



## Uso de Georadar para a localização de dutos enterrados em Quissamã, RJ

Raisa Cristina Rodrigues Alves<sup>2</sup>, Israeli Rodrigo Mathias dos Santos<sup>2</sup>, Mariana da Silva Figueiredo<sup>1</sup>, Guilherme Borges Fernandez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Geografia Física – LAGEF, Universidade Federal Fluminense

<sup>2</sup>Laboratório de Geologia Marinha – LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense

Copyright 2019, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 16<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 16<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The coast of Quissamã, in the north of the state of Rio de Janeiro, is part of the deltaic complex of the Paraíba do Sul river and is also part of the pipeline route of an important Petrobras project called the PDET acronym. To ensure the flow of oil from the Campos Basin region. Two profiles of Georadar were made in different localities of the coast of Quissamã and both identified characteristic hyperboles of tubular features like ducts. These pipelines were mapped and, through the processing of profile data, it was possible to determine the depth at which the pipelines were buried. For the present study, a 400 MHz GSSI™ shielded antenna was used with the survey done in common-offset continuous mode and the data was processed in Radan™ software. This geophysical method has been applied for purposes such as this to map pipelines and other metallic or nonmetallic targets, and the present study corroborated the good response of the method for this type of objective.

### Introdução

O georadar ou radar de penetração no solo, que normalmente é utilizada a nomenclatura GPR, em referência à sigla em inglês de *Ground Penetration Radar*, é um método geofísico de investigação de subsuperfície que, historicamente, têm se mostrado uma ferramenta interessante para se identificar entre diferentes elementos observados em subsuperfície, mapear objetos enterrados. O funcionamento do GPR se deve a uma fonte geradora que emite um curto pulso elétrico, em que antenas de transmissão e recepção são responsáveis por converter o pulso elétrico em um pulso eletromagnético de radiofrequência sendo transmitido ou recebido através do solo (Harari, 1996). A antena transmissora emite os pulsos que se propagam em subsuperfície, de modo que a antena receptora detecta os pulsos que foram refletidos pelo meio geológico ao encontrar uma feição ou alvo onde exista um contraste de impedância eletromagnética. O método produz um curto pulso eletromagnético de alta frequência, da ordem de MHz a GHz.

Fundamentado na teoria da propagação e atenuação das ondas eletromagnéticas, o sinal GPR é influenciado, principalmente, pela condutividade elétrica, pela permissividade dielétrica e pela permeabilidade magnética. Esses três parâmetros interferem diretamente na velocidade de propagação e na atenuação da onda eletromagnética e são essenciais ao se tratar da Teoria da Propagação e Atenuação das ondas Eletromagnéticas em meios geológicos.

O GPR, dentre sua extensa gama de aplicações, é talvez, a técnica mais eficiente para encontrar objetos enterrados que apresentam resposta à emissão de ondas com tais características, como tubos e dutos metálicos e não metálicos.

Nesse estudo, o alvo em questão são dutos metálicos, revestidos de concreto, é possível observar no radargrama hipérboles. Segundo Davis (1996), reflexões sobre um dispersor pontual localizado abaixo da superfície aparecem devido à largura do feixe da antena transmissora e receptora, como estruturas hiperbólicas em uma imagem. A forma de hipérbole é uma função da configuração da antena (monostática, bi-estática), da profundidade do dispersor pontual e do perfil de velocidade de propagação no solo. A desfocalização hiperbólica de um objeto pode ser corrigida no processamento de dados, que é chamado de migração ou processamento de SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Depois do processamento dos dados e das conversões de tempo em profundidade necessárias, a profundidade em que os dutos foram enterrados podem ser verificadas. Os diâmetros dos dutos não é possível serem estimados devido à única polarização realizada nas antenas.

Para a investigação de dutos com o método, foi escolhido o município de Quissamã no Norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. Esse município faz parte da rota do projeto PDET da Petrobras, o qual possibilita o abastecimento de navios petroleiros que levarão o petróleo produzido nas plataformas de rebombeamento autônomas P-51, P-52, P-53, P-55 e R0-4 até terminais costeiros da Companhia que, a partir daí, se interligarão à malha existente de dutos de transporte de petróleo até as refinarias da Petrobras ou diretamente para a exportação (Investidor Petrobras, 2005). Na área de estudo em questão (Figura 1), a estação Barra do Furado, em Quissamã, recebe um duto submarino de 34 polegadas (86,6 cm) de diâmetro de extensão de 113 km e, depois disso, o óleo é escoado até o terminal de Cabiúnas com um duto terrestre de 40 polegadas (1 m) percorrendo 68 km, depois um duto terrestre é responsável por levar o óleo até o município de Duque de

Caxias, continuando o transporte através de estações de bombeamento para outros terminais.

