

# Sismologia de ponta

Dezenas de estações sismográficas de última geração serão distribuídas por todas as regiões do Brasil para o registro de tremores de terra. A iniciativa posiciona o país entre os cinco mais avançados do mundo em monitoramento sismográfico. Além do estudo da crosta terrestre, os equipamentos ajudarão a conhecer o risco sísmico do país e contribuirão para aumentar a segurança da população e de instalações industriais.



Simpósio movimenta Belém

III SimBGf, PÁG. 4

SBGf e SEG fortalecem parceria

INTERNACIONAL, PÁG. 5

## Informações de ponta

Dentre os diversos assuntos apresentados nesta edição do Boletim SBGf, a matéria de capa "Sismologia de ponta" é um exemplo de tema que desperta o interesse da academia, dos técnicos e da sociedade em geral, conforme verificado na grande mídia nos últimos meses em decorrência do mais recente sismo ocorrido em território brasileiro.

Outro assunto de grande relevância diz respeito ao III Simpósio Brasileiro de Geofísica recentemente realizado em Belém (PA) pela SBGf com o apoio da UFPA. Com grande júbilo, constata-se que a participação da comunidade geofísica tem crescido a cada novo simpósio e o de Belém, que se caracterizou pela excelência dos trabalhos técnicos e científicos, chegou a cerca de 300 inscritos – número 50% maior do que o de Natal (RN), realizado em 2006.

Este aumento demonstra o crescente prestígio do evento que já é o segundo em importância no calendário da Geofísica brasileira. Considerando que os Simpósios da SBGf estão se consolidando, a nossa perspectiva é que os eventos futuros recebam um público ainda maior.

Destaque deve ser dado aos estudantes de graduação de vários estados que apresentaram trabalhos e tiveram a estada em Belém custeada pelo próprio evento, um estímulo sem o qual vários não poderiam comparecer. A Diretoria da SBGf registra aqui o excelente trabalho da Profa. Ellen Gomes e do Prof. Cícero Régis, que tão bem organizaram nosso III Simpósio Brasileiro de Geofísica e agradece a todos os patrocinadores.

### CONFIRA NESTA EDIÇÃO:

#### 3 EVENTOS

- 11º CIBGf inicia reserva de estandes e submissão de trabalhos
- XI Escola de Verão de Geofísica do IAG/USP
- UFRN terá I Semana de Geofísica

#### 4 III SimBGf

Simpósio movimentado Belém

#### 5 INTERNACIONAL

- Um brasileiro na vice-presidência da SEG
- SBGf e SEG fortalecem parceria

#### 6 NOTAS

- III Semana de Geofísica da UFBA
- Sonar de Varredura Lateral na USP
- Aluna da UFPA ganha bolsa da SEG
- Minas Gerais faz novo levantamento aerogeofísico
- UFBA lança livro sobre Meio Ambiente

#### 8 MERCADO

Levantamentos de alta resolução  
Campanha terá "Undershooting"

#### 10 ESPECIAL Sismologia de ponta



Arquivo Prof. Joaquim M. Ferreira (UFRN)

Estação Sismográfica Riachuelo (RCBR)  
no Rio Grande do Norte

- Rede Sismográfica de Banda Larga
- A Sismologia brasileira nasceu em Brasília
- Pânico e fuga no Nordeste
- Projeto Borborema

#### 16 ARTIGO TÉCNICO

Recuperação do sinal hidrológico na bacia hidrográfica do Amazonas obtida pelos dados dos satélites GRACE, por Everton Pereira Bomfim e Eder Cassola Molina (IAG/USP)

#### 20 AGENDA 2009

#### DIRETORIA DA SBGf

Presidente

Edmundo Julio Jung Marques (OGX)

Vice-presidente

Jorge Dagoberto Hildenbrand (Fugro)

Diretora Geral

Ana Cristina Fernandes Chaves Sartori (Geosoft)

Diretor Financeiro

Neri João Boz (Petrobras)

Diretor de Relações Institucionais

Carlos Eiffel Arbex Belem (Ies Brazil Consultoria)

Diretora de Relações Acadêmicas

Marcia Ernesto (IAG/USP)

Diretor de Publicações

Jurandyr Schmidt (Schmidt & Associados)

Conselheiros

Eduardo Lopes de Faria (Petrobras)

Ellen de Nazaré Souza Gomes (UFPA)

José Agnelo Soares (UFCG)

José Humberto Andrade Sobral (INPE)

Patricia Pastana de Lugão (Strataimage)

Paulo Roberto Porto Siston (Petrobras)

Paulo Roberto Schroeder Johann (Petrobras)

Renato Lopes Silveira (ANP)

Ricardo Augusto Rosa Fernandes (Petrobras)

Sergio Luiz Fontes (Observatório Nacional)

Secretário Divisão Centro-Sul

Marcos Antônio Gallotti Guimarães (Geonunes)

Secretário Divisão Sul

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo (IPT)

Secretário Divisão Nordeste Meridional

Marco Antônio Pereira de Brito (Petrobras)

Secretário Divisão Nordeste Setentrional

Aderson Farias do Nascimento (UFRN)

Secretário Divisão Norte

Cícero Roberto Teixeira Régis (UFPA)

Editor-chefe da Revista Brasileira de Geofísica

Cleverson Guizan Silva (UFF)

Secretárias executivas

Ivete Berlice Dias

Luciene Camargo

Coordenadora de Eventos

Renata Vergasta

#### BOLETIM SBGf

Editora-chefe

Adriana Reis Xavier

Jornalista responsável

Fernando Zaider (MTb n. 15.402)

Projeto gráfico e Diagramação

Magic Art Comunicação

Tiragem: 2.500 exemplares

Distribuição restrita

O Boletim SBGf também está disponível no site [www.sbgf.org.br](http://www.sbgf.org.br)

Sociedade Brasileira de Geofísica – SBGf

Av. Rio Branco 156, sala 2.509

20040-003 – Centro

Rio de Janeiro – RJ

Tel/Fax: (55-21) 2533-0064

[sbgf@sbgf.org.br](mailto:sbgf@sbgf.org.br)

## EVENTOS

## XI ESCOLA DE VERÃO DE GEOFÍSICA 2009

Será realizada entre os dias 2 e 13 de fevereiro, em São Paulo, a XI Escola de Verão de Geofísica 2009. O evento oferecerá seis cursos de extensão universitária voltados para graduandos e pós-graduandos das áreas de Ciências Exatas e da Terra, que abordarão temas ligados à sismologia, sismoestratigrafia e representação espacial de dados. Entre os cursos estão: Introdução à Sismologia; Sismologia Instrumental; Sismologia e Internet; e Mecanismo Focal e Sismotectônica, que serão ministrados pelo Prof. Marcelo Assumpção (IAG/USP).

Além destes, o Prof. Mario Neto Cavalcanti de Araújo (Cenpes/Petrobras) ministrará o curso Interpretação Estrutural de Dobras e Falhas em Ambientes Compressivos e Distensivos, e o Prof. Mauricio de Souza Bologna (IAG/USP), um curso sobre GMT: Gráficos, Mapas e Análise de Dados.

Os cursos serão realizados no IAG/USP, na Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, São Paulo. Outras informações como datas, duração e custos podem ser obtidas no site do IAG: [www.iag.usp.br/geofisica/verao/verao.html](http://www.iag.usp.br/geofisica/verao/verao.html).



Arquivo IAG/USP

Aula de campo da X Escola de Verão realizada em janeiro de 2008.

## UFRN TERÁ I SEMANA DE GEOFÍSICA



Foto: Fernando Zañder

A I Semana de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) será realizada de 23 a 27 de março, no Centro de Ciências Exatas e da Terra, em Natal (RN). Na ocasião, entre outras atividades, será oferecido um curso de Processamento Sísmico GêBR, ministrado pelo Prof. Ricardo Biloti (Unicamp).

De acordo com o secretário da Divisão Nordeste Setentrional da SBGf, Prof. Aderson Farias do Nascimento (UFRN), vários convidados já confirmaram presença no evento, entre eles o gerente de Tecnologia Geofísica do Cenpes/Petrobras, Eduardo Lopes de Faria, e o Prof. Jordi Julià, sismólogo da Penn State University que fará uma palestra sobre estudos geotectônicos. Mais informações podem ser solicitadas pelo e-mail: [aderson@dfte.ufrn.br](mailto:aderson@dfte.ufrn.br).

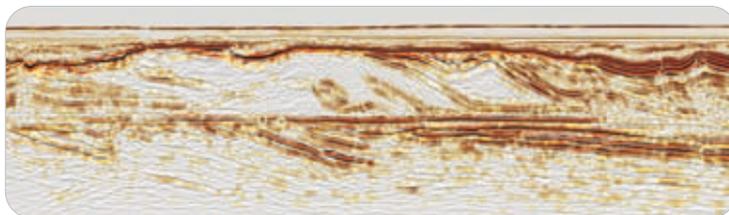
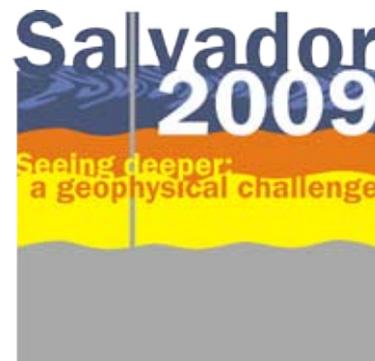
## 11º CISBGf & EXPOGEF SALVADOR 2009

### RESERVA DE ESTANDES E SUBMISSÃO DE TRABALHOS

Já está aberta a reserva de estandes para a EXPOGEF 2009 que será realizada em paralelo ao 11º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica (CISBGf), previsto para acontecer em Salvador (BA), entre 24 e 28 de agosto próximo.

A exposição ocupará uma área total de 1.250 m<sup>2</sup> no 3º piso do Centro de Convenções da Bahia. As empresas poderão participar do evento como patrocinadoras, o que já inclui a locação de um estande e a aquisição de cotas de patrocínio, ou somente como expositora, reservando um estande pelo site. O 11º CISBGf já conta com o patrocínio das principais empresas de serviço e de petróleo.

O Comitê Técnico informa que até o dia 15 de março de 2009 os autores de trabalhos técnicos poderão submeter seus resumos expandidos para o Congresso. As instruções para elaboração e envio de resumos, entre outras informações, estão disponíveis no site <http://salvador2009.sbgf.org.br>.



### 3D PSDM expands potential of Pre-salt plays in Brazil

CGGVeritas offers a unique 3D dataset in the Brazilian Santos Basin where there have been huge pre-salt discoveries recently. Our data library is being continuously updated with the latest CGGVeritas proprietary imaging technologies and currently more than 22,000 sq km of data are being processed to depth, providing an ever-improving sub-surface image.

#### DATA LIBRARY WITH A DIFFERENCE

##### Contacts:

Cosme Peruzzolo  
Tel: +55 21 2136 1650 - [cosme.peruzzolo@cggveritas.com](mailto:cosme.peruzzolo@cggveritas.com)  
Jean-Paul Baron  
Tel: +1 832 351 8676 - [jean-paul.baron@cggveritas.com](mailto:jean-paul.baron@cggveritas.com)

# Simpósio movimentada Belém

O espaço do auditório principal do Hotel Crowne Plaza tornou-se pequeno diante do público que assistiu a abertura do III Simpósio Brasileiro de Geofísica (SimBGf) realizado de 26 a 28 de novembro, em Belém (PA), pela Divisão Norte da SBGf, com o apoio da Universidade Federal do Pará (UFPA). Além do presidente da SBGf, Edmundo Marques, a solenidade contou com a presença do Prof. Cícero Régis (UFPA), secretário da Divisão Norte da SBGf, da Profa. Ellen Gomes (UFPA) do comitê organizador e do Prof. Roberto Dall'Agnol, representante do reitor da UFPA. Na ocasião, o Prof. João Batista Corrêa da Silva (UFPA) proferiu a palestra de abertura com o tema "Dinâmica da Ambigüidade".

