

# A UTILIZAÇÃO DO GROUND PENETRATING RADAR (GPR) EM ESTUDOS DE ESTRATIGRAFIA NA PRAIA DE ITAIPUAÇÚ – MARICÁ (RJ)

Alípio J. Pereira<sup>1</sup>, Luiz A. P. Gambôa<sup>2</sup>, Maria Augusta M. da Silva<sup>3</sup>, Amilsom R. Rodrigues<sup>4</sup> e Ariovaldo da Costa<sup>5</sup>

Submetido em 25, julho, 2003/Aceito em 8, abril, 2004

Submitted July 25, 2003/Accepted April 8, 2004

## ABSTRACT

The association between data obtained from ground penetrating radar (GPR) and from boreholes at the Itaipuaçu coastal plain (Maricá-RJ) revealed information regarding the evolution of this coast. It has been possible to recognize a paleobarrier-lagoon environment and its associated inlets. The results indicated that the sedimentary sequence above basement is about 3 to 4 meters thick on the old sandy barrier and it is 10 meters thick towards the younger sandy barrier. The sedimentary sequence contains several horizontal to subhorizontal reflectors in addition to seaward dipping layers 15 to 40°, similar to the present-day Itaipuaçu beach storm scarps. A bore hole through the younger sandy barrier showed that the main sediment is coarse sand; however, at about 7,5 meters down the section an organic-rich lagoonal mud is present and <sup>14</sup>C dating indicated the age of 5.900-6.400 years before present for such lagoonal environment. The water table is just 1 meter below surface on the plain between the two barriers deepening to 4 to 5 meters towards the younger sandy barrier. Water collected from this reservoir presents good quality for human consumption.

*Keywords:* GPR (Ground Penetrating Radar), Coastal Geology, Stratigraphy, Holocene, Itaipuaçu Beach

## RESUMO

A associação de dados de sondagem com registros obtidos através da utilização do *Ground Penetrating Radar* (GPR), em levantamentos realizados num trecho da planície costeira da praia de Itaipuaçu – Maricá (RJ), revelou uma série de informações referentes à dinâmica costeira pretérita. Foi possível reconhecer um sistema antigo de ambientes costeiros do tipo barreira-laguna, com uma série de canais que alimentavam uma laguna, hoje colmatada, localizada na retaguarda do cordão litorâneo externo (mais jovem). Os resultados indicam que o contato do pacote sedimentar com o embasamento, no cordão litorâneo interno (mais antigo), ocorre por volta de 3 e 4 metros de profundidade, tornando-se mais profundo, isto é superior a 10 metros, na direção do mar. O topo do lençol freático está entre 4 e 5 metros de profundidade no cordão litorâneo externo, e a 1 metro na planície, entre os dois cordões. Foram observados refletores predominantemente horizontais e subhorizontais, além de camadas com inclinação entre 15 e 40°, mergulhando para o mar, semelhantes às escarpas de tempestades modernas. Na sondagem realizada sobre o cordão litorâneo externo foram recolhidas amostras de sedimentos para análise granulométrica, identificando um predomínio da fração 0,500 mm (areia grossa). Nessa mesma sondagem, as amostras de água coletadas a 4, 7 e 8 metros de profundidade apontam para uma água de boa qualidade em condições para consumo humano desde que sua extração seja feita de maneira racional. A datação por *AMS* <sup>14</sup>C do material turfoso, obtido a profundidade de 7,5 metros, revelou uma idade entre 6.040/5.900 anos BP para esses sedimentos lagunares.

*Palavras-chave:* GPR (Ground Penetrating Radar), Geologia Costeira, Estratigrafia, Holoceno, Praia de Itaipuaçu

<sup>1</sup> Departamento de Geologia - Universidade Federal Fluminense (UFF) - Instituto de Geociências - [alipio@igeo.uff.br](mailto:alipio@igeo.uff.br) - Av. Litorânea, s/nº - 4º andar - Campus da Praia - 24210-340 - Gragoatá - Niterói (RJ) - tel.: 2719-4241 - (CENPES) - PETROBRAS - [alipiopereira@petrobras.com.br](mailto:alipiopereira@petrobras.com.br) - Cidade Universitária Q7, P20 - Ilha do Fundão s/nº - Rio de Janeiro (RJ) - tel.: 3865-6561

<sup>2</sup> Departamento de Geologia - Universidade Federal Fluminense (UFF) - Instituto de Geociências - [gamboa@igeo.uff.br](mailto:gamboa@igeo.uff.br) - Av. Litorânea, s/nº - 4º andar - Campus da Praia - 24210-340 - Gragoatá - Niterói (RJ) - tel.: 2719-4241 - (EDISE) - PETROBRAS - [gamboa@petrobras.com.br](mailto:gamboa@petrobras.com.br) - Av. Chile, 65 - 13º andar - Centro - Rio de Janeiro (RJ) - tel.: 2534-2997

