



A investigação geofísica em projetos de dutovias

Luiz Antonio Pereira de Souza ¹ laps@ipt.br
Otavio Coaracy Brasil Gandolfo ¹ gandolfo@ipt.br
Rubens Paschoal Cordeiro ¹ rubenspc@ipt.br
Moysés Gonzalez Tessler ² mgteesse@usp.br

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT; ² Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – IO-USP

Copyright 2006, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica
Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da
Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo
foi revisado pela Comissão Tecno-científica do II SR-SBGf mas não necessariamente
representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total
ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Os métodos geofísicos atualmente empregados na investigação de subsuperfície de áreas emersas e submersas em locais de instalação subterrânea de dutos, destinados à condução a grandes distâncias de fluidos ou materiais fluidificados, são comumente o GPR, a Tomografia Elétrica e a Sísmica (*Sub-bottom Profile*). A sísmica corresponde ao método de utilização exclusiva na investigação de áreas submersas, enquanto os dois outros podem ser utilizados tanto em terra como em água. Neste artigo discute-se criticamente a aplicabilidade destes métodos com este objetivo, tendo em vista principalmente que o GPR e os métodos geoeletrônicos constituem-se ainda em ferramentas de aplicação com muitas restrições quando se trata de investigação de áreas submersas, além de não caracterizarem o maciço geológico do ponto de vista geomecânico.

Introdução

Tendo em vista as necessidades de expansão das redes de distribuição de gás no país, grande investimento tem sido feito em projetos de investigação geológica e geofísica das áreas contíguas aos traçados das rotas das dutovias, envolvendo tanto a investigação de áreas emersas, quanto de áreas submersas.

Como em qualquer outro projeto de engenharia civil, a instalação de dutovias envolve também a investigação das características geológicas e geotécnicas dos materiais que serão atravessados. Este trabalho pode ser feito por meio de sondagens mecânicas, mas tendo em vista o caráter pouco representativo das informações obtidas por este meio de investigação, se fazem necessários levantamentos geofísicos.

A utilização de métodos geofísicos é extremamente relevante em projetos desta natureza, pois de forma relativamente rápida e barata, uma vasta e detalhada cobertura em área pode ser obtida num curto espaço de tempo, o que viabiliza a investigação de grandes

extensões de terrenos, garantindo-se desta forma a efetiva caracterização do meio investigado.

Os métodos geofísicos atualmente solicitados para a investigação de áreas emersas e submersas em locais de instalação subterrânea de dutos desta natureza são comumente o GPR, a Tomografia Elétrica e a Sísmica (*Sub-bottom Profile*), sendo este último de utilização exclusiva na investigação de áreas submersas, enquanto os dois primeiros podem ser utilizados tanto em terra como em água.

Análise crítica dos métodos empregados

Os procedimentos comuns à investigação geológico-geotécnica são também desenvolvidos em projetos de instalação de dutos, pois o melhor posicionamento das dutovias certamente ocorrerá quando do melhor conhecimento do substrato geológico do traçado predeterminado. Neste contexto, o emprego dos métodos geofísicos referidos anteriormente, com o objetivo descrito, carece, todavia, de uma revisão crítica, tanto do ponto de vista da investigação de áreas emersas quanto de submersas.

A investigação de áreas emersas

Na investigação das áreas emersas contíguas ao traçado das dutovias tem-se comumente utilizado o Radar de Penetração (GPR) e a Tomografia Elétrica.

Apesar de se constituírem em métodos geofísicos de consagrada aplicação em questões ambientais e de engenharia, apresentando importantes resultados na investigação rasa com relação à caracterização qualitativa dos terrenos, não são adequados para sua definição geomecânica, aspecto relevante tanto na escavação de trincheiras quanto na perfuração para instalação de dutos direcionais.

O Radar de Penetração, em particular, apresenta uma série de restrições com relação ao poder de penetração dos sinais eletromagnéticos, mesmo com emprego de frequências mais baixas (50 MHz ou menores).

Assim, projetos dessa natureza não devem prescindir do método sísmico de refração que possibilita o zoneamento do maciço em termos de velocidades de propagação das ondas acústicas. Estas, por sua vez, guardam relações estreitas com litologia e algumas propriedades dos maciços, exemplificadas pelos graus de fraturamento e

alteração, porosidade e saturação, aspectos que justificam a utilização do método na caracterização das propriedades geomecânicas (Dourado, 1984; Griffiths & Kings, 1983 e Cordeiro & Galli, 2004).

