

## Aplicações de Técnicas Geofísicas na Parte Emersa da Baía de Guanabara: uma Revisão Bibliográfica

Paula Lucia Ferrucio da Rocha

*Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Brigadeiro Trompowski, s/nº, CEP- 21945970, Rio de Janeiro. ferrucio@acd.ufrj.br*

### Resumo

Este trabalho apresenta a aplicação de técnicas geofísicas em duas investigações realizadas no entorno da baía de Guanabara, Rio de Janeiro. A primeira foi executada na área da Petroflex, uma indústria petroquímica situada na região de Campos Eliseos às margens da baía e a segunda na Ilha do Fundão localizada dentro da mesma.

Segundo Anjos *et al.* (2001) a pesquisa na Petroflex foi parte de um projeto social desta companhia chamado: “Conheça seu Manguezal”. Para este estudo a pesquisa geofísica foi realizada dentro do parque industrial a fim de identificar contaminação de lixo sólido (borracha, plástico e latão metálico). Foi usada a técnica do Ground Penetrating Radar (GPR) com o equipamento RAMAC/MALA. Na área de estudo são encontradas argila e areia, depositadas em condições marinhas as quais são freqüentemente contaminadas por água salgada. Em geral, os resultados obtidos com o GPR para argilas e sedimentos saturados em água não são satisfatórios. Entretanto, na área da Petroflex os resultados foram bons.

A seqüência estratigráfica na área é a seguinte, do topo para a base: A camada mais superior é um depósito de argila, a segunda camada é formada de argila marinha escura e a terceira camada é composta de areia de grãos finos com conchas marinhas. A interpretação das linhas de GPR com profundidade média de 14 m e velocidade média de 70m/ $\mu$ s, mostrou duas descontinuidades físicas dentro da segunda camada (argila marinha) a qual possivelmente representa a exposição da plataforma no Pleistoceno, descrita na literatura como Regression Guanabariana. Foi possível identificar também anomalias dentro da primeira camada (depósito de argila), representada por um sinal atenuado e outras identificadas como tambores com resíduos sólidos. Este trabalho mostrou um exemplo de sucesso da aplicação do GPR em locais argilosos com presença de água salgada.

A Ilha do Fundão, local da segunda investigação, segundo Rocha *et al.* (1998) foi formada por um aterro artificial em um arquipélago formado por pequenas ilhas construído nos anos de 1950. O objetivo da investigação foi identificar por meio de uma pesquisa geolétrica os núcleos originais das ilhas. Normalmente, estruturas próximas de regiões costeiras não podem ser detectadas devido à presença de água salgada nos sedimentos.

Entretanto no caso da Ilha do Fundão os sedimentos eletricamente condutivos têm uma forma lenticular de pouca espessura correspondendo ao aterro. Essa geometria permitiu a detecção dos núcleos resistivos os quais são as ilhas originais do arquipélago. Tais conclusões foram baseadas nos resultados da sondagem elétrica usando a configuração de Schlumberger com a abertura máxima ( $ab/2$ ) de 100 ms. Os dados originais foram publicados em Rocha *et al.* (1998).

**Palavras chaves:** geofísica, eletrorresistividade, Baía de Guanabara, meio ambiente.

## Abstract

This paper presents the application of the geophysical techniques on two investigations around of Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. The first one was carried out in the area of the Petroflex, a petrochemical industry, located at Campos Eliseos area in the bank of the bay and the second one at Ilha do Fundão, one of the islands located in Guanabara bay.

According to Anjos *et al.* (2001) the research at Petroflex area was part of the company Social Project: “*Conheça seu Manguezal*” (Knowing your mangrove). For this research the geophysical survey was applied within the industrial park in order to identify solid waste contamination (rubber, plastic and metal barrels). The *Ground Penetrating Radar* (GPR) technique was used with the RAMAC/MALA equipment. The study area consists of clay and sands deposited in marine conditions, which are frequently contaminated by salt water. In general, the GPR results obtained in both media, clay material and sediments saturated with salt water are not satisfactory. However the results obtained in the Petroflex area were good. The stratigraphic sequence in the area is the following, from top to bottom: The first bed is a clay landfill, the second bed is formed by dark marine clay, and the third bed is composed of fine-grained sand with marine shells. The surveys originated sections with average depths of 14 m and average velocity of 70 m/ $\mu$ s. The results showed two physical discontinuities within the second bed (marine clay), which possibly represent a Pleistocene platform exposition, described in the literature as Guanabariana Regression. It was also possible to identify anomalies within the first bed (clay landfill) represented by signal attenuation, and the others identify waste deposits, where the presence of buried drums was verified. Such work has demonstrated the success of GPR applicability even to clay soil contaminated by salt water.