<sup>3</sup> Departamento de Geologia - Universidade Federal Fluminense (UFF) - Instituto de Geociências - [augusta@igeo.uff.br](mailto:augusta@igeo.uff.br) - Av. Litorânea, s/nº - 4º andar - Campus da Praia - 24210-340 - Gragoatá - Niterói (RJ) - tel.: 2719-4241

<sup>4</sup> Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello - (CENPES) - PETROBRAS - [amilsom@cenpes.petrobras.com.br](mailto:amilsom@cenpes.petrobras.com.br) - Cidade Universitária Q7, P20 - Ilha do Fundão s/nº - Rio de Janeiro (RJ) - tel.: 3865-6486

<sup>5</sup> Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello - (CENPES) - PETROBRAS - [ari@cenpes.petrobras.com.br](mailto:ari@cenpes.petrobras.com.br) - Cidade Universitária Q7, P20 - Ilha do Fundão s/nº - Rio de Janeiro (RJ) - tel.: 3865-6493

## INTRODUÇÃO

As variações do nível do mar, ao longo do tempo geológico, têm provocado em todo mundo, avanços e recuos das linhas de costa, transferindo os sedimentos das regiões costeiras na direção do continente ou na direção da plataforma interna. Essa interação (incessante troca de energia) entre o mar e o continente, resulta na formação de uma série de ambientes costeiros.

A compreensão da dinâmica costeira é o ponto inicial para se entender a evolução desses ambientes, determinando sua morfologia e seqüência sedimentar. A configuração que uma região costeira assume, nada mais é do que o resultado do somatório de forças exercidas sobre ela. Portanto, ao olharmos, por exemplo, a topografia de uma praia, temos condições de avaliar a que tipo de dinâmica ela está sendo submetida. A circulação das correntes, o regime de ondas, os limites máximo e mínimo da maré, deixam registradas impressões ou informações de uma hidrodinâmica temporal, sendo de suma importância seu reconhecimento.

O estudo da praia de Itaipuaçu visa contribuir para o entendimento da evolução dessa planície da região oceânica de Niterói, uma vez que não existem trabalhos voltados para o estudo da estratigrafia local. Além disso, há a necessidade de se conhecer as condições do lençol freático onde há franca expansão da ocupação humana, com problemas na utilização desordenada dessa água. Outro aspecto relevante na escolha dessa região, diz respeito ao bom estado de preservação das suas condições naturais. Itaipuaçu é uma das poucas praias dessa porção leste do estado do Rio de Janeiro a manter esse bom estado, facilitando a utilização da metodologia proposta para este trabalho.

A utilização do *Ground Penetrating Radar* (GPR) como ferramenta no imageamento desses ambientes, abre uma oportunidade de se adquirir informações tridimensionais de maneira ágil, barata (se comparada a sísmica convencional) e de grande qualidade na definição de estruturas.

Os resultados verificados em outros trabalhos em regiões costeiras, na identificação de estruturas internas de dunas eólicas, mediante a utilização do GPR (SCHENK et al., 1993; CRUZ; BOTELHO, 1997; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2000; PEREIRA, 2001; PEREIRA et al., 2001), reforçam a certeza da importância do método, principalmente em terrenos com alta resistividade, isto é, formados por sedimentos arenosos.

A região litorânea, objeto do presente estudo, está localizada em um trecho da planície costeira fluminense, na praia de Itaipuaçu, município de Maricá, estado do Rio de Janeiro, entre o Pontal de Itaipuaçu e a área de reserva ambiental de Maricá pertencente ao Ministério da Aeronáutica (Figura 1). A praia de Itaipuaçu possui uma extensão leste-oeste de aproximadamente 10 Km, constituída por areias grossas e

grânulos de quartzo puro e bem arredondados, apresentando também localmente seixos, fragmentos de seixos, conchas inteiras, fragmentos de conchas, além de fragmentos de arenitos de praia (*beach-rock*).

Os cordões litorâneos tão comuns no litoral do estado do Rio de Janeiro, deram origem a um amplo sistema de lagunas aprisionadas que se desenvolveram na sua retaguarda. Este é o caso da Praia de Itaipuaçu, que se ancora no promontório rochoso Pedra do Elefante a oeste, e a leste no promontório de Ponta Negra, ainda em Maricá. É comum a existência de dois cordões litorâneos transgressivos, paralelos entre si e considerados de idade Holocênica (PERRIN, 1984). O cordão interno (mais antigo) formado entre 5.500/5.000 anos BP e o segundo a 3.500 anos BP. Já, Turcq e outros (1999), citam a existência de duas seqüências de lagunas isoladas por duas barreiras (uma mais interna, Pleistocênica e outra mais externa, Holocênica), com início de formação das lagunas externas entre os cordões, entre 7.000 e 5.000 anos BP.

