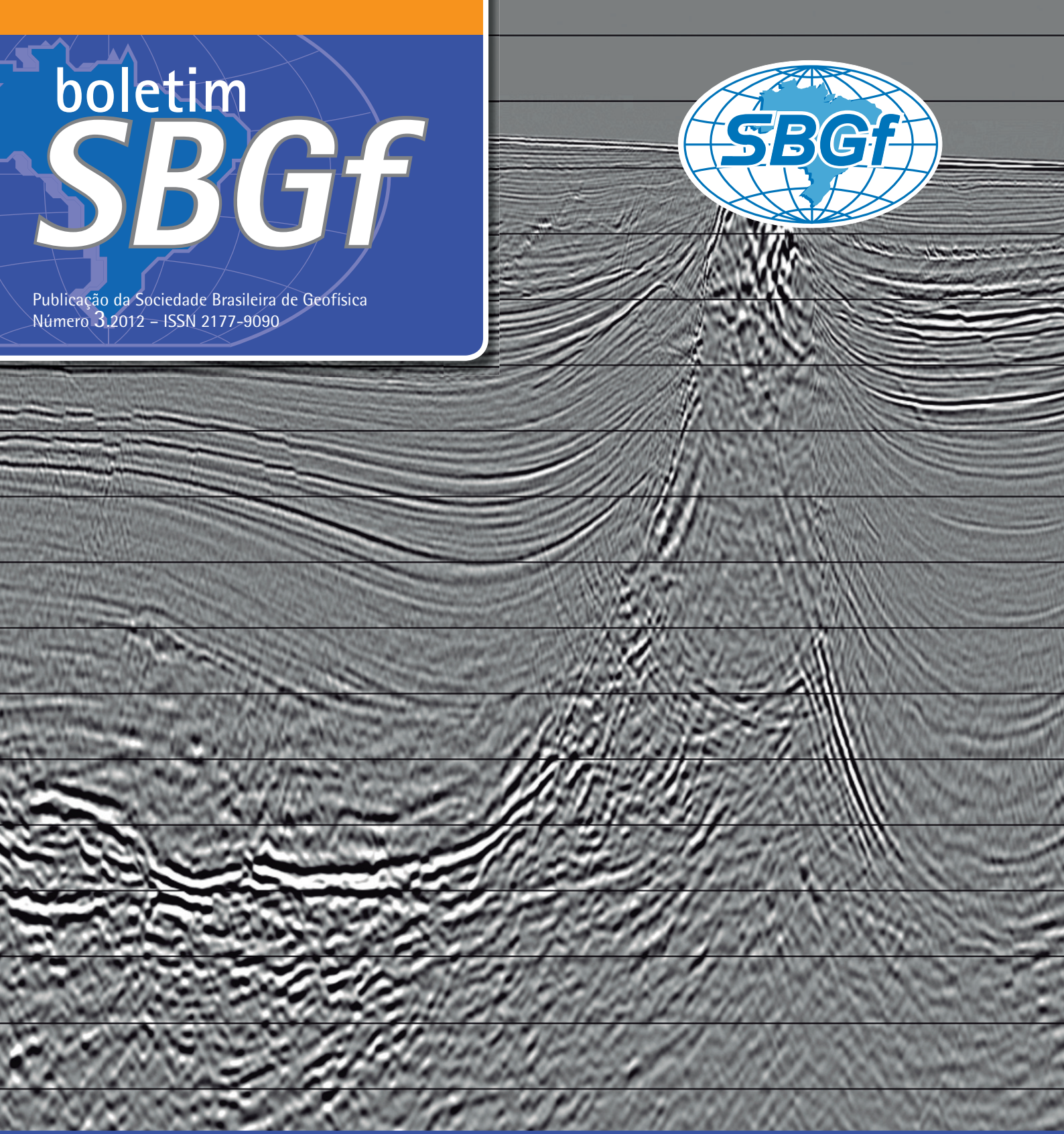
boletim SBGf

Publicação da Sociedade Brasileira de Geofísica
Número 3.2012 – ISSN 2177-9090



Processamento de dados Sísmicos

Os avanços tecnológicos têm contribuido para evolução no processamento de dados sísmicos e são o passo inicial na substituição dos processos e desenvolvimento da área. A mudança do domíno 2D para 3D ilustra a rápida absorção de novas tecnologias que se fazem necessárias para atender às demandas de um mercado competitivo.

SBGf, SEG e SPE Promoveram *Workshop* sobre Pré-Sal no Rio
EVENTOS, PÁG. 3

Primeiro curso de graduação em geofísica do Brasil
MEMÓRIA, PÁG. 6

EDITORIAL

Processamento de dados sísmicos: Buscando a melhor imagem

Historicamente, as atividades geofísicas exploratórias incluem a aquisição de dados, o processamento e a interpretação. Por constituir uma atividade de interface entre os especialistas que registram os dados e aqueles que interpretam, os geofísicos de processamento constituem um verdadeiro "elo de ligação" entre os colegas envolvidos na cadeia. Considerando os últimos avanços ocorridos em termos de fabricação de equipamentos de grande desempenho e o desenvolvimento de sofisticados aplicativos de processamento, os geofísicos de tratamento de dados dispõem de um vasto arsenal que propicia a obtenção de imagens cada vez mais claras das condições geológicas das áreas estudadas através de técnicas de migração. Por outro lado, os dados sísmicos propiciam o conhecimento das características petrofísicas dos reservatórios para fins de caracterização e monitoramento da produção, apoio à engenharia na perfuração de poços, estudos geomecânicos entre outros. Esta presente edição do Boletim discute com muita propriedade aspectos relevantes do processamento de dados sísmicos. Boa leitura.

CONFIRA NESTA EDIÇÃO

3 EVENTOS
- SBGf, SEG e SPE Promoveram Workshop sobre Pré-sal no Rio
- SBGf apoia IV Simpósio de Geofísica Espacial e Aeronomia
- SBGf sedia SEG/Honorary Lecturer
- SBGf sedia EAGE Education Tour

5 INSTITUCIONAL
- RBGf 30 Anos: Novos Sistema on-line
- SBGf no Facebook
- A SBGf Esteve na Feira Rio Oil & Gas
- SBPC entrega carta sobre marco Regulatório do Setor de Petróleo e Gás

6 MEMÓRIA
Primeiro Curso de Graduação em Geofísica do Brasil - IAG/USP

8 NOTAS
- O Terremoto que mexeu com o Brasil - Como João Câmara, RN, mostrou que nosso país não está livre de abalos destrutivos
- Observatório Nacional lança Tour Virtual do Campus

9 UNIVERSIDADE
Panorama da Graduação em Geofísica no Brasil - UFPA

10 ENTREVISTA
Entrevista Adyr Tourinho: Aquisição Sísmica Marinha

13 ESPECIAL Processamento de Dados Sísmicos: avanços em busca de qualidade
- Tecnologia e avanços
- Processamento e reprocessamento no Brasil
- Desafios e Pré-sal

Foto: Arquivo Petrobras

Cluster híbrido Grifo 4 de 1 PetaFlop utilizado na Petrobras

20 ARTIGO TÉCNICO
Uma abordagem bayesiana da inversão sísmica para a modelagem de reservatórios
Carvalho et al.

24 ARTIGO TÉCNICO
Estabilidade e eficiência na aplicação conjunta da compensação da absorção e deconvolução
Oliveira et al.

Capa: Barcos X-Bow da CGGVeritas, Oceanic Vega e Oceanic Sirius realizando aquisição WAZ no Golfo do México. Imagem cedida pela CGGVeritas

ADMINISTRAÇÃO DA SBGf

Presidente
Ana Cristina B. F. Chaves

Vice-presidente
Renato Cordani

Secretário-Geral
Francisco Carlos Neves de Aquino

Secretário de Finanças
Marco Antônio Pereira de Brito

Secretário de Relações Institucionais
Renato Lopes Silveira

Secretário de Relações Acadêmicas
Adalene Moreira Silva

Secretário de Publicações
Luiz Geraldo Loures

Conselheiros
Adriana Perpétuo Socorro da Silva
Edmundo Julio Jung Marques
Eduardo Lopes de Faria
Eliane da Costa Alves
Ellen de Nazaré Souza Gomes
Jorge Dagoberto Hildenbrand
Jurandyr Schmidt
Marcelo Sousa de Assumpção
Neri João Boz
Paulo Roberto Porto Siston

Secretários Regionais
Patricia Pastana de Lugão (Centro-Sul)
Welitom Rodrigues Borges (Centro-Oeste)
Silvia Beatriz Alves Rolim (Sul)
Carlos da Silva Vilar (Nordeste Meridional)
Rosangela C. Maciel (Nordeste Setentrional)
Cícero Roberto Teixeira Régis (Norte)

Editor-chefe da Revista Brasileira de Geofísica
Cleverson Guizan Silva

Secretárias executivas
Ivete Berlice Dias
Luciene Victorino de Carvalho

Coordenadora de Eventos
Renata Vergasta

Analista de Marketing
Carolina Santinoni Esteves

BOLETIM SBGf

Editora-chefe
Adriana Reis Xavier

Editor Associado
Gustavo França Faria (MTb 2612/DF)

Assistente de Publicações
Fabianna Mathias Sotero

Diagramação
Carolina Santinoni Esteves

Estagiário de Informática
Cláudio Correia de Sales Junior

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

FUNDO SBGf

OURO

PRATA

BRONZE

EVENTOS

SBGf, SEG e SPE PROMOVERAM *WORKSHOP* SOBRE PRÉ-SAL NO RIO

Foto: Rogério Jr.

A SBGf promoveu em setembro deste ano, em parceria com a SEG (Society for Exploration Geophysicists) e a SPE (Society of Petroleum Engineers), o *workshop* "Global Perspectives for Deepwater Presalt Exploration and Development", realizado no Hotel Windsor Atlântica, no Rio de Janeiro. Esta foi mais uma ocasião em que um evento voltado à troca de experiências e integração dos profissionais de diversas nacionalidades envolvidos na geofísica, geologia e engenharia petrolífera ocorreu no Brasil, demonstrando o compromisso da SBGf em realizar eventos que contribuam com o avanço da geofísica no país. O sucesso do evento, que contou com cerca de 200 participantes, foi tal que as inscrições tiveram que ser encerradas cerca de um mês antes da data prevista.

Durante os dias 11 e 12 foram apresentadas palestras por especialistas dos líderes da indústria e instituições do setor sobre os avanços tecnológicos e metodológicos no imageamento e na interpretação do pré-sal, os desafios na perfuração e operações, caracterização e petrofísica de reservatório, além de estudos de caso de novas tecnologias para a descoberta e para o desenvolvimento da produção de reservatórios, tanto no Brasil, quanto no Oeste da África e no Golfo do México.

Um dos *chairmen* do evento, representante da SBGf e gerente de geofísica de reservatórios da Petrobras, Paulo Johann, resume a importância desta promoção da SBGf. "Um ponto positivo foi a integração com a SEG e a SPE, essa parceria é parte da busca de soluções para a multidisciplinaridade aplicada na indústria. A SBGf e a SEG já fazem alguns eventos há alguns anos e a participação da SPE, que tem mais de 150 mil sócios no mundo, valoriza esse esforço. Outro destaque foi contar com a participação e patrocínio de grandes companhias de Petróleo no mundo, além das companhias de serviços, mostrando que o workshop e os temas abrem um importante espaço para a troca de experiências". As empresas de exploração e serviços patrocinadoras foram: BG Brasil, BP, CGGVeritas, Halliburton, Paradigm, Petrobras, Shell e TGS.

Para o representante da SPE, *co-chairman* do *workshop* e engenheiro da empresa BP, Eric Ekstrand, o evento é uma forma de colaboração global. "A BP e outras empresas estão interessadas nos campos de pré-sal brasileiros, que tem similaridades com a exploração da subsuperfície do Golfo do México, onde possuímos mais experiência. Este é um evento da indústria, que possui o grande desafio de tentar entender a metodologia única do pré-sal brasileiro, em relação a imageamento, reservatórios, perfuração, entender os análogos no mundo e perceber as diferenças. Precisamos saber a história geológica para perfuração, engenharia de poços, além da geologia e geofísica. Estou satisfeito com o evento, tivemos ótimas discussões e pretendemos continuar com este tipo de parceria e a criação de uma rede de contatos entre as pessoas que estão trabalhando nesta novidade".

O outro *co-chairman* do *workshop* foi o geofísico da BP e representante da SEG, Gene Walton, que também apresentou a palestra "Subsalt Challenges on the Angolan Passive Margin - Block 31 Exploration through Development". Segundo Gene a troca de experiências dos profissionais da indústria que atuam no desafio da exploração subsal é fundamental para o avanço de todos. "Tivemos uma ótima impressão com o grande interesse e a colaboração de todos com o evento. Minhas expectativas se confirmaram com a participação de especialistas de vários lugares do mundo, a ótima organização do evento e a qualidade das discussões. É muito bom ver e conhecer a perspectiva dos profissionais que apresentam as diferentes abordagens, as diferenças e similaridades e os desafios na pesquisa e exploração do pré-sal".

Descobertas sobre o Pré-sal brasileiro

Durante o *workshop* "Global Perspectives for Deepwater Presalt Exploration and Development" foram ministradas duas palestras-magnas. O gerente executivo de exploração da Petrobras, Mário Carminatti, apresentou o tema "Presalt Exploration Challenges in Brazil: Technology and Knowledge Integration" e o diretor de exploração da Repsol Sinopec Brasil, Didier Wloszczowski, apresentou a palestra "New Frontiers for Presalt Exploration". O restante da programação contou com quatro sessões técnicas: "Advances in Presalt Imaging Technology and Interpretation; Challenges in Deepwater Presalt Drilling Design and Operations; Reservoir Characterization and Petrophysics: Applications & Analogues; e Case-Studies: Access to First Oil". Além da Petrobras, Repsol Sinopec e das demais empresas patrocinadoras, as empresas que disponibilizaram profissionais para colaborar com o programa técnico foram: BP America, BP Energy Brasil, Chevron, ExxonMobil, Ikon Science, InGrain, PGS, Maersk Oil, Schluberger e WesternGeco.

Durante o evento, Paulo Johann apresentou a palestra "Reservoir Geophysics in Brazilian Presalt Oilfields", explicando que o Brasil, entre 2000 e 2011, foi o país com o maior número de descobertas de campos de petróleo (Bacias do Espírito Santo, Campos e Santos). "Recentes e distribuídas em várias bacias sedimentares, essas descobertas são predominantemente de campos com reservatórios do pré-sal, o que configura ainda como incipiente o conhecimento geocientífico da perfuração de poços e da engenharia de reservatórios, tornando extremamente importante, para a comunidade empresarial, científica e acadêmica, o debate das lições aprendidas, das oportunidades e dos desafios referentes a estes importantes campos de petróleo".

Segundo Paulo Johann, a indústria petrolífera precisa fazer parcerias entre outras companhias de exploração e empresas de serviços para manter suas atividades nos blocos exploratórios. "Há uma saudável competição entre as empresas. Como trabalhamos com incertezas de subsuperfície e grandes investimentos, a parceria em tecnologia e em negócio é a maneira mais eficaz de mitigar os riscos, otimizar os investimentos e, no fim, ter mais lucratividade. Para os próximos workshops, a SBGf pensou em criar este caráter internacional e demonstrou que já é madura para organizar este tipo de evento de grande magnitude. Esperamos que todos que participaram dos dois dias de evento tenham aprendido ainda mais sobre este complexo processo".

EVENTOS

SBGf apoia IV Simpósio de Geofísica Espacial e Aeronomia

Com a presença de 140 participantes, entre 10 e 14 de setembro foi realizado o IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, na Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo (SP). Segundo o presidente do comitê organizador, Jean-Pierre Raulin, o principal objetivo foi debater os temas científicos relevantes à área das ciências espaciais, proporcionando a troca de experiências entre os mais expressivos pesquisadores de Geofísica Espacial e Aeronomia do Brasil, além do intercâmbio de informações e ideias entre estudantes, docentes, pesquisadores, técnicos e instituições nacionais e internacionais. No dia 12, durante o evento, foi criada a Sociedade Brasileira de Geofísica Espacial e Aeronomia (SBGEA).

No Simpósio foram apresentadas palestras e minicursos sobre os temas "Clima espacial e sua previsão", "Relação Sol-Terra", "Interação entre camadas atmosféricas", "Aeroluminescências", "Aplicação do GPS na pesquisa atmosférica" e "Eletricidade Atmosférica", entre outras, com importante participação internacional (Japão, França, EUA, Uruguai, Peru, Argentina), incluindo renomados pesquisadores estrangeiros. Os minicursos foram "Processamento e Interpretação de Ionogramas", por Inez Staciarini Batista (MCT/INPE) e "Processamento de Dados Científicos usando Linguagem Interativa de Dados", por Clézio De Nardini (MCT/INPE). Foram também divulgados no evento 130 resumos.