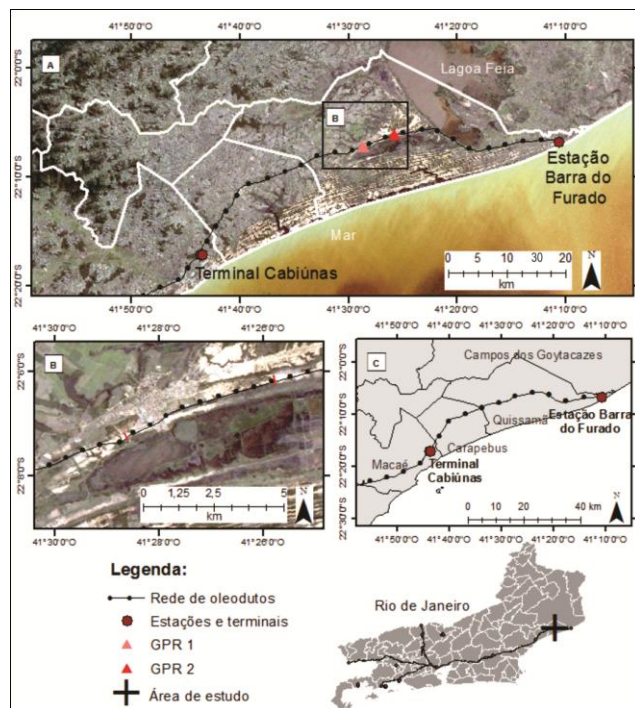


Figure 1: Mapa de localização da área de estudo. A) mapa com marcação da rede de oleodutos com a marcação da Estação Barra do Furado onde recebe o óleo vindo da plataforma no oceano, seguindo o trajeto pelo terminal Cabiúnas. Mostra também a localização das linhas GPR 1 e 2 realizadas que cortam esse trajeto dos dutos. B) zoom da região em que as linhas foram realizadas, mostrando o traçado. C) assim como a figura 1 A, mostra a rede de oleodutos com a estação e terminal referente à área de estudo e divisão política de municípios.

O litoral compreendido entre Carapebus e Quissamã, no norte do estado do Rio de Janeiro, faz parte da porção emersa da Bacia de Campos, mais precisamente do complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul. No trecho de Quissamã, a fase de deltação é predominantemente composta por séries de cristas de praia, associadas a uma fase posterior de regressão forçada associada ao Estágio Istópico 4, segundo Rocha et. al. (2013). Estas características indicam que os terrenos de enterramento dos dutos, são majoritariamente arenosos, típicos de barreiras costeiras. Na sondagem feita por Vilela et. al. (2016), foi denominado intervalo D o pacote sedimentar referente à profundidade obtida nos dados GPR, mostrando camadas arenosas de composição quartzosa e coloração, em geral, marrom moderado e cinza amarronzada variando entre fina a grossa, com grãos

subarredondados e seleção moderada a boa (areias maduras).

## Métodos

Para o emprego correto do método GPR, foram utilizados os equipamentos da empresa GSSI® (*Geophysical Survey Systems, Inc.*) tanto para a aquisição quanto para o processamento os dados. Na aquisição, o módulo SIR 3000 foi utilizado, adotando para o número de amostras por traço o valor de 1024, além de 16 bits por amostras e 64 *stacks* (empilhamento por traço). Uma antena blindada, com transmissora e receptora juntas, de frequência central com 400 MHz, utilizada pela facilidade de transporte e rápida execução do trabalho, além da principal finalidade de obter uma boa resolução no pacote sedimentar mais próximo à superfície, para melhor detecção do alvo que, no presente estudo, são os dutos metálicos. Os dados foram adquiridos por perfis de reflexão com afastamento constante (*common offset*) no modo contínuo, o qual consiste em deslocar o transmissor e o receptor, com uma distância fixa de 0,05 m entre eles. Além disso, o deslocamento da linha foi tido a partir do modo distância, sendo conectada uma roda disparadora responsável por adquirir os traços ao módulo e à antena através de cabos.