## METODOLOGIA

A coleta de dados com o GPR foi realizada em duas etapas. A primeira constou da montagem de uma linha regional, por toda a planície costeira cobrindo aproximadamente 550 metros de comprimento, perpendicularmente à linha da praia, indo desde o pós-praia, atravessando o campo de dunas, chegando até o embasamento cristalino. A segunda etapa constou do levantamento de uma malha de 100 metros x 100 metros, em 3D, com um espaçamento de 10 metros entre as linhas paralelas e perpendiculares à praia, sobre o cordão litorâneo externo, seguindo até próximo do limite da cunha salina. Foram utilizadas antenas de 40 MHz, não blindadas, apenas para a determinação da velocidade das ondas do radar na montagem de uma linha CMP (*Common Mid Point*) e de 200 MHz blindadas, usadas em todo o levantamento. O GPR utilizado foi o modelo SIR-2000 da GSSI (*Geophysical Survey Systems Incorporated*), de propriedade do CENPES-PETROBRAS.

Foram realizadas três sondagens com trado manual, com o intuito de correlacionar a litologia às imagens obtidas nos radargramas. A primeira sondagem foi feita sobre o cordão litorâneo externo, alcançando a profundidade de 13 metros. A segunda, no reverso do cordão arenoso externo, em uma região de planície atual, alcançou 6 metros de profundidade. A terceira sondagem foi realizada sobre o cordão arenoso interno, atingindo a profundidade de 4 metros.

Durante as sondagens foram coletadas: 1) 46 amostras de sedimentos basicamente arenosos, para análise granulométrica no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da UFF; 2) três amostras de água no total, nas profundidades de 4, 7 e 8 metros na sondagem nº 1, sobre o cordão litorâneo externo. Essas amostras de

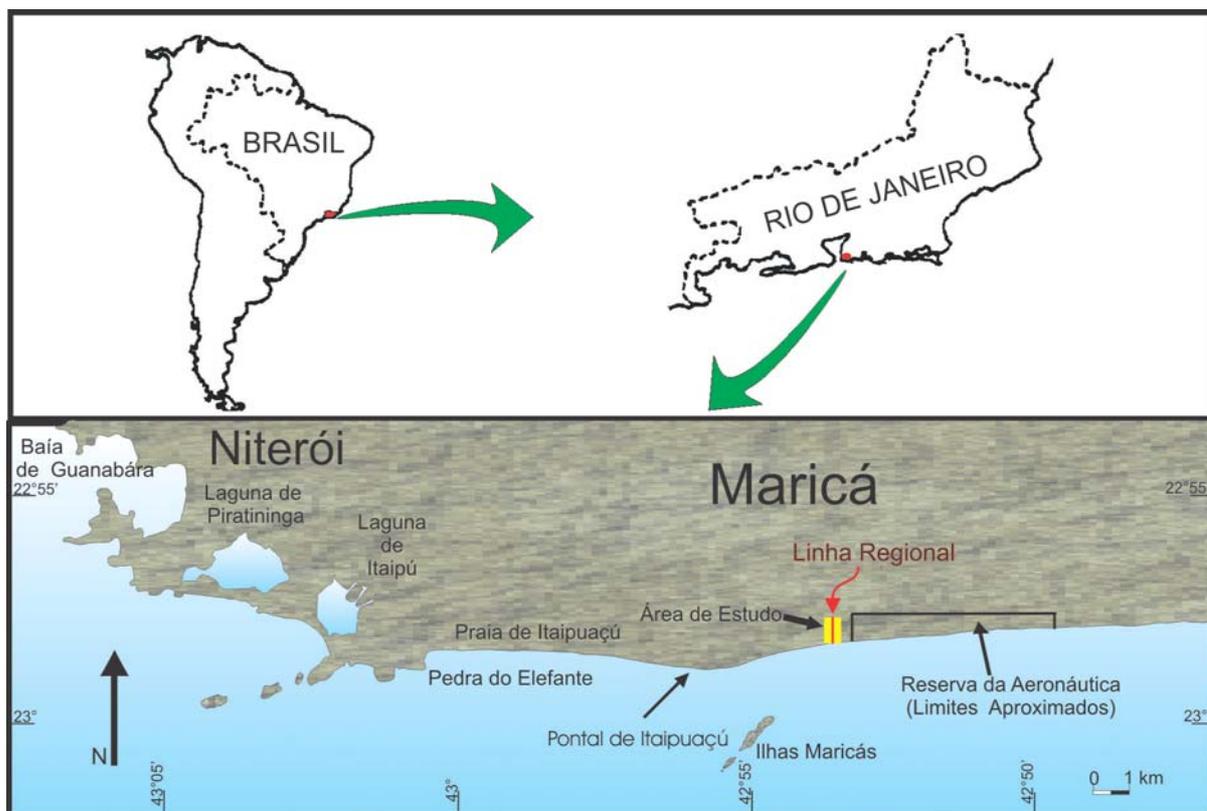


Figura 1 — Mapa de localização da área de estudo.