SBGf sedia SEG/Honorary Lecturer

Em 20 de setembro a sede da SBGf, no Rio de Janeiro, recebeu a edição 2012 do curso SEG/Honorary Lecturer. O tema foi "Image ray time-to-depth conversion and model ray applications", apresentado pelo consultor sênior da Petrobras, Eduardo Filpo, especialista em imagens sísmicas e interpretação de dados, possuidor de patentes no Brasil, Estados Unidos e Europa e desenvolvedor de vários métodos e programas amplamente utilizados pela empresas de petróleo brasileira.

O evento, com apoio da SBGf e da SEG, contou com 22 inscritos e também foi apresentado em Natal, Belém e Campinas, além de outros países da América Latina.

Foto: Luciene V. de Carvalho

SBGf sedia EAGE Education Tour

No dia 27 de agosto o auditório da sede da SBGf, no Rio de Janeiro, recebeu a EAGE Education Tour, em que foi apresentado o curso "Seismic Geomechanics: How to Build and Calibrate Geomechanical Models using 3D and 4D Seismic Data". Promovido pela SBGf em parceria com a EAGE, o evento de um dia de duração foi conduzido pelo especialista Jörg Herwanger, diretor de geofísica da empresa WesternGeco, e contou com a presença de 35 espectadores, em sua maioria profissionais do mercado. Durante o evento foram apresentados o atual estado e os principais avanços disponíveis na construção de modelos geomecânicos para reservatórios com o uso de dados 3D e 4D.

Foto: Carol Santinoni

RBGf 30 Anos: Novo Sistema *on-line*

Nas últimas três décadas a Revista Brasileira de Geofísica (RBGf) se orgulha em ser a principal plataforma para artigos científicos de autores nacionais relacionados à geofísica, em seus mais diversos âmbitos. Em 2012 novas conquistas estão se concretizando. Uma das metas alcançadas foi a implementação da submissão eletrônica de artigos, facilitando o envio e o acompanhamento das etapas do processo por parte dos componentes envolvidos na publicação, que está no volume 30.

A RBGf está empregando o Sistema Eletrônico de Editoração de Revistas (Seer), Open Journal System (OJS), software desenvolvido pela Universidade British Columbia, que foi traduzido e customizado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). Até o momento, o sistema da RBGf, disponível no endereço www.rbgf.org.br, recebeu a submissão de 50 artigos que estão em processo de avaliação on-line, e que foram acrescidos aos que já haviam sido submetidos via papel e que ainda estão em processo de revisão. Dos revisores que já atuaram na revista ao longo de sua existência, 161 realizaram o cadastro no sistema o qual abrange todo o processo de editoração de um artigo, desde a submissão até a sua avaliação e posterior publicação.

Com o objetivo de aumentar a visibilidade dos artigos produzidos pelos autores nacionais e conquistar novas indexações, em 2012 foi iniciado o processo de internacionalização da revista. A RBGf passou a adotar o idioma inglês como língua oficial de seus artigos atendendo ao anseio da comunidade científica. Foram contratados os serviços de tradutores para a conversão do idioma dos artigos já submetidos e desde o dia 1º de novembro de 2012 a submissão de artigos deve ser realizada obrigatoriamente na língua inglesa e via sistema eletrônico.

Além dos quatro números regulares anuais da revista, estão sendo preparados dois números suplementares para o volume 30, um cujo tema principal é Oceanografia Física e outro do grupo da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica - REMO/CENPES.

Para os próximos anos a ideia é criar volumes especiais da RBGf, incluindo os trabalhos de eventos específicos organizados pela SBGf e/ou por seus associados, além de aumentar o número de artigos submetidos por pesquisadores nacionais e internacionais, através da divulgação contínua da revista e de uma maior eficiência no processo de revisão, editoração e impressão.

A RBGf tem recebido apoio da CAPES/CNPq e FAPERJ e em 2011 foi indicada pelo Comitê de Geociências da CAPES, como uma das revistas nacionais, na área de Geociências, que irá receber apoio da agência, na tentativa de se elevar o nível de impacto das revistas científicas nacionais. A Revista é indexada internacionalmente, há mais de 15 anos, nas bases Geoabstract (Elsevier) e Georef. Também indexada nas bases Scopus; Directoty of Open Access Journals; Catálogo Latindex e os artigos publicados na RBGf possuem a codificação DOI (Digital Object Identifier).

SBGf no Facebook

Visando melhorar a comunicação com a comunidade geofísica, a SBGf lançou em 1º de outubro sua página no Facebook (www.facebook.com/sbgf.org). Lá o associado poderá ver informações sobre eventos promovidos, ficar por dentro das notícias e novas oportunidades, como cursos, concursos e trabalhos, interagir com outros associados e compartilhar suas experiências. Em dois meses mais de 600 pessoas "curtiram" a SBGf na mídia social.

A SBGf esteve na Feira Rio Oil & Gas

A Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGf) esteve presente na 16ª edição da Rio Oil & Gas, evento promovido pelo Instituto Brasileiro do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), realizado entre os dias 17 a 20 de setembro no Rio de Janeiro. A SBGf participou com um estande, divulgando as ações da entidade para os participantes da feira.

Segundo o presidente do IBP, João Carlos de Luca, a 16ª edição da Rio Oil & Gas foi "a melhor em 30 anos", com a realização de quatro plenárias e 24 painéis e apresentação de 586 trabalhos técnicos de 25 países, sendo que a conferência contou com 4.250 congressistas. A feira registrou 1.300 expositores de 27 países, enquanto o programa Profissional do Futuro, voltado para jovens estudantes, contou com o número recorde de 2.300 participantes. O executivo destacou os números da Rodada de Negócios da Organização Nacional da Indústria do Petróleo (Onip), que gerou R$ 152,8 milhões em negócios e lembrou que em 2013 o Brasil será sede da Offshore Technology Conference (OTC), evento internacional do setor de petróleo que, pela primeira vez, será realizado fora de Houston. A próxima edição da Rio Oil & Gas está prevista para 2014.

SBPC entrega carta sobre Marco Regulatório do Setor de Petróleo e Gás

Em 8 de junho, a presidência da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) encaminhou uma carta à ministra chefe da Casa Civil, Gleisi Helena Hoffman, à ministra do Planejamento, Miriam Belchior, e ao Ministro da Fazenda, Guido Mantega, criticando o Projeto de Lei nº 2565/2011, em tramitação no Congresso Nacional, que pode reduzir os investimentos no setor de petróleo e gás natural. O documento foi subscrito por grande número de associações da área científica, tecnológica e de educação, inclusive pela SBGf.

A carta afirma que: "o novo marco regulatório do setor de petróleo e gás natural, (...), prejudica consideravelmente o esforço do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) em desenvolver políticas de apoio a C,T&I. O referido PL reduz grande parte dos recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT, especificamente aqueles destinados ao CT-Petro, que são voltados para o financiamento da pesquisa científica e do desenvolvimento tecnológico, aplicados à indústria do petróleo, do gás natural, dos biocombustíveis e à indústria petroquímica, bem como a prevenção e a recuperação de danos causados ao meio ambiente por essas indústrias... É fundamental a recuperação dos recursos ao CT-Petro e que 50% dos recursos do pré-sal destinados ao fundo social sejam dedicados à Educação, Ciência, Tecnologia e Inovação."

Primeiro Curso de Graduação em Geofísica do Brasil – IAG/USP

A geofísica é uma ciência autônoma de característica interdisciplinar. Este foi o principal argumento para a criação do primeiro curso de graduação em geofísica do Brasil, em 1984, dentro do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), que teve participação ativa da SBGf. Apesar de, na década anterior de 1970, a geofísica já ter alcançado grande desenvolvimento nos Estados Unidos e Canadá, em países da Europa e no Japão, tanto na área de Terra Sólida como na parte Aplicada, a implantação da graduação em geofísica no Brasil passou por resistências e muita discussão.

"Na primeira metade da década de 1960, na parte da chamada geofísica da Terra Sólida, surgiram resultados de estudos que levaram à Teoria da Tectônica de Placas, que revolucionou as geociências. A geofísica atraiu então grande atenção, principalmente na Europa e nos Estados Unidos. Além desses estudos, a utilização de métodos mais elaborados na prospecção de petróleo e outros recursos minerais e energéticos impunham a necessidade de profissionais com formação mais específica", explica o então professor do IAG/USP e figura-chave na criação da graduação em geofísica do país, Igor Pacca.

Foto: Arquivo Pessoal

No intuito de promover debate mais amplo, a SBGf organizou, na primeira metade da década de 1980, três mesas-redondas sobre o tema. A primeira, intitulada "Ensino de geofísica no Brasil", foi realizada em 14 de setembro de 1982, na quarta reunião anual da SBGf, dentro do 32º Congresso Brasileiro de Geologia, em Salvador (BA). Mediado por Igor Pacca (IAG/USP), o encontro contou com a participação de Roberto Dall'Agnol (UFPA), Humberto Carvalho (UFBA), Jesus Berrocal (IAG/USP), José Augusto Bittencourt (Inpe) e Roland Barreau (ON) como debatedores.

Segundo Igor Pacca, as geociências tiveram desenvolvimento tardio no Brasil. Os primeiros cursos de geologia foram implantados através da Campanha para a Formação de Geológos (CAGE), do Ministério da Educação, em 1956/57. Antes disso, só havia algumas disciplinas básicas de geologia, nos cursos de engenharia de minas e nos cursos de história natural. "Os novos currículos de geologia geralmente incluíam uma disciplina de geofísica aplicada. Entretanto, havia tantos outros campos importantes da geologia para serem desenvolvidos que não houve prioridade para a expansão da geofísica nas escolas de geologia. Deve-se salientar também que o mercado de trabalho de geofísica era na época muito incipiente no Brasil". A solução apresentada pelo IAG/USP foi a criação de um curso de graduação em geofísica, implantado em 1984 naquela instituição.

O IAG, então Instituto Astronômico e Geofísico, já tinha uma longa história, com origem na Comissão Geográfica e Geológica, de 1887. Teve vários nomes e pertenceu a diferentes Secretarias do Estado de São Paulo, até ser incorporado à Universidade de São Paulo, como Instituto Complementar em 1946. Entre 1969/80 a USP passou por mudanças profundas em sua estrutura, com a Reforma Universitária que criou novas unidades como os institutos de Física, de Química, de Geologia, de Matemática e de Biologia. O destino do IAG, Instituto Complementar, ficou para ser discutido depois, havendo propostas de incorporá-lo ao Instituto de Física ou ao Instituto de Geociências ou de constituir uma nova unidade, para desenvolver a Astronomia, a Geofísica e a Meteorologia. Acabou prevalecendo a terceira alternativa, em 1972.

"As geociências tiveram desenvolvimento tardio no Brasil"

"Praticamente em todas as Universidades com curso de geologia havia alguma disciplina de geofísica aplicada, mas em nenhuma delas houve alta prioridade no seu desenvolvimento. Os poucos cursos de engenharia de minas também acabavam tocando em algum assunto de geofísica. A proposta de um curso novo em Universidade como a USP sempre encontra objeções de outras unidades porque aumenta os encargos e diminui a parcela de recursos de cada unidade participante. Foi muito forte também a oposição de associações profissionais de geólogos, temendo que o novo profissional ocupasse parte de seu mercado de trabalho".

Ainda, na primeira mesa redonda promovida pela SBGf, os especialistas presentes manifestaram-se a favor da realização de um seminário para discussão do currículo mínimo para a graduação em geofísica e de uma pesquisa de mercado sobre a demanda de profissionais na área, da organização de cursos intensivos de curta duração pela SBGf, da edição de livros técnicos de geofísica e da proposição à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao CNPq de concessão de bolsas para cursos de pós-graduação com três anos de duração.

A questão foi discutida com mais profundidade na mesa redonda promovida pela SBGf em 11 de julho de 1983, na quinta reunião da entidade, em Belém (PA), no âmbito do 35º encontro anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Com o tema central "Ensino de geofísica em cursos de graduação", essa segunda mesa redonda foi coordenada por Jesus Berrocal e composta por Carlos Alberto Dias, José Seixas Lourenço, Moyses Bentes, Igor Pacca, Jacira Beltrão e Antonio Azevedo. A maior parte dos debatedores levantou questões que colocavam em xeque a pertinência de se concentrar esforços na criação desses cursos. Havia dúvida, entre os presentes, se essa medida de fato melhoraria a formação dos geofísicos. Outra alternativa apontada seria direcionar esforços para o aprimoramento do ensino da geofísica nos cursos de graduação em geologia, engenharia e física já existentes.

"Mesmo a oposição de geólogos foi proveniente de associações profissionais. A maior parte dos geólogos, envolvidos em pesquisa, entendia a necessidade de criação do curso. Talvez algumas pessoas entendessem naquela época que uma pós-graduação para geólogos ou físicos fosse suficiente, mas houve dificuldades devido à deficiência de conhecimento, em um caso de física e matemática e no outro de disciplinas geológicas. Os assuntos foram sempre os mesmos: necessidade e oportunidade de criação do curso; os profissionais existentes não atendiam o mercado de trabalho; graduação ou pós-graduação; e interesse internacional por pesquisas

fundamentais num país do tamanho do Brasil. A persistência na discussão desses temas foi essencial para esclarecer, vencer resistências e abriu caminho para a discussão de temas como a regulamentação da profissão de geofísico", afirma Igor Pacca.

Em 1983, a SBGf promoveu mais um encontro para debater o assunto durante o 33º Congresso Brasileiro de Geologia, no Rio de Janeiro. A mesa-redonda "Curso de graduação em geofísica" foi coordenada por Samir Nahass (CPRM) e teve como debatedores Carlos Alberto Dias (UFBA), Conrado Paschoale (1949-1990) (SBGeo), Eduardo Ladeira (UFMG), Igor Pacca (IAG/USP), Jacira Beltrão (UFPA), Murilo Marroquim (Petrobras/Conage), Ronaldo Azambuja (Finep) e Wilson Ferreira (Enege).

Nesta terceira mesa de discussão, Igor Pacca apresentou a estrutura básica do curso de bacharelado em geofísica do instituto, direcionado para a formação de pessoal com um currículo voltado para os fundamentos da pesquisa básica. Diante da criação do primeiro curso, começou-se a discutir, a partir dali, algumas questões práticas como a grade curricular e a profissionalização da geofísica.

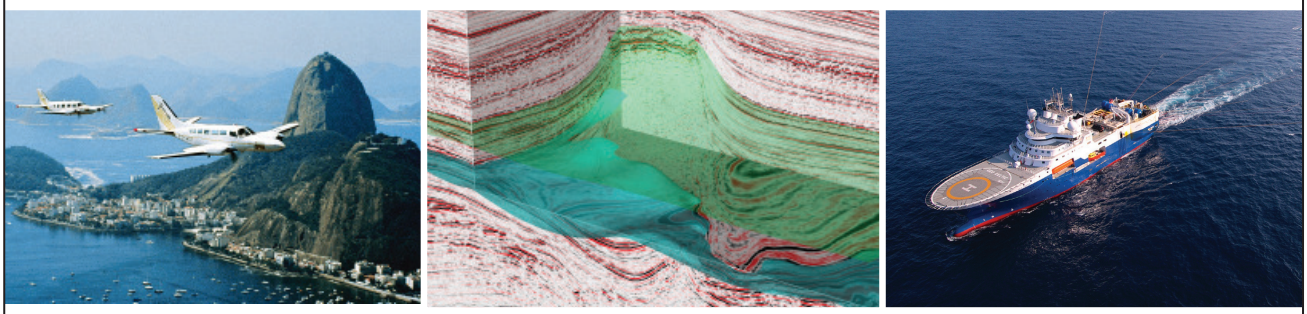
De acordo com Igor Pacca, "a primeira grade curricular baseou-se em programas de cursos existentes em universidades de outros países e em condições específicas da USP. Era essencial, a colaboração de outras unidades como os Institutos de Matemática, de Física e de Geociências. As primeiras grades não incluiam geofísica aplicada por restrição do Instituto de Geociências que queria manter em seu instituto as disciplinas correspondentes. Era a procura do equilíbrio entre o que podia ser oferecido e o que caberia num currículo de quatro anos. Ao longo dos anos seguintes foram feitos muitos ajustes, em função do que poderia ser oferecido e das necessidades do profissional que se formava".