The *Ilha do Fundão* where the second investigation took place, according to Rocha *et al.* (1998) is the result of an artificial embankment of a former small archipelago, built in the early 1950's. The aim of this work was to identify, by means of a geoelectric survey, the cores of the original islands. Normally, structures near the sea-coast cannot be detected through geoelectric measurements. This is due to the presence of salt water in sediments. However, in the *Ilha do Fundão* case, the high electric conductivity sediments have a lens shaped with small thickness and correspond to the embankments. This circumstance allows the detection of deep layers and resistive nuclei. Results were obtained from vertical electric soundings using Schlumberger configuration with a maximum aperture ( $ab/2$ ) of 100 m. The original data was published in Rocha *et al.* (1998).

**Key words** : geophysics, electrical resistivity, Guanabara Bay, environment.

## 1 Introdução

Nos últimos anos com o desenvolvimento da sociedade moderna, verificou-se que a qualidade de vida, em grandes centros urbanos, vem diminuindo como consequência dos impactos diretos no meio ambiente devido, por exemplo, a instalação de parques industriais e aterros. Este problema fica agravado quando estamos em regiões

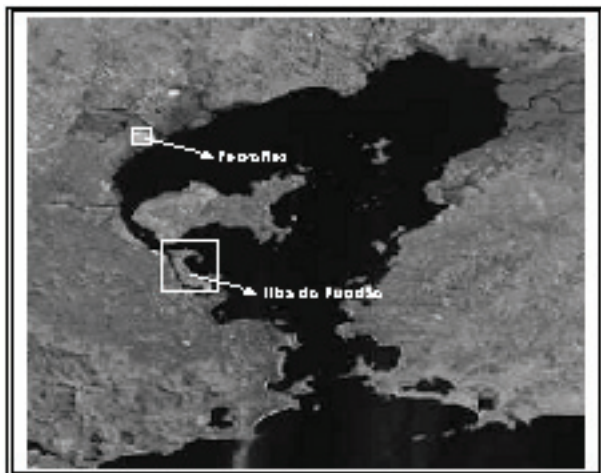


Figura1 Foto aérea da Baía de Guanabara, com demarcação da Ilha do Fundão e da área Industrial da Petroflex. Escala 1:50.000 (IBGE)

vulneráveis como é o caso de regiões de estuários e manguezais. Um exemplo significativo é a área do entorno da Baía de Guanabara no Estado do Rio de Janeiro (figura 1).

Nesse contexto, as Geociências, em particular a geofísica, vêm cada vez mais ocupando um espaço de destaque para a solução de problemas relacionados ao meio ambiente e a atividade produtiva. No caso específico de Meio Ambiente, a geofísica pode fornecer dados para uma análise do dano ambiental em subsuperfície com geração de dados tridimensionais levando em consideração, por exemplo, a profundidade, a direção e a velocidade de uma determinada pluma de contaminação. Também pode auxiliar na definição de qual seria o melhor método de recuperação da área degradada. Diversos métodos geofísicos podem contribuir de forma eficiente na investigação da subsuperfície principalmente no que tange aos problemas ambientais. A geofísica é considerada uma técnica de prospecção indireta com custo reduzido e de fácil aquisição de informações.

Para a geofísica uma questão bastante importante na realização de uma investigação é a detectabilidade do alvo a ser estudado. Para esta detecção são necessários um forte contraste das propriedades físicas e fatores adequados de forma e de escala por

parte do alvo. O ambiente geológico é que vai controlar a utilização de uma determinada técnica geofísica levando em conta as diferentes propriedades físicas dos materiais do subsolo. Uma combinação de técnicas geofísicas pode apresentar melhores resultados para determinada aplicação. Também pode auxiliar na definição de qual seria o melhor método para identificar se foi feita de forma correta a recuperação da área degradada.