Aproximadamente 300 pessoas, entre alunos, professores e profissionais, se inscreveram para participar do evento que contou com a presença maciça de estudantes não apenas do Pará, representados pela UFPA, mas também oriundos do Rio de Janeiro (UFF), Bahia (UFBA) e São Paulo (USP). O Instituto de Geociências da UFPA patrocinou a hospedagem de cerca de 30 universitários vindos de outros estados.

De acordo com a Profa. Ellen Gomes, a colaboração dos alunos da UFPA foi fundamental para o sucesso do encontro. "Após dez meses de planejamento demonstramos que é possível realizar eventos de grande porte em Belém", destacou Ellen.



Magda Chambriard

Além das sessões técnicas – Métodos Sísmicos, Métodos Elétricos e Eletromagnéticos, Métodos Gravimétricos e Magnéticos, Geofísica da Terra Sólida e Geofísica de Poço, o comitê acatou sugestões de alunos e professores e promoveu as concorridas sessões de Geofísica Rasa e Geofísica Marinha Aplicada. Além dessas sessões especiais, houve também uma de Modelagem Eletromagnética e outra em homenagem ao Prof. João Batista Corrêa da Silva (UFPA), que anunciou sua aposentadoria aos 62 anos de idade e 35 de carreira.

## PRESENCAS DE DESTAQUE -

O III SimBGf contou com a presença de personalidades de destaque no contexto da geofísica, como os diretores da ANP e da CPRM, Magda

Chambriard e Manoel Barretto, respectivamente, que abordaram aspectos exploratórios da região amazônica, apresentando opções de pesquisa e outras atividades de valor para a região.

Os pioneiros da Geofísica na Amazônia José Maria Bassalo (UFPA), Carlos Alberto Dias (Lenep/Uenf) e José Seixas Lourenço (UFPA), todos com mais de 70 anos, reuniram-se em sessão especial e, mais do que recordar velhos tempos, explanaram sobre projetos atuais e futuros. O reconhecimento da profissão de geofísico também foi tema de uma mesa-redonda que discutiu estratégias para o avanço do processo.

Os cursos pré-simpósio registraram alta procura. Segundo os organizadores, o número de inscrições cresceu até o último momento. Tema sugerido pela comunidade, a aula sobre o Método GPR, proferida pelo Prof. Jorge Porsani (IAG/USP), foi assistida por cerca de 70 alunos, a maior parte de graduação. O mesmo ocorreu com o curso Levantamentos Aerogeo-



Auditório lotado na solenidade de abertura.



Mesa de abertura durante a palestra do Prof. João Batista Corrêa da Silva.

físicos, ministrado pela Profa. Adalene Moreira Silva (UnB). Já o tema de Interferometria Sísmica, apresentado pelo Prof. Gerard Schuster (University of Utah) teve maior demanda entre os alunos de pós-graduação.

O Prof. Cícero Régis considerou o III SimBGf como um marco para a Sociedade, por sua abrangência, pelo grau de participação da comunidade científica e pelo esforço "enorme e inspirador" dos alunos que contribuíram com trabalho voluntário. "Houve uma participação entusiasmada dos estudantes brasileiros e, em igual medida, dos convidados estrangeiros de quem partiram elogios sobre vários aspectos do Simpósio", salientou Cícero.

No terceiro e último dia, o auditório voltou a lotar para a apresentação da palestra final, sobre a importância e os desafios do pré-sal, proferida pelo Prof. Cícero Paixão (UFBA), coroando de êxito o evento que a cada nova edição ganha mais importância no calendário da Geofísica brasileira. O IV SimBGf está previsto para ser realizado na UnB em Brasília, em 2010.



Pioneiros da Geofísica: José Seixas Lourenço, José Maria Bassalo e Carlos Alberto Dias.

## INTERNACIONAL

## Um brasileiro na vice-presidência da SEG

*A posse de Paulo Johann (Petrobras) como vice-presidente do Comitê Executivo da SEG (Society of Exploration Geophysicists), em 13 de novembro, durante o encontro anual da entidade, abre nova perspectiva para o Brasil. Com mandato de um ano, Johann pretende aproximar a SEG dos geofísicos brasileiros e fortalecer com a SBGf uma parceria que pode render frutos para as duas sociedades.*

*Com 33 mil membros em 130 países, 60% dos quais originados fora dos Estados Unidos, tornar-se uma entidade global virou prioridade para a SEG. Na América Latina são 1.975 geofísicos associados, dos quais 544 são do Brasil, o que o torna o décimo país no mundo em número de membros e, se o entusiasmo de Paulo Johann se disseminar por aqui, em 2009 a SEG deverá terminar com número expressivo de sócios brasileiros. Confira seus planos.*

**O que representa para um brasileiro ocupar a vice-presidência da SEG?** A oportunidade de representar a comunidade geofísica brasileira numa escala global.

**Quais áreas pretende focar?** Os membros do Comitê Executivo têm ligação com a governança da SEG, através de

comitês. Sete comitês se reportam a mim, entre eles o GAC (Global Affairs Committee), de assuntos internacionais; o comitê de Educação Continuada, responsável pelos programas de capacitação, como os Distinguished e Honorary Lecturers, que são cursos itinerantes; o comitê de Desenvolvimento e Produção, que atua na área de geofísica de reservatórios; o comitê de Novos Sócios; o comitê de Tradução, onde poderemos sugerir a tradução de publicações da SEG para o português. Sou também o canal da SEG com as companhias de serviços representadas pelo IAGC (International Association of Geophysical Contractors).

**Pretende trazer oportunidades para os geofísicos do Brasil?** Vamos expandir o patrocínio a estudantes, promover a criação de seções estudantis e incentivar que eles participem do Simpósio de Liderança patrocinado pela Chevron. Vamos divulgar mais o programa de bolsas da SEG. Já temos uma bolsista (a Isabela Coelho Lima, da UFPA), mas queremos mais.

**Como a SBGf pode se beneficiar com a sua presença no Comitê Executivo da SEG?** Vamos incentivar parcerias, promover reuniões dos comitês nos



Paulo Johann recebe do presidente da SEG, Fred Aminzadeh, placa pela participação no programa Honorary Lecturer realizado em 2008.

congressos no Brasil, realizar eventos acadêmicos e técnicos e, quem sabe, um congresso internacional SBGf-SEG. São idéias de grande potencial, mas precisam de aprovação da diretoria e do conselho da SBGf e da SEG.

**Que balanço o Sr. faz do programa "Honorary Lecturer" do qual participou?** Foi excelente para afirmar a nossa liderança na América Latina. Um brasileiro palestrando sobre tecnologia de ponta, como gerenciamento de reservatórios e sísmica 4D, demonstra que o Brasil lidera nessa área em escala global. Isso é o maior reconhecimento para os geofísicos brasileiros.

## SBGf e SEG fortalecem parceria

Em prosseguimento aos seus planos de internacionalização, a SEG manifestou a intenção de formar uma parceria com a SBGf, com foco na América Latina, nos moldes do acor-

do recente firmado com a Society of Petroleum Geophysicists (SPG) da Índia.

Vislumbrando as sinergias que surgirão, as respectivas diretorias se reuniram durante o Congresso Anual da SEG realizado em novembro, em Las Vegas (EUA). Na ocasião, o presidente da SBGf, Edmundo Marques, e o diretor financeiro, Neri Boz, fizeram uma apresentação, manifestando o interesse no acordo, principalmente nas áreas de treinamento e publicações.

"A SBGf é a única representante da geofísica brasileira e referência na América do Sul", afirmou Edmundo Mar-

ques, acrescentando que a Sociedade tem interesse na parceria com a SEG, sem perder a identidade própria e pretende incluir no contrato uma cláusula de não competitividade. A proposta será avaliada pelos membros da diretoria e do conselho.

Durante o Congresso da SEG, que atraiu mais de oito mil delegados e 292 expositores em quase 1.200 estandes, os diretores da SBGf reuniram-se com representantes e presidentes de outras sociedades de geofísica, para apresentar a estrutura da SBGf, promover a EXPOGEF 2009 e divulgar o 11º Congresso Internacional de Geofísica que serão realizados em Salvador (BA), em agosto próximo.



Luis Henrique Amaral, Eduardo Faria, Paulo Siston e Marco Brito (todos da Petrobras), no estande da SBGf, no "SEG Annual Meeting", em Las Vegas (EUA).

## NOTAS

**SBGf e UFBA REALIZAM A III SEMANA DE GEOFÍSICA**

O diretor de Relações Institucionais da SBGf, Carlos Eiffel Arbex Belem, proferiu a palestra de abertura da III Semana de Geofísica da Universidade Federal da Bahia (UFBA) realizada de 21 a 24 de outubro no Instituto de Geociências da UFBA, em Salvador (BA). O evento promovido pelo Diretório Acadêmico de Geofísica da UFBA e pela Divisão Nordeste Meridional da SBGf teve como tema: "Planeta Terra: Os mistérios da subsuperfície".

O encontro mobilizou estudantes de graduação e pós em Geofísica. Foram realizadas 15 palestras no turno vespertino e dois minicursos matutinos. Durante o minicurso "Processamento Sísmico (Promax)", ministrado por Manoel Gontijo dos Santos (Petrobras), os 16 alunos inscritos processaram uma linha sísmica marítima e discutiram as principais etapas do fluxo. Por sua vez, no minicurso "GPR: Teoria e Prática", o Prof. Marco Antonio Botelho (UFBA) apresentou os novos sistemas de radar que empregam multi-freqüências, considerados os mais indicados para detecção de interferências. O grupo participou de um trabalho de campo na Lagoa do Abaeté (foto) com antenas monofreqüências clássicas para detecção do lençol freático e estruturas sedimentares.



SBGf e UFBA realizam a III Semana de Geofísica.

**ALUNA DA UFPA GANHA BOLSA DA SEG**

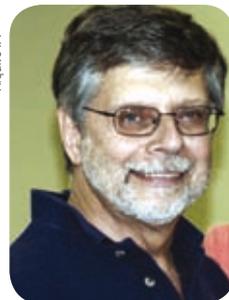
A estudante Isabela Coelho Lima, da Universidade Federal do Pará (UFPA), foi a primeira aluna brasileira de graduação em Geofísica a ganhar uma bolsa de estudos da SEG (Society of Exploration Geophysicists). "Essa bolsa representa um grande estímulo para mim e para todos os estudantes, em especial aos da UFPA, que se dedicam ao desenvolvimento da Geofísica", afirmou Isabela, que está no segundo ano e é a aluna com maior desempenho acadêmico no curso. Além disso, Isabela preside a "UFPA Geophysical Society", Seção Estudantil da SEG na referida universidade.



Isabela: "A bolsa é um grande estímulo".