Durante o sexto encontro da SBGf, realizado de 28 de outubro a 4 de novembro de 1984, na reunião da diretoria e do conselho, as discussões voltaram à pauta. Além disso, foi debatida a necessidade da criação de um comitê assessor do CNPq na área de geofísica e meteorologia, o que acabou acontecendo posteriormente como resultado da pressão exercida pela SBGf junto ao órgão de fomento do governo.

"O futuro das Instituições de Ensino está na manutenção de suas vocações"

O curso do IAG/USP vingou e deu origem a outros. Passados quase 30 anos desse debate, existem hoje sete cursos de graduação em geofísica no Brasil e, no âmbito da comunidade de geociências, é consenso a importância de tais cursos para a formação de geofísicos para atuar tanto na pesquisa acadêmica quanto no mercado de trabalho. No campo da formação em nível de graduação, os esforços da SBGf hoje se direcionam no sentido de aperfeiçoar esses cursos e a despertar o interesse de jovens estudantes por essa ciência.

Para Igor Pacca, o futuro das Instituições de Ensino está na manutenção de suas vocações. "Observando-se as instituições pelo mundo onde há atividade de ensino e pesquisa em Geofísica, nota-se que elas não são uniformes e cada uma está mais voltada para determinadas especialidades. Claro que deve haver um currículo mínimo, mas as instituições devem manter sua individualidade, para atender a sua vocação, a variedade de ingressantes, as necessidades e mudanças do mercado de trabalho".



FOR **COMMITMENT** IN BRAZIL...

Fugro provides its clients in Brazil with unsurpassed technology, resources and expertise ideally placed to explore the region.

- Modern 3D and 4D seismic fleet of new, ultra-high capacity C-Class vessels
- Local processing centre for comprehensive seismic processing
- 11,000 km² of 3D and 115,000 km of 2D multiclient seismic data from offshore Brazil
- Over 2 million line-km of NEX high resolution airborne magnetic data from offshore basins
- Complete suite of gravity, magnetic and electromagnetic services

Fugro - Local Support, Global Reach

Fugro
Tel: +55 (21) 3219 8500 (Seismic)
Tel: +55 (21) 3501 7700 (Non-Seismic)
www.fugro.com.br

FUGRO

NOTAS

O Terremoto que mexeu com o Brasil – Como João Câmara, RN, mostrou que nosso país não está livre de abalos destrutivos

Em novembro de 1986 o Brasil passou por um dos maiores abalos sísmico já registrado no país. No dia 30, a região de João Câmara (RN) tremeu com um terremoto de magnitude 5.1. Sismos da ordem de 4.0 foram sentidos em Natal e, outros um pouco maiores, balançavam prédios em Recife, Olinda e João Pessoa. A história deste abalo, suas causas e suas consequências, estão no livro "O Terremoto que mexeu com o Brasil – Como João Câmara, RN, mostrou que nosso país não está livre de abalos destrutivos" (Thesaurus Editora, 2011, 342 pg.), de autoria do geólogo e geofísico José Alberto Vivas Veloso.

O autor foi secretário de ensino da SBGf no período 1989-1991 e conselheiro durante os anos de 1993 a 1995. Formou-se geólogo pela UnB em 1968, mestre em geofísica pela Universidad Nacional Autónoma de México e especialista em sismologia pelo International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, no Japão. Foi chefe da Estação Sismográfica da UnB por vários anos e líder do processo que a transformou em Observatório Sismológico (SIS), em 1988. Em 1997 foi convidado pela ONU para chefiar uma seção de uma nova organização encarregada de estabelecer o Tratado de Proibição Completa de Testes Nucleares, com sede em Viena, Áustria, onde permaneceu por sete anos

José Alberto Vivas Veloso conta como foi o processo de escrever o livro: "Em junho de 2011, quando escrevia um livro sobre terremotos brasileiros – trabalho ainda em andamento – percebi a aproximação do 25º aniversário do principal tremor de João Câmara. Inicialmente pensei em marcar a data com um booklet(...). Em seis meses de intenso trabalho o assunto cresceu e, poucos dias antes do aniversário do sismo, tinha em mãos um livro de 342 páginas."

O livro "O Terremoto que mexeu com o Brasil – Como João Câmara RN, mostrou que nosso país não está livre de abalos destrutivos" possui uma "Cartilha Sísmica: Saiba como Agir", um glossário técnico e um CD-ROM com vídeo sobre os tremores de João Câmara – RN e pode ser adquirido nas livrarias Cultura e Saraiva e no site da Thesaurus Editora (*http://www.thesaurus.com.br/*). "(...) colecionei muita informação, muitas fotos, um filme, além de muitas histórias vividas. A melhor forma de contar tudo isso seria através de um livro, preferencialmente de divulgação científica. Creio que consegui." conclui José Alberto Vivas Veloso.

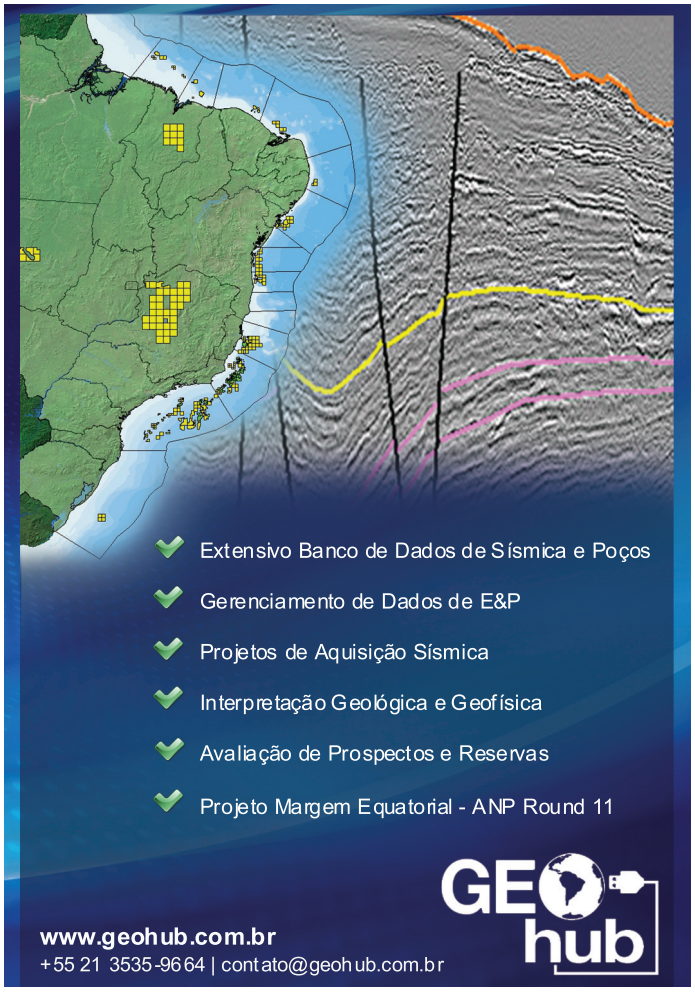
Saiba mais em *http://www.sbgf.org.br*

Observatório Nacional lança Tour Virtual do Campus

Nos mesmos moldes da ferramenta "Google Street", o Observatório Nacional (ON) lançou este ano um tour virtual por suas dependências, onde o internauta pode explorar os principais espaços do campus, suas áreas externas e dependências internas. A visita está disponível na página da internet www.on.br, sessão Tour Virtual, e é parte da comemoração dos 185 anos do ON, fundado por Dom Pedro I em 1827. O passeio foi concebido por meio de programas desenvolvidos especificamente para a finalidade de montagens 3D, de forma a ser amigável e de fácil compreensão, através de fotos em alta resolução.

No tour virtual é possível entrar em áreas que, fisicamente, têm acesso restrito a pesquisadores, como as cúpulas de observação. O intuito é divulgar a arquitetura de seus prédios quase centenários, como também dos seus instrumentos científicos, mostrar a biblioteca, com seu acervo especializado nas áreas de astronomia, geofísica, tempo e frequência e ciências afins, além da natureza do espaço do Observatório Nacional, patrimônio histórico e cultural do país, localizado no Bairro Imperial de São Cristóvão, no Rio de Janeiro.

Virtualmente os internautas também podem visitar outras áreas do ON, como a Rede Brasileira de Observatórios e Padrões Geofísicos (que utiliza sismógrafos e gravímetros), o Serviço da Hora (sala onde é disseminada a Hora Legal Brasileira a partir de um conjunto de relógios atômicos), além de poder conferir outros equipamentos astronômicos, como o heliômetro (instrumento de alta precisão que monitora diariamente as variações da forma e do volume do Sol).



UNIVERSIDADE

Panorama da Graduação em Geofísica no Brasil – UFPA

O Boletim SBGf está divulgando um Panorama da Graduação em Geofísica no Brasil, no qual são tratados diferentes temas relativos ao ensino nas Instituições de Ensino Superior (IES). A cada edição é publicada uma entrevista com um coordenador de curso de graduação em geofísica e um estudante da mesma IES.

Oriundo do programa de pós-graduação em geofísica, criado em 1973, o curso de graduação em geofísica da Universidade Federal do Pará iniciou em 2002, ingressou a primeira turma em 2003 e já formou 76 geofísicos, dentro do Instituto de Geociência. Tendo o vestibular como processo de seleção, até 2011 o ingresso era de 20 alunos por ano, em 2012 esse número dobrou para 40 alunos com a concorrência de 7,5 candidatos por vaga. Atualmente, o curso conta com 113 alunos matriculados, sendo 4 participantes do programa Ciência Sem Fronteira do Governo Federal.

O curso, com duração de 8 semestres, é divido em três ciclos, o básico, intermediário e profissional com foco em geofísica aplicada. Uma característica do curso é que 80% das disciplinas são ministradas por professores do próprio departamento, inclusive matérias básicas de física, matemática e computação, que procuram aplicar os conceitos aos exemplos geofísicos. Atualmente o curso conta com 15 docentes dos quais 13 são doutores e 2 mestres e um edital aberto em 2012 iniciou o processo de contratação de mais dois professores.

Os alunos têm acesso aos quatro laboratórios de pós-graduação em geofísica além do laboratório de Prospecção Geofísica e Modelagem Analógica que fazem parte da infraestrutura do curso que conta ainda com salas equipadas com recursos de multimédia, computadores com os principais softwares geofísicos comerciais instalados e biblioteca setorial. A biblioteca do curso está em fase final de instalação e contará com acervo doado pelas famílias dos falecidos professores da UFPA, Luiz Rijo e Om Prakash Verma.

Foto: Arquivo Pessoal

Entrevista Cristiano Mendel Martins

Cargo: diretor da Faculdade de Geofísica da UFPA

Como está o desenvolvimento da geofísica em sua instituição de ensino? Como avalia a qualidade do curso?

Felizmente temos contado com apoio da administração superior em nossas necessidade e iniciativas. A geofísica é um curso de alto nível e que demonstra maturidade quanto às realizações, embora seja um curso de graduação um tanto recente na UFPA.

O curso possui áreas de especialização?

O curso não tem áreas de especialização quanto à habilitação profissional na graduação, mas os trabalhos de conclusão de curso em geral são relacionados a uma das quatro áreas nas quais temos expertise (Geofísica Aplicada; Geofísica de Poço; Métodos Elétricos/Eletromagnéticos e; Métodos Potenciais). O perfil do profissional formado aqui é voltado à geofísica aplicada.

A partir de qual período são oferecidas atividades práticas?

Temos atividades práticas nos laboratórios e em campo. A primeira oferta de disciplina de geofísica com prática de campo ocorre no 4º período, mas já no primeiro período acontecem viagens ao campo nas disciplinas de geologia. São realizadas também atividades no campo de testes (sítio controlado próximo a UFPA) logo no primeiro semestre para familiarizar o aluno no âmbito dos procedimentos de campo da geofísica.

Os alunos usufruem de algum convênio entre universidade-empresa ou bolsas de iniciação científica?

Temos convênios e projetos com empresas proporcionando estágios e bolsas. Atualmente temos alunos estagiando em empresas fora de Belém. Praticamente um terço de nossos alunos é bolsista, temos bolsistas de iniciação científica, de extensão, de trabalho e em um projeto intutulado Pet Geofísica.

Quais áreas são desenvolvidas no curso de pós-graduação em geofísica da UFPA?

Temos o programa de Pós Graduação em Geofísica com Mestrado e Doutorado nas áreas Métodos Geofísicos de Poço, Método Elétrico/Eletromagnético, Método Sísmico, Métodos Potencias, Geofísica de Poço e Geofísica Marinha.

Foto: Arquivo Pessoal

Entrevista Thiago Figueiró Ribeiro

Idade: 23 anos
Período: 7º semestre de graduação em geofísica
Interesse atual: Geofísica de Exploração e Métodos Sísmicos
Situação profissional: estudante

O que o motivou a cursar Geofísica?

O curso de geofísica da UFPA é voltado para geofísica de exploração, em especial à prospecção de petróleo. Isso o torna interessante para o aluno que está ávido pra entrar na indústria de petróleo e gás.

O curso tem correspondido as suas expectativas?

Em geral, o curso me proporcionou diversas oportunidades de bolsas de pesquisa, além de também oferecer o programa de ensino tutorial (PET), um dos únicos no Brasil nas faculdades de geofísica. Tive a honra de ter aulas com excelentes professores, como João Batista Corrêa da Silva, Jessé Carvalho Costa, José Gouvêa Luiz e Lourenildo Barbosa. Isso me abriu portas para o intercâmbio Ciências sem Fronteiras, onde passei seis meses na Lawrence University, Wisconsin. Ainda nos Estados Unidos, fui aprovado para a University of Wyoming - Laramie e para a University of Californa - Riverside. Assim, o curso de graduação de Geofísica da UFPA dá as ferramentas necessárias para o aluno crescer e se desenvolver como profissional da área de P&G.

Pretende fazer alguma especialização ou investir diretamente na carreira profissional?

Eu tenho grande interesse em fazer mestrado no exterior na área de geofísica do petróleo. Em seguida, trabalhar na área de prospecção de hidrocarbonetos.

Você fez outro estágio durante o curso? Se sim, em qual(s) empresa(s)? Como foi sua experiência?

Minha primeira bolsa de pesquisa funcionava como estágio, ainda no meu terceiro semestre, em um projeto do grupo de eletromagnetismo da minha faculdade (Modelagem e inversão 3D de dados geofísicos eletromagnéticos para exploração e detecção de petróleo em águas profundas). O projeto era financiado pela Petrobras e o meu estágio foi bastante proveitoso.

ENTREVISTA

Entrevista Adyr Tourinho: Aquisição Sísmica Marinha

Em continuidade à matéria especial sobre Aquisição Sísmica Marinha, publicada na última edição, o Boletim SBGf complementa o assunto com uma entrevista com o vice-presidente para América Latina da empresa WesternGeco Serviços de Sísmica Ltda, Adyr Tourinho. A WesternGeco utiliza uma grande variedade de tecnologias de aquisição sísmica com cabos sísmicos que chegam a ter 8Km de comprimento possibilitando iluminação e imageamento de áreas de interesse em águas ultra profundas através das tecnologias Narrow Azimuth (NAZ), Multi Azimuth (MAZ), Wide Azimuth (WAZ), ObliQ, DISCover e Coil. Além disso, a empresa acaba de lançar a tecnologia de aquisição sísmica chamada IsoMetrix, que apresenta uma nova geração de cabos sísmicos equipados com acelerômetros que permitem a aquisição de dados também na direção horizontal perpendicular aos cabos, permitindo uma real aquisição 3D através da reconstrução precisa de cabos gerando malhas densas de dados sísmicos de até 6.25 x 6.25m de espaçamento, tudo isso com a mesma quantidade de cabos dispostos na água.

Foto: Arquivo Pessoal

Como é a relação custo-benefício de uma aquisição de dados marinhos feita por métodos sísmicos? Quais são os fatores que influenciam no custo final?

A frota de navios especializados em aquisição sísmica é limitada no mundo e, às vezes, não somente a distância do local onde será executado o projeto, mas também as demandas por embarcações que, com frequência são concorrentes no prazo de execução, representam um peso fundamental no custo de um projeto. As configurações e geometrias desenhadas para iluminar e obter boas imagens do subsolo também impactam o custo de aquisição. Entre outros fatores podemos mencionar que a quantidade de navios operando simultaneamente, a velocidade de aquisição, a duração do registro, assim como o número de fontes e cabos por embarcação, o comprimento dos mesmos e o distanciamento entre eles são alguns dos fatores primordiais no custo do levantamento sísmico. Desde o ponto de vista logístico, tanto o tipo e número das embarcações de apoio, assim como a distância que os barcos devem percorrer para se movimentar de um levantamento a outro (em alguma outra parte do mundo), também representam custos variáveis e, às vezes, de grande envergadura.