Figure 1 — Location map of study area.

água foram enviadas aos laboratórios de Meio Ambiente do CENPES/PETROBRAS para identificação das características físico-químicas e organolépticas das águas, além da determinação do teor de salinidade e do conteúdo de matéria orgânica.

O material datável turboso, misturado com partículas finas e areias, entre 7 e 8 metros de profundidade na sondagem nº 1, foi recolhido e enviado ao laboratório *Beta Analytic Incem* Miami — EUA, para datação através do método *Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Technique*.

## DISCUSSÃO

### Perfis de GPR

A análise do perfil regional permitiu identificar o contato do embasamento com o pacote sedimentar, na região do cordão litorâneo interno (mais antigo), ocorrendo entre 3 e 4 metros de profundidade

(refletor A, Figura 2). Ainda no cordão litorâneo mais antigo, observa-se, no embasamento, a cerca de 5 metros de profundidade, que a textura das reflexões relativas ao embasamento tornam-se mais fortes. Uma interpretação para essa mudança na textura é a de que ela mostra a mudança de rocha alterada (pelo intemperismo) e a rocha não-intemperizada em maior profundidade (refletor B, Figura 2). Esse comportamento também ocorre em outro setor do registro, logo abaixo da duna no cordão litorâneo externo (cordão mais jovem) (ponto A, Figura 2), com as reflexões apresentando essas mesmas características, apenas com as hipérbolas mais abertas, mas devendo ser representativas do mesmo embasamento.

O pacote arenoso com cerca de 3 a 4 metros de profundidade, no cordão litorâneo mais antigo (cordão interno), apresenta-se homogêneo sem estratificações (Figura 2), bem diferente do padrão encontrado no cordão arenoso externo, onde é visível o arranjo dos estratos.

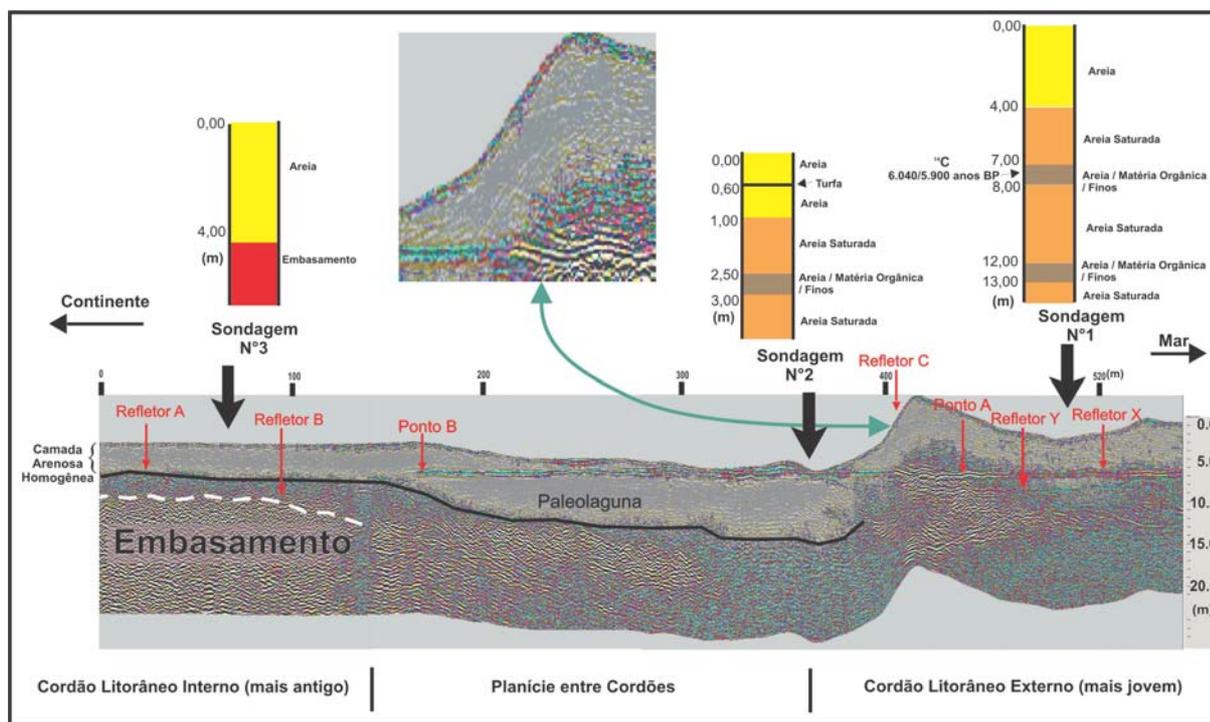


Figura 2 – Perfil regional de GPR interpretado com 550 metros de extensão, perpendicular à linha de praia, ao longo da planície costeira de Itaipuaçu (Maricá/RJ), identificando sondagens e litologia.