Para o processamento dos dados, foi utilizado o *software* Radan® na versão 6.6.1.5, com uma rotina de processamento básico de conversão de tempo zero, remoção de background, filtro FIR (resposta ao impulso com duração finita), com filtragem vertical em passa-baixa e passa-alta de 800 e 150 MHz, respectivamente, ganho *Range Gain* e correção topográfica. A conversão de tempo em profundidade foi calculada a partir da adaptação de velocidade em hipérbolas de difração visualizadas no radargrama, ou perfil de reflexão, de acordo com Cassady (2008). É válido dizer que no processamento dos dados não foi realizada a migração porque a intenção é mostrar as hipérbolas, que são as estruturas em radargrama formadas pela detecção dos dutos.

Para o mapa da área de estudo foi utilizado o programa de sistema de informações geográficas ArcGIS® da Esri, com imagens ortoreitificadas de fotografias aéreas, disponibilizadas pela base cartográfica BC25 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ainda, para a demarcação do caminho do oleoduto da Petrobras, foi utilizada a base cartográfica vetorial BC25\_RJ, também disponibilizada pelo IBGE.

## Resultados

Os resultados obtidos pelo processamento dos dados GPR, com a conversão de tempo em profundidade, a partir de análise de velocidade da onda e de dados topográficos serão apresentados.