Quais fatores podem prejudicar a precisão dos dados adquiridos?

A precisão dos dados é comprovada através da perfuração de poços e confirma a interpretação realizada, alcançando ou não parâmetros aceitáveis. A precisão pode ser afetada por desvios ou problemas não totalmente compensados durante a aquisição ou no processamento dos dados adquiridos. Existem grande quantidades de procedimentos para minimizar os ruídos que mascaram o sinal sísmico proveniente da reflexão de horizontes geológicos no subsolo. Alguns dos componentes que produzem ruído errático estão relacionados a condições ambientais (marés, ventos), alguns outros são mais ordenados e são inerentes ao método sísmico marinho que consegue refletores de impedância acústica extremamente fortes (como são a interface solo marinho/água ou aquela entre a água e o ar) e que, além de repetir-se por múltiplas reflexões, mascaram os dados reais dos refletores do subsolo que se tenta mapear. Já no processamento, lembrando que a sísmica produz dados espaciais com medidas em distância no plano horizontal mais tempo de propagação da onda de ida e volta entre o barco e o refletor do subsolo, devemos considerar que os processos chamados de migração tem uma definitiva influência na precisão dos dados. Tais processos tentam transformar através de leis de velocidade, as profundidades nas quais os refletores se encontram já que os poços a ser perfurados serão medidos em profundidade e não em tempo. Da qualidade de tal conversão depende a precisão das profundidades assim como das disposições espaciais dos estratos, que idealmente se apresentam inclinados para que contenham acumulações de óleo ou gás. Obviamente existem muitos outros processos que afetam o condicionamento dos dados, seja em tempo ou profundidade, e que podem impactar positiva ou negativamente a precisão dos dados finais.

Do ponto de vista ambiental como avalia o uso de métodos sísmicos na aquisição de dados marinhos? Quais são as principais dificuldades encontradas devido às restrições das leis ambientais?

Os impactos ambientais estão bem compreendidos e são gerenciados adequadamente, particularmente realizando os estudos e praticando as formas de operação recomendadas para eliminar qualquer risco. Esta é e sempre foi uma grande preocupação da WesternGeco. Pela natureza da operação de sísmica, esta é uma operação essencialmente limpa, com pouca possibilidade de perda de óleo. Podemos considerar neste caso a sísmica como um método não invasivo para investigar reservatórios de óleo (as jazidas contendo óleo ou gás são analisadas através da propagação de ondas sonoras). Para minimizar ainda mais as possíveis perdas de óleo dos cabos que se estendem na água, a indústria tem utilizado tecnologias de cabos que chamamos de sólidos que contem gel e não óleo no seu interior, reduzindo ainda mais o risco de impacto ambiental, que já é mínimo por natureza. Outra fonte de preocupação são os mamíferos que podem ficar envoltos no meio das operações de sísmica, mas estes são monitorados e quando detectada sua presença as operações são imediatamente paralisadas para facilitar sua fuga da área. A WesternGeco tem também um tecnologia chamada de "MAP – Monitoramento Acústico Passivo" , que possibilita, através do estudo das ondas sonoras dos mamíferos registradas nos cabos, detectar sua presença ainda nos horários noturnos onde visualmente os observadores não podem detectá-los.

Quais tecnologias estão sendo desenvolvidas atualmente na área de aquisição de dados marinhos por métodos sísmicos?

A WesternGeco detém as licenças da tecnologia de aquisição mais modernas e eficientes em termos de cobertura e qualidade chamada de COIL ou aquisição em círculos. Esta tecnologia surgiu como resposta para conseguir alcançar a eficiência que sempre é perdida no que chamamos de mudança de linha. Para efetuar a varredura da área que se pretende estudar, os desenhos de movimentação dos barcos fazem com que as embarcações tenham que sair e voltar a entrar na área de estudo para realizar a cobertura correta. O método COIL minimiza o tempo perdido em tais tarefas, otimizando consideravelmente não somente a qualidade dos dados, mas também a eficiência operacional.

Na presença de geologia complexa, o alcance multi-azi-

mutal (360°) de COIL permite iluminar partes intocadas do subsolo por ondas sísmicas com uma maior relação sinal-ruído, como, por exemplo, regiões abaixo de corpos de sal complexo. Em uma configuração DUAL COIL, que envolve dois navios de registro com suas próprias fontes e dois navios fontes, além dos benefícios multi-azimutais, todos navegando em grandes círculos (12-15 km) de diâmetro interligados, o alcance chega atingir offsets de até 14 Km. A última geração de cabos da WesternGeco mencionada anteriormente conta com o único cabo no mercado capaz de produzir verdadeiros levantamentos 3D com células extremamente pequenas, impossíveis de ser pensadas há poucos meses atrás. Para ter uma ideia do esforço necessário para desenvolver tecnologias como essa, investimos 10 anos em pesquisas e estudos para lançar esse produto no mercado.

Como está a disponibilidade de recursos humanos para uma equipe sísmica? Como é a capacidade técnica do Brasil em atuar na aquisição de dados marinhos por métodos sísmicos?

A atividade sísmica vem aumentando e consequentemente a demanda por novos projetos faz com que a disponibilidade de recursos seja um limitador. Em alguns casos, os projetos do Brasil disputam a prioridade com projetos no Golfo do México e com a costa oeste da África, por exemplo. O Brasil vem formando uma grande quantidade de profissionais que estão ganhando experiência internacional, que os capacita a trabalhar em qualquer parte do mundo. A indústria sísmica tem como característica o intercâmbio de profissionais provenientes de diferentes países, que permite a troca de experiências e acelera a curva de aprendizado dos profissionais mais novos.

Atualmente, dentro das necessidades do mercado nacional, qual é o maior desafio da área de aquisição de dados marinhos por métodos sísmicos?

Os grandes desafios que enfrentamos hoje é manter o mercado brasileiro atrativo internacionalmente. Os projetos brasileiros têm que competir com outras áreas com atividade exploratória mais intensa. A falta de definição com relação às próximas rodadas exploratórias da ANP faz com que os investimentos em sísmica fiquem limitados às empresas que já possuem descobertas.

Qual é o panorama atual dos investimentos (públicos/privados) em atividades de aquisição de dados marinhos por métodos sísmicos no Brasil?

Atualmente o mercado brasileiro vem passando por uma fase de transição. A aquisição marinha tem se focado em sísmica de reservatório em função da diminuição da atividade exploratória. A tendência é a de que a sísmica exploratória retorne com força com as novas rodadas de licitação. A atividade sísmica terrestre vem apresentando um maior grau de interesse em função de investimentos feitos principalmente nas bacias do São Francisco, Amazonas e Parecis. Acreditamos que parcerias com empresas locais utilizando nossos equipamentos de sísmica de alta densidade, chamado UniQ, vai possibilitar avanços nos estudos de áreas de complexa geologia. Portanto, a WesternGeco segue apostando no enorme potencial do mercado brasileiro. Os desafios são enormes, mas temos certeza que nossa tecnologia e nossos recursos humanos irão ajudar a indústria a encontrar as respostas necessárias para o desenvolvimento do setor no país.

A partir de uma ideia encontramos muitas outras. Assim como a partir da energia encontramos soluções para o futuro.

A Petrobras acredita que através da energia é possível construir um futuro melhor para todos nós. Por isso, investe em pesquisa e tecnologia nos setores de petróleo, gás natural, biocombustível e outras fontes renováveis que contribuem para o desenvolvimento do país.

BR PETROBRAS

O DESAFIO É A NOSSA ENERGIA

Ministério de Minas e Energia

GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

www.petrobras.com.br

ESPECIAL

Processamento de Dados Sísmicos: avanços em busca da qualidade

Os avanços tecnológicos têm contribuido significativamente para evolução no processamento de dados sísmicos e são o passo inicial na substituição dos processos e desenvolvimento da área. A mudança do domíno 2D para 3D ilustra a rápida absorção de novas tecnologias que se fazem necessárias para atender às demandas de um mercado competitivo.

De acordo com o geofísico turco Özdogan Yilmaz, autor do livro Seismic Data Processing, considerado marco do assunto, o processamento sísmico consiste em etapas básicas: demultiplexação (reorganização dos dados), geometria da aquisição, edição, aplicação de filtros (de freqüência, espacial e outros), deconvolução, análise de velocidade e migração. Através de sistemas computacionais cada vez mais potentes, softwares e algoritmos mais complexos e eficazes, o processamento de dados sísmicos continua avançando, alcançando uma melhor qualidade e precisão nos resultados, inclusive na reinterpretação de dados obtidos no passado.

Principal empresa do segmento de exploração no Brasil, desde o final da década de 1950 a Petrobras realiza o processamento de dados sísmicos em território nacional e hoje possui um Centro de Processamento de Dados (CPD) principal no Rio de Janeiro, além de oito outros Centros menores em Manaus, Natal, Aracaju, Salvador, Vitória, Macaé, Rio de Janeiro e Santos. Com um total de 120 geofísicos brasileiros em sua equipe de sísmica, um terço deles com mestrado ou doutorado em geofísica, a estatal ainda contrata empresas de serviços para processamentos. "Todos passaram por extenso treinamento em geofísica em cursos de longa duração na empresa. Há no Rio de Janeiro dois CPDs que atendem a todos os Centros da empresa, com exceção de Manaus, e todos os centros regionais possuem um CPD de pequeno porte para atender às demandas locais mais urgentes", comenta o gerente de processamento sísmico da Petrobras, Luís Henrique Amaral.

Foto: Arquivo Pessoal

Segundo Luís Henrique, os fatores que compõem o custo do processamento são basicamente mão de obra e infraestrutura de processamento (cluster, disco e software). "O prazo de processamento de um projeto é função da área deste dado, de sua densidade, se é 2D ou 3D, se é em tempo ou profundidade, tipo de algoritmo de migração e da dificuldade técnica oferecida pela geologia da área. Os dados 2D podem ser feitos em prazos relativamente curtos. E de forma geral é possível concluir um processamento 3D mais simples, que ofereça uma visão aceitável da área em questão, em curto intervalo de tempo, mas sacrificando os detalhes e desprezando geologias mais complexas".

Os softwares básicos que a Petrobras utiliza são o SeisSpace da LandMark e o Geodepth da Paradigm, também são usados o Geovation da CGGveritas e o Omega da WesternGeco, e o Renegade, para correções estáticas. Além desses softwares comerciais, a estatal possui um extenso portfólio de programas de processamento sísmico, desenvolvidos por sua equipe de tecnologia geofísica, que oferece desde correções estáticas até migrações em profundidade com diversos tipos de algoritmos. "Se o objetivo é obter uma imagem precisa de uma área tectonicamente complexa, com dados de alta densidade, utilizando algoritmos de migração em profundidade, como *reverse time migration* com correção de anisotropia, o processamento será demorado, mas vai resultar, muito provavelmente, em uma imagem que poderá oferecer novas perspectivas para a exploração da área", afirma o gerente de processamento da Petrobras.

Diversas empresas estrangeiras atuam com CPDs instalados no Brasil, entre elas a Schlumberger e a Fugro Geosolutions. Segundo o gerente geral da Fugro Geosolutions, Evando Bartholazzi, a empresa já processou mais de 200 mil quilômetros de dados sísmicos 2D e 35 mil quilômetros de 3D das bacias brasileiras e possui um CPD localizado no Rio de Janeiro, que conta com profissionais, entre sêniores e estagiários, com formações em geologia e geofísica, operando equipamentos modernos em processamento e armazenagem de dados. "A Fugro presta serviços de processamento para empresas de diferentes portes, desde as grandes empresas estrangeiras e brasileiras, como a Petrobras, até empresas brasileiras recém-criadas com operações em terra. Atualmente trabalha no reprocessamento não exclusivo de aproximadamente 70 mil quilômetros de dados sísmicos na Margem Equatorial, área de grande interesse, com o objetivo de apresentar dados de excelente qualidade para exploração da Margem pelas empresas interessadas em participar da próxima rodada de licitações da ANP".

Foto: Arquivo Pessoal

A Fugro utiliza softwares proprietários para o processamento tanto marítimo, Uniseis, quanto terrestre, Kismet, prestando serviços nas áreas de métodos sísmicos e não sísmicos, o que facilita a utilização e conhecimento na integração dos dados. "No entanto, na maioria das vezes, esta correlação depende de cada projeto, por tratar-se de uma fase mais de interpretação dos clientes. Grande parte dos navios hoje em dia dispõe de capacidade para pré-processamento a bordo. Entretanto, processamentos mais sofisticados requerem muito tempo de processamento que ainda inviabiliza serem realizados in situ", comenta Evando Bartholazzi.

Empresas nacionais também operam na área de processamento sísmico, com CPDs e especialistas próprios.

A Geotrace Brasil presta serviços para a Petrobras e outras empresas privadas processando dados marítimos e terrestres e opera com um CPD no Rio de Janeiro, com 850 CPUs de última geração de fabricação nacional. "A empresa tem seis funcionários, todos brasileiros com curso superior e alguns com mestrado; são geofísicos, físicos, um técnico e um engenheiro. A Geotrace tem uma série de tecnologias exclusivas para o aumento de resolução e inversão e o plano é aumentar o número de funcionários o mais rápido possível", afirma o sócio-gerente da empresa, George Stilgoe.

Foto: Arquivo Pessoal

A Geotrace possui um pacote completo de software próprio, com mais de 450 programas diferentes. "O custo de processamento de dados é muito baixo quando comparado com o custo de aquisição. O processamento de dados em terra custa de 1 a 2% do custo do levantamento e no mar 10-20%. O custo de reprocessar dados, também é muito baixo quando comparado ao orçamento para perfuração. Um processamento mal feito pode levar a decisões erradas e de consequências caras".

A Invision, além de ser uma empresa nacional de serviço, é também uma empresa de tecnologia. Seu escritório de negócios está localizado no Centro do Rio de Janeiro e a base operacional e sede localizam-se na cidade de Rio das Ostras, com uma equipe de processamento composta por um coordenador, PhD em geofísica, quatro geofísicos, todos brasileiros e outros técnicos. "Utilizamos um cluster da Dell para o processamento. Ao longo dos anos temos desenvolvido uma série de metodologias e softwares de processamento sísmico especiais, que garante uma melhora expressiva da qualidade e resolução do dado sísmico. O processamento especial integra o núcleo principal dos serviços oferecidos pela Invision, juntamente com inversão sísmica e caracterização de reservatório", informa o CEO da Invision, Igor Lopes Santana Braga.

Foto: Arquivo Pessoal

Para o processamento convencional de dados sísmicos a Invision utiliza o software Geothrust, da empresa Geotomo, que traz o que existe de mais moderno no tratamento do problema de estática (tomografia de refração e correções residuais) e diversos algorítimos de migrações em tempo e profundidade, aliado a uma poderosa ferramenta de análise de velocidade. Igor Braga diz que, em escalas regionais ou em novas fronteiras, a utilização de métodos não sísmicos é uma opção inicial para obter o conhecimento da subsuperfície, mas, devido a sua menor resolução, quando comparado com o dado sísmico, nos trabalhos exploratórios em escala de prospecto ou campo, existe uma forte tendência da indústria em basear as tomadas de decisões utilizando, principalmente, o dado sísmico, poços e o conhecimento geológico.

"A integração de métodos sísmicos e não sísmicos tem sido área de estudo de diversos centros de pesquisa no Brasil. Acredito que com um incentivo maior a essa linha de pesquisa trará benefícios para a indústria como um todo. Na Invision estamos conduzindo uma iniciativa financiada pela FINEP para a integração da sísmica com os métodos eletromagnéticos, através das relações entre as propriedades físicas elásticas e elétricas".

Ainda segundo Igor Braga, o tempo de um processamento é proporcional ao volume de dados. No processamento, são necessários inúmeros processos até o imageamento final da subsuperfície. "Esses processos são encadeados e executados um após o outro. A complexidade geológica da área também é um fator que vai impactar no tempo total de um processamento. Os custos de projetos de processamento de dados sísmicos são calculados com base na área do levantamento ou por números de registros. O tipo de migração (tempo ou profundidade) utilizada é um fator que pode fazer o preço do projeto variar bastante. Em relação a custo-benefício, nem sempre a utilização de uma tecnologia ou método de imageamento mais moderno, como migração reversa no tempo, que exige um custo computacional elevado, vai gerar um melhor resultado que uma migração Kirchhoff, tudo depende da complexidade do projeto".