A investigação de áreas submersas

Quando do estudo dos trechos submersos (no cruzamento com rios ou reservatórios) o emprego dos métodos geofísicos tem relevância especial, tendo em vista as inerentes dificuldades em se investigar áreas submersas, ante aos naturais limites de acesso aos locais de interesse.

A investigação de áreas submersas pode ser abordada de dois pontos de vista.

Um primeiro é relativo à investigação da superfície de fundo propriamente dita, e diz respeito à caracterização das superfícies submersas onde se prevê a implantação dos dutos. A localização de afloramentos rochosos e de feições sedimentares ou estruturais são alguns dos aspectos identificados em estudos desta natureza, e que são utilizados no estabelecimento do traçado final para a dutovia. Com estes objetivos, ecobatímetros de altas frequências, ou multifeixes e o sonar de varredura lateral constituem nos principais métodos geofísicos a serem utilizados. A imagem ilustrada na *Figura 1* constitui-se num excelente exemplo de aplicação do sonar de varredura lateral. Nesta figura observa-se nitidamente o contato entre dois tipos de fundo: afloramento rochoso de um lado e a cobertura sedimentar do outro. Outros exemplos da importância da caracterização das superfícies submersas visando a escolha de rotas para instalação de dutos pode ser visto em IPT (2002, 2005) e Souza (1988).

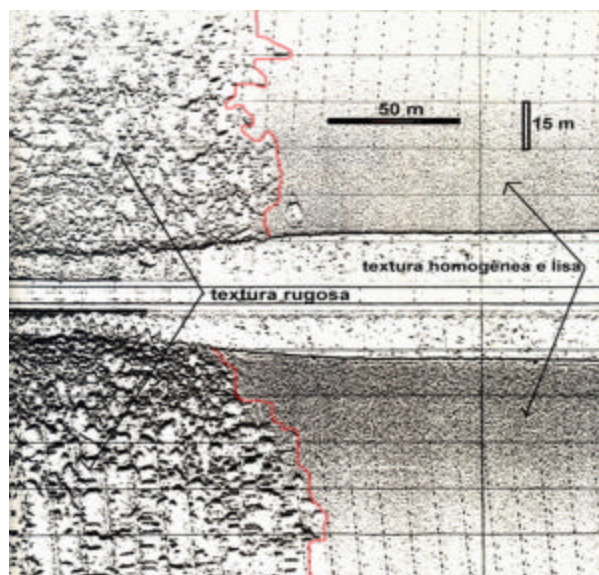


Figura 1: Imagem obtida no canal de São Sebastião (SP) por meio do sonar de varredura lateral, ilustrando, o nítido contato entre, de um lado, o fundo com textura lisa e homogênea interpretado como cobertura sedimentar, e do outro, um fundo com textura rugosa, característicos da ocorrência de afloramentos de rochosos. (Furtado, 2001; Souza, 2006).

O Radar de Penetração e a Tomografia Elétrica não são métodos geofísicos mais indicados para esta aplicação, tendo em vista que os sistemas atualmente empregados não foram constituídos para esta finalidade, apesar de fornecerem dados qualitativamente interessantes quando aplicados com este objetivo. Como o GPR opera com ondas eletromagnéticas (de alta frequência) e esta é influenciada pelas características elétricas do meio, em locais onde a água apresente maior salinidade (como corpos d'água sob influência de marés) o levantamento pode apresentar resultados insatisfatórios em relação à batimetria. Além disso, o controle do posicionamento das antenas do radar na superfície da água não é devidamente e precisamente controlado, se considerada a precisão necessária aos levantamentos batimétricos.

Um segundo ponto de vista para análise de projetos de instalação de dutovias é relativo à investigação da subsuperfície de fundo.

É inerente à instalação de projetos desta natureza, a necessidade da realização de escavações de forma a constituir-se o leito de implantação do duto. Observa-se atualmente no Brasil a ampla utilização do Radar de Penetração e da Tomografia Elétrica com estes objetivos.

Todavia, experiências recentes no País tem mostrado resultados insatisfatórios quando da utilização do GPR na investigação da subsuperfície em áreas submersas. Os registros obtidos com a utilização do GPR nestes ambientes mostram essencialmente o perfil da topografia de fundo, analogamente ao perfil obtido de um levantamento ecobatimétrico. São raros os perfis donde se pode denotar alguma penetração do sinal eletromagnético na superfície de fundo. O perfil ilustrado na *Figura 2* mostra um exemplo de dados desta natureza.