Dentre os métodos geofísicos mais aplicados nos estudos ambientais estão os métodos eletromagnéticos como por exemplo, o radar de penetração no solo (GPR), os métodos elétricos e o método sísmico (refração e reflexão). No nosso caso foram empregados o GPR e o método elétrico nos dois estudos que serão discutidos a seguir.

Neste trabalho são apresentados dois exemplos de aplicação de técnicas geofísicas na porção emersa da Baía de Guanabara. Uma delas na área industrial da Petroflex S A (figura 1). Os dados originais foram publicados em Anjos *et al.* (2001). Neste trabalho a geofísica é utilizada para ajudar na identificação de áreas contaminadas. O outro exemplo é um levantamento realizado na Ilha do Fundão, Cidade Universitária, UFRJ (cuja publicação original está em Rocha *et al.* 1998). Neste último trabalho pode-se observar como a geofísica pôde ser usada para reconstituir a paleogeografia original do arquipélago. Isto pode ser importante em muitas situações onde seja necessário um estudo paleoambiental.

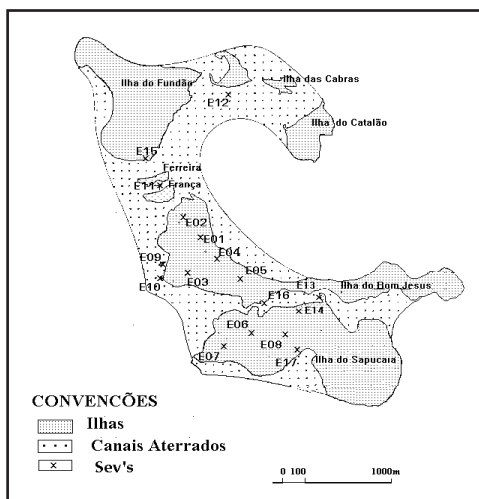


Figura 2 - Detalhe da localização das antigas Ilhas que foram aterradas para a construção da Ilha do Fundão. Estão marcadas também as SEV's que foram realizadas por Rocha et. al , 1998.

## **2 Resumo dos Levantamentos geofísicos realizados na parte emersa da Baía de Guanabara**

### **2.1 Levantamento realizado na área Industrial da Petroflex (Anjos *et al.*, 2001)**

Nesse estudo, originalmente apresentado por Anjos *et al.* (2001) a geofísica foi utilizada para investigar duas áreas adjacentes ao parque industrial que estavam contaminadas por resíduo sólido (borracha, latões plásticos e metálicos). Foi possível também determinar a estratigrafia e mostrar a utilização, com sucesso, do GPR em áreas próximas a ambientes mixialinos ou em aterros argilosos.

Segundo Anjos *et al.* (2001) a área em estudo está localizada na Indústria e Comércio Petroflex S.A, situada na Rua Marumbi, 600-Campos Elíseo, Duque de Caxias, Rio de Janeiro. Para se ter acesso à empresa, é necessário, utilizar a via de acesso principal BR- 040 até o Km 114 seguindo em direção à refinaria Duque de Caxias. Amador (1997) (in Anjos *et al.* (2001)) comenta que a área está inserida em uma Planície de Maré (que foi aterrada para a construção do pólo petroquímico) recoberta por sedimentos fluvio-marinhos holocênicos da Formação Magé, estes sedimentos são individualizados pelos episódios transgressivos e regressivos ocorridos na Baía de Guanabara. Litologicamente estes sedimentos são constituídos de sedimentos finos, silticos-argilosos ricos em matéria orgânica. Geneticamente estes sedimentos correspondem a um ambiente de planície de maré e progradação de litoral, em regime estuarino, que servem de substrato para o desenvolvimento do ecossistema de manguezais.