Figure 2 – 550 m long interpreted GPR regional profile perpendicular to Itaipuaçu beach shoreline with the boreholes and sampled lithologies (Maricá – RJ).

No cordão litorâneo externo (cordão mais jovem) foram identificados, predominantemente, refletores horizontais e subhorizontais. O contato com o embasamento não é observado por ocorrer em uma maior profundidade. Camadas inclinadas com 30/40 $\text{U}$ , de mergulho para o mar, e estratos com menores inclinações (15/20 $\text{U}$ ) na mesma direção, próximos da escarpa de tempestade atual, no limite interno da praia, aparecem bem definidas, principalmente na malha 3D (Figura 3A). Esses refletores apresentam o mesmo caráter morfológico e orientação das escarpas de tempestade atuais (Figura 3B). Outros refletores que chamam a atenção pela sua atitude, são encontrados no lado reverso do cordão litorâneo externo, com mergulho superior a 40 $\text{U}$ , na direção do continente, acompanhando a superfície da duna atual (refletor C, Figura 2).

Na planície entre cordões, observa-se uma feição que sugere a uma paleolaguna com aproximadamente 120 metros de largura (Figura 2), colmatada por um pacote de 9 a 10 metros de sedimentos nas partes mais profundas. Nesta profundidade ocorre o contato com o embasamento cristalino (refletor A, Figura 2).

Os perfis paralelos à praia, que geraram a malha 3D (Figura 3A), sobre o cordão litorâneo externo, mostraram a existência, a profundidades aproximadas de 8 e 12 metros, de uma seqüência de paleocanais, de diversos tamanhos (canais A,B,C,D, Figura 4). O canal localizado a 12 metros de profundidade apresenta aproximadamente 2 metros de profundidade e 4 metros de largura, e está preenchido com camadas plano-paralelas, a oeste. Esses canais, indicam que esse trecho da praia a alguns milhares de anos, possuía uma fisiografia característica de um “complexo de barreira-laguna”, com um cordão arenoso cortado por canais de maré limitando um ambiente lagunar protegido na sua retaguarda.

Outra feição importante, vista ao longo de quase todo o perfil regional, é o lençol freático. Este ocorre como um forte refletor em torno de 4 a 5 metros de profundidade sobre o cordão litorâneo externo, a 1 metro de profundidade sobre a planície entre cordões (externo e interno), e confirmado por ocasião das sondagens 1 e 2 (refletor X, Figura 2). O referido refletor desaparece em um *onlap* sobre o embasamento, no