A empresa Flamoil Serviços, com sede em Natal (RN) e escritório de representação no Rio de Janeiro, atua no mercado brasileiro desde 2002 oferecendo serviços de apoio à exploração de petróleo e outros minerais. De acordo com o diretor executivo, José Quirino Ferreira da Silva, o quadro de pessoal da empresa é composto por 19 pessoas, assim distribuído: quatro geofísicos, um engenheiro de suporte a TI, um advogado (Diretor financeiro e administrativo), sete técnicos em geofísica – sendo um mestrando em Meio Ambiente -, três técnicos em apoio administrativo e três auxiliares de campo.

Foto: Arquivo Pessoal

"Entre os serviços oferecidos estão processamento sísmico – 2D e 3D com migração em tempo e profundidade - e apoio à aquisição de dados sísmicos – parametrização, suporte à tomada de preços para aquisição dos dados, fiscalização da aquisição e do controle de qualidade no campo e da preparação dos dados para serem entregues a ANP, quando for o caso. Para o processamento de dados sísmicos utilizamos basicamente três softwares: Tapuya, ProMax e Tsunami. O Tapuya é um software proprietário para picagem de primeiras quebras e cálculo de correção estática, o ProMax é o software básico para todo o processamento, exceto para migração em tempo e profundidade para grandes volumes, que fazemos com o Tsunami, utilizado para geração do campo de velocidades a ser utilizado na migração e migrações em tempo e profundidade", explica José Quirino Ferreira da Silva.

Em Natal também fica a sede e o CPD da empresa nacional Centro Potiguar de Geociências – CPGeo, cuja equipe de trabalho é composta por brasileiros, sendo quatro sócios gerentes - um com pós-doutorado em geofísica, um com mestrado em geofísica e um com mestrado em engenharia do petróleo -, dois analistas de sistema, três geólogos, dois engenheiros elétricos e três geofísicos. De acordo com José Tassini, sócio-gerente da CPGeo, a empresa trabalha hoje com dados das bacias do São Francisco, Parnaíba, Amazonas

Foto: Arquivo Pessoal

e Potiguar. “Estamos fazendo alguns testes de aplicação de CRS em um 3D da bacia de Campos e em algumas linhas de um país da América do Sul e outro da África. Do ponto de vista tecnológico, o processamento dos dados é uma etapa mandatória. Dados não processados não são utilizáveis. Do ponto de vista econômico, embora seja uma etapa de baixo custo, a geração de boas imagens no processamento dos dados está diretamente relacionada à redução do risco exploratório. Isto é válido numa ampla gama de produtos, tais como as seções migradas em tempo, seções em profundidades, imagens resultantes dos vários processos de inversão, imagens indicadoras da presença de hidrocarbonetos, indicadores de orientação preferencial de fraturas, etc”.

O CPD do CPGeo compreende um cluster com 264 processadores, 21 estações-clientes quadcore e 7 clientes e uma sala de aula para o treinamento de clientes da empresa; 200Tb em disco; 3 leitoras de fitas 3590 e 2 leitoras de fitas 3592 - tudo ligado por rede de alta velocidade. “Atualmente fazemos a correlação dos dados sísmicos processados com dados de poços, via sismograma sintético para amarração sísmica-poço durante a migração PSDM ou ajuste de fase em seções PSTM. A correlação com dados de outros métodos geofísicos é uma tarefa mais associada à atividade de interpretação e modelagem geofísica/geológica, o que atualmente não é parte de nossas atividades”, acrescenta o sócio-gerente do CPGeo.

A empresa dispõe dos pacotes Promax (da Halliburton) para processamento convencional PSTM e o Geodepth (da Paradigm) para PSDM-2D, além do pacote HFS e programas de migrações PSTM 2D/3D e CRS 2D/3D desenvolvidos pelos sócios da empresa. “O CPGeo oferece produtos obtidos com a metodologia CRS (Common Reflection Surface) 2D e 3D ; imagens com expansão do espectro para baixas e para altas frequências; análise de velocidades contínua (em todos os cdp’s) e cálculo de correções estáticas com diferentes métodos, na busca das melhores respostas. Se comparado à aquisição ou à perfuração, o processamento sísmico é muito barato”, afirma José Tassini.

Dentro das Instituições brasileiras de Ensino Superior que oferecem o curso de graduação em geofísica os estudantes tem a possibilidade de conhecer todas as fases que tornam o dado de campo interpretável do ponto de vista de definição geológica, enfatizando diversos aspectos, tais como o contexto estrutural e modelos petrolíferos. O Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) não possui um CPD específico para processamento de dados, no entanto, dispõe de pessoal qualificado, infraestrutura e softwares específicos para processar dados sísmicos com fins acadêmicos, quer sejam ao nível de graduação e pós-graduação, ou projetos de pesquisa relacionados .

O professor do Departamento de Geofísica da UFRN, Carlos César Nascimento da Silva, comenta que um dos objetivos do curso de graduação em geofísica da UFRN é formar recursos humanos em áreas que estejam alinhavadas com as reais necessidades de prospecção no Brasil e Exterior. O trabalho de forma integrada é

Foto: Arquivo Pessoal

realizado. “Essa integração de dados se reflete tanto nas fases de aquisição, processamento e interpretação de dados sísmicos, bem como com a correlação entre diversos outros métodos de prospecção geofísica (potenciais, perfilagem, dentre outros) e, como não poderia deixar de ser, com os dados geológicos disponíveis. Quem processa um dado sísmico tem a garantia de poder fazer o que quiser com a seção sísmica. Ou seja, ele coloca falhas na direção que quer, enfatiza refletores plano-horizontais em detrimento daqueles verticalizados e outros. Isso quer dizer que a etapa de processamento sísmico é uma das mais importantes na cadeia produtiva porque é possível gerar diversas imagens. É por isso que há a obrigatoriedade de que, o profissional do processamento entenda (não que seja especialista!) de todas as outras fases (aquisição e interpretação), trabalhando sempre de forma integrada”.

O Departamento de Geofísica da UFRN treina seus alunos na cadeia completa do processamento ao longo de disciplinas obrigatórias e optativas, para aqueles alunos que elegem a sísmica de reflexão como área, fazendo uso de softwares livres e de licenças acadêmicas de softwares comerciais. Nesse caso, há disponibilidade de treinamento tanto na plataforma do Seismic Unix, como do ProMax/SeisSPace 2D/3D da Landmark/Halliburton. Esse último, através de contrato tipo Grant, de uso estritamente acadêmico.

Para Carlos César, o principal motivo para o processamento de dados ser demorado é que cada dado sísmico é único. “Evidentemente, há um fluxo de processamento mínimo que deve ser utilizado. No entanto, mesmo esse fluxo precisa ser corretamente parametrizado para que o resultado obtido venha a traduzir a geologia da forma mais fiel. E mesmo que não se possa remover os ruídos, eles não devem induzir o geofísico a realizar falsas interpretações. Além disso, muitas vezes, as etapas de processamento envolvem fases que tem que ser desenvolvidas tanto interativamente como iterativamente. Dessa forma, o contato com o intérprete e profissionais de outras áreas deve ser constante”.

O professor da UFRN explica que um dos principais fatores que se refletem no custo-benefício do processamento de dados é o tempo gasto para conseguir a imagem sísmica desejada. Algoritmos de processamento mais complexos, muitas vezes são utilizados para conseguir uma imagem sísmica com características de resolução elevada e alta razão sinal/ruído desejável pelo cliente.

“O posicionamento correto dos refletores, retratando principalmente a etapa de migração sísmica, resulta em tempo considerável no fluxo como um todo. Para o caso de dados sísmicos terrestres, um passo extremamente importante e que, normalmente, reflete 30 a 50% do tempo de processamento total (a depender da qualidade e características do dado sísmico) é a correção estática. Também a coleta do dado deve ser parametrizada para atender objetivos (alvos exploratórios) específicos. Esse é um dos principais motivos que explicam, em muitos casos, a razão pela qual um determinado dado não conseguiu imagear um ponto específico. Algumas vezes, o geofísico esquece que é durante a parametrização sísmica que isso ocorre. Na tentativa de resolver esse problema, na etapa de processamento, a parametrização é modificada

Foto: Arquivo Petrobras

Cluster híbrido Grifo 4 de 1 PetaFlop utilizado na Petrobras

para atender a novos objetivos. Ou seja, em pouquíssimos casos um levantamento sísmico pode ser parametrizado para atender a todos os tipos de alvos exploratórios em uma bacia sedimentar. Cabe a quem processa, utilizar das melhores práticas para contornar a situação", comenta Carlos César Nascimento da Silva.

Tecnologia e avanços

Segundo Luís Henrique Amaral, os clusters, sejam os formados por CPUs convencionais, sejam os híbridos, utilizando também GPUs (Graphic Processing Unit), oferecem a vantagem do alto desempenho com baixo consumo de energia elétrica, facilidade para expansão e troca de componentes e alta velocidade de processamento. "Os clusters permitiram que processos sofisticados e com uso intensivo de máquina, como migração em profundidade, passassem de processamentos especiais a processamentos convencionais, executados no dia a dia. Uma tecnologia que pode dar uma dimensão da evolução do processamento de dados sísmicos é a tecnologia de atenuação de múltiplas de superfície 3D SRME. Esta tecnologia, 10 anos atrás, trabalhava apenas no domínio 2D. O domínio 3D ainda era pouco utilizado, e várias limitações do processo ainda eram discutidas nas companhias de geofísica, nos congressos e nos centros de pesquisa. O processo evoluiu e há uns 5 anos se tornou um processamento convencional, e diferentes modalidades, baseadas em diferentes algoritmos, passaram a ser utilizadas. Hoje, já é uma tecnologia consolidada, e está evoluindo para atenuação de múltiplas internas, e não só múltiplas de superfície".

Para Evando Bartholazzi a tecnologia de processamento tem se desenvolvido bastante tanto no domínio do tempo como em profundidade, "utilizando-se diferentes algoritmos de migração dos dados como o Kirchhoff, a Equação da Onda, RTM, e na remoção de múltiplas, artifício gerado pela aquisição, como o Radon, e o SRME. E, procurando-se também desenvolver novos métodos de aquisição, como as aquisições em 4D, de Azimuths múltiplos e em diferentes direções, assim como aquisições mais recentes de alta resolução, na busca constante de desenvolver novos desafios de imageamento, como o pré-sal. No competitivo mercado de processamento é praticamente obrigatória a utilização das últimas tecnologias de processamento em cluster para atender às demandas dos cronogramas dos projetos e clientes".

O sócio-gerente da empresa Geotrace, George Stilgoe, afirma que há diferenças entre dados sísmicos em terra e marítimos. "Dados sísmicos em terra exigem um trabalho artesanal, se são dados velhos podem apresentar problemas de navegação e geometria. A situação piora quando é um reprocessamento de mais que um levantamento em conjunto. Quando são dados marítimos, uma vez feito os testes iniciais, torna-se uma questão da velocidade dos CPUs".

Segundo Igor Lopes Santana Braga, a indústria evoluiu do imageamento 2D para o 3D, do processamento em tempo para profundidade, as aquisições agora utilizam receptores multicomponentes e uma gama de geometrias diferentes. "Nos últimos anos, os avanços mais marcantes têm sido, em aquisição sísmica, os levantamentos de banda larga, que permitem a ampliação do conteúdo espectral nas baixas e altas frequências, melhorando significativamente a qualidade das imagens e dos processos subsequentes de inversão e caracterização de reservatório. Em termos metodológicos, vemos um grande volume de trabalho no desenvolvimento de processos que levam em consideração a propagação completa do campo de onda como o FWI (Full Waveform Inversion)."

Esses processos procuram representar de forma mais fiel a propagação da onda na subsuperfície, evitando inúmeras aproximações que são necessárias nos algoritmos atuais. No futuro, os avanços nesta direção possibilitarão um processamento mais automatizado, com menor interferência humana em etapas, como a construção do modelo de velocidade e o imageamento. "Outro avanço que podemos perceber é o uso de GPUs (Graphical Processing Units) substituindo as tradicionais CPUs, essas mudanças na forma de programar os algoritmos trarão um imenso ganho no tempo do processamento. A utilização de clusters no processamento de sinais permite segmentar tarefas ou dados e distribuí-los por diversos núcleos computacionais, diminuindo consideravelmente o tempo de execução total. O processamento sísmico de grandes áreas só é possível com a utilização de clusters de alta capacidade de processamento com centenas ou milhares de núcleos computacionais alocados em cada processo".

O diretor da Flamoil, José Quirino Ferreira da Silva, diz que a vantagem do uso de clusters em relação ao uso de máquinas individuais está relacionada ao volume de dados a ser trabalhado. "O uso do cluster, que nada mais é que um conjunto de processadores gerenciado por uma máquina central, é vantajoso para processar unidades com grande volume de dados – 3Ds, por exemplo - mas, para processar unidades com baixo volume, linhas 2D, não faz diferença quanto ao uso de cluster ou máquinas individuais".

A empresa CPGeo desde seu início, preferiu usar um cluster baseado em micros independentes ligados por rede de alta velocidade, por serem mais baratos, disponíveis no mercado local e de grande poder computacional. "Apesar do grande aumento do número de canais e a diminuição das distâncias entre fontes e entre receptores, o processamento sísmico terrestre 2D é muito rápido, podendo no mesmo dia em que a aquisição de uma linha é encerrada, recebermos os dados via FTP e ser liberada uma versão com migração pós-empilhamento. Em alguns casos há necessidade de testar diferentes parametrizações dos aplicativos, sempre perseguindo melhores imagens. No caso

da sísmica 3D, por causa da grande quantidade de dados que compõem os projetos, os prazos ainda são medidos em meses, para trabalhos de médio/grande porte. Já o processamento marítimo 3D, devido ao grande volume de dados e as complexidades do modelo geológico, podendo apresentar fortes variações laterais de velocidades, envolverá a migração em profundidade RTM que ainda é muito demorada e exige grande poder computacional. Com o avanço da tecnologia de transmissão de dados, ao terminar a aquisição, os dados são enviados para o processamento remoto, via FTP, praticamente no mesmo dia", explica o gerente da CPGeo.

O professor do Departamento de Geofísica da UFRN, Carlos César Nascimento da Silva, afirma que o uso de clusters está alinhavado com empresas de grande porte, as quais têm a competência e infraestrutura formada para adquirir e manter tais equipamentos. "Atualmente, diversas empresas estão desenvolvendo processamento sísmico em placas gráficas de última geração que, a depender do volume de dados, pode mostrar viabilidade considerável. Contudo, o processamento de grandes volumes de dados (Terabytes, por exemplo) e etapas extremamente específicas (por exemplo, migração em profundidade ou que utilize a equação completa da onda), deve ainda ser viabilizado em clusters. Em minha opinião, os principais avanços estão relacionados ao posicionamento com a maior fidelidade possível dos eventos. Ou seja, a migração de dados sísmicos que utilizem algoritmos completos (e não aproximações) deve ser o ponto forte nesse quesito. Além disso, a melhoria nas resoluções sísmicas vertical e horizontal merece destaque".

Processamento e reprocessamento no Brasil

As primeiras descobertas de petróleo no Brasil tiveram seu início no final da década de 1930 e os primeiros computadores chegaram no final da década de 1950. Mesmo antes do advento do registro digital, os dados, então analógicos, já eram processados num CPD da Petrobras. A mudança para os registros digitais, em 1968 foi imediatamente seguida da instalação de um CPD para dados digitais na empresa estatal, utilizando tecnologia da empresa americana Western Geophysical, abrindo o caminho para a instalação de novas empresas.

Segundo Luís Henrique Amaral, o processamento sísmico da Petrobras está hoje envolvido em vários projetos de processamento, em bacias terrestres e marítimas, alguns desses no exterior. Esses projetos vão desde imageamento de áreas com tectônica salífera complexa, até trabalhos desenvolvidos em dados já processados, visando melhorar sua resolução ou qualidade. "O reprocessamento de dados antigos, utilizando novas tecnologias, é uma atividade habitual na exploração. Nova tecnologia, aliada a um melhor entendimento da geologia de uma área, obtida através da interpretação e perfuração de poços, leva à obtenção de dados sísmicos mais precisos e confiáveis. E por uma pequena fração do que seria gasto em uma nova aquisição. Portanto, qualquer área atualmente em exploração pode se beneficiar do reprocessamento de dados antigos".