**SONAR DE VARREDURA LATERAL NA USP**

A Divisão Sul da SBGf, o IPT e o IAG/USP promoveram, em novembro, no auditório do IAG/USP a palestra "Fundamentos e Aplicações do Sonar de Varredura Lateral", método geofísico utilizado na investigação detalhada de superfícies submersas. O palestrante Dr. Garry Kozak (Klein Associates, EUA) destacou as aplicações em projetos de mapeamento geológico de superfícies submersas rasas, monitoramento de dutos, hidrovias, portos, pesquisa mineral, arqueologia subaquática e operações de busca e salvamento, como embarcações naufragadas.

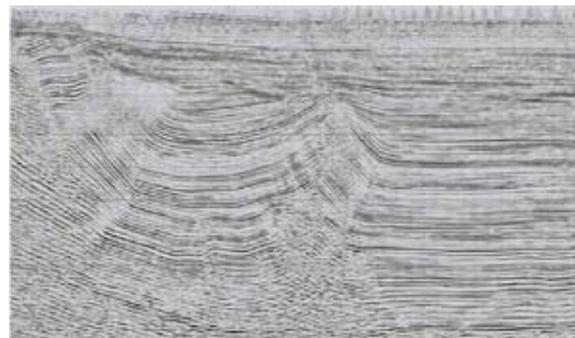


Dr. Garry Kozak  
(Klein Associates, EUA)

Kozak veio ao Brasil treinar a equipe do IPT, que recentemente adquiriu um sonar de última geração, que será empregado em um estudo no rio Araguaia (TO). A palestra contou com a presença de estudantes e professores de geofísica, geologia e oceanografia, além de profissionais de empresas atuantes neste campo de investigação.

**SÍSMICA DE ALTA TECNOLOGIA**

**A tecnologia HD3D oferece benefícios que vão além da melhor imagem possível. Conceitos de design inovadores e grande capacidade de canais permitem uma aquisição e um processamento sintonizado, para qualquer que sejam os seus desafios exploratórios.**



Alguns dos benefícios que o HD3D oferece são:

- Uma densidade de traços significativamente maior que o padrão da indústria
- Uma maior resolução e maior razão sinal/ruído com a aplicação de células menores e maior cobertura
- Soluções de "Wide Azimuth" para imageamentos complexos ou ambientes ruidosos através de designs inovadores e alta densidade de canais
- Análises de atributos avançadas e efetivas através de técnicas apropriadas de design
- Um conjunto de dados prontos para análise em 4D

A Clearer Image  
www.pgs.com



### MINAS GERAIS FAZ NOVO LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO

A Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig) iniciou em dezembro de 2008 novo programa de levantamento aerogeofísico em três áreas do estado. Com a iniciativa, mais de 50% do território mineiro terá informações de alta tecnologia neste segmento. Em paralelo, está sendo realizado o mapeamento geológico em nove folhas na escala 1:100.000 na Bacia do São Francisco em Minas.

Os estudos servirão de base para que as empresas interessadas em investir em Minas Gerais possam identificar locais de maior potencial para a exploração mineral. Além de fornecer subsídios à prospecção mineral, o programa possibilita o aumento das chances de descoberta de novas jazidas minerais, com redução dos custos de pesquisa e minimização de risco de investimentos.

Duas empresas ganharam a licitação e são responsáveis pelas operações: Fugro-Lasa e Prospectors. Os levantamentos aerogeofísicos serão feitos com os métodos magnometria e gamaespectrometria. O projeto está sendo desenvolvido em conjunto pelos governos estadual e federal. Serão investidos recursos da ordem de R\$ 10 milhões pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais e pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O mapeamento será executado pela Universidade Federal de Minas Gerais e financiado com recursos constituídos a partir da venda de dados das áreas em estudo para as empresas de mineração.

### UFBA LANÇA LIVRO SOBRE MEIO AMBIENTE

“Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: Aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos”. Este é o título do livro lançado pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), através do Instituto de Geociências, e da Rede Cooperativa em Recuperação de Áreas Contaminadas por Atividades Petrolíferas (Recupetro), e mais particularmente pelo grupo de pesquisadores do Projeto Cooperativo PROAMB (Protocolos de Avaliação e Recuperação de Ambientes Impactados por Atividades Petrolíferas).

Segundo os organizadores da publicação, os professores Antônio Fernando de Souza Queiroz e Joil José Celino, ambos do IGEO/UFBA, a crescente preocupação com o meio ambiente é o foco central da obra, que foi concebida a partir de uma década de experiências desenvolvidas na Baía de Todos os Santos. A iniciativa tem apoio da FINEP/CNPq e da Petrobras e faz parte da Rede N-NE de Pesquisa CT-Petro. O trabalho é assinado por 41 autores e está dividido em 15 capítulos distribuídos em quatro seções: Ecossistemas Costeiros e Estuarinos; As Redes Cooperativas de Meio Ambiente; Investigação do Substrato e do Contaminante; e Diversidade Biológica.



## Líder Mundial na Fabricação de Equipamentos Magnetotélúricos

# PHOENIX GEOPHYSICS

- Equipamentos especializados e multifuncionais desenvolvidos para técnicas geofísicas eletromagnéticas (EM), com sincronização GPS em todos os instrumentos.
- Receptores, transmissores, sensores, sistemas de monitoramento e acessórios.

**Aplicações dos Equipamentos:**

- Exploração de petróleo e gás
- Exploração de metais básicos e preciosos
- Exploração de diamantes
- Exploração da água subterrânea
- Exploração geotérmica
- Estudos da crosta terrestre profunda
- Monitoramento de reservatórios
- Previsão de terremotos
- Estudos ambientais e de engenharia

Toronto

**PHOENIX GEOPHYSICS INSTRUMENTOS** são fortes, de custo razoável, confiáveis, leves, com bom desempenho em todos os terrenos e climas, usados em mais de 80 países ao redor do mundo na exploração e na pesquisa.

<p><b>Transmissores Multifuncionais</b></p> <p>T-4      Bateria      T-3      TXU-30</p>	<p><b>Receptores Multifuncionais</b></p> <p>V8, RXU      MTU      MTU-2E, MTU-5, MTU-5A</p>	<p><b>Sensores</b></p> <p>MTC-50 MT      MTC-30 AMT</p> <p>Eletrodos não polarizáveis</p>
--	---	---

Sistemas completos para investigação científica, exploração e pesquisa.

# Levantamentos de alta resolução

A Petrobras está em fase de contratação de serviços técnicos especializados em levantamento de dados sísmicos tridimensionais (3D/4D) marítimos de alta resolução nas técnicas de cabos *streamers* e de cabos de fundo (Ocean Bottom Cable - OBC). As campanhas totalizando 17 mil km<sup>2</sup> nas Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo serão fruto de três processos licitatórios na modalidade exclusiva, com prazo contratual de 730 dias cada um, que foram divididos conforme as condições de navegabilidade das áreas a serem levantadas: áreas não obstruídas, áreas obstruídas e áreas densamente obstruídas.

A licitação para levantamentos nas áreas não obstruídas foi vencida pela PGS e abrangerá cerca de 7 mil km<sup>2</sup> nas Bacias de Campos e Santos. A campanha de aquisição de dados sísmicos foi iniciada em outubro pelo navio **Ramform Sovereign**. Para o registro das áreas obstruídas a vencedora foi a WesternGeco que fará monitoramento sísmico e caracterização de reservatórios em cerca de 9 mil km<sup>2</sup> de área nas Bacias de Campos e Espírito Santo (ver página ao lado).

A empresa RXT, por sua vez, foi contratada para as áreas densamente obstruídas. Está prevista a aquisição de cerca de 1,1 mil km<sup>2</sup> de dados de alta resolução na Bacia de Campos, utilizando OBC. Esta tecnologia se caracteriza pelo uso de geofones especiais multicomponentes, colocados no assoalho marinho, com o objetivo de melhorar a resolução sísmica. A solução também pode ser utilizada para cobrir áreas onde existem plataformas ou outras obstruções que não podem ser levantadas com o método tradicional.

Para o gerente de Aquisição Marítima da Geofísica Aplicada à Exploração da Petrobras, Neri Boz, a diferença entre os levantamentos contratados e a sísmica convencional está na densidade de informações obtidas, objetivando um imageamento de alta resolução dos reservatórios pesquisados. "Dentre as vantagens para utilização destas tecnologias estão a amostragem espacial e a resolução temporal superior aos dados convencionais, além de uma melhor atenuação de ruídos; e ainda a possibilidade de aquisição futura de monitoramento, permitindo maior confiança na interpretação 4D", destacou Neri.



PGS Ramform Sovereign de passagem pela Baía de Guanabara (RJ).

Foto: Arquivo Petróleo Geo-Services

**Simulate it all seamlessly from surface to subsurface.**

Landmark Nexus™ software.  
The world's fastest reservoir simulator.

A major advance in reservoir simulation, Landmark Nexus™ software enables fully implicit, fully coupled surface-to-subsurface simulation for a comprehensive look at your asset. With Nexus technology, simulate everything from small fields to complex assets with multiple reservoirs and varying fluids at unprecedented speed. Now, your reservoir planning has been made incredibly fast and easy.

To learn more about Landmark Nexus software, visit us at [www.lgc.com](http://www.lgc.com).

Deeper knowledge. Broader understanding.™

**Landmark**  
HALLIBURTON

© 2008 Landmark Graphics Corporation. All rights reserved.

# Campanha terá "Undershooting"

Vencedora de parte da licitação da Petrobras (ver página ao lado), a WesternGeco planeja iniciar a partir de abril de 2009 a campanha de aquisição sísmica 3D/4D que cobrirá áreas de campos marítimos de petróleo e gás com grande quantidade de obstruções (plataformas, sondas de perfuração, bóias, etc.), como Marlim, Barracuda-Caratinga e Albacora, na Bacia de Campos, e os campos de Golfinho, Peroá e Congoá, entre outros, no Espírito Santo. O início das operações depende da obtenção das licenças ambientais por parte da Petrobras.

Segundo Mario Kieling, gerente de Marketing e Vendas de Aquisição Sísmica da empresa, a principal característica destes levantamentos, além de ser de alta resolução, é a necessidade de executar operações denominadas "undershooting". Nesta técnica, o navio sísmico, rebocando os cabos de registro, navega por um lado das obstruções enquanto um navio auxiliar, contendo apenas o sistema de

fonte, navega pelo outro lado e emite os sinais que são registrados pelo navio principal, com o objetivo de mapear a geologia sob aquela obstrução.

"Esta operação exige grandes cuidados de segurança, sem falar nas altas exigências técnicas dos projetos que visam, em última análise, a aumentar a produção daqueles campos", complementou Kieling, acrescentando que para executar os projetos a empresa trará dois navios sísmicos que detêm a tecnologia própria Q-Marine, o **Western Monarch** e o **Western Neptune**, além de mais dois navios-fonte auxiliares.

A tecnologia Q-Marine é baseada na utilização de sensores individuais e na dirigibilidade completa dos cabos e da fonte sísmica, capacidades que, segundo o gerente da empresa, permitem um alto grau de fidelidade e repetibilidade dos levantamentos 4D, além da melhoria da segurança das operações em áreas obstruídas.



À esquerda: dois ângulos do Western Monarch; à direita: o Western Neptune, e uma vista interna de seu Gun Deck. A chegada ao Brasil está prevista para abril.