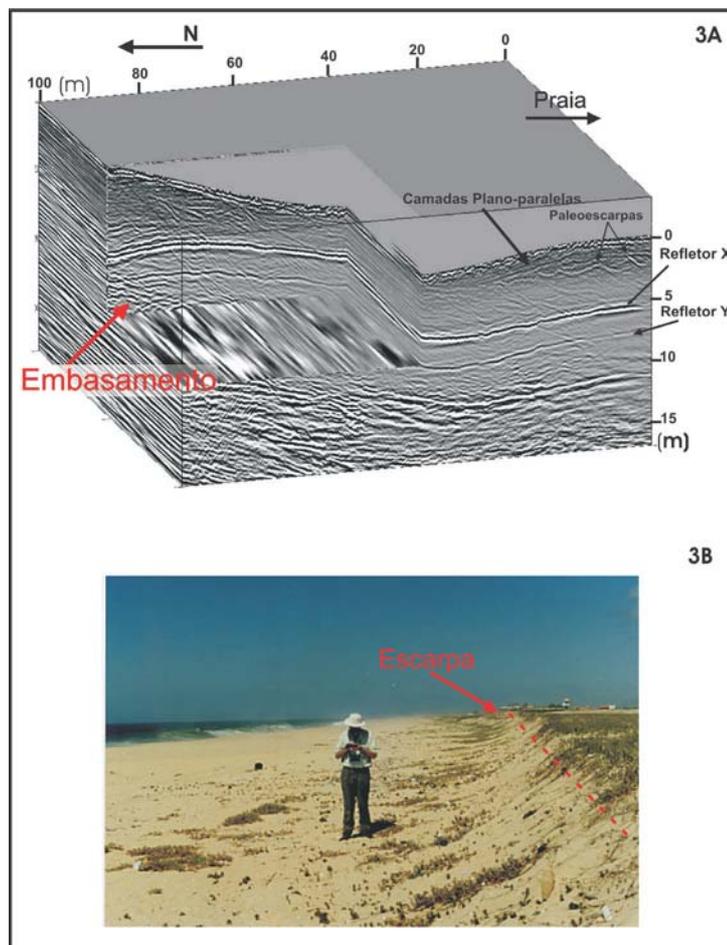


Figura 3 — Detalhe das paleoescarpas de tempestade em imagens de GPR (3A) e as escarpas de tempestades atuais na praia de Itaipuaçu (3B).  
 Figure 3 — GPR image showing the interpreted paleoscarps (3A) similar to the modern storm paleoscarps of Itaipuaçu beach (3B).

reverso do cordão mais interno, possivelmente devido à percolação da água pelas inúmeras fraturas do embasamento (ponto B, Figura 2).

### A Estratigrafia através das sondagens

As sondagens possibilitaram algumas importantes constatações que ajudaram na interpretação dos registros e na montagem da seção geológica final desse trecho da planície costeira. Na sondagem 1, que atingiu 13 metros de profundidade, sobre o cordão litorâneo externo (Figura 2), além do predomínio das camadas arenosas com fração 0,500 mm, de quartzo puro bem arredondado, foi possível a identificação de dois níveis contendo grande quantidade de argila e matéria orgânica, entre 7 e 8 metros de profundidade (Figura 2). A sondagem 2, localizada

na planície entre cordões arenosos (Figura 2), revelou um nível de turfa a 0,60 metros de profundidade, saturação da areia a 1 metro de profundidade e grande quantidade de argila e matéria orgânica a 2,50 metros de profundidade, com as mesmas características ocorridas na sondagem 1, além é claro, de areias com granulometria e grau de arredondamento semelhantes à sondagem 1. Já a terceira sondagem (Figura 2), sobre o cordão litorâneo interno, indicou apenas um nível de areias com o mesmo padrão das sondagens anteriores sobre o embasamento, e de restos de vegetais disseminados nos primeiros níveis do manto intemperizado proveniente do embasamento alterado.

A datação da matéria orgânica por  $^{14}\text{C}$  recolhida na profundidade de 7,50 metros da sondagem 1, forneceu uma idade entre  $6.040 \pm 50$  BP e  $5.900 \pm 50$  BP (refletor Z, Figura 5).