Entre os projetos recentes da Petrobras, o gerente de processamento da empresa destaca o reprocessamento de dados na bacia do Espírito Santo, em áreas com tectônica salífera complexa. "Este projeto, iniciado em 2008, permitiu a introdução na Petrobrás da migração em profundidade com Reverse Time Migration, e metodologias mais sofisticadas para construção do modelo de velocidades. Os resultados obtidos permitiram mapear áreas que anteriormente não eram mapeáveis, e representou um passo à frente na qualidade do nosso trabalho".

Para o gerente geral da Fugro Geosolutions, Evando Bartholazzi, a demanda por processamento de dados é crescente no Brasil, ainda bastante concentrada na Petrobras, mas depende do retorno e sucesso de próximas rodadas de licitações de novos blocos de exploração pela ANP. "Por ser uma atividade essencialmente de exploração, a ampliação da atividade depende diretamente desta retomada. A Fugro tem reprocessado dados antigos desde 2004 utilizando novos algoritmos e obtendo excelentes resultados em praticamente todas as bacias marítimas brasileiras".

O diretor da Geotrace, George Stillgoe, diz que o Brasil tem formado profissionais com um nível elevado na área de geofísica, mas existe uma demanda alta por profissionais experientes. "Como nosso software é próprio, é preciso treinar novos funcionários até que se familiarizem com a tecnologia. Muitas áreas no Brasil têm dados antigos que se encontram no BDEP e são públicos. Esses dados, alguns com mais de 30 anos, têm um beneficio imenso quando reprocessados com algoritmos modernos. Também é preciso ressaltar que alguns dados são de áreas que hoje, por razões ambientais, não podem mais ser levantados".

O diretor da Invision, Igor Lopes Santana Braga, comenta que o Brasil dispõe de geofísicos de ponta, com reconhecimento internacional em diversas subáreas do processamento sísmico. "Com um pequeno esforço na disseminação do conhecimento, acredito que o Brasil consiga uma total independência de mão de obra externa. O problema maior ainda está na área de software; precisamos investir mais nesta área de desenvolvimento de software nacional para o processamento sísmico. O reprocessamento sísmico com objetivos específicos é uma atividade que quase sempre agrega algum benefício, independente da região. Regiões como Amazonas, Parnaíba, Solimões possuem um acervo considerável de dados sísmicos que certamente ganhariam maior qualidade com um novo processamento".

Igor diz ainda que a atividade em processamento da Invision tem sido mais concentrada no processamento sísmico especial para aumentar a resolução do dado sísmico, com ganhos expressivos, mesmo em dados terrestres. "Um exemplo é o projeto que realizamos na Bacia do Recôncavo. O projeto deu muito certo, diversas locações com sucesso foram feitas com base nos resultados. Há uma grande demanda represada, que será liberada quando as rodadas de licitação de novos blocos voltarem a ocorrer. Se a demanda atual se mantiver, o preço do serviço deve sofrer algumas quedas já que os centros de processamento operam com capacidade ociosa, e a concorrência aumenta com a chegada de novas empresas estrangeiras. O melhor incentivo para ampliar as atividades de processamento

no país é investir em reprocessamento e fomentar novas aquisições, através da licitação de novas áreas para exploração e de programas para ampliar o conhecimento de bacias, que ainda são pouco conhecidas".

O sócio-diretor da CPGeo, José Tassini, cita que o Brasil tem ofertas de todas as modalidades de serviços de processamento, incluindo-se as grandes empresas estrangeiras que têm aqui representações e CPDs. Os serviços mais sofisticados ainda são executados fora do país ou dentro das grandes empresas de petróleo (inversão acústica, inversão elástica, imageamento em profundidade, processamento de registros de OBC, processamento de ondas S, entre outros). "Depois da quebra do monopólio da Petrobras, na exploração e produção de petróleo, tem surgido empresas brasileiras propondo serviços de processamento de dados sísmicos, que, certamente tendem a expandir suas ofertas para modalidades mais sofisticadas, à medida que se consolidam econômica e tecnicamente".

José Tassini afirma que existem dados antigos adquiridos em todas as bacias sedimentares brasileiras, porém estes dados têm algumas limitações de origem, tais como a baixa cobertura cdp, a utilização de arranjos longos dos geofones, pequenos afastamentos, entre outors. "Nada impede que sejam reprocessados com os conhecimentos atuais. Creio que a ANP está atenta a esta possibilidade. O reprocessamento, independente da área, sempre gera melhorias, mesmo sendo feito pelo mesmo processador, devido ao amadurecimento dos conhecimentos, das novas versões dos antigos programas e das novas tecnologias que são incorporadas no fluxograma dos serviços. O CPGeo está desenvolvendo um algoritmo de migração RTM com a intenção de se capacitar a fazer um processamento de boa qualidade em áreas do pré-sal".

O professor da UFRN, Carlos César Nascimento da Silva, concorda sobre a necessidade de reprocessamento de dados já coletados no Brasil. "O avanço no processamento sísmico é tão rápido que um dado que foi processado/reprocessado há mais de cinco anos, se reprocessado com as novas práticas e melhorias em algoritmos, melhorará substancialmente. Um ponto principal é que deve ser dada ênfase pelos órgãos de fomento ao treinamento ao nível de academia de alunos que venham a atingir a maturidade no processamento de dados sísmicos mais rapidamente e, desta forma, serem inseridos na indústria com o treinamento (nem que seja básico) já realizado. Inserir profissionais habilitados a processar dados logo após a sua formação ao nível de graduação é, em minha opinião, uma quebra de paradigma imprescindível para a nossa realidade e para ampliar as atividades de processamento no país".

Desafios e Pré-sal

Apesar de os cursos de graduação em geofísica no Brasil formar profissionais capacitados, a disponibilidade de geofísicos experientes de processamento é limitada. "Quem tem experiência está empregado, e se uma companhia de processamento precisar de um profissional experiente terá que tirá-lo de outra companhia ou trazê-lo do exterior. Por outro lado, para as empresas dispostas a investir na formação de mão de obra, há muitos profissionais recém-saídos da universidade no Brasil, com boa formação básica, que podem ser treinados e em poucos anos adquirirem o conhecimento e experiência exigidos pelo mercado", explica Luís Henrique Amaral, que acrescenta a exploração do pré-sal como nova fronteira da geofísica.

"Sem dúvida a atenção está voltada para a exploração do pré-sal. Esta primeira fase, de descoberta e avaliação de novas reservas, está concluída (embora novo óleo ainda deva ser descoberto), e os dados sísmicos disponíveis já ofereceram quase toda a informação possível de ser obtida. Embora ainda possamos obter novas informações através do reprocessamento, a aquisição de dados sísmicos novos, especialmente wide-azimuth e com banda larga de frequências, se faz necessário, pois agora vamos atrás de maior resolução e caracterização de reservatórios. Em minha opinião, para ampliar as atividades de processamento, é importante a oferta de serviços diferenciados, que atendam problemas específicos das companhias de petróleo, e que incorporem tecnologia state of the art".

Para Evando Bartholazzi, além da carência de mão de obra qualificada, o desafio no Brasil está ligado ao desenvolvimento tecnológico para imageamento das complexas estruturas envolvendo o pré-sal. "O processamento de dados pode ser demorado dependendo do cronograma permitido, em escala comercial geralmente este processo tem que ser otimizado baseando-se em sequências pré-determinadas e experiência de outros projetos. Mas ao nível de se desejar extrair o melhor possível do dado e podendo-se dispor deste tempo, este processo pode ser bastante demorado utilizando-se variados testes, interpretações e interações até se chegar ao melhor resultado possível".

Igor Lopes Santana Braga afirma que os custos de hardware ainda são muito elevados no Brasil, se comparados com países como China e os Estados Unidos. "O imageamento subsal é uma tarefa complexa, mas viável com a tecnologia correta. Isso eleva o custo de expansão e instalação de novos centros. Em termos de recursos humanos com alta especialização, ainda temos um déficit de mão de obra especializada, mas notamos uma gradual melhoria na oferta dos recursos humanos".

O diretor da Invision destaca que vários fatores podem prejudicar a qualidade final do processamento. "De todas as etapas do processamento a construção do modelo de velocidade que será utilizado na migração é a etapa que tem a maior influencia na qualidade. Não se pode esquecer que o processamento é uma etapa subsequente ao levantamento, e que uma correta parametrização da aquisição dos dados tem grande impacto no processamento. Os ruídos naturais do experimento sísmico também influenciam na qualidade do processamento. No processamento de dados marinhos, existe uma grande preocupação com a eliminação de reflexões múltiplas, enquanto que em dados terrestres a maior preocupação é a resolução do problema de estática. No final, o tratamento de todos esses fatores de forma criteriosa é que vai garantir um processamento de qualidade. Frequentemente, o problema de qualidade surge diante da tentação de simplificar o processo, através de um fluxo padrão, por questões ligadas a prazo e pessoal. No fim isso acaba gerando retrabalho".

O diretor da Flamoil, José Quirino Ferreira da Silva, explica a causa do grande crescimento da demanda no Brasil: "Como é de conhecimento de todos, nos últimos anos a demanda por mão de obra especializada no Brasil aumentou muito, e no que se refere à exploração de petróleo, a partir da quebra do monopólio, com a entrada no mercado brasileiro de várias petroleiras – antes era privilégio da Petrobras - e, principalmente com a descoberta do pré-sal. As grandes empresas buscam os especialistas a qualquer custo, e as pequenas empresas não conseguem manter em seu quadro técnico aqueles especialistas mais experientes. Estes são facilmente subtraídos pelas grandes, ou seja, pequenas empresas como a nossa passam a servir de trampolim para geólogos, geofísicos, que saem das universidades, são treinados em nossos centros e quando adquirem certa experiência são subtraídos pelas grandes empresas".

José Tassini diz que tudo o que se faz no processamento e que exige parametrização, está sujeito a erros; erros nos dados de campo, erros nos cálculos de correções estáticas, erros na definição de velocidades, erros no balanceamento do espectro de frequências, entre outros. "O principal fator ligado à qualidade da seção final é a geologia da área, principalmente as condições superficiais na sísmica terrestre, como a área do Rio Abacaxis na bacia Amazônica, a Serra do Mel na Bacia Potiguar e Japaratuba na bacia Sergipe-Alagoas. Nestas áreas a qualidade final ainda não é satisfatória. Na sísmica marítima, as múltiplas de curto período nas aquisições de águas rasas, com lâmina d'água menor que 50 metros, ainda representam um problema não resolvido que afeta fortemente a qualidade final das seções sísmicas".

O professor Carlos César Nascimento da Silva cita que o maior desafio do processamento sísmico hoje é o desenvolvimento de algoritmos mais eficientes do ponto de vista da razão custo/benefício para incrementar o correto posicionamento dos eventos e com a maior resolução possível. Do ponto de vista interpretativo, devem ter destaque aos atributos sísmicos que evidenciem os reservatórios de hidrocarbonetos (óleo e gás) de maneira mais clara e com a menor ambiguidade possível.

"As universidades brasileiras estão em uma fase crescente de treinamento na área de processamento de dados sísmicos. Até pouco tempo, o processamento de dados sísmicos era contemplado segundo todas as suas fases, somente em empresas prestadoras de serviço, notadamente a Petrobras, bem como empresas de menor porte ou multinacionais instaladas em solo brasileiro. É interessante ressaltar, no entanto, que diversas instituições acadêmicas no Brasil já tinham a expertise no processamento. Todavia, esse conhecimento, normalmente, estava relacionado a uma fase específica do processamento de dados sísmicos, e não à completa cadeira de processos que envolve a transformação do dado bruto de campo em um dado interpretável. Algumas universidades no Brasil, têm cursos específicos ao nível de graduação na área de processamento de dados sísmicos. A UFRN é uma dessas".

Segundo o sócio –gerente da empresa CPGeo, José Tassini, três fatores que influenciam a relação custo/benefício no processamento de dados sísmicos são:

- A demanda irregular dos serviços - Para as grandes empresas, que podem deslocar seus recursos humanos para onde há maior demanda, este problema pode não ser importante. Mas para empresas de pequeno/médio porte, atuando predominantemente no mercado brasileiro, há períodos de boa produtividade alternados com períodos de ociosidade.

- O custo da mão de obra – Trata-se de uma atividade exigente em termos de quantidade e qualidade dos profissionais engajados. O tempo de preparação de um bom profissional – que dispense supervisão de seu trabalho - leva alguns anos. Com o desempenho e o baixo preço dos equipamentos atuais, a mão de obra representa o maior custo do processamento.

- O custo de softwares – Os fornecedores de softwares especializados são poucos e os custos são elevados.

CPGeo
Centro Potiguar de Geociências
Av. Prudente de Morais, 577, Tirol - Natal,
Rio Grande do Norte, CEP: 59.020-505
Tel: +55 (84) 3611-1636 / (84) 3201-2041
cpgeo@cpgeo.com
http://www.cpgeo.com

ARTIGO TÉCNICO

Uma abordagem bayesiana da inversão sísmica para a modelagem de reservatórios

Debora Carvalho, Krishnakumar Narayanan Nair e Garrett M. Leahy - ROXAR – Emerson Process Management

INTRODUÇÃO

O processo de inversão sísmica – um processo sofisticado de inferência das propriedades elásticas do reservatório a partir de dados sísmicos – é crucial para auxiliar os profissionais de geomodelagem a atingir seus objetivos de construir o modelo com a maior acurácia e qualidade necessárias para a tomada de decisões de novas perfurações.

Infelizmente, a inversão tem ainda diversas armadilhas que podem comprometer a precisão. Ruídos nos dados podem ser interpretados de maneira errônea como estruturas geológicas; podem haver incertezas nas relações entre parâmetros de litologia e geofísicos (tais como tipo de rocha e densidades); e ainda existe a natureza de banda-limitada de dados sísmicos (em particular restrições abaixo de 10Hz). O resultado destas complicações é que a inversão é vista como domínio somente de especialistas, não acessível aos profissionais de geomodelagem.

Neste atrigo descrevemos a inversão estocástica e calibrada que evita muitos dos desafios comuns da inversão geofísica, e fornece uma ferramenta comercial acessível para os profissionais de geomodelagem. A abordagem é motivada por uma teoria geoestatística que é o estado-da-arte, resultando em uma abordagem bayesiana de inversão que prevê não somente parâmetros elásticos, mas também parâmetros de probabilidades de fácies. Esta abordagem pode ser aplicada na otimização da tomada de decisões, no desenvolvimento de maior qualidade e na geração de modelos de reservatórios mais precisos.

Inferindo Propriedades de Reservatórios

A inversão "Amplitude Versus Ângulo" (AVA) pode ser utilizada para extrair informações sobre os parâmetros elásticos da subsuperfície, a partir da dependência do ângulo na refletividade (e.g. Buland et al. 1996). Estes métodos utilizam variações na refletividade para inferir alterações nas propriedades das rochas ou conteúdo de fluidos no reservatório. O custo computacional e facilidade de uso destas inversões estão diretamente relacionados a sofisticação da aproximação física utilizada. Na prática, uma inversão AVA linearizada é adequada para o desenvolvimento comercial, pois pode ser realizado de maneira rápida, mesmo com recursos computacionais limitados.

Como parte do processo de inversão AVA, estaqueamento de ângulos múltiplos podem ser invertidos simultâneamente para parâmetros elásticos, utilizando métodos geoestatísticos- neste caso, angulos de estaqueamento (isto é, estaqueamento AVA com um intervalo comun de ângulos) e parâmetros elásticos invertidos.

Para realizar a inversão AVA utilizando o modelo simples linear, os dados sísmicos devem ser pré-estaqueados com migração em tempo, incluindo como requerimento nos dados de entrada o ângulo mínimo de estaqueamento, uma estimativa da wavelet, e ao menos um poço com logs de Vp, Vs, Densidade e curva TWT (Two-way-time) para calibração.

Tendo isto em mente, o Norwegian Computing Centre, em parceria com a Statoil, desenvolveu recentemente um software de inversão denominado CRAVA (Conditioning Reservoir Variables to Amplitude Versus Angle data). O software foi desenvolvido em parceria com a Roxar Software Solutions, parte da Emerson Process Management, para poder oferecer um produto comercialmente acessível de inversão estocástica para os profissionais de geomodelagem, dentro do pacote de soluções em modelagem geológica da ROXAR, o RMS.

Na inversão CRAVA, o modelo resulta em otimização da performance computacional, permitindo ao usuário realizar testes de diversos cenários ou parametrizações. Além disso, a calibração aos poços auxilia na mitigação dos efeitos de ausência de baixas frequências no dado sísmico e reduz a incerteza nas relações físicas das rochas. O resultado é uma inversão estável que otimizou o acesso à inversão para não-especialistas (Nair et al, 2012).