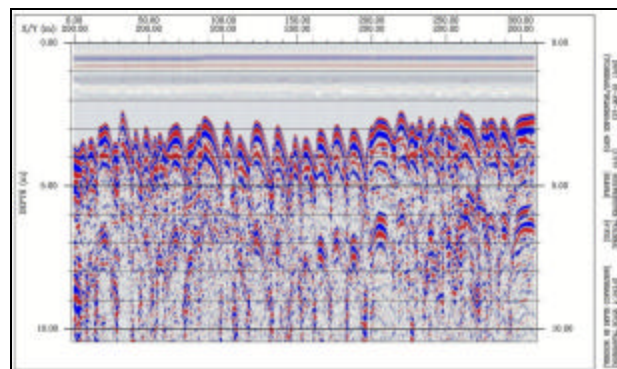


Figura 2: Perfil obtido com o GPR no rio Taquari, Pantanal Matogrossense, ilustrado o excelente performance deste sistema na definição da topografia de fundo, todavia, apresentando baixo poder de penetração nas camadas arenosas do fundo do rio (Souza et al., 2002).

Parte das causas dos insucessos deve-se possivelmente à utilização de instrumentação inadequada para estes objetivos, já que, originalmente, este sistema foi concebido para investigação de áreas emersas e, portanto, de aplicação na superfície terrestre.

Nas experiências relatadas no Brasil, a aquisição de dados é efetuada a partir do rebocamento das antenas

do GPR na superfície da água, procedimento que não necessariamente garante a melhor qualidade dos dados.

Somente recentemente, empresas norte americanas e europeias se atentaram à possível aplicabilidade do GPR na investigação de áreas submersas e iniciaram processo de desenvolvimento de antenas especiais, com características que permitem que sejam rebocadas mergulhadas na água, e posicionadas muito próximas à superfície de fundo, aprimorando em muito a qualidade dos dados obtidos. Um excelente exemplo focado na investigação de áreas submersas rasas é o projeto desenvolvido pela empresa de consultoria holandesa CSO Adviesbureau voor Milieuonderzoek em parceria com o Instituto de Águas da Holanda (Instituto Rijkswaterstaat) que aprimoram as antenas do sistema GPR adaptando-as para operações. O perfil ilustrado na Figura 3 mostra o excelente resultado da aplicação deste sistema na identificação de interferências no rio Waal na Holanda, com a antena posicionada a 1 m da superfície de fundo.

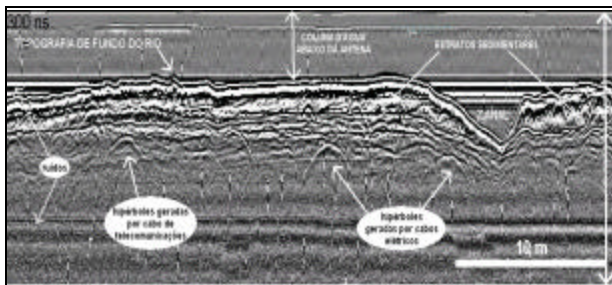


Figura 3: Registro de GPR (antena de 500 MHz) de excelente qualidade, obtido no rio Waal, Holanda, mostrando as principais feições geológicas do substrato do rio (topografia de fundo e estratos sedimentares rasos) além da localização de dutos enterrados, objetivo principal do levantamento executado. Registro cedido pela Dra. P.P. Kruiver, da CSO Adviesbureau voor Milieuonderzoek e pelo Instituto Rijkswaterstaat (Holanda).

As técnicas e procedimentos de aquisição e tratamento de dados de GPR no contexto da investigação de áreas submersas, também necessitam de aprimoramentos para que os reais objetivos sejam alcançados.

Outro método geofísico comumente indicado para a investigação de áreas submersas no contexto de projetos de instalação de dutovias é o método sísmico denominado de SBP (*Sub-bottom Profile*).

Sob esta denominação, na verdade se reúnem vários métodos sísmicos de perfilagem que utilizam fontes acústicas que emitem sinais com frequências comumente inferiores a 20 kHz. Originalmente, o termo SBP era relacionado a perfiladores que utilizavam fontes acústicas que emitem sinais de 3,5 kHz. Independente do conceito adotado ao se referir a um perfilador utilizando-se do termo SBP, o fato é que quaisquer das fontes acústicas utilizadas por estes sistemas emitem sinais de alta frequência que possuem limitações para penetração em determinados substratos.

O gráfico ilustrado na Figura 4 mostra as limitações de penetração de uma fonte acústica do tipo 3,5 kHz.