Em relação ao aspecto pedológico os solos presentes na região ocorrem de duas formas: de forma artificial, como aterro (argila compactada) com espessuras que variam em média de 0,80 a 3,25m com predominância em todo complexo industrial. Abaixo deste, segundo D' Orsi (1992), existe dois solos mal a muito mal drenados, tipo glei salino tiomórfico, sujeitos a grandes oscilações do lençol freático durante o ano chegando ao alagamento. Devido à proximidade do litoral e à influência marinha há formação de argilas orgânicas com espessura variando entre 0,40 a 3,70 m, intercaladas com lentes arenosas, que muitas vezes apresentam conchas em seu interior (Falcão, (1999) in Anjos *et al.* (2001)).

No trabalho, Anjos *et al.* (2001) utilizaram a técnica do *Ground Penetrating*

*Radar* (GPR) que consiste em “imageamento” de alta resolução do subsolo. A técnica baseia-se na emissão de um pulso eletromagnético, gerado por uma antena transmissora na superfície, que se propaga para o subsolo e, ao interceptar uma interface, que separa materiais com propriedades eletromagnéticas diferentes (condutividade e constante dielétrica) se reflete e se refrata. A detecção dos alvos depende do contraste eletromagnético destes com o meio e quanto maior o contraste das propriedades do meio (condutividade elétrica e permissividade dielétrica) mais intenso será a reflexão medida na superfície. Vários artigos já publicaram os aspectos teóricos da técnica GPR tais como: Davis & Annan (1989), Annan, (1992); Cimadevila, (1994); Fischer *et al.*, (1992) e outros. Anjos *et al.*. (2001) utilizaram a técnica WAAR (*Wide Angle Reflection and Refraction*) com as antenas receptora e transmissora de 100 Mhz, separadas por uma distância constante (*offset*) de 1 metro. Os perfis de GPR foram executados em uma malha irregular. Os resultados obtidos através de GPR foram processados utilizando-se do *software* GRADIX® versão 1.11(1996) da INTERPEX objetivando destacar anomalias geofísicas e a estratigrafia. Os levantamentos resultaram em seções com profundidade de alcance médio de 14 m com velocidade média de 70 m/ $\mu$ s. Inicialmente os dados foram filtrados e aplicados um ganho de 20ns. A interpretação dos dados confirmou a seqüência estratigráfica já descrita na literatura. A primeira camada consiste em aterro com espessura média de 2 m, a segunda camada é composta de argila marinha escura com aproximadamente 8 m de espessura, e a terceira camada, é formada de areia fina com conchas marinhas de espessura média de 6 m.

## **2.2 Levantamento realizado na Ilha do Fundão, Cidade Universitária (Rocha *et al.*, 1998)**

Rocha *et al.*. (1998) realizaram um levantamento geoeletrico no qual pôde ser identificado os núcleos originais das antigas ilhas. Em geral, medidas geoeletricas em regiões costeiras não permitem definir estruturas profundas porque a presença de sedimentos marinhos muito porosos e saturados com águas salinas, logo com baixa resistividade, impedem a passagem de corrente elétrica para as camadas subjacentes. Entretanto, no caso da Ilha do Fundão estas regiões de alta condutividade elétrica, correspondem às áreas aterradas entre as ilhas. Esta circunstância permitiu, com um uso adequado do espaçamento dos eletrodos de corrente identificar os

núcleos resistivos ou seja, as antigas ilhas.

Sabe-se que a atual ilha do Fundão – Cidade Universitária, onde hoje se encontra o campus da UFRJ, surgiu a partir de um pequeno arquipélago. Na década de 1950 tiveram início as obras de infraestrutura e terraplanagem para construção da Cidade Universitária, naquela época existia um conjunto de ilhas isoladas, segundo pode-se visualizar na figura 2 (Rocha *et al.* (1998).

O embasamento cristalino, que aflora na região, é formado por migmatitos heterogêneos e anfíbolitos, da série inferior do Arqueano (Helmbold *et al.* (1970) in Rocha *et al.* (1998)). No local, essa unidade geológica é representada por bandas graníticas e anfíbolíticas. O intemperismo diferencial sofrido por esses materiais produziu um conjunto onde se destacam lentes de rochas graníticas fraturadas dentro de saprolitos. Esse conjunto, além de sua heterogeneidade, apresenta-se bastante fraturado condicionando o desenvolvimento de uma superfície muito irregular constituída, de ilhas e canais (figura 2), Rocha *et al.*(1998).