Arquivo WesternGeco / Schlumberger

## Soluções em geofísica

### Processamento sísmico

- ▷ Terrestre e marítimo
- ▷ 2D/3D (migração em tempo e profundidade)

### Suporte à aquisição de dados sísmicos

- ▷ Parametrização
- ▷ Inspeção
- ▷ Controle de qualidade

### Geofísica rasa

- ▷ Eletrorresistividade e GPR
- ▷ Aquisição, processamento e interpretação



**Natal**  
Rua Seridó, 479, sala 100/200  
Natal, RN CEP: 59020-010  
Tel: +55 84 3221 4043/3201 3858

**Rio de Janeiro**  
Av. Nilo Peçanha, 50, sala 1617 (Ed. Paoli)  
Rio de Janeiro, RJ CEP: 20020-906  
Tel: +55 21 2262 9651



# Sismologia de ponta

Apesar do nível de sismicidade do Brasil ser relativamente baixo, em termos mundiais, sismos de magnitudes médias a fortes podem ocorrer ocasionalmente no país provocando danos. Nenhuma região do mundo está completamente livre de tremores de terra e sismos intraplacas importantes podem acontecer em qualquer lugar. Sismos de magnitude 5.0, que podem provocar rachaduras e colapso de paredes na área epicentral, ocorrem no Brasil, em média, uma vez a cada cinco anos. Sismos menores também podem causar danos se ocorrerem próximos a residências e tiverem profundidade focal rasa.

O maior sismo já registrado no Brasil ocorreu no norte de Mato Grosso em 1955 com magnitude 6.2. Na época a região ainda não era povoada. Um sismo desta magnitude pode provocar sérios danos em construções, se ocorrer em área habitada. A intensa ocupação do interior do Brasil e o aumento da população podem fazer com que o próximo sismo de magnitude 6.0 no país tenha um impacto bem maior. Há sugestões da comunidade sismológica do Brasil para estudos e implantação de um código de construção civil que leve em conta o risco sísmico. Os poucos estudos de risco sísmico feitos no Brasil mostram a necessidade de mais dados para melhor definir zonas sismogênicas mais detalhadas.

De acordo com os pesquisadores **Marcelo Assumpção** (IAG/USP) e Jesus Berrocal (Berrocal Vasconcelos), existem quatro áreas de maior atividade sísmica no Brasil: a região de Porto dos Gaúchos (Bacia dos Parecis), onde ocorreu o maior sismo até hoje no Brasil; a borda da Bacia Potiguar, com magnitudes atingindo 5.2; a margem continental do Sudeste, ao longo do talude continental, onde ocorreu, ao sul de São Vicente, em abril deste ano, um sismo com magnitude 5.2. Foi também próximo à plataforma continental do Sudeste, na cadeia Vitória-Trindade, que ocorreu o segundo maior sismo brasileiro, em 1955 com magnitude 6.1. Outra região sismogênica importante é a faixa sísmica Goiás-Tocantins, na porção central do Brasil, nos estados de Goiás, Mato Grosso, até o Mato Grosso do Sul e a área do Pantanal.

Além destas quatro áreas principais, várias outras registram tremores de menor magnitude. Segundo o Prof. Marcelo Assumpção, as razões para a distribuição da sismicidade no Brasil ainda não são bem compreendidas. "As dificuldades de se explicar a sismicidade intraplaca são notórias no mundo todo, e especialmente no Brasil onde as estruturas profundas são quase completamente desconhecidas. Não se pode entender a sismicidade intraplaca sem um bom conhecimento dos esforços crustais responsáveis, em última análise, pela geração dos sismos. Muito pouco se conhece no Brasil sobre o tema. É preciso avançar para melhorar esse conhecimento", afirmou Assumpção, acrescentando que alguns estudos foram iniciados.

A maioria dos sismos que ocorrem no Brasil com magnitudes entre 3.5 e 4.5 não é registrada por um número suficiente de estações para permitir o estudo de mecanismo de falhamento. Por essa razão, o país conta com poucos dados de esforços crustais, o que dificulta estudos de Neotectônica e risco sísmico.

Não é possível estabelecer zoneamentos sísmicos sem uma análise conjunta de dados de geologia, de estrutura profunda e do campo de tensões sismogênicas. Por isso é óbvia a necessidade de estudos mais detalhados da sismicidade do Brasil, visando melhorar as estimativas de risco sísmico para obras de engenharia de grande porte como instalações nucleares, barragens hidrelétricas, dutos de petróleo e gás. Outro objetivo importante seria estabelecer um sistema automático de detecção de epicentros e determinação de magnitudes para informar em tempo real a população e as autoridades, principalmente, no caso de sismos fortes sentidos pela população. É consenso entre a comunidade de sismólogos que para a realização destes estudos essenciais ao país é necessário implantar uma rede de estações sismográficas permanentes cobrindo todo o território nacional.

## REDE SISMOGRÁFICA DE BANDA LARGA

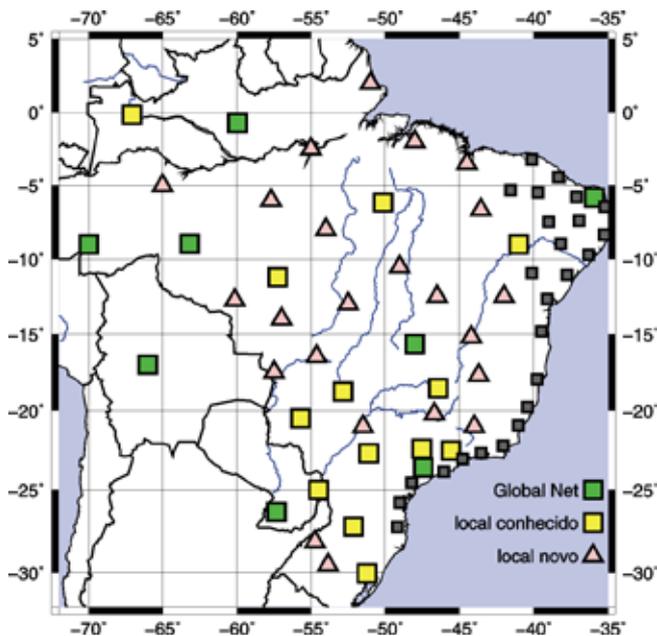
O Brasil passará a contar a partir do próximo ano com uma rede sismográfica de última geração, totalizando cerca de 60 estações de banda larga (BB) que serão distribuídas por todo o país. Financiado com recursos das Participações Especiais, pagas por operadores de campos de alta produção de petróleo, o projeto faz parte da Rede Temática de Geotectônica da Petrobras, integrada por 14 universidades brasileiras.

A iniciativa tem como objetivos científicos monitorar a atividade sísmica do Brasil com a localização de epicentros e a determinação de magnitudes dos abalos sísmicos em tempo real. Além disso, a rede possibilitará a emissão de alertas e boletins para esclarecimento da população, com fornecimento de dados iniciais às autoridades, Defesa Civil e imprensa. A fim de incentivar a pesquisa científica e o maior conhecimento da sismicidade do Brasil, do nível de risco sísmico e da estrutura da crosta e do manto superior, qualquer pesquisador brasileiro terá acesso livre aos dados de forma de onda (sismogramas) em tempo real.

O projeto foi dividido em três grandes redes que atuarão



Foto: Arquivo pessoal



Estações propostas para a Rede Sismográfica Integrada do Brasil (BRASIS): quadrados amarelos e triângulos rosas. Os quadrados cinzas são as estações em implantação nas redes do Litoral Sudeste e do Nordeste. Quadrados verdes representam as estações permanentes da rede mundial operadas pelo USGS, IRIS e Geoscope, em colaboração com a UnB, UFRN e USP (no Brasil). Os quadrados amarelos são locais de estações já operadas no passado ou em operação atualmente, mas ainda não integradas efetivamente a uma rede nacional. As estações da Amazônia serão implantadas pela UnB e integradas à BRASIS (Fonte: IAG/USP).

de forma integrada. A Rede Sismográfica do Sul e Sudeste do Brasil – RSIS, centralizada pelo Observatório Nacional, terá 13 estações, entre o Espírito Santo e Santa Catarina; a Rede Sismográfica do Nordeste do Brasil – RSISNE, coordenada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, por sua vez, terá 15 unidades instaladas do sul da Bahia ao Piauí. O restante ficará localizado em 12 estados do interior do país, do Rio Grande do Sul a Roraima, fazendo parte da Rede Sismográfica Integrada do Brasil – BRASIS, gerenciada pelo IAG/USP e com a participação da UnB.

Por meio de estações instaladas pelo Observatório Sismológico (SIS) na região Norte (Amazônia e Tocantins), a Universidade de Brasília participará dos estudos de sismicidade do território nacional. As estações serão padronizadas, com transmissão de dados via satélite. Os dados de todas as redes serão centralizados em um servidor localizado no Observatório Nacional (ON), no Rio de Janeiro. Segundo **Sérgio Luiz Fontes**, diretor do ON e coordenador da RSIS, a Rede Sul-Sudeste será a mais completa, não se limitando apenas à sismografia. Em todos

os pontos haverá também uma estação de GPS para medir os movimentos laterais e verticais da crosta terrestre e acompanhar com precisão a movimentação e deformação da placa Sul-Americana. Em algumas estações, também serão instalados magnetômetros para medir as variações do campo magnético terrestre e gravímetros dinâmicos

para comparar as marés provocadas pela interação Terra-Sol-Lua.

“Estamos buscando montar estações geofísicas completas a fim de obter o máximo de informação num ponto só, para viabilizar vários tipos de pesquisa, combinando dados geofísicos de diversas naturezas de modo a formarmos uma imagem mais verdadeira do planeta”, informou Fontes.

Para o coordenador do Laboratório Sismológico da UFRN, Joaquim Mendes Ferreira, a implantação da RSISNE representará um salto significativo no conhecimento da atividade sísmica no Nordeste. “Numa segunda fase, esperamos completar a rede de forma a incluir o interior da Bahia, o Maranhão e o restante do Piauí, a fim de possibilitar uma melhor avaliação do risco sísmico, bem como saber quais áreas estão sendo afetadas por atividades sísmicas, permitindo o planejamento de campanhas nessas regiões”, salientou Joaquim.

Para o geólogo **Edison Milani** (Petrobras), gerente da Rede Temática de Geotectônica, equipar as universidades é ajudar a construir o futuro do país. “Essa infra-estrutura elevará o patamar de conhecimento do Brasil e os dados coletados permitirão a elaboração de teses e dissertações, além de estudos regionais e interpretações geotectônicas. Estamos participando de um processo altamente construtivo, que, sem dúvida, do ponto de vista científico nos trará frutos no longo prazo”, prevê Milani.



Foto: Fernando Zailer

**SISMÓGRAFOS SUBMARINOS** Milani informa ainda que a rede permitirá também o monitoramento do fundo oceânico para que os setores de Engenharia e Geotecnia da Petrobras possam avaliar os riscos sismológicos e planejar o traçado de dutos e o posicionamento de equipamentos submarinos de produção em locais mais seguros. Seis sismógrafos serão instalados em pontos do fundo da Bacia de Santos. Posteriormente a rede será estendida para as ilhas oceânicas de Trindade, São Pedro e São Paulo, Fernando de Noronha e Abrolhos.

Segundo Marcelo Assumpção (IAG/USP), coordenador da Rede Sismográfica Integrada do Brasil (BRASIS), as estações sismográficas vão gerar uma enorme quantidade de dados para pesquisa, o que exigirá treinamento e atualização de estudantes e professores para aumentar a eficiência de utilização destes dados e para originar rapidamente novos conhecimentos sobre a sismicidade e a estrutura crustal no Brasil.