A inversão CRAVA determina propriedades elásticas tais como densidade, velocidades P e S a partir de cubos de amplitude sísmica. O software ainda oferece a possibilidade de investigar a precisão dos resultados através do cálculo de incertezas, ou através de simulação (Monte Carlo) de cubos de possíveis propriedades elásticas.

O Resultado Final – Um Modelo de Probabilidades Posterior

Na inversão bayesiana, as propriedades elásticas são atribuidos a um modelo prioritário de probabilidades p(m) e os dados de sísmica AVA podem ser representados por um modelo de probabilidades p(d|m) com a solução final sendo o modelo de probabilidade posterior p(m|d). O modelo posterior portanto, corresponde a combinação de frequências baixas dos logs e frequências intermediárias a altas, dos dados de inversão sísmica.

As saídas podem ser Vp, Vs, densidade e parâmetros derivados, como Vp/Vs, AI (Impedância acústica), SI (Shear Impedance-Impedancia de cisalhamento),

λρ, μρ, razão de Poisson, dentre outras. Na Figura 1, como exemplo, é mostrada uma comparação de logs brutos de Vp (linhas tracejadas) com os logs de Vp extraídos ao longo do poço, de dados de inversão 3D do parâmetro Vp (linhas contínuas), e na Figura 2 é mostrado o log extraído do parâmetro AI invertido.

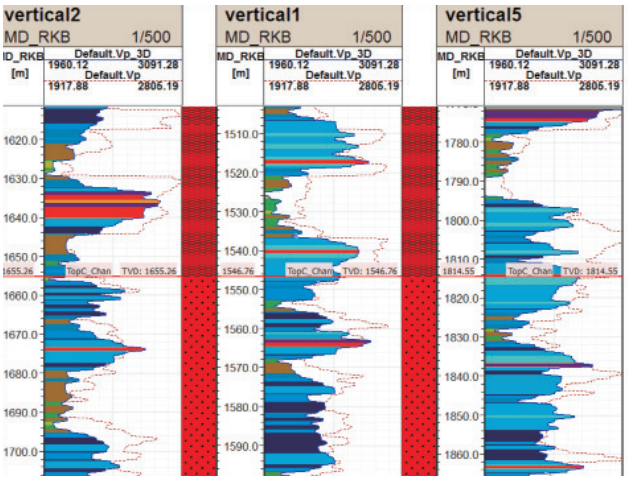


Fig. 1: Comparação de logs brutos de Vp (linhas tracejadas) com os logs de Vp extraídos ao longo do poço de dados de inversão 3D do parâmetro Vp (linhas contínuas).

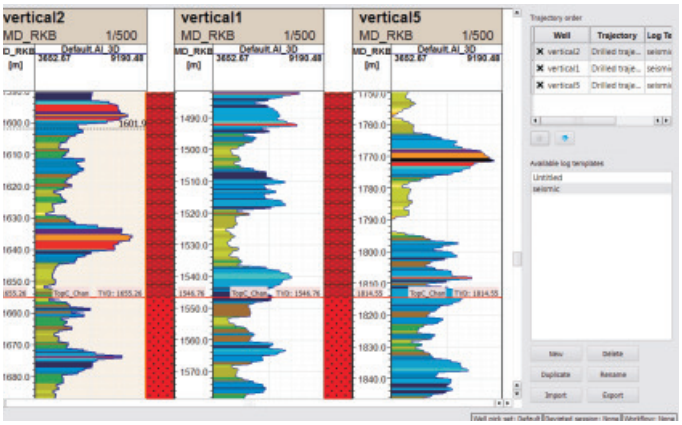


Fig. 2: Log extraído do parâmetro AI invertido

No caso da inversão CRAVA, a distribuição posterior para os parâmetros do modelo da terra de Vp (velocidade da onda P), Vs (velocidade da onda S) e ρ (densidade), fornecem resultados laterais consistentes da inversão sísmica. A corelação lateral pode seguir a estratigrafia dos intervalos de inversão, seguindo o topo e/ou base do volume de inversão, e podem ainda ser especificados de maneira independente, usando uma superfície de correlação.

A partir da distribuição posterior, a melhor estimativa dos parâmetros do modelo e das incertezas correspondentes podem ser extraídos. Além disso, a krigagem pode ser utilizada para calibrar os dados de poços e a covariância posterior pode ser computada.

A abordagem bayesiana inclui inversão estocástica e determinística. A inversão determinística é representada pela média posterior e é mais suave que a simulação estocástica. A simulação pode predizer detalhes de fina escala nas propriedades elásticas, porém a solução não é única e por isso devem ser usadas multiplas simulações.

A Figura 3 ilustra os benefícios da simulação estocástica, comparada à predição. É importante notar a resolução de fina escala dos parâmetros de simulação (Simulação-1 e Simulação-2), comparados aos de predição. Esta oferta de simulação estocástica como uma alternativa à predição é o elemento chave da simulação CRAVA, onde existem duas razões principais para aplicação da simulação estocástica em detrimento à preditiva: i) a incerteza (variabilidade) na inversão é considerada importante; ii) as estruturas de pequena escala espacial sob a resolução sísmica são consideradas importantes.

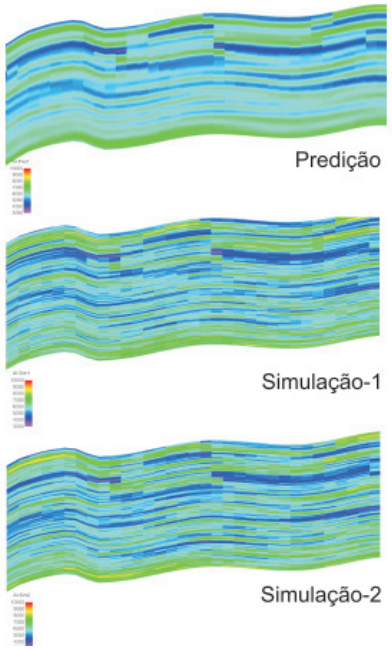


Fig. 3: Benefícios da simulação estocástica, comparada à predição

Aplicações da Inversão Sísmica na Modelagem de Reservatórios

As saídas da inversão sísimica, se esta for propriamente calibrada aos dados de poços, pode gerar estimativas de atributos sísmicos derivados dos limites de banda dos dados sísmicos somente. Isto porque as propriedades elásticas são mais próximas relativamente as propriedades dos reservatórios para predição de litologias e saturação de fluidos. Além disso, a inversão sísmica bayesiana utiliza dados de poços para estimar a variabilidade residual dos parâmetros invertidos e aumentar a resolução para próximo dos dados de poços.

O processo estocástico ainda permite o cálculo de probabilidade de fácies como um parâmetro de saída da inversão. Estes resultados podem auxiliar Geofísicos e Geólogos a condicionar seus modelos geológicos. Na Figura 4, como exemplo, a ilustração do parâmetro de probabilidade de fácies, derivado da inversão sísmica – um parâmetro que é adequado para condicionar o modelo geológico a diversos algoritmos de modelagem de fácies e muito útil para propósitos de controle de qualidade.

ARTIGO TÉCNICO

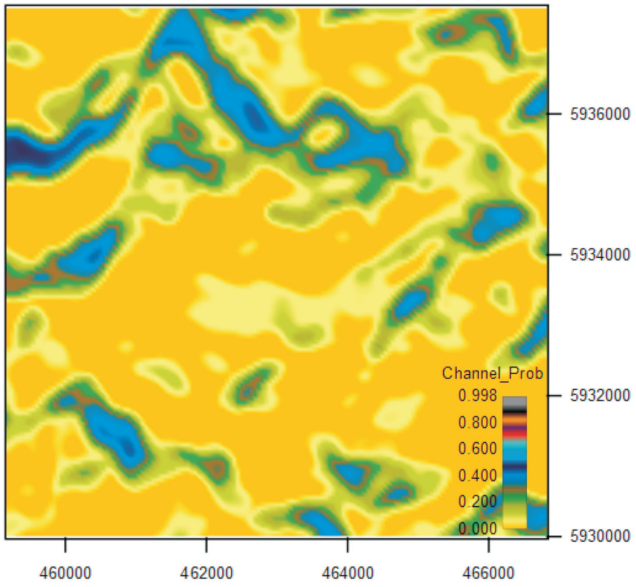


Fig. 4: Ilustração do parâmetro de probabilidade de fácies, derivado da inversão sísmica

As fácies geológicas são chave para a boa qualidade de um modelo de reservatório. Isto é ainda mais importante quando a relação porosidade versus permeabilidade varia de acordo com o tipo de fácies. Portanto, o entendimento da variação das fácies se torna uma necessidade para qualquer modelo de distribuição de porosidade-permeabilidade. Gerar estes modelos complexos é particularmente importante para reservatórios de arenitos fluviais de baixa porosidade e baixa permeabilidade como forma de descrever adequadamente a arquitetura interna do reservatório.

Outro desafio é determinar a melhor forma de incorporar as estimativas baseadas em sísmica de baixa resolução, para condicionar os modelos geológicos na escala de logs. Uma possibilidade é utilizar o volume de impedância acústica (AI – frequências baixas do modelo inicial e frequências da sísmica dos dados de entrada de AVA) diretamente e co-simulação da porosidade, para pontos distantes dos poços em 3D, assim provendo detalhes adicionais na arquitetura interna do modelo geológico. Os dados de logs de poços preenchem as lacunas onde os dados disponíveis apresentam carência de resolução.

CONCLUSÕES

Este artigo demonstra como a inversão estocástica, com uma abordagem bayesiana, evita muitos dos desafios da inversão geofísica, assim como provém uma ferramenta comercial acessível aos profissionais de geomodelagem. Além disso, ilustra como os parâmetros de saída da inversão sísmica elástica são ferramentas importantes para desenvolver modelos de reservatórios mais precisos e acurados, para otimizar as tomadas de decisões.

REFERÊNCIAS

BULAND A, LANDRO M, ANDERSEN M & DAHL, T. 1996. AVO inversion of troll field data. Geophysics, 61:1589–1602.

BULAND A, KOLNJORNSEN O & OMRE H. 2003: Rapid Spatially Coupled AVO Inversion in the Fourier Domain. Geophysics, 68(1): 824-836.

NAIR et al, First Break, 30 March 2012, Seismic inversion and its applications in reservoir characterization, 83-86.

STRIGHT L, BERNHARDT A & BOUCHER A. in preparation, Geostatistically modelling topographically-controlled deposition of sub-seismic scale sandstone packages within a mass transport dominated deep-water channel belt, Mathematical Geosciences.

WHITE RE, SIMM R & XU S. 1998. Well tie, fluid substitution and AVO modelling - a North Sea example. Geophysical Prospecting, 46: 323-346.

Atualize seu cadastro
no *site*
www.sbgf.org.br

ies Brazil
Consulting & Services

A SMART COMPANY AT YOUR SERVICE

> Technology
> Business
> Data Management

Av. Nilo Peçanha, 50 Gr.1617 | Centro - Rio de Janeiro - RJ
Tel: +55 (21) 2262-9651 | contato@iesbrazil.com.br

Deadline for abstract submission
February 28th

13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEf

Rio de Janeiro, 26 - 29 August 2013 • SulAmérica Convention Center

Further information:
http://congress.sbgf.org.br
congress@sbgf.org.br

ARTIGO TÉCNICO

Estabilidade e eficiência na aplicação conjunta da compensação da absorção e deconvolução

Adelson S. de Oliveira, Mariana F. de Carvalho, Alberto Lopes de Carvalho – Petrobras

RESUMO

Este artigo discute os benefícios da inversão conjunta da absorção inelástica e convolução no dia a dia do fluxo de processamento. Os ganhos em eficiência e estabilidade analisados aqui são consequência de um tratamento adequado do espaço (quase) nulo, independente de uma razão sinal-ruído mais favorável. Por uma questão de clareza, a decomposição em valores singulares é usada para discutir e construir uma pseudo-inversa para o processo combinado. Uma suposição simplificada de um modelo de absorção dependente do tempo é usada.

INTRODUÇÃO

O processamento sísmico é composto de várias etapas independentes. Cada uma dessas etapas lida com diferentes processos que afetam o dado antes de ser gravado. A razão para que um determinado processo seja tratado de forma independente pode estar relacionado com a necessidade de concentrar e aperfeiçoar os resultados deste processo específico, com a escolha adequada de parâmetros, recursos, etc. No entanto, alguns destes processos envolvem a inversão de um operador de um problema mal posto/condicionado e isto pode exigir um tratamento laborioso da estabilidade, que pode ser alcançado através do conhecimento do espectro do operador associado. Normalmente, este é um método de tentativa e erro, realizado até que se obtenha uma relação sinal-ruído aceitável.

A deconvolução e a compensação da absorção são exemplos deste tipo de processo. A escolha apropriada do nível de ruído branco pode ser essencial para a estabilidade da deconvolução e o nível de amplificação das altas frequências é crítico para a compensação da absorção. Infelizmente, estes dois processos não podem ser tratados de uma forma ótima, quando feitos passo a passo. Como o espaço nulo dos processos combinados geralmente não é facilmente identificado a partir do espaço nulo de cada processo separadamente, pode valer à pena adotar uma abordagem unificada. Isto é especialmente crítico quando a razão sinal-ruído é baixa.

Geralmente, a absorção é tratada após a deconvolução, quando a razão sinal-ruído já foi degradada nas altas frequências devido a uma aparente escolha ótima do ruído branco. O fato do nível do ruído branco não ser ótimo não é facilmente observado até uma efetiva tentativa de se recuperar as altas frequências como na compensação da absorção.

Uma prática muito comum é dividir a absorção em atenuação e fase deixando a compensação da atenuação para a etapa pós-empilhamento onde se supõe que a relação sinal-ruído foi melhorada. Esta abordagem é artificial e não ajuda nas etapas pré-stack do processamento sísmico como análise de velocidade, onde se busca um maior nível de resolução. Este trabalho mostra que a compensação da absorção pré-empilhamento pode ser feita com um fácil controle da estabilidade em conjunto com a deconvolução, provendo um dado mais adequado.

Um único operador para deconvolução e absorção

Um traço sísmico $s(t)$ pode ser descrito como a convolução de um pulso $p(t)$ com a resposta impulsiva da terra $e(t)$ que pode ser decomposta em uma refletividade local $r(t)$ e de um filtro de absorção causal $A(t,\tau)$ da seguinte forma,

$$s(t) = p(t) * \int_0^\infty A(t,\tau) r(\tau) d\tau \qquad (1)$$

com t e τ representando os tempos atual e de percurso, e $*$ a convolução. Esta expressão pode ser reescrita como,

$$s(t) = \int_0^\infty \left[\int_0^\infty p(t-t') A(t',\tau) dt \right] r(\tau) dt \qquad (2)$$

onde o operador conjunto da convolução e da absorção está dentro de colchetes.

Uma versão discreta desta equação pode ser escrita como,

$$\vec{s} = PA\vec{r} \qquad (3)$$

onde $\vec{s}$ tem as amostras do traço registrado, P é uma matriz subdiagonal com as amostras do pulso causal P_i exibidos nas colunas como,

$$P_{nm} = P_{n-m}, \qquad (4)$$

e A é também uma matriz subdiagonal que representa o efeito causal da absorção para um dado tempo de percurso τ_m como,

$$A_{nm} = \mathscr{A}_{n,\tau_m}, \qquad (5)$$

com $\mathscr{A}$ baseado em um modelo fenomenológico para a absorção tomada do modelo de absorção de Futtermann

(1962) expressa como,

$$\mathcal{A}(t,\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{2\pi i f t} e^{-\frac{\pi f \tau}{Q}\left(1+\frac{2i}{\pi}\log f/f_0\right)} df, \qquad (6)$$

parametrizada pelo fator de qualidade Q e uma frequência de referência f_0.

O operador conjunto para convolução e absorção também é causal, com uma representação discreta via uma matriz subdiagonal mostrando versões filtradas do pulso nas colunas, cada coluna associada a diferentes tempos de percurso.

Uma pseudo-inversão dos processos

A deconvolução e a compensação da absorção são frequentemente caracterizadas por um problema de inversão mal posto e/ou um mal condicionado. Eles exigem algum tipo de regularização, que pode ser conduzido facilmente, através de uma decomposição em valores singulares (SVD) (1965) da matriz associada. Uma abordagem comum consiste em agrupar valores singulares de acordo com as suas magnitudes de modo a aplicar um tratamento específico em cada um deles. Por exemplo, poderia haver um subconjunto de valores singulares numericamente estáveis (maior), um subconjunto de valores singulares numericamente instáveis (quasi nulo), e um espaço nulo. Uma pseudo-inversão é comumente construída com a inversão do primeiro subconjunto, uma inversão controlada do segundo grupo e o mesmo espaço nulo.