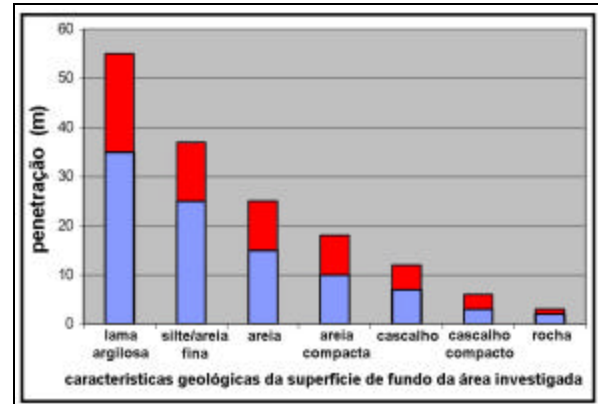


Figura 4: Desempenho da fonte acústica modelo GeoPulse Pinger 3.5 kHz, da Geoacoustics: penetração esperada (em azul) e a variabilidade possível (em vermelho) para a relação penetração do sinal acústico x tipo de fundo. Modificado de: <http://www.geoacoustics.com>. (Souza, 2006).

Como pode ser observado no gráfico da Figura 4, o poder de penetração dos sinais emitidos por uma fonte sísmica (no exemplo, uma fonte de 3.5 kHz) diminui drasticamente com o aumento da granulometria dos sedimentos que compõem a cobertura sedimentar. Assim, na investigação de depósitos sedimentares compostos basicamente de sedimentos arenosos (areias e cascalhos) com espessuras superiores a 8-10 m, fontes acústicas de maior energia e que emitem espectros com frequências inferiores (< 3,5 kHz) se fazem necessárias. Fontes do tipo *boomers* e *chirps* estão entre as mais indicadas, neste caso. O exemplo ilustrado na Figura 5 mostra o poder de resolução e de penetração de três distintas fontes sísmicas utilizadas, simultaneamente.

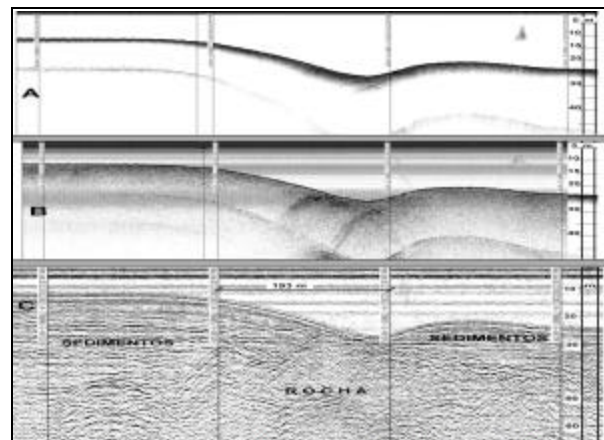


Figura 5: Perfil sísmico executado com o emprego simultâneo de três fontes acústicas distintas: a) pinger (24 kHz); b) chirp (2-8 kHz) e; c) boomer (0.1-1.5 kHz). Observa-se nitidamente nestes perfis o desempenho diferenciado das três fontes acústicas utilizadas, com relação à penetração do sinal nos estratos sedimentares subjacentes. No perfil A obtido com o pinger (24 kHz) e no perfil B obtido com o chirp (2-8 kHz) não se evidencia, na superfície, qualquer anomalia na topografia de fundo que relacionada com a existência de corpos rochosos em subsuperfície. No perfil obtido pelo chirp, observa-se, em subsuperfície, a ocorrência de difrações do sinal, fenômeno acústico que sugere a existência de corpos rochosos em subsuperfície, sem todavia permitir qualquer análise quantitativa da ocorrência. No perfil obtido com o boomer, identifica-se ainda

uma camada de sedimentos finos de espessura variável entre 1 e 4 m. No perfil C, obtido com a utilização de uma fonte acústica do tipo boomer, é possível delinear-se, além da topografia de fundo, o contorno do substrato rochoso em subsuperfície, que mergulha até a profundidade de 60 metros. Souza, 2006. Registros cedidos pelo Dr. Michel M. de Mahiques do Instituto Oceanográfico da USP.