Da esquerda para a direita o técnico em sismologia Eduardo Menezes (UFRN), o sismólogo Aderson Nascimento (UFRN) e o geólogo e técnico em eletrônica Emanuele Francesco La Terra (ON) realizam a instalação provisória dos equipamentos da futura estação de Vassouras (RJ), da Rede Sismográfica do Sul e Sudeste.

Foto: Arquivo Observatório Nacional

“Cursos de treinamento em novas técnicas de análise sísmológica serão muito úteis para auxiliar estudantes de pós-graduação e para atualização de pesquisadores e professores”, observou Assumpção. Segundo ele, o IAG promoveu um curso sobre Função do Receptor e Estrutura da Crosta, ministrado pelo Dr. Jordi Julià (Penn State University) em 2007 e os programas utilizados neste curso são agora usados rotineiramente em várias universidades. Para a Escola de Verão de Geofísica do IAG de 2009 está previsto um curso de extensão sobre Sismotectônica e Mecanismos Focais, visando estudantes de iniciação científica e de pós-graduação em Sismologia.

### MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO A SISMOLOGIA BRASILEIRA NASCEU EM BRASÍLIA

Há alguns anos atrás, se pensava que no Brasil não havia terremotos. Até que na década de 1960, a UNESCO recomendou que se instalasse na América do Sul um arranjo sísmográfico de alta sensibilidade, objetivando monitorar principalmente os terremotos da região andina. Para dar seguimento ao projeto, uniram-se o Instituto de Ciências Geológicas de Edimburgo e o Centro Regional de Sismologia para América del Sur (CERESIS) e se decidiu pela

instalação de um arranjo sísmográfico em Brasília, através de uma expedição científica britânica liderada por **Jesus Berrocal**, pesquisador peruano que preparava sua tese de doutorado e mais tarde se radicaria no Brasil, no IAG/USP, onde deu enorme impulso ao desenvolvimento da sismologia no Brasil e posteriormente aos estudos geotectônicos de caráter regional.

Na época, essa expedição contava com a colaboração do CNPq, que complementou verbas e facilitou a importação dos equipamentos; do Governo do Distrito Federal, que concedeu autorização para a instalação dos instrumentos; e da Universidade de Brasília. Esta última apoiou o projeto de forma decisiva, criando um núcleo de sismologia (Estação Sismológica) para dirigir o sistema, denominado SAAS (South American Array System), composto por 24 estações telemétricas distribuídas na área do Parque Nacional de Brasília.

“Não havia interesse nos sismos do Brasil, mas as estações registraram tremores regionais nas áreas de Goiás e Tocantins e até no litoral do Rio de Janeiro”, salientou Berrocal, acrescentando que a partir daí a atenção sobre o tema cresceu. Algum tempo depois começaram as inquietações com o programa nuclear brasileiro e a construção da Usina Angra I. A Agência Internacional de Energia Atômica não permitia uma instalação nuclear sem um plano de segurança. Companhias americanas, que vieram fazer estudos de risco sísmico no Brasil, queriam saber onde ocorriam sismos.

De acordo com **George Sand**, coordenador do Observatório Sismológico (SIS), que faz parte do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB), na década seguinte, outros sistemas mundiais foram integrados à Estação Sismológica,



Torre 1 do Observatório Sismológico da UnB.

como o WWSSN (World Wide Standardized Seismograph Network) e o IDA (International Deployment of Accelerometers).

“Em 1975 iniciaram-se os convênios da UnB com empresas energéticas e, com isso, a implantação de estações sísmográficas nas proximidades de barragens em diferentes regiões do país”, informou George, acrescentando que nos anos 1980, foram instalados novos instrumentos sísmográficos em Brasília, ampliou-se o número de estações sísmográficas no país e foi criado o **Observatório Sismológico (SIS)** da UnB.

**ESTUDOS DA CROSTA** Na década de 1990, outros progressos foram observados: implantação do Sistema GTSN (Global Telemetered Seismograph Network), manutenção de vários convênios de prestação de serviços, ampliação das áreas de assessoramento técnico-científico e administração de diversos projetos de pesquisa financiados por órgãos externos ou pelo próprio SIS. Hoje o Observatório está consolidado e tornou-se um órgão de referência nacional no campo da sismologia.

Já integrado ao IAG/USP, Berrocal iniciou um projeto de estudo geotectônico na província de Tocantins. Várias linhas de sísmógrafos foram implantadas para levantamento de refração sísmica profunda que permitiram estudar a estrutura profunda da crosta. Com as ondas sísmicas vindas de outros pontos do planeta, foi possível estudar a estrutura geológica da litosfera. “A criação da Rede Temática de Geotectônica da Petrobras foi uma consequência dos excelentes resultados obtidos no Projeto Tocantins”, afirmou Berrocal. Nesse movimento nasceu também o Boletim Sísmico Brasileiro, atualizado a cada ano e que reúne registros de eventos no Brasil desde 1570. Atualmente, vários grupos de Sismologia no Brasil (USP, UnB, UFRN, IPT e Unesp – Rio Claro) cooperam na elaboração do Boletim que contém os epicentros e as magnitudes de todos os sismos registrados no país.



Para George Sand, a implantação da Rede Sismográfica Integrada do Brasil, que o Observatório Sismológico da UnB participará, irá permitir a prestação de um serviço inédito no país: “Poderemos dar respostas imediatas à sociedade brasileira, em no máximo um minuto, sobre a localização e a proporção de abalos sísmicos de magnitude acima de 3.5”, destacou o professor, acrescentando que atualmente a Secretaria Nacional de Defesa Civil já recebe da UnB as informações sobre sismicidade, mas não com a rapidez necessária.

Responsável também pelas áreas de graduação, pós-graduação, extensão e pesquisa relacionadas à sismicidade e à estrutura do interior da Terra, George Sand explica que a principal atividade do SIS é o monitoramento sismográfico do país, tanto da sismicidade natural como da induzida por reservatórios de usinas hidrelétricas.

O Observatório opera e/ou coordena uma vasta rede de estações sismográficas instaladas em 32 diferentes locais do território nacional, especialmente em áreas de barragens, em contratos com companhias energéticas, Sistema Nacional de Defesa Civil, Serviço Geológico dos EUA e Exército Brasileiro. Destaca-se também, em cooperação com a ONU, a operação da única estação brasileira de infra-som e de uma estação sísmica, pertencentes ao Sistema Internacional de Monitoramento de Explosões Nucleares.

Por fim, conforme lembra Sérgio Luiz Fontes (ON), as primeiras medições sismológicas no Brasil foram realizadas pelo Observatório Nacional, que implantou uma estação sismológica no Morro do Castelo, Centro do Rio de Janeiro, em fins do século 19. Essa estação, em 1919, foi

transferida para o Morro de São Januário, em São Cristóvão, onde o ON está instalado até hoje. “Mas podemos considerar que as primeiras pesquisas científicas na área de Sismologia no Brasil ocorreram mesmo em Brasília”, ratificou Sérgio Fontes.

### PÂNICO E FUGA NO NORDESTE

O Nordeste brasileiro é a região onde ocorrem atividades sísmicas com maior frequência. O registro desse tipo de fenômeno é conhecido, com segurança, desde 1724 (Salvador - BA). Há 200 anos, no dia 8 de agosto de 1808 ocorreu o tremor de Açú, de magnitude estimada em 4.8, sentido no Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Pernambuco. Desde então vários tremores ocorreram na região, geralmente na forma de enxames em que a atividade se prolonga por até 10 anos, causando muitas vezes danos em edificações, além de pânico e fuga da população como aconteceu em João Câmara (RN - 1950, 1986 e 1991), Caruaru (PE - 1967) e em Doutor Severiano/Pereiro (RN - 1968).

Até o presente ocorreram três eventos de magnitude maior ou igual a 5.0 no Nordeste, todos causando grandes danos em edificações na área epicentral, com colapso de paredes: em Cascavel (CE), com magnitude 5.2 em 1980; e João Câmara (RN) por duas vezes, em 1986 (5.1) e em 1991 (5.0).

Segundo **Joaquim Mendes Ferreira**, coordenador do Laboratório Sis-



Foto: Arquivo Pessoal

# A BRAIN É +

- + de uma década no mercado
- + de 250 diagnósticos ambientais concluídos
- + de 450 km de dutos cadastrados em travessias de rios
- + de 2X em extensão a Muralha da China em seções GPR
- + de 15.000 seções de Resistividade
- + de 900 km de sísmica 2D e 1350 km<sup>2</sup> de sísmica 3D, em apenas 3 anos
- + de 160.000 homens/hora de Treinamentos em SMS
- + de 4 milhões de homens/hora expostos ao risco sem acidentes
- + de 1.000 funcionários felizes

**A Brain é a primeira empresa brasileira de aquisição sísmica com 100% de capital privado — um marco na história da exploração petrolífera no Brasil.**

## SOLUÇÕES INTEGRADAS

- Diagnósticos ambientais
- Cadastramento de dutos
- Geoprocessamento
- Levantamentos geofísicos
- Mapeamentos geotécnicos
- Avaliação de risco à saúde humana
- Monitoramento ambiental
- Sísmica passiva aplicada ao monitoramento de encostas
- Reconstituição de "as built" de dutos

## SÍSMICA

### TECNOLOGIA

- Aquisição sísmica terrestre 2D e 3D
- Processamento e interpretação sísmica
- Detalhamento de reservatórios
- Equipamentos de última geração com 5000 canais de registros

### ABRANGENTE

- Profissionais com vasta experiência
- Pronta para operar em qualquer parte do país
- 30 projetos em 8 estados brasileiros
- Em apenas 3 anos, 900 km de sísmica 2D e 1350 km<sup>2</sup> de sísmica 3D
- Mais de 4 milhões de homens/horas expostos ao risco sem qualquer acidente com afastamento

Av. Raja Gabaglia, 4.943  
Santa Lúcia - 30360-670  
Belo Horizonte MG - Brasil  
Fone: (51) 31-3526-4800  
brain@braintechnologia.com.br

## ESPECIAL

mológico da UFRN, que faz parte do recém-criado Departamento de Geofísica, o estudo da atividade sísmica se faz necessário para o planejamento do desenvolvimento da região, pois, através dele é possível avaliar com precisão o risco sísmico.

“Além disso, alguns resultados do estudo de sismos naturais e induzidos por reservatório de água têm aplicação prática na extração de petróleo, pois é possível estimar a direção de esforços tectônicos e a interação entre esforços, fluidos e falhas, essenciais na perfuração de poços direcionais e no fraturamento hidráulico para exploração de poços”, acrescentou.

A origem do Laboratório Sismológico (LabSis) da UFRN remonta ao ano de 1975 quando a estação sismográfica de Natal (NAT), pertencente à rede mundial WWSSN, instalada pelo USGS (United States Geological Survey) em 1965, foi transferida da Marinha do Brasil para a UFRN (Departamento de Física). Posteriormente, em 1982 a estação foi transferida para a cidade de Caicó (CAI) onde operou até 1992, quando, em virtude de dificuldades cessou suas atividades.

Em julho de 1986 tem início a mais espetacular atividade sísmica ocorrida no Brasil, em João Câmara (RN), onde foram registrados entre 1986 e 1993 mais de 50 mil tremores, em sua maioria microtremores. Neste período, foram registrados dois tremores de magnitude igual ou superior a 5.0 e mais de 20 tremores de magnitude igual ou superior a 4.0, que causaram danos extensos a muitas edificações e pânico na população. Pesquisadores do país e do exterior acorreram ao local e, após o maior tremor, ocorrido em 30 de novembro de 1986, de magnitude 5.1, até o presidente da República na época, José Sarney, esteve lá.