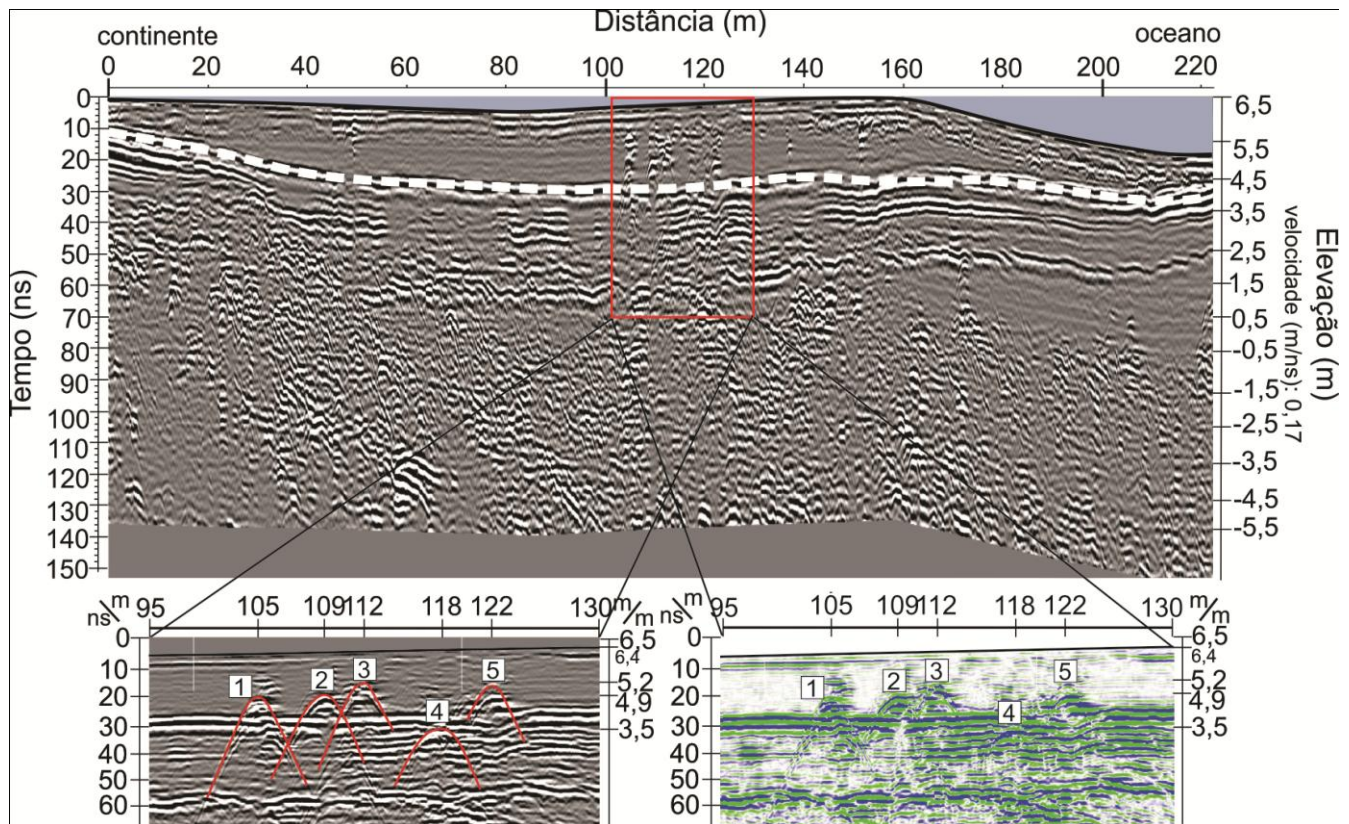


Figure 2: a) perfil GPR 1 processado, com correção topográfica, interpretado com o nível do lençol freático demarcado pela linha tracejada branca. Nas duas imagens inferiores é possível observar o zoom nas distâncias de 95 a 130 metros mostrando as hipérbolas encontradas no dado e que serviram para identificação dos dutos.

Como era de se esperar, ao ser realizado o escaneamento do georadar, é possível observar hipérbolas no radargrama, já que há a presença de dutos na região. Na Figura 2, o perfil GPR 1 mostra uma profundidade de cerca de 2 metros para o lençol freático, que foi demarcado pela linha branca tracejada. Com cor vermelha, as hipérbolas estão marcadas, de forma que definem a localização dos dutos a uma profundidade com cerca de 1,10 m para o duto 3 mais próximo à superfície. Para o duto 1 foi encontrado valor de 1,40 m, para os dutos 2 e 4 foram obtidos um valor de 1,20 m e para o duto 5, o mais em baixo, foi encontrado um valor de 2,42 m de profundidade. Um duto mais abaixo, o de número 4, está a uma profundidade de 2,20 m aproximadamente. Para definir as medidas dessas profundidades, foi adotado como velocidade o valor de 0,17 m/ns, considerando a análise de hipérbolas de difração a partir das encontradas na porção mais próxima a superfície, até 5 metros aproximadamente, que é a porção de maior interesse, onde se encontram os alvos.

Para o perfil GPR 2, localizado a cerca de 5,5 Km do perfil GPR 1, também foram localizados os dutos, confirmando o caminho da rede de oleodutos do projeto PDET. No processamento do dado GPR do perfil 2, não foi feita a correção topográfica, somente a correção de tempo em profundidade, a partir da velocidade da onda eletromagnética no meio de 0,14 m/ns, definida da mesma forma que no perfil 1. Porém, é importante citar que os levantamentos para cada uma das linhas foram realizados em meses distintos e, desse modo, esta pequena diferença na velocidade pode ser atribuída à diferença de saturação no material arenoso devido a diferenças pluviométricas na região. As profundidades encontradas para os dutos no perfil GPR 2 foram bem próximas às encontradas no perfil GPR 1, conforme mostra a figura 3.