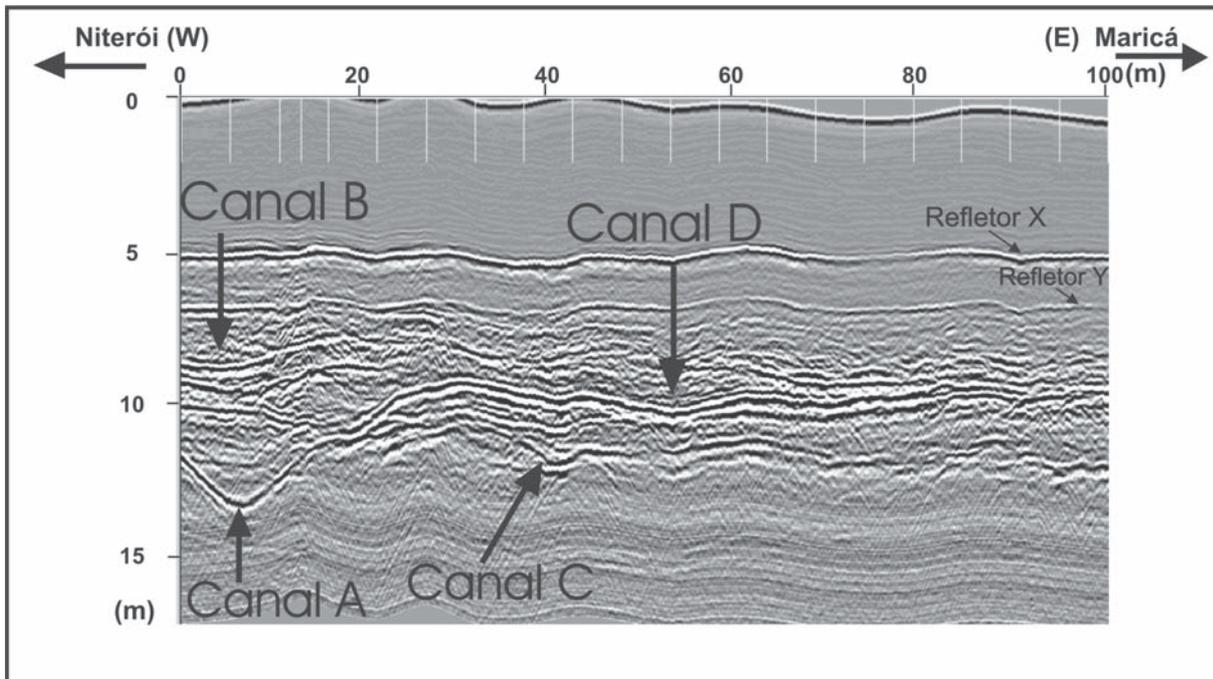


Figura 4 – Perfil paralelo à praia, pertencente à malha 3D de GPR, mostrando paleocanais, próximo do topo do cordão litorâneo externo (mais jovem).  
*Figure 4 – 3D GPR profile, parallel to the Itaipuaçu beach, showing paleochannels, near the top of external sand barrier.*

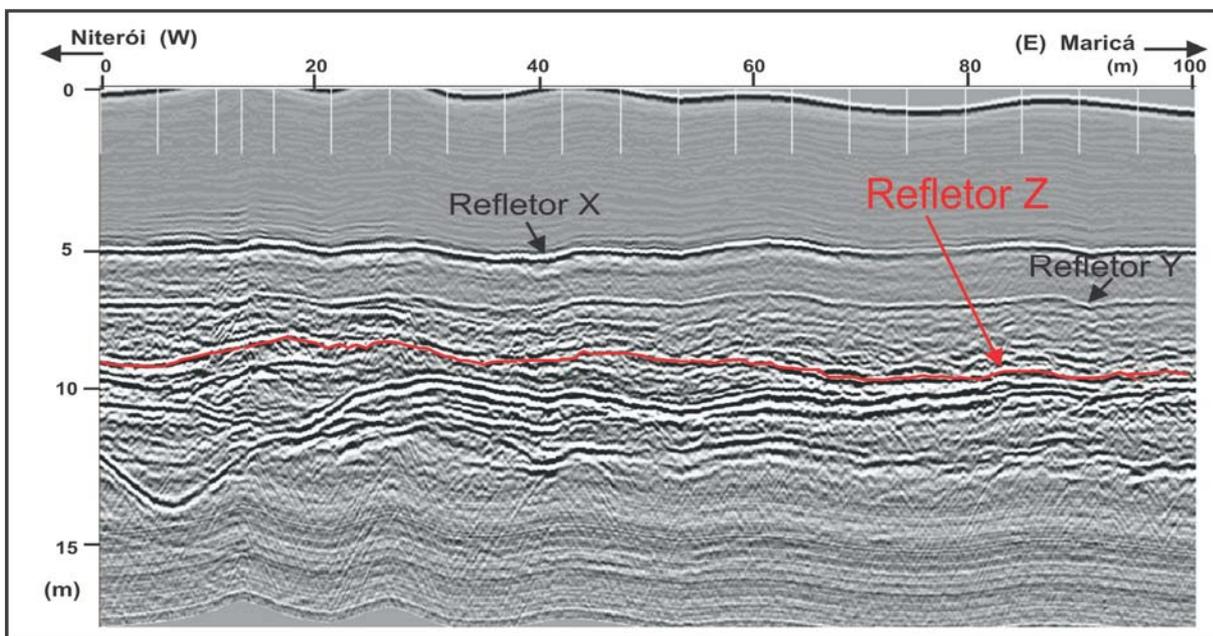


Figura 5 – Radargrama de uma linha 3D de GPR, paralelo à praia, no cordão litorâneo externo. O refletor Z indicado na figura, corresponde a uma camada de idade entre 6.040/5.900 anos BP. O refletor X representa o nível do lençol freático e o refletor Y um incremento na salinidade além de matéria orgânica e argila.  
*Figure 5 – 3D GPR profile parallel to the beach at external sand barrier. The reflector Z indicates in the figure corresponds to a 6.040/5.900 years BP layer. The reflector X represents the watertable level and the reflector Y a strong salinity, clay and organic matter increase.*

## Análise da qualidade da água do lençol freático

Os resultados das análises realizadas nas amostras de água recolhidas a 4, 7 e 8 metros de profundidade, durante a sondagem 1,

foram obtidos a partir de análises realizadas nos laboratórios de Meio Ambiente do CENPES-PETROBRAS, estando relacionados na Tabela 1.

Os parâmetros analisados apontam para uma água de boa qualidade no seu estado natural, em condições para o consumo humano,

Tabela 1 – Tabela relacionando os parâmetros analisados das águas coletadas em três profundidades diferentes (4, 7 e 8 m) na sondagem 1. Notar que a quantidade de material total encontrado a 7 metros de profundidade (8,0 g/l) é a soma de 5,0 g/l de material em suspensão com 3,0 g/l de material dissolvido, e a 8 metros de profundidade (10 g/l), 2,4 g/l de material em suspensão com 7,6 g/l de material dissolvido.