No estudo geoeétrico realizado por Rocha *et al.*(1998) foram realizadas – 17 sondagens elétricas verticais (SEV's) - aplicando o arranjo de Schlumberger, com abertura máxima ( $ab/2$ ) de 100 m. Os dados foram processados através do “software” RESIX-IP (1993) utilizando-se o modelo suavizado de 15 camadas. As informações obtidas pelas SEV's mostraram concordância com os dados das sondagens mecânicas (realizadas anteriormente na área com fins de construção civil) que tinham individualizado cinco camadas: (a) o aterro seco; (b) sedimentos marinhos parcialmente saturados com água salgada; (c) solo residual constituído por materiais siltico-argilosos e (d) alteração de rochas, evoluindo para rocha sã e (e) em alguns locais a rocha sã. Onde os sedimentos marinhos são mais ricos, em matéria orgânica e argilas, a resistividade é mais baixa do que nas areias mais limpas.

### 3 Conclusões

Esta revisão bibliográfica é mais uma tentativa de mostrar as aplicações da geofísica em problemas envolvendo regiões contaminada e/ou alvos com pouca profundidade. Nos trabalhos originais de Anjos *et al.*. (2001) e Rocha *et al.* (1998), pode-se perceber que os dados forneceram um bom resultado, embora as expectativas não fossem animadoras. Anjos *et al.*. (2001) comentam que os resultados superaram as

expectativas uma vez que o levantamento estava sendo realizado em área de solo muito salino. Em alguns radargramas foi possível identificar discontinuidades físicas que foram associadas às variações do nível do mar que se convencionou chamar de Transgressão Guanabariana, a qual delimita o Pleistoceno-Holoceno (citada na literatura por Amador,1997). Além disto, também foi possível identificar em outros radargramas anomalias geofísicas que posteriormente, na investigação direta, foram confirmadas e consistiam em latões enterrados e borracha. As figuras 3 e 4, mostram exemplos dos resultados identificados na área. Na figura 3, temos anomalias correspondentes aos tonéis enterrados e às borrachas além, das discontinuidades físicas correspondentes à estratigrafia do terreno. A figura 4, mostra as discontinuidades físicas referentes à

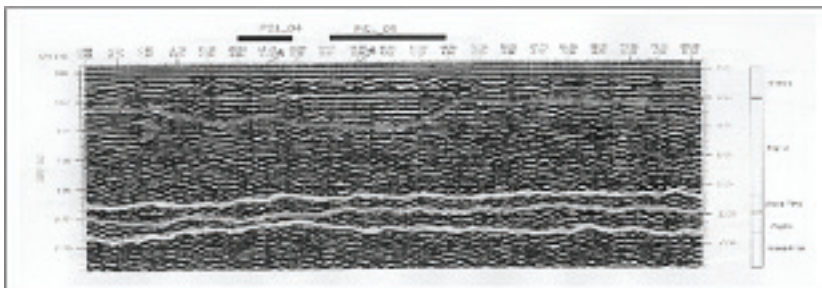


Figura 3 Radargrama mostrando as anomalias geofísicas (tonéis e borracha) e a estratigrafia da área industrial da Petroflex S A , (Rocha et. al 2001).