Esses eventos motivaram o financiamento e apoio de diversos órgãos para aquisição de equipamento de campo e estudo da atividade sísmica em várias regiões do Nordeste com redes sismográficas portáteis. Esses dados geraram dissertações, teses e trabalhos científicos. Com isso foi possível determinar hipocentros e mecanismos focais confiáveis possibilitando uma discussão com dados de qualidade sobre a correlação entre a sismicidade da região e feições geológicas locais. Além disso, possibilitou também estabelecer direções dos esforços horizontais máximos na região e estudar a sismicidade induzida em reservatórios, entre outros resultados.

Atualmente a principal estação sismográfica operada pelo LabSis/UFRN é a de Riachuelo (RCBR) que faz parte

da Global Seismographic Network e foi instalada pelo USGS em 1999. Ela também faz parte do sistema de monitoramento do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares da ONU (CTBTO/UN). Outras estações do tipo banda larga foram instaladas pela UFRN dentro do Projeto “Estudos Geotectônicos na Província Borborema”, coordenado pelo Prof. Reinhardt Fuck, da UnB, e financiado pelo Programa do Milênio do MCT/CNPq. Essas estações ajudam não apenas a monitorar a atividade sísmica no Nordeste, mas também a fazer estimativas da espessura crustal na região, utilizando o método da função do receptor. Como exemplo, a estação de Sobral (SBBR), instalada em agosto de 2007, monitora a atividade sísmica na região que vem se desenvolvendo desde janeiro deste ano, já tendo registrado um tremor de magnitude 4.2 em maio.



## Ramform Sovereign

## Offshore Brazil

**World record - 17 streamers**

**Widest tow - 1300m spread**

**Steerable sources**

PGS' Ramform Sovereign has been introduced for one single purpose – to collect the maximum amount of seismic data, as safely, reliably and as quickly as possible for its customers.

O Ramform Sovereign da PGS foi projetado com um único objetivo - coletar a máxima quantidade de dados sísmicos, mais segura, confiável e rapidamente possível para seus clientes.

Houston  
Tel: 1-281-509-8000  
Fax: 1-281-509-8500

Rio de Janeiro  
Tel: 55 -21-3970-7300  
Fax: 55 -21-3970-7345

**A Clearer Image**  
www.pgs.com



# Projeto Borborema

Na opinião de Jesus Berrocal, o Projeto da Província Borborema é a maior manifestação da Geociência brasileira neste momento. Participam, além do IAG/USP e do IG/UnB, as principais universidades da região Nordeste e algumas universidades e institutos de pesquisa da região Sudeste e do exterior. A iniciativa abrange uma série de métodos geofísicos e geológicos de ponta, com a participação da Rede Temática de Geotectônica da Petrobras através do Pool de Equipamentos Geofísicos (PEG), administrado pelo ON/CNPq do Rio de Janeiro. As ferramentas geofísicas disponíveis no PEG, principalmente os sismógrafos, permitem efetuar estudos de sismicidade e de estrutura do interior da Terra de alta qualidade.

Como parte desse projeto, foi executada recentemente uma linha de refração sísmica profunda na Província Borborema, entre o extremo noroeste do Ceará até o litoral sul de Pernambuco, em Sirinhaém, utilizando 400 sismógrafos de período curto, de registro digital distribuídos numa linha de aproximadamente 800 km de extensão, para o qual foram efetuadas 19 explosões com tempo controlado de 1,4 toneladas de explosivos, localizadas aproximadamente a cada 50 km. Nesse experimento participaram mais de 40 alunos, técnicos e professores do IAG/USP, IG/UnB, UFCE, UFPE e UFRN, com o objetivo de determinar a estrutura da crosta e do manto superior sob a linha sísmica estudada.



Parte da equipe de técnicos e alunos do IAG/USP e da empresa Berrocal Vasconcelos que atua no Projeto Borborema.

Arquivo Berrocal Vasconcelos



Um dos 400 sensores sísmicos instalados na linha de 800 km de extensão entre o extremo noroeste do Ceará e Sirinhaém (PE).

**Stratageo é uma empresa de serviços certificada pela ONIP e que oferece uma visão integrada de E&P.**

**Use nossos serviços para cumprir seu compromisso de Conteúdo Local.**

Contato:  
FERNANDA CHRISTOVÃO  
(21) 2554 1200 / 8697 2555

**Processamento  
4D/3D/2D  
PSTM e PSDM**

**Modelagem  
de Sistemas  
Petrolíferos**

**Interpretação  
Sísmica**

**stratageo**  
www.stratageo.com.br

# Recuperação do sinal hidrológico a partir da variação temporal do campo de gravidade na bacia hidrográfica do Amazonas obtida pelos dados dos satélites GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*)

Everton Pereira Bomfim e Eder Cassola Molina, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG/USP

**INTRODUÇÃO** O transporte de massa em larga escala no sistema Terra produz variações na rotação, no campo de gravidade e na posição do geocentro do planeta. Embora estes efeitos geodinâmicos globais sejam relativamente pequenos, medidas a partir de técnicas geodésicas espaciais, por aproximadamente três décadas, têm melhorado de precisão na taxa de uma ordem de magnitude por década (Chao et al., 2000). Técnicas como Satellite Laser Ranging (SLR) e Very Long-Baseline Interferometry (VLBI), pioneiras para medir a rotação da Terra, dados do Global Positioning System (GPS), especialmente com maior resolução temporal, e dados de rastreamento a rádio com o sistema Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) foram aplicadas para possibilitar o uso de novas vias de investigação, conduzindo, juntamente com as missões de medição do campo de gravidade já em andamento CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) e GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) e da futura missão GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Experiment), a uma melhor compreensão do processo de transporte de massa global e da resposta dinâmica da Terra.

Além dos três efeitos geodinâmicos (rotação, gravidade e geocentro), originados por causa das mudanças na gravidade e no geocentro da Terra, terem impactos óbvios na definição precisa no sistema de referência terrestre e celeste, que são centrais para as medidas feitas pelo IERS (International Earth Rotation Services, organização que monitora o movimento de rotação da Terra), é necessário também considerar todos os fluidos geofísicos, e não só a atmosfera, pois outros fluidos, como a água dos oceanos, a redistribuição da massa de água nos continentes, etc., também dão contribuições importantes para os efeitos geodinâmicos (Chao et al., 2000).

A magnitude dos efeitos geodinâmicos produzidos por um transporte particular de massa é aproximadamente proporcional à razão da massa líquida transportada pela massa da Terra e da distância do transporte líquido pelo raio da Terra. Muitos processos estão abaixo do limiar de detecção devido à massa relativamente pequena ou a distâncias curtas envolvidas.

No entanto, há muitos processos geofísicos fundamentais envolvendo transporte de massa em larga escala que tornam o efeito geodinâmico mensurável, mas mesmo assim produzem sinais tipicamente não maiores que 1 parte em 10 bilhões (Chao, 1994). Os mais proeminentes são, provavelmente, efeitos temporais, que são originalmente impulsionados pela contribuição da radiação solar e relacionados sobre grande parte do globo à força rotacional de Coriolis e modificadas pelas interações atmosfera-oceano e atmosfera-continente. A configuração do sistema de pressão meteorológica indica que diferentes massas de ar se movem em torno do planeta como parte da circulação geral. Portanto, os ventos produzidos mostram variações destes movimentos em curta escala de tempo, mas são fortes também em escala maiores relacionadas às oscilações intra-sazonal, sazonal e interanual como, por exemplo, anomalias interanual associadas com El Niño e La Niña (Chao et al., 2000).

O transporte de massa também ocorre nos oceanos, devido, principalmente, à forçante de maré, forçante de vento na superfície, forçante na pressão atmosférica e fluxo termoalino. A altimetria por satélite pode medir mudanças na altura da superfície do oceano causadas

por estes mecanismos forçantes. As marés terrestre, oceânica e atmosférica contribuem para as variações geodinâmicas e são facilmente observáveis com técnicas modernas (Chao, 1994). Na verdade, a Era Espacial permitiu desenvolver metodologias de observação que levaram ao estudo de fenômenos até então impossíveis de serem realizados, como exemplo: o deslocamento das placas litosféricas, as marés terrestres e oceânicas, os movimentos do eixo de rotação da Terra e as variações da velocidade de rotação, o movimento dos satélites artificiais, etc. (Dickey, 2001). A maré terrestre é responsável por grande variação na duração do dia em períodos quinzenais e mensais; a maré oceânica é a causa dominante das variações diurna e semidiurna em ambas as taxas de rotação e movimento polar (Chao, 1994).

A redistribuição do armazenamento de água nos continentes ocorre em escala temporal, onde as escalas sazonais e mais curtas envolvem precipitação, evaporação e escoamento com armazenagem de água em lagos, rios, solo e biomassa. Em uma escala de tempo maior ocorrem tanto variações de armazenamento nas camadas de gelo e do sinal glacial de mudanças climáticas, quanto mudanças no armazenamento de água subterrânea em aquíferos profundos. Alguns desses processos hidrológicos são fundamentalmente regulados pela vegetação, mas todos são, em última instância, trocas que refletem o conteúdo de água atmosférica e o nível do mar em um balanço intrincado. A redistribuição da massa de água envolve estes vários reservatórios e um mecanismo que mostra ter efeitos observáveis na mudança da rotação, do geocentro e do campo de gravidade da Terra (Chao et al., 2000). Entretanto, a variedade de mecanismo de transporte e armazenamento de reservatórios torna a tarefa de monitoramento global do armazenamento de água no continente extremamente desafiadora. A missão dos satélites GRACE no que diz respeito ao campo de gravidade temporal da Terra veio como um divisor de águas para missões de gravidade que empregam técnicas de rastreamento satélite-a-satélite (SST), onde é possível obter mudanças de massa em níveis equivalentes de água. Wahr et al. (1998) relacionaram este valor para uma mudança equivalente do nível de água em uma região específica, usando uma simples conversão que descreve quanta água seria preciso para produzir a mudança de massa que os satélites GRACE observaram sobre uma região.

O campo de gravidade da Terra varia em tempo e espaço e define uma figura irregular, o geóide. Este geóide, que se origina da distribuição de massa da Terra, consiste em uma parte estática e uma parte variável no tempo. A parte estática é a contribuição devida, principalmente, às distribuições de massa que variam somente em uma escala de tempo geológica, como movimentação de continentes, formação e erosão de montanhas e depressões na crosta. A parte variável no tempo ocorre devido aos processos como a redistribuição do armazenamento de água terrestre, marés oceânicas, mudanças atmosféricas, reação pós-glacial, etc. Assim, o sinal hidrológico está incluso nos sinais de gravidade, ou seja, está presente nos dados das soluções geoidais mensais do GRACE e pode, em princípio, ser recuperado.

O aprimoramento das redes GPS, as modernas missões CHAMP e GRACE, e a futura missão GOCE, permitem vislumbrar novos e desafiadores interesses. Um ponto importante a focalizar é a variação no tempo do campo gravitacional. Avaliações do referido campo através de satélites já indicaram avanços consideráveis no entendimento da estrutura e

da dinâmica núcleo/manto, da estrutura térmica e dinâmica na litosfera, da circulação oceânica e da tectônica de placas (Dickey, 2001).