Discussão e Conclusões

A discussão proposta neste artigo permite concluir que para desenvolvimento de estudos de áreas com objetivo da instalação de dutos é fundamental a caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos ou terrosos ao longo do traçado. Nas áreas emersas, julga-se relevante o emprego adicional dos métodos sísmicos como a refração. Nas áreas submersas rasas, subsídios relevantes a projetos de instalação de dutos serão obtidos com o emprego adicional de métodos sísmicos que utilizam fontes acústicas de alta energia e que emitam sinais acústicos com frequências inferiores a 3.5 kHz, de forma a garantir a penetração do sinal nas camadas sedimentares para obtenção de dados relativos à conformação do embasamento ao longo do trecho investigado. Assim, com objetivo de melhor caracterizar áreas (emersas e submersas) de implantação de dutos, recomenda-se a execução dos seguintes métodos:

a) Ecobatimetria/Sonografia (dupla frequência/multifeixe /sonar de varredura lateral): com o objetivo é a caracterização da morfologia da superfície de fundo com a identificação de obstáculos diversos (aflorescimentos rochosos etc.) nas áreas estudadas;

b) Perfilagem Sísmica Contínua utilizando-se de métodos que empregam fontes acústicas que emitem sinais com frequências superiores a 3.5 kHz (SBP 3.5, *chirp de baixa potência e pingers* etc.), quando for possível estimar que os sedimentos de fundo compõem-se basicamente de materiais finos (lamas e no máximo areias finas); ou métodos que garantam a adequada penetração e resolução e que, portanto, empregam fontes acústicas que emitem sinais com frequências inferiores 3.5 kHz (*boomers/ sparkers/chirp* e alta potência), quando for possível estimar que os sedimentos de fundo compõem-se basicamente de materiais arenosos (areias grossas ou cascalhos finos).

d) O GPR ainda não se constitui em método estabelecido para a investigação de áreas submersas e, portanto no caso de ser utilizada neste contexto, procedimentos operacionais adequados devem ser adotados, para se garantir o melhor resultado, destacando-se, a garantia do melhor acoplamento possível das antenas com a superfície d'água ou, idealmente, utilizar antenas mergulhadas na coluna d'água, próximas à superfície de fundo.

e) A tomografia elétrica apresenta resultados qualitativos satisfatórios na investigação de áreas submersas rasas e pode ser utilizada em caráter complementar, e os dados obtidos certamente constituirão subsídios à interpretação conjunta de todos os demais dados coletados.

f) O método sísmico de refração, por permitir a caracterização geomecânica do maciço a ser escavado,

se constitui em ferramenta adequada e importante em projetos dessa natureza.

Agradecimentos

Agradecemos Dra. Pauline P. Kruiver, da CSO Adviesbureau voor Milieuonderzoek (Holanda) e ao Instituto das Águas da Holanda (Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland) pela autorização da divulgação dos excelentes dados de GPR obtidos com o GPR aplicado na investigação do Rio Waal na Holanda.

Referências

Cordeiro, R.O.; Galli, V.L. 2004. A perfilagem sônica na determinação de módulos de elasticidade dinâmicos em rochas. I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica. São Paulo, SP, 26 a 28 de setembro. Boletim de Resumos Expandidos. CD-ROM.

Dourado, J.C. 1984. A utilização da sísmica na determinação de parâmetros elásticos de maciços rochosos e terrosos *in situ*. ABGE. Publicação Especial. 12p.

Griffiths, D.H.; King, R.F. 1983. Applied Geophysics for Geologists & Engineers. New York, Perfamon Press Inc.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT. 2002. Levantamento geofísico com o sonar de varredura lateral para mapeamento da superfície de fundo de um trecho do porto de Suape, PE. Microars – Consultoria e Projetos. Relatório Técnico IPT nº. 63060. 34p.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT. 2005. Levantamentos sísmicos (ecobatimetria, sonografia e perfilagem sísmica contínua) em apoio a obra de implantação de duto sob o rio São Francisco – SE/AL. Geo-radar. Relatório Técnico IPT nº. 82367-205. 33p.

Souza, L.A.P. 1988. As técnicas geofísicas de Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e Sonografia aplicada ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém, PA, 6 a 13 de novembro de 1988. Anais, 4: 1551-1564.

Souza, L.A.P.; J.L. Porsani; O.C. Souza & L. Moutinho. 2002. Levantamento experimental GPR no rio Taquari, Bacia do Pantanal Matogrossense. Rev. Bras. Geofis., 20:67-71.

Souza, L.A.P.; J.L. Porsani; C. Souza & L. Moutinho. 2001. Levantamento experimental GPR no Rio Taquari, Bacia do Pantanal Matogrossense. 7º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. Salvador, BA, 28 a 31 de outubro. Resumo expandido. CD-ROM

Souza, L.A.P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 311p.