*Table 1 – Table showing the results from the analysed water collected at three different depths (4, 7 and 8 m) in borehole 1. The quantity of total organic matter found at 7m depth (8,0 g/l) is the sum of suspension matter (5,0 g/l) with dissolved matter (3,0 g/l) and the results at 8 m depth (10 g/l), 2,4 g/l (suspension matter) with 7,6 g/l (dissolved matter).*

Parâmetros	Profundidade		
	4 m	7 m	8 m
Presença de Na	49 mg/l	495 mg/l	1,70 g/l
Presença de Cl	290 mg/l	1,10 g/l	3,50 g/l
Turbidez	0,58 NTU	0,16 NTU	0,56 NTU
Ph	7,8	7,2	7,0
Material Total	190 mg/l	8 g/l	10 g/l
Salinidade	0,52389 ups	1,98 ups	6,32 ups

desde que sejam respeitadas as condições estabelecidas pelo CONAMA nº 20 (Conselho Nacional de Meio Ambiente) de 18/07/1986, que define os parâmetros físicos, químicos e organolépticos de várias classes de águas. Os valores encontrados de ph e turbidez, estão dentro dos limites estabelecidos para as águas doce e salobra, enquanto que as salinidades, possuem valores próximos do limite mínimo das águas salobras (0,50 e 30 ‰), e portanto, em condições de potabilidade, desde que tratadas. Vale ainda lembrar que a salinidade da água do mar é em média de 35 ups (unidade prática de salinidade). O padrão estabelecido para as águas doces, classe 2 (águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional ou para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas) parametriza, por exemplo, que o teor de salinidade esteja numa faixa inferior a 0,500 mg/l (0,500 ups). O valor obtido a 4 metros de profundidade (0,523 g/l) na primeira amostra, encontra-se muito próximo dessa faixa-limite. Esse teor de salinidade sofre um pequeníssimo incremento nos níveis subseqüentes, na profundidade de 7 metros (1,98 g/l) e na de 8 metros (6,32 g/l), mas nada que a torne uma água irremediavelmente inadequada ao consumo, uma vez que esses valores estão ainda na faixa inferior da classe das águas salobras, que tem como valores-limites a faixa de salinidade entre 0,500 mg/l e 30 g/l.

Os resíduos encontrados na amostra de água a 8 metros de profundidade foram também analisados através de microscopia

eletrônica de varredura (MEV) e por microanálise de energia dispersiva (EDS). Foram identificados sedimentos de composição basicamente sílico-aluminosa, com altos teores de carbono (rico em matéria orgânica), sendo normal a ocorrência de cristais de quartzo e pirritas microcristalinas comuns em ambientes redutores.

Do ponto de vista geofísico, o segundo refletor observado logo abaixo do lençol freático, em torno de 7 metros de profundidade (refletor Y, Figura 2), foi interpretado como sendo uma diferenciação na salinidade e no conteúdo de matéria orgânica e argila, ou melhor, um incremento desses parâmetros disseminados na água. A onda eletromagnética quando se propaga em um meio salino sofre acentuada perda na sua energia e conseqüentemente o seu sinal perde a capacidade de imageamento das camadas inferiores. Embora isso fisicamente seja possível, o que vemos nos perfis é a presença de um forte refletor (refletor Y, Figura 2), logo abaixo do refletor representativo do lençol freático (refletor X, Figura 2), com menor energia em relação à do lençol freático, mas ainda com energia suficiente para ser imageado, demonstrando que isto ocorre porque o incremento dos teores de salinidade e matéria orgânica é relativamente muito pequeno, não sendo suficiente para blindar o sinal nesse horizonte, como normalmente acontece. Os aumentos verificados de 0,523 g/l de salinidade (profundidade de 4 metros) para 1,98 g/l (profundidade de 7 metros) e 6,32 g/l (profundidade de 8 metros), com os 0,190 g/l no conteúdo de matéria orgânica total (matéria

em suspensão + matéria dissolvida) para 8 g/l (profundidade de 7 metros) e 10 g/l (profundidade de 8 metros), demonstraram claramente esse comportamento diferencial nos registros através da propagação da onda eletromagnética ao atravessar o pacote sedimentar saturado. Esse contínuo e peculiar refletor Y aparece em quase todo registro do perfil regional (Figura 2), e também nas figuras 3A, 4 e 5, sempre acompanhando o refletor representativo do topo do lençol freático (refletor X). Ele ocorre mais profundamente no pós-praia até o reverso do cordão arenoso mais jovem (aproximadamente 7 metros), e mais superficialmente, em