A primeira vez que se observou a possibilidade dos parâmetros hidrológicos serem uma das causas para as variações temporais da gravidade ocorreu com o advento da missão do satélite LAGEOS (LAsER GEO-dynamics Satellite). Yoder et al. (1983) acreditaram que as mudanças na órbita do satélite eram principalmente causadas pela redistribuição da água terrestre, da massa de ar e das mudanças no nível de mar. Gutierrez & Wilson (1987) tentaram calcular os distúrbios na órbita do satélite devido à redistribuição sazonal da massa de ar e do armazenamento de água terrestre, concluindo que era possível prever aproximadamente as perturbações da órbita de satélites causadas por variações sazonais no armazenamento de água terrestre. Dickey et al. (1997) ajudaram a finalizar o planejamento da missão GRACE, e mencionaram as possibilidades para o campo da hidrologia.

Com o lançamento dos satélites da missão GRACE em 17 de março de 2002, foi possível então inferir e quantificar o campo de gravidade variável em períodos de aproximadamente 30 dias e mais recentemente de variação no intervalo de 10 dias (Lemoine et al., 2007).

A missão GRACE consiste em dois satélites artificiais idênticos que foram colocados na mesma órbita polar a aproximadamente 500 quilômetros de altitude e separados a 220 quilômetros um do outro. À medida que os satélites realizam seu trajeto em torno da Terra, as regiões do planeta que possuem uma força da gravidade um pouco diferente, afetarão primeiro o satélite líder, que por sua vez será ligeiramente afastado do outro que o acompanha. A distância entre eles pode ser monitorada com extraordinária precisão: os satélites são capazes de sentir uma mudança na sua separação equivalente a um micrometro (NASA, 2003). A missão GRACE é a primeira missão de monitoramento da Terra cuja medida-chave não é derivada do uso de

ondas eletromagnéticas que interagem com a superfície da Terra. Em seu lugar, a missão usa um sistema de microondas ressonantes que mede corretamente mudanças na velocidade e distância entre as duas naves flutuantes em sua órbita polar.

No passado, a técnica de SLR (Satellite Laser Ranging) foi usada para determinar mudanças sazonais de longo comprimento de onda do campo de gravidade devidas às transferências de massas entre atmosfera, oceano e fontes de águas continentais. Estas medidas eram limitadas em resolução por causa da distribuição geográfica dos dados coletados e pelas elevadas altitudes dos satélites. A missão GRACE foi implementada para coletar medidas globais desse mesmo fenômeno, mas com uma resolução espacial mais refinada e com melhor precisão, apresentando um enorme potencial em recuperar sinais hidrológicos. No entanto, os produtos dessa missão fornecem informações sobre valores da massa integrada sobre uma coluna vertical de matéria, e assim, em princípio, não é possível distinguir entre as diferentes origens do campo de gravidade. Numericamente, a separação de cada componente é um problema que requer informação suplementar, como por exemplo, outros tipos de dados de satélite, medidas *in situ*, ou valores previstos por variáveis hidrológicas baseados em modelos de clima global (Ramillien et al., 2004).

#### RELAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DE MASSA COM A GRAVIDADE

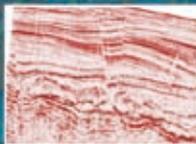
A altura geoidal, a diferença entre a superfície equipotencial correspondente ao nível médio do mar sobre os oceanos não perturbados e o elipsóide de referência, descreve o campo de gravidade global da Terra, e pode ser descrita como a soma dos harmônicos esféricos (Heiskanen & Moritz, 1967).

Os coeficientes de Stokes, termos da expansão dos harmônicos esféricos, são as variáveis fornecidas pelo processamento dos dados obtidos pela missão GRACE. Para medir mudanças dependentes do tempo na al-



## When it's a Question of Geoscience... Ask Fugro

Fugro's Geoscience Division acquires, interprets and integrates seismic, gravity, magnetic and electromagnetic information from around the world to create a geological profile of our planet. Our airborne and marine surveys, coupled with extensive non-exclusive data, are helping to support global mining and petroleum exploration improvement.



Now Featuring:  
AGG-Falcon Airborne Gravity Gradiometry™

Fugro-Geoteam's seismic vessel fleet is one of the most comprehensive in the industry.

Our fleet, consisting of new high class and recently upgraded vessels, provides efficient 2D/3D/4D seismic data acquisition worldwide. Our strong HSE commitment combined with more than 30 years of experience ensures safe, solid and smooth production with the highest of quality standards

Fugro Geosolutions (Brazil)  
Tel: +55 21 3219 8500 Fax: +55 21 3219 8501  
e-mail: seismo@fugro-br.com

\*FCMS Fugro Gravity & Magnetic Services  
A Company fully dedicated to Potential Fields for Oil&gas  
e-mail: lbraga@fugro.com

Fugro - Lasa - Geomag  
Tel: +55 21 3501 7700 Fax: +55 21 3501 7701  
e-mail: andre@fugroairborne.com.br

NO OTHER COMPANY CAN PROVIDE THE SAME COMPREHENSIVE RANGE OF GEOTECHNICAL, SURVEY AND GEOSCIENCES



## ARTIGO TÉCNICO

tura geoidal é necessário obter a mudança nos coeficientes dos harmônicos esféricos do geóide, que é causada pela redistribuição da densidade de massa superficial, definida como massa dividida pela área.

A mudança nos coeficientes dos harmônicos esféricos do geóide consiste em duas partes. A primeira descreve a contribuição ao geóide da atração gravitacional direta da distribuição superficial de massa. Devido ao fato desta distribuição também carregar e deformar elasticamente a Terra sólida adjacente, a segunda parte é adicionada (Wahr et al., 1998).

A partir da mudança nos coeficientes, pode-se obter o sinal hidrológico esperado do GRACE. Este procedimento é chamado 'estimativa inversa dos dados do GRACE' (Gerrits, 2005).

A mudança na distribuição de massa superficial obtida é expressa em espessura equivalente em água, uma vez que se obtém em razão da densidade da água. Os coeficientes do geóide estão disponíveis pelos satélites GRACE para um grau e ordem máximos de 150.

**FONTES DE ERROS NOS DADOS DO GRACE** Além dos erros que ocorrem no lado da hidrologia, há também fontes de erros no lado do GRACE. A primeira fonte de erro provém das incertezas nos parâmetros orbitais, os erros de medidas no alcance das microondas entre os satélites e os erros de medidas dos acelerômetros a bordo dos satélites. O erro de medida diminui com o aumento da área e do período médio dos dados. Para a bacia hidrográfica Amazônica, com uma área de aproximadamente 6 milhões de km<sup>2</sup> e uma escala de tempo mensal, a incerteza será menor que aproximadamente 1 mm (Tapley et al., 2004). O erro de medida também aumentará com o desenvolvimento de maior grau dos harmônicos esféricos. Métodos especiais de filtragem são requeridos para reduzir o impacto destes erros de medidas. Para o grau 25 a resolução espacial do modelo estimada é de aproximadamente 800 km com um erro nas soluções mensais do geóide de aproximadamente 0,61 mm.

A segunda fonte de erro dos dados GRACE é o erro do truncamento e da interpolação. Na teoria, a altura geoidal pode ser descrita por uma função com um grau infinitamente elevado, que resultaria em uma descrição perfeita do campo de gravidade da Terra. Entretanto, na realidade, os coeficientes do geóide só estão disponíveis pelo GRACE para um grau máximo de 150, e daí advém o erro de truncamento (Gerrits, 2005), que gera a necessidade de interpolação dos dados. A escala espacial dos dados de gravidade,  $\lambda$ , é aproximada pela relação de Swenson & Wahr (2002), que é de 20.000 km por grau do harmônico esférico (20.000 km/l).

A terceira fonte de erro é o erro de espalhamento em cálculos regionais. Por causa das medidas do GRACE serem também influenciadas por mudanças de massas fora da região de estudo, ocorre a adição de uma componente de erro. Para pequenas regiões este erro é significativo (Wahr et al., 1998), ou seja, os erros de espalhamento são introduzidos quando se utiliza os dados globais do GRACE. Para compensar este efeito Swenson & Wahr (2002) investigaram algumas técnicas para o cálculo da média, para estimar variações regionais na densidade superficial de massa baseadas na variação dos coeficientes dos harmônicos esféricos.

A última fonte significativa de erro surge dos problemas de remoção dos efeitos da redistribuição da massa atmosférica e da reação pós-glacial. Geralmente o efeito da redistribuição da massa atmosférica é removido pelo uso de dados modelados da pressão atmosférica. Para remover os efeitos da reação pós-glacial, usam-se também dados modelados. As incertezas nestes modelos são assumidas como tendo um valor uniforme de 20% do valor de medida (Rodell & Famiglietti, 1999). Entretanto, este efeito de reação pós-glacial pode ser negligenciado em uma escala de tempo mensal a anual nas regiões de grandes massas de águas, como a bacia Amazônica.

**ESTIMATIVA DIRETA DE PARÂMETROS DA HIDROLOGIA A PARTIR DE DADOS DO GRACE** Uma forma de calcular o sinal hidrológico é a partir do cálculo do modelo a partir dos coeficientes dos harmônicos esféricos. Os coeficientes fornecidos pelo GRACE são corrigidos por vários processos conhecidos, como maré terrestre, maré oceânica, maré atmosférica, etc., de tal forma que os coeficientes somente refletiriam a componente estática e a componente hidrológica do campo de gravidade.

As soluções do campo de gravidade fornecidas pela missão GRACE cobrem o intervalo de tempo que vai de abril de 2002 a fevereiro de 2008, com lacunas em alguns meses devido à falta de dados coletados pelos satélites em algumas ocasiões. Uma solução adicional consiste no campo de gravidade médio, que representa a componente estática, e um sinal hidrológico médio, obtido por uma média de 430 dias de coletas de dados pelos satélites.

Os sinais hidrológicos a partir do GRACE podem ser obtidos através de diferenças mensais em relação a esta média do campo de gravidade. Estes campos de gravidade médio e mensais consistem em componentes estáticas e em um sinal hidrológico médio, que pode ser recuperado pelas diferenças entre estas duas grandezas, uma vez que a contribuição estática é igualmente presente em todas as soluções, e, portanto, desaparece nas subtrações.

**FILTRAGEM ESPACIAL COM UMA FUNÇÃO MÉDIA GAUSSIANA** O erro destes modelos pode ser reduzido pela utilização de uma construção da média espacial para compensar o pobre conhecimento dos curtos comprimentos de onda dos coeficientes dos harmônicos esféricos (valores mais altos do grau harmônico  $l$ ), que foi desenvolvida por Jekeli (1981) para melhorar as estimativas do campo de gravidade da Terra, por meio da aplicação de uma função que efetua o cálculo da média, projetada especificamente para a região que está sendo considerada. Pode-se obter isto com a aplicação de um filtro gaussiano, por exemplo. O processamento dos dados do GRACE pode ser feito de duas maneiras: o sinal pode ser calculado para uma expansão até grau e ordem médios, de valor 60, sem a aplicação de nenhum filtro, ou o cálculo pode ser realizado para grau e ordem 150, mas, como para este grau o erro de medida é muito alto, é aplicado um filtro gaussiano com um raio médio de 800 km, conforme o procedimento descrito por Chen et al. (2005).