A deconvolução e a compensação da absorção geralmente não compartilham o mesmo conjunto de vetores singulares caso em que uma pseudoinversão ideal para o processo combinado seria facilmente construída após tratar cada processo separadamente. Mais precisamente, dado o SVD do operador de convolução $P = U_P \lambda_P V_P^H$ e o operador de absorção $A = U_A \lambda_A V_A^H$, o requisito para tratar com sucesso o operador PA através da análise de P e A separadamente, seria que $V_P^H U_A = I$, onde I é a identidade. Neste caso $U_P \lambda_P \lambda_A V_A^H$ e uma ótima subdivisão dos subespaços vale para ambos os operadores desde que $\lambda_{PA} = \lambda_P \lambda_A$.

Com base no que foi dito acima, uma análise da atual prática do processamento sísmico concluiria que qualquer tentativa de regularizar um dos processos independentemente provavelmente amplificaria a instabilidade do outro. Em outras palavras, boa parte do trabalho necessário para a definição de uma aceitável compensação da absorção poderia ser evitada se a deconvolução não fosse aplicada antes. A construção de uma pseudo-inversão para um operador comum para a convolução e a absorção traz a vantagem de controlar otimamente os sensíveis subespaços e reduzir o tempo de ciclo.

Um exemplo em dado real

Para efeitos de comparação, a Figura 1 mostra uma pequena janela de uma seção empilhada onde (a) uma compensação de absorção foi aplicada depois do empilhamento, (b) um filtro passa banda 1-40 Hz foi aplicado sobre a seção mostrada em (a), e (c) a deconvolução e a compensação da absorção foram aplicados como um único processo pré-empilhamento.

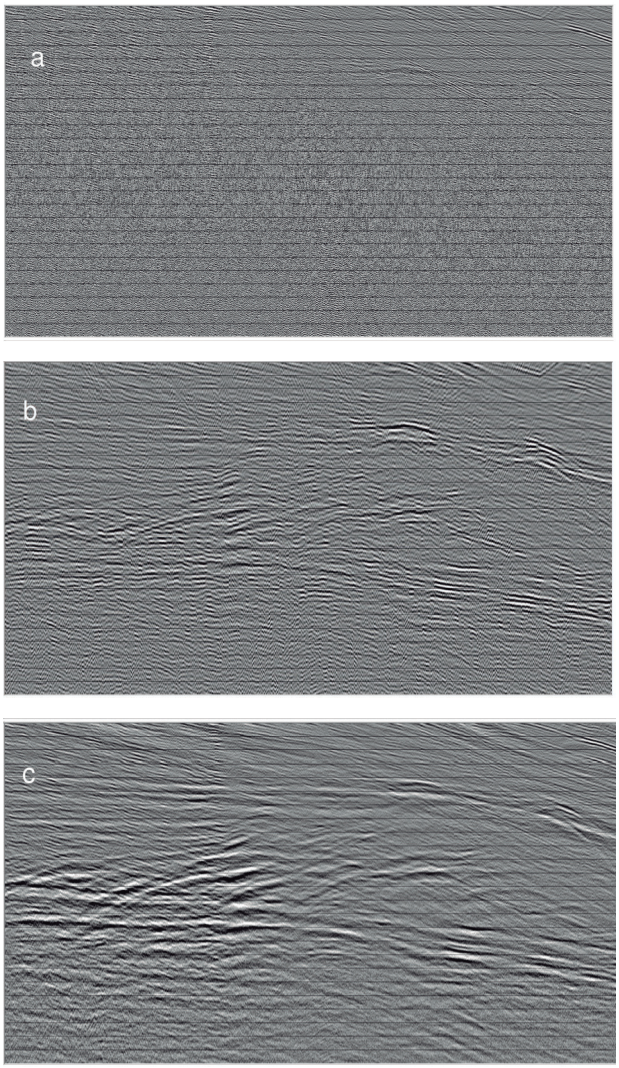


Fig. 1: a) seção com compensação de absorção aplicada pós-stack; b) seção mostrada na parte superior depois da passagem de um filtro passa-banda trapezoidal 1-2-25-40; c) a mesma janela da secção empilhada depois da aplicação da compensação da absorção em conjunto com a deconvolução. Um ganho foi aplicado para permitir a comparação da relação sinal-ruído.

A Figura 1a mostra a relação sinal-ruído habitual obtida sem um estrito controle da amplificação das altas frequências. Neste caso, a banda de frequências do sinal está restrita principalmente à extremidade inferior do espectro e os ruídos (múltiplas) têm espectro mais largo.

No passo a passo do processamento, a compensação da absorção é frequentemente seguida por filtros passa-banda, numa tentativa de atenuar os componentes de alta frequência do ruído, como mostrado na Figura 1b. Este procedimento não altera a relação sinal-ruído na banda de frequências do sinal. Como a

absorção não é caracterizada por um operador convolutivo, seu efeito sobre o conteúdo de frequências do dado não é bem compreendido.

A Figura 1c apresenta uma definição mais clara das estruturas geológicas, sem a indesejada mudança na relação entre as altas e as baixas frequências. A inversão do operador combinado resulta num tratamento mais adequado do lado instável desse operador, resultando numa relação sinal-ruído mais equilibrada em diferentes gamas de frequências.

A parametrização SVD foi a mesma em todas as figuras. Uma vez que a compensação da absorção altera o nível de amplitudes, um ganho foi aplicado para uma melhor visualização da relação sinal-ruído.

Para se ter uma ideia da estabilidade da compensação conjunta da absorção e deconvolução em dados pré-empilhamento, a figura 2 mostra um tiro (a) antes e (b) depois dessa compensação. Fica claro que a usual amplificação dos ruídos de alta frequência não está presente. De fato, o conteúdo de frequência do dado compensado está apenas um pouco deslocado em relação ao do dado. Embora as limitações sobre o espectro não sejam desejadas, este resultado é uma consequência da limitação do conteúdo de frequência no pulso utilizado para a inversão combinada. Se, por um lado, a técnica proposta não melhorou a nossa estimativa do conteúdo de altas frequências da função refletividade, por outro, conseguimos a melhor equalização possível do espectro sem o inconveniente e demorado processo de tentativa e erro no tratamento do ruído amplificado pela compensação da absorção.

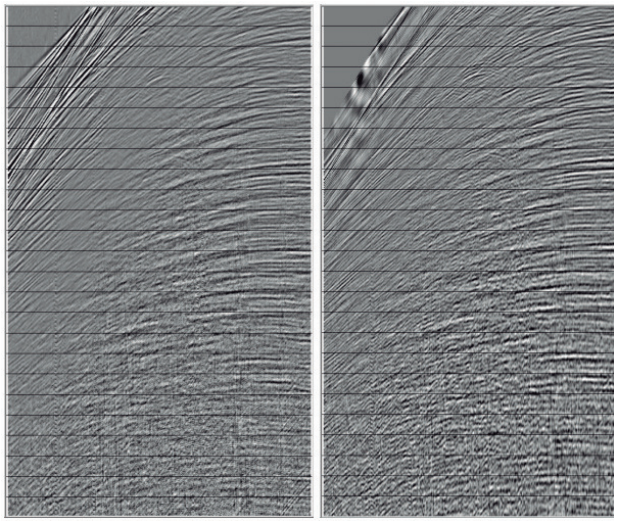


Fig. 2: Figura 2: a) Sismograma antes da deconvolução e, b) mesmo tiro após a aplicação do operador conjunto da compensação da absorção e deconvolução. Um Ganho foi aplicado a fim de permitir a avaliação da relação sinal-ruído.

Comentários e conclusões

Este artigo discute as vantagens do tratamento da deconvolução e da absorção inelástica como um processo único. Essencialmente, a inversão de um único processo combinado traz mais estabilidade e torna-o mais fácil de conseguir uma ótima relação sinal-ruído, mesmo em dados pré-stack. Como consequência, espera-se uma resolução melhorada nos processos pré-empilhamento como análise de velocidade, quando comparado com a prática corrente em dois passos. Os benefícios na resolução estão limitados à banda de frequências do pulso sísmico, bem como da absorção da função refletividade da terra, como de costume.

A vantagem da inversão conjunta da convolução e da absorção vem de um design mais adequado de uma pseudo-inversão com base numa estimativa real de um espaço (quase) nulo comum.

A estabilidade tem consequências na redução e gestão do tempo de processamento, mesmo se uma inversão relativamente mais cara como SVD é usada. Os benefícios da estabilidade estariam presentes se outro, menos dispendioso, algoritmo para inversão fosse utilizado. Assim, espera-se que um melhor ciclo de análise, com muitos testes para a definição de Q, f_0 e velocidades tornem-se menos demorado e acessível.

REFERÊNCIAS

Golub, G. H., Kahan, W., 1965, Calculating the singular values and pseudo-inverse of a matrix: Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Series B, Numerical Analysis 2 (2), p 205-224.

Futtermann, W. F., 1962, Dispersive body waves: Journal of Geophysical Research, 67, No. 13.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PETROBRAS por permitir a publicação do artigo.

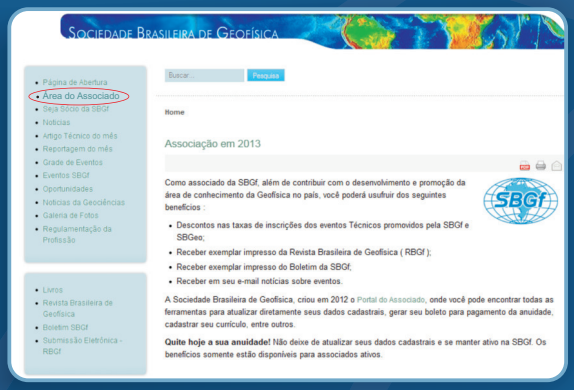
Este artigo foi escrito originalmente em inglês para apresentação no 12º CISBGf (2011), sob o título **Reducing Exploration Cycle Time in the Campos Basin: Integrating Seismic Data Acquisition and Processing**. Tradução: SBGf.

Curta a SBGf no facebook hoje mesmo!

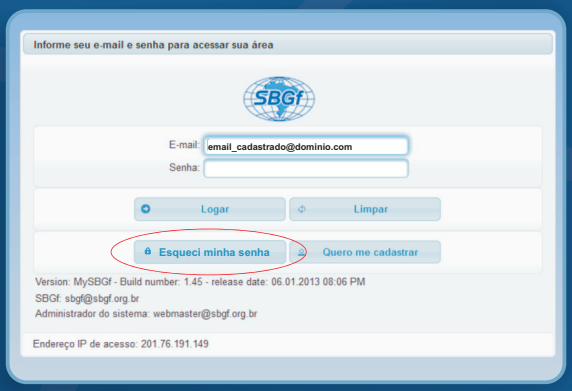
www.facebook.com/sbgf.org

Mantenha seu cadastro na SBGf atualizado!

Como acessar o sistema:



Clique no ícone 'Área do Associado'



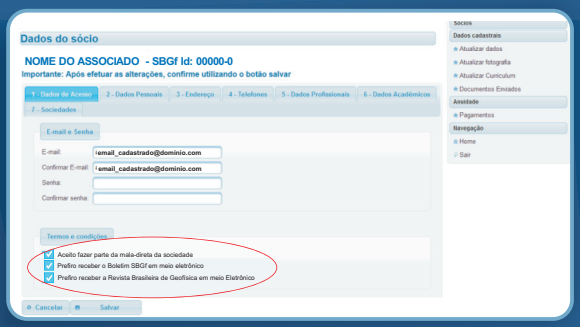
Digite o email cadastrado e clique em 'Esqueci minha senha'

Ao clicar em 'Esqueci minha senha' será enviado para o email cadastrado, uma senha temporária que permitirá acesso ao sistema.

Como atualizar dados:

Após acessar o sistema com a senha provisória o usuário pode alterar e/ou acrescentar suas informações pessoais.

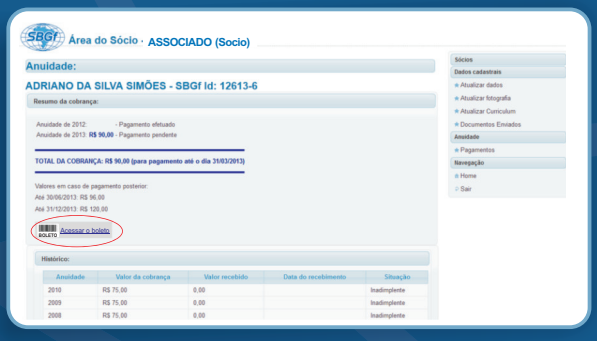
Atualize dados, tais como Endereço, Telefone e Dados Profissionais.



Certifique-se que os termos estão de acordo com suas preferências.

Como imprimir Boleto:

Clique no ícone 'Pagamentos'



O valor da anuidade devida aparecerá na tela.
O boleto poderá ser impresso em 'Acessar o boleto'.

Para dúvidas ou mais informações entre em contato conosco pelo telefone 21. 2533 0064

PDAC 2013
3 a 6 de março – Toronto – Canadá
Informações: www.pdac.ca/pdac/conv/

73rd Annual Meeting of the German Geophysical Society
4 a 7 março - Leipzig, Germany
Informações: www.ufz.de/dgg

SAGEEP 2013
17 a 21 março - Denver, Colorado USA
Informações: www.eegs.org/SAGEEP 2013

IPTC 2013 – International Petroleum Technology Conference
26 a 28 de março de 2013 - Pequim - China
Informações: www.iptcnet.org/2013

V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra
1 a 5 de abril de 2013 - Cuba
Informações: www.scg.cu

European Geosciences Union General Assembly
7 a 12 abril - Viena - Áustria
Informações: www.egu2013.eu/

Seismological Society of America Annual Meeting
17 a 19 abril - Salt Lake City, Utah - USA
Informações: www.seismosoc.org/meetings/2013/

AGU Meeting of the Americas 2013
14 a 17 de maio de 2013 - Cancún, México
Informações: http://moa.agu.org/2013/

75th EAGE Conference & Exhibition
10 a 13 Junho - Londres – Londres – Reino Unido
Informações: www.eage.org

VI Congresso Latinoamericano de Sedimentologia
14 a 17 de julho - São Paulo - SP
Informações: www.6lacs.com

13º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica – CISBGf
26 a 29 de agosto de 2013 - Rio de Janeiro - RJ
Informações: http://congresso.sbgf.org.br r

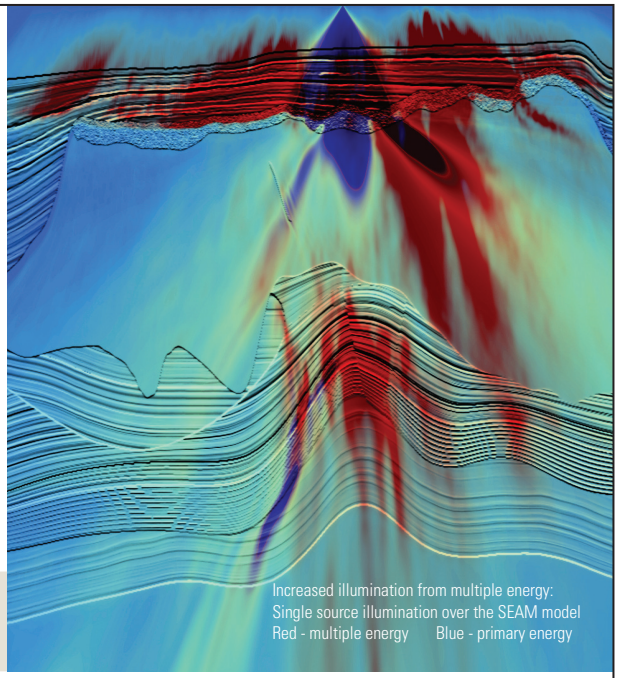
IAG Scientific Assembly
1 a 6 de setembro de 2013 – Potsdam
Informações: www.iag2013.org

Separated Wavefield Processing

Broadest Bandwidth

Increased Illumination

Measuring velocity and pressure with GeoStreamer® allows the up-going and down-going wavefields to be separated and thus multiple and primary energy can be separately imaged to deliver enhanced illumination and imaging.



GeoStreamer GS™ Separated Wavefield Imaging SWIM

Rio de Janeiro
Main: +55 21 2421 8400
Direct: +55 21 2421 8402
stephane.dezaunay@pgs.com

Houston
Main: +1 281 509 8000
Direct: +1 281 509 8391
alan.wong@pgs.com

A Clearer Image
www.pgs.com/GeoStreamerGS

PGS