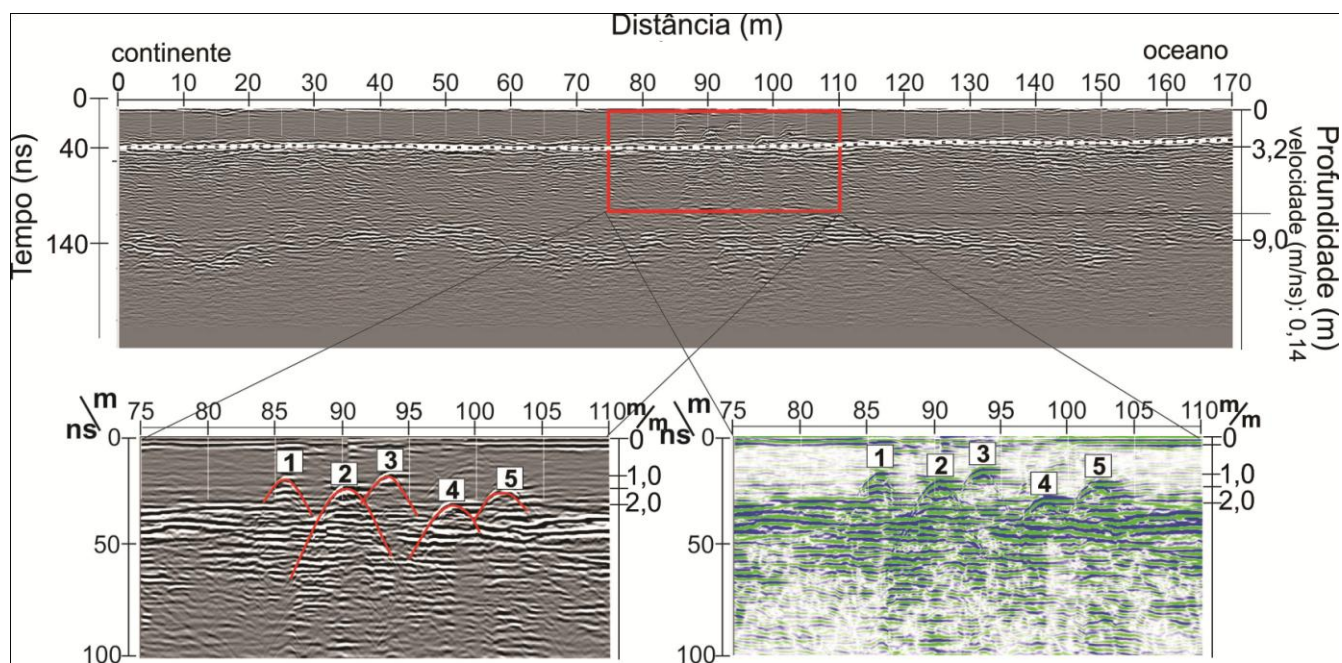


Figure 3: Perfil GPR 2 processado, sem correção topográfica, interpretado com o nível do lençol freático demarcado pela linha tracejada branca. Nas imagens inferiores, é possível ver o zoom da área do perfil onde se encontram os dutos, em duas paletas de cores diferentes.

### Conclusões

Podemos concluir que o método GPR utilizado no estudo apresentou bons resultados em subsuperfície e que esta mesma metodologia pode ser utilizada para análise de tubulações em outros ambientes propícios para a propagação da onda eletromagnética, extrapolando esses resultados para outros campos em que haja a necessidade de estudos de estruturas tubulares.

Desta forma, podemos afirmar que a aplicação do georadar neste trabalho foi capaz de mostrar a profundidade do duto, como foi demonstrado nos radargramas apresentados (Figuras 2 e 3), que mostra o tempo duplo de reflexão da onda eletromagnética na parte superior do duto e a hipérbole de difração da onda do GPR na área que recobre o duto.

Estudos mais aprofundados se fazem necessários para a aferição dos diâmetros dos tubos, o que não foi realizado neste trabalho, mas que possivelmente pode ser abordado em uma metodologia futura na área de estudo.

As profundidades das tubulações não foram disponibilizadas pela operadora do oleoduto, o que impede sua comparação com os dados de radargrama interpretados apresentados.

### Referências

DANIELS, D. J., (Ed.). *Ground penetrating radar*. 1<sup>st</sup> ed., 2004.

CASSIDY, N. J., GPR attenuation and scattering in a mature hydrocarbon spill: A modeling study. *Vadose Zone Journal*, v. 7, n. 1, p. 140-159, 2008.

FINANCIAMENTO DO PROJETO PDET. Comunicado e fatos relevantes, Brasil, 02 de mar. de 2005. Disponível em: <<https://www.investidorpetrobras.com.br/pt/comunicado-doe-fatos-relevantes/financiamento-do-projeto-pdet>>. Acesso em 25 de jan. de 2019.

G. K. SHARMA AND T. KIND, "Distinction of tendon ducts and rebars by GPR reflection signal patterns," *2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, Rapperswil, 2018, pp. 1-4.

HARARI, Z. (1996). Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *Journal of applied Geophysics*, 36(1), 43-52.

ROCHA, T.B. 2013. A planície costeira meridional do complexo deltáico do rio Paraíba do Sul (RJ): arquitetura deposicional e evolução da paisagem durante o Quaternário Tardio. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VILELA, P. C., MELLO, C. L., CARELLI, T. G., & BORGHI, L. (2016). Caracterização litológica do testemunho do poço 2-JU-1-RJ, na porção emersa da

Bacia de Campos. *Geociências (São Paulo)*, 35(3), 346-358.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa PIBIC de Iniciação Científica concedida à primeira autora na época da aquisição e ao Laboratório de Geografia Física, LAGEF – UFF, pelas licenças disponibilizadas dos *softwares* Radan® e ArcGis® para o processamento dos dados, além de disponibilizarem os equipamentos de GPR e topografia necessários para a realização do levantamento das linhas.