece a Geofísica como ferramenta de investigação. Por outro lado, os contrastes entre as propriedades físicas são geralmente muito pequenos nas aplicações ao meio ambiente, requerendo, para que se tenha um bom desempenho, a utilização de equipamentos muito sensíveis e a aplicação de técnicas sofisticadas de coleta, processamento e interpretação dos dados obtidos durante as medidas.

A Geofísica pode ser empregada de modo direto para investigar a contaminação do ambiente geológico e indiretamente para auxiliar no mapeamento de camadas ou de estruturas geológicas. A maioria das aplicações diretas ocorre quando os contaminantes provocam modificações marcantes nas propriedades eletromagnéticas da subsuperfície. Outra aplicação direta relaciona-se à investigação da contaminação por isótopos radioativos.

Exemplos de aplicações da Geofísica à contaminação do meio ambiente são apresentados por Subbarao & Subbarao (1994); Gouvea et al. (1996); Benson et al. (1997); Sauck et al. (1998); Costa et al. (1999); Luiz et al. (1999); Aquino & Botelho (2001); Nunes & Luiz (2006); Almeida et al. (2007); Dias et al. (2007).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA FM, SOUZA DM & LUIZ JG. 2007. Contaminação por hidrocarbonetos em postos de serviços de Abaetetuba-PA: um estudo com georadar. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 4., Campinas. CD-ROM.

AQUINO WF & BOTELHO MAB. 2001. Método eletromagnético indutivo e GPR aplicados à detecção de contaminação do solo e água subterrânea por resíduos industriais. In: Congr. Intern. Soc. Bras. Geof., 7., Resumos Expandidos. Salvador: SBGf. CD-ROM.

ARAÚJO RAB. 1989. A problemática do controle e preservação ambiental dos mananciais de água para abastecimento. In: Congr. Bras. Eng. Sanitária e Ambiental, 15., Anais... Belém, v. 2, tomo 3, p. 511-536.

BALEK J. 1983. Hydrology and water resources in tropical regions. Amsterdam: Elsevier, 271 p.

BENSON AK, PAYNE KL & STUBBEN MA. 1997. Mapping groundwater contamination using dc resistivity and VLF geophysical methods – A case study. Geophysics, 62: 80-86.

CAVALCANTE IN & SABADIA JAB. 1992. Potencial hídrico subterrâneo: um bem mineral vital ameaçado pela poluição. Revista de Geologia, 5: 115-124.

COSTA AFU, AZAMBUJA E & NANNI AS. 1999. Métodos elétricos aplicados à detecção da contaminação do subsolo provocada por combustíveis: sete casos estudados no Rio Grande do Sul, Brasil. In: Cong. Intern. Soc. Bras. Geof., 6., Resumos Expandidos. Rio de Janeiro: SBGf. CD-ROM.

DIAS ERF, MEDEIROS ARC, LUIZ JG & NUNES ZMP. 2007. Aplicação do método eletromagnético na determinação da interface água doce-água salgada na Vila do Bonifácio, Bragança-PA. In: Cong. Intern. Soc. Bras. Geof., 10., Resumos Expandidos. Rio de Janeiro: SBGf. CD-ROM.

GOUVEA VA, SILVA LMC, BINNS DAC & MELO VP. 1996. Concentração de radônio-222 nos ambientes internos de residências do município de Monte Alegre-PA. In: Workshop de Geofísica Aplicada ao Meio Ambiente, 1., Resumos Expandidos. Belém: SBGf-Div. Reg. Norte, p. 22-25.

JACKSON PD & McCANN DM. 1993. Non destructive geophysical site investigation - an aid to the re-development of sites in urban areas with groundwater problems. In: Internat. Conference on Groundwater Problems in Urban Areas, Paper n. 7, Institution of Civil Engineers, London, 16 p.

LUIZ JG, MORALES GP, ALVES JGV & LOPES E. 1999. Apparent resistivity measurements in Complexo do Aurá landfill, Ananindeua-Pará-Brazil. In: Cong. Intern. Soc. Bras. Geof., 6., Resumos Expandidos. Rio de Janeiro: SBGf. CD-ROM.

NUNES LPM & LUIZ JG. 2006. Caracterização geoelétrica de área de curtume localizada no Distrito Industrial de Icoaraci, Belém-Pará. Revista Brasileira de Geofísica, 24: 467-481.

SAUCK WA, ATEKWANA EA & NASH MS. 1998. High conductivities associated with an LNAPL plume imaged by integrated geophysical techniques. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2: 203-212.

SUBBARAO C & SUBBARAO NV. 1994. Delineation of effluent contaminated zones by electrical surveys at two industrial sites in Visakhapatnam, India. Environm. Geology, 24: 281-286.

## 2010

**5º Simpósio Brasileiro de Geologia do Diamante – 5º SBGD**
6 a 12 de novembro de 2010 - Tibagi - PR
Informações: www.5sbgd.com.br

**IV Simpósio Brasileiro de Geofísica da SBGf – SimBGf**
14 a 17 de novembro de 2010 - Brasília - DF
Informações: http://simposio.sbgf.org.br

**2º Congresso de Mineração da Amazônia**
22 a 25 de novembro de 2010 - Belém - PA
Informações: www.exposibram.org.br

**V Congresso Nacional de Geomorfologia**
8 a 11 de dezembro de 2010 - Porto - Portugal
Informações: www.isep.ipp.pt/cng2010

## 2011

**Third Passive Seismic Workshop**
27 a 30 de março de 2011 - Atenas - Grécia
Informações: www.eage.org

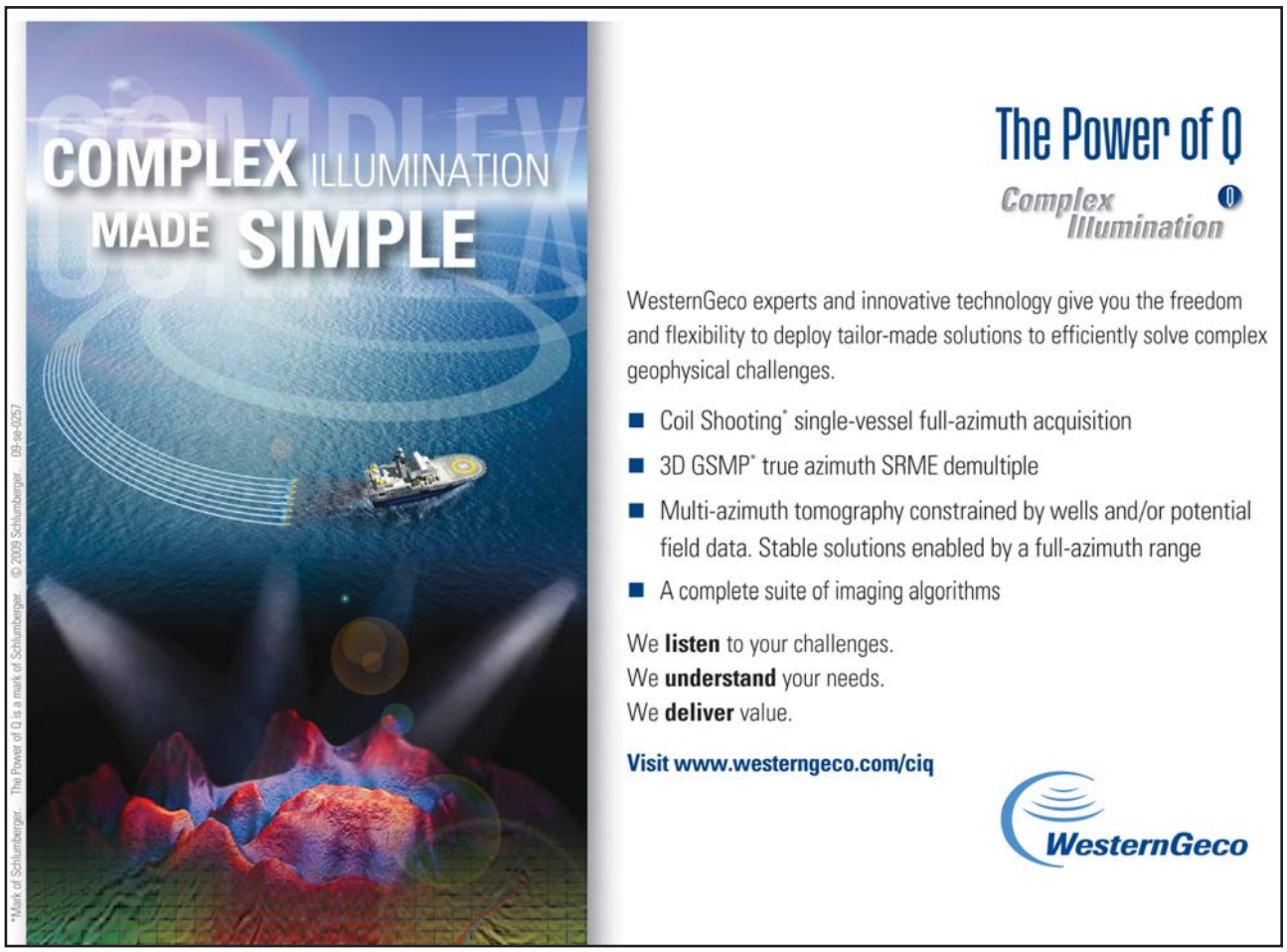
**IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra**
4 a 8 de abril de 2011 - Havana - Cuba
Informações: www.cubacienciasdelatierra.com

**AAPG 2011 Annual Convention & Exhibition**
10 a 13 de abril de 2011 - Texas - EUA
Informações: www.aapg.org/houston2011

**73rd EAGE Conference & Exhibition**
23 a 26 de maio de 2011 - Viena - Áustria
Informações: www.eage.org

**Brasil Offshore 2011**
14 a 17 de junho de 2011 - Macaé - RJ
Informações: www.brasiloffshore.com

**12º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica – CISBGf**
15 a 18 de agosto de 2011 - Rio de Janeiro - RJ
Informações: http://congress.sbgf.org.br

**81st SEG Annual Meeting**
18 a 23 de setembro de 2011 - Texas - EUA
Informações: www.seg.org

**OTC – Offshore Technology Conference**
4 a 6 de outubro de 2011 - Rio de Janeiro - RJ
Informações: www.otcnet.org