**DADOS PARA A BACIA DO AMAZONAS** A Figura 1 mostra a mudança nos valores da altura geoidal mês a mês para o ano de 2005, que reflète a mudança da distribuição de massa superficial neste período, onde se observa um forte sinal hidrológico positivo em abril e negativo em outubro na bacia do Amazonas.

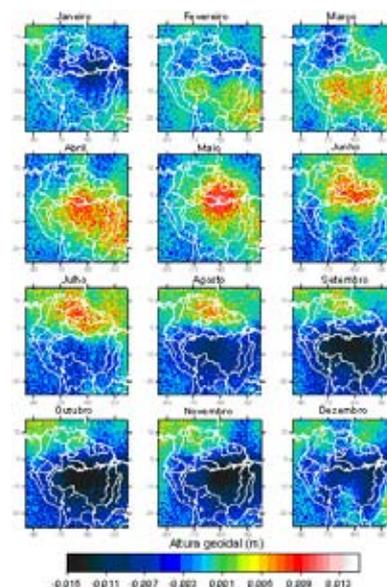


Fig. 1: Variação da altura geoidal mensal para 2005 obtida pelo modelo geopotencial calculado com os dados do GRACE truncado em grau e ordem 25, que reflète a mudança da distribuição de massa superficial na região amazônica.

Para uma validação do sinal hidrológico recuperado a partir do modelo geopotencial do GRACE é feita uma comparação deste modelo com o modelo hidrológico GLDAS (Global Land Data Assimilation System) para o mesmo período na região amazônica (Fig. 2), ambos calculados com a aplicação de um filtro espacial médio gaussiano de 800 km. Os resultados mostram que o sinal hidrológico modelado tem o mesmo padrão que os dados calculados pelos satélites GRACE, apesar das amplitudes fornecidas pelos dados desta missão apresentarem-se ligeiramente maiores.

Uma das razões para este efeito pode ser o cálculo dos dados globais do GRACE, uma vez que o erro de medida diminui com o aumento da área e do período médio dos dados (Fig. 1). Assim, quando se estuda uma determinada região a partir de dados globais, mudanças de massa fora desta região de cálculo interferem no cálculo. Apesar das diferentes amplitudes, é possível verificar que se pode estimar os parâmetros hidrológicos a partir do campo de gravidade obtido dos satélites GRACE, pois o sinal hidrológico modelado mostra o mesmo padrão do sinal obtido pelos satélites.

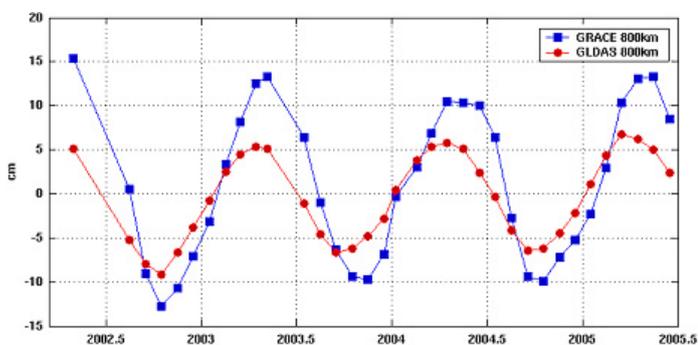


Fig. 2: Comparação dos dados hidrológicos obtidos do campo de gravidade GRACE com os dados hidrológicos GLDAS.

## REFERÊNCIAS

- CHAO BF. 1994. The Geoid and Earth Rotation. In: VANICEK P & CHRISTOU N (Ed.). Geophysical Interpretations of Geoid. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- CHAO BF, DEHANT V, GROSS RS, RAY RD, SALSTEIN DA, WATKINS MM & WILSON CR. 2000. Space Geodesy Monitors Mass Transports in Global Geophysical Fluids. EOS, AGU Publication, 81(22): 247, 249, 250.
- CHEN JL, WILSON CR, FAMIGLIETTI JS, & RODELL M. 2005. Spatial sensitivity of the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) time-variable gravity observations, J. Geophys. Res., 110: B08408.
- DICKEY JO, BENTLEY CR, BILHAM R, CARTON JA, EANES RJ, HERRING TA, KAULA WM, LAGERHOF GSE, ROJSTACZER S, SMITH WHF, VAN DEN DOOL HM, WAHR JME ZUBER M. 1997. Satellite Gravity and the Geosphere: Contributions to the Study of the Solid Earth and Its Fluid Envelopes, Global Change and Natural Hazards Research, National Academy Committee on Earth Gravity from Space. Natl. Acad. Press, Washington D.C., 112 p.
- DICKEY J. 2001. Interdisciplinary Space Geodesy: Challenges in the New Millennium. Jet Propulsion Laboratory. Internal Report. Pasadena.
- GERRITS AMJ. 2005. Hydrological modelling of the Zambezi catchment for gravity measurements. MSc Thesis. TU Delft, The Netherlands.
- GUTIERREZ R & WILSON CR. 1987. Seasonal air and water mass redistribution effects on LAGEOS and Starlette. Geophys. Res. Lett., 14(9): 929-932.
- HEISKANEN W & MORITZ H. 1967. Physical Geodesy. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 364 p.
- JEKELI, C. 1981. Alternative Methods to Smooth the Earth's Gravity Field, Rep. 327. Dep. of Geod. Sci. and Surv., Ohio State Univ., Columbus.
- LEMOINE JM, BRUINSMA S, LOYER S, BIANCALE R, MARTY JC, BALMINO FPG. 2007. Temporal gravity field models inferred from GRACE data. Adv. Space Res., 39(10): 1620-1629.
- NASA. 2003. Studying the Earth's Gravity from Space: The Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). URL: [http://www.csr.utexas.edu/grace/publications/fact\\_sheet](http://www.csr.utexas.edu/grace/publications/fact_sheet)
- RAMILLIEN G, CAZENAVE A & BRUNAU O. 2004. Global time variations of hydrological signals from GRACE satellite gravimetry, Geophys. J. Int., 158: 813-826.
- RODELL M & FAMIGLIETTI JS. 1999. Detectability of variations in continental water storage from satellite observations of the time dependent gravity field. Water Resour. Res., 35(9): 2705-2723.
- SWENSON S & WAHR J. 2002. Methods for inferring regional surface-mass anomalies from Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) measurements of time-variable gravity. J. Geophys. Res., 107(B9): 2193.
- TAPLEY BD, BETTADPUR S, RIES JC, THOMPSON PF & WATKINS MM. 2004. GRACE measurements of mass variability in the Earth System. Science, 305(5683): 503-505.
- WAHR J, MOLENAAR M & BRYAN F. 1998. Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. J. Geophys. Res. - Solid Earth, 103 (B12): 30205-30229.
- YODER CF, WILLIAMS JG, DICKEY JO, SCHUTZ BE, EANES RJ & TAPLEY BD. 1983. Secular variation of Earth's gravitational harmonic  $J_2$  coefficient from LAGEOS and nontidal acceleration of Earth rotation. Nature, 303: 757-762.



**GEORADAR**

Rua do Campo, 80. Vale do Sereno. Nova Lima-MG CEP 34000-000 Tel/fax: 55 31 2104-7171

[www.georadar.com.br](http://www.georadar.com.br) [georadar@georadar.com.br](mailto:georadar@georadar.com.br)

A Georadar é uma empresa brasileira, de alta tecnologia, que atua nas áreas da Indústria Petrolífera, Mineração, Infra-Estrutura e Águas Subterrâneas. Com uma logística avançada e equipe técnica altamente qualificada opera em todo território nacional e possui hoje o maior número de equipes sísmicas do país, além de ser referência nas áreas de diagnóstico ambiental e remediação de áreas contaminadas.

Os elevados padrões de segurança e saúde ocupacional constituem seu compromisso renovado, aliados à extrema atenção ao meio ambiente e à responsabilidade social.

▶ **XI Escola de Verão de Geofísica do IAG/USP**

2 a 13 de fevereiro - São Paulo - SP  
 Informações: [www.iag.usp.br/geofisica/verao/verao.html](http://www.iag.usp.br/geofisica/verao/verao.html)

▶ **PDAC 2009 - Prospectors & Developers Association of Canada**

1 a 4 de março - Toronto - Ontário - Canadá  
 Informações: [www.pdac.ca/pdac/conv](http://www.pdac.ca/pdac/conv)

▶ **4<sup>th</sup> North African/Mediterranean Petroleum and Geosciences Conference & Exhibition**

2 a 4 de março - Tunis - Tunísia  
 Informações: [www.eage.org](http://www.eage.org)

▶ **III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra - Geociencias 2009**

16 a 20 de março - Havana - Cuba  
 Informações: [www.scg.cu/geociencias.htm](http://www.scg.cu/geociencias.htm)

▶ **I Semana de Geofísica da UFRN**

23 a 27 de março - Natal - RN  
 Informações: [aderson@dfe.ufrn.br](mailto:aderson@dfe.ufrn.br)

▶ **SEG Forum on New Angles on Azimuth**

30 de março a 3 de abril - Napa - Califórnia - EUA  
 Informações: [www.seg.org/meetings/azimuthforum](http://www.seg.org/meetings/azimuthforum)

▶ **XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG)**

14 a 17 de abril - Mendoza - Argentina  
 Informações: [www.aagg2009.org](http://www.aagg2009.org)

▶ **2009 AGU Joint Assembly**

24 a 27 de maio - Toronto - Ontário - Canadá  
 Informações: [www.agu.org/meetings/ja09](http://www.agu.org/meetings/ja09)

▶ **AAPG Annual Convention & Exhibition**

7 a 10 de junho - Colorado Convention Center  
 Denver - Colorado - EUA  
 Informações: [www.aapg.org/denver](http://www.aapg.org/denver)

▶ **71<sup>st</sup> EAGE Conference & Exhibition**

8 a 11 de junho - Amsterdã - Holanda  
 Informações: [www.eage.org](http://www.eage.org)

▶ **11<sup>o</sup> Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica - CISBGf**

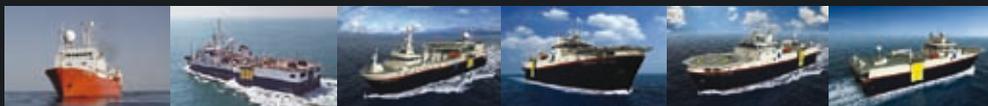
24 a 28 de agosto - Salvador - BA  
 Informações: <http://salvador2009.sbgf.org.br>

▶ **79<sup>th</sup> SEG Annual Meeting**

25 a 30 de outubro - Houston - Texas - EUA  
 Informações: [www.seg.org](http://www.seg.org)

**2D DE ÚLTIMA GERAÇÃO.  
 AMPLO ESPECTRO DE SERVIÇOS 3D & 4D.  
 SÍSMICA DE OFFSET LONGO.  
 EMBARCAÇÕES VERSÁTEIS.  
 RESULTADOS CONFIÁVEIS.**

A SCAN Geophysical dedica-se a fornecer o melhor negócio nas aquisições marítimas em 2D, 3D e 4D. Posicionada como um prestador de serviços altamente eficiente e flexível, você pode contar com a SCAN para a solução certa, no tempo certo.



OSLO  
 +47 24 11 10 00  
 HOUSTON  
 +1 713 375 1755  
 CARACAS  
 +58 212 975 0385  
 SINGAPORE  
 +65 98 21 55 61

Para mais informações sobre as embarcações da SCAN Geophysical ASA e sobre como podemos nos encaixar em seus planos, contacte nossos escritórios ou visite-nos em:

[www.scangeo.com](http://www.scangeo.com)