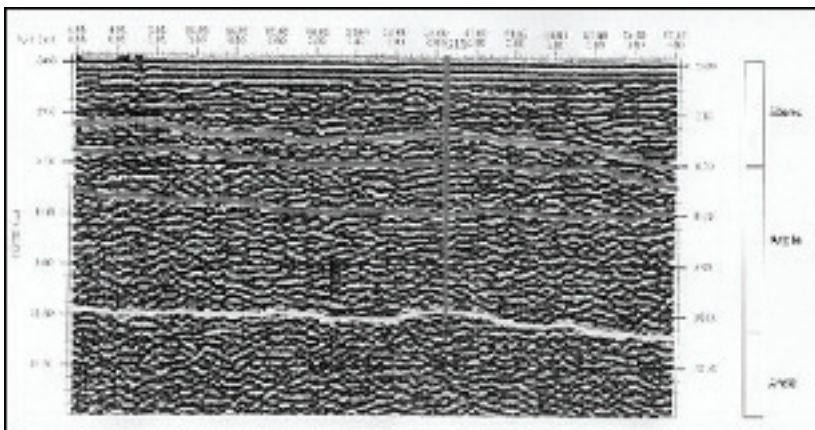


Figura 4 Radargrama mostrando as discontinuidades físicas em vermelho que correspondem, possivelmente, às variações do nível do mar. Levantamento com GPR realizado na área Industrial da Petroflex S A , Rocha et al. 1998.



variação do nível do mar.

Rocha *et al.* (1998) mostraram que os núcleos resistivos identificados no trabalho são perfeitamente correlacionáveis com os arquipélagos originais da região, principalmente nas áreas onde existiam mangues. A interpretação dos resultados indica, em primeiro lugar, que é possível obter dados confiáveis, que podem ser utilizados em trabalhos de reconhecimento geológico-geotécnico, sobre as estruturas profundas a partir de levantamentos geoeletricos, mesmo em regiões costeiras, pelo menos em certas condições de paleotopografia com sedimentos marinhos apresentando pouca espessura sobre o embasamento cristalino; em segundo lugar, que os núcleos resistivos identificados no trabalho são perfeitamente correlacionáveis aos arquipélagos originais da região, principalmente nas áreas onde existiam mangues. Correlacionando os resultados obtidos com as sondagens mecânicas foi possível individualizar as cinco camadas já conhecidas.

## Referências

- Anjos, M.M.; Rocha, P.L.F.; Silva, S.F da; A, Pederson & Marques, R.M. 2001 – Aplicação de GPR (ground penetrating radar) como ferramenta no diagnóstico ambiental em área industrial. 7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Bahia, Brasil.
- Amador, E.S. 1997-Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos – Homem e Natureza. Edição de Autor, 539 p.
- Annan, A.P. 1992. Use and techniques of ground penetrating radar in near-surface geophysicists. Workshop Notes, Sensor & Software Inc. 22p.
- Cimadevila, 1994. Prospección Geofísica de Alta Resolución Mediante Geo-Radar. Aplicación a Obras Civiles. Tese de Doctor en Ciências Físicas. Universidad Complutense de Madrid.
- D'Orsi R.N., 1992. Impactos Ambientais na área da folha Petrópolis (RJ) 1:50.000: Considerações geológicas, programa de pós Graduação em Geologia, Instituto de geociências, UFRJ, Tese de Mestrado, 204p.
- Davis, J.L. & Annan, A. P. 1989. Ground Penetration Radar for High-resolution mapping of soil and rock stratigraphy; geophysical prospecting, Vol.37, pp 531-551
- Falcão, C.M. 1999. Projeto de rede de Monitoramento das águas Subterrâneas da Petroflex. Rio de Janeiro: Monografia de Graduação, Faculdade de Geologia, UERJ, 1999
- Fisher, E.; McMehan, G.A & Annan, A.P. 1992. Aquisition and Processing of wide-Aperture Ground Penetrating radar Data. geophysics, Vol.57, N° 3, pp 495-508.

- GRADIX®, 1996. Manual do usuário versão 1.11, 224p.
- Helmbold, R.; Valença, J.G & Leonardos, Jr. O.H. 1970. Mapa Geológico do Estado da Guanabara, Escala 1:50.000; Departamento Nacional de Produção Mineral, Distrito Federal.
- RESIX-IP®, 1993. Manual do usuário versão 1.11, 299p.
- Rocha P.L. da; Silva, G.C da; Polivanov H.; Ribeiro, N.M.S.; Mores, E.O. & Sobreira, G.V.A. 1998 – Environmental and Engineering Geophysics - 4rth Meeting - EEGS'98-European Section, Barcelona (Espanha).

### **Agradecimentos**

Agradeço a Ubiraci Ribeiro Marques pela colaboração na confecção das figuras e a professora Claudia Vilela pelo convite para participar do Workshop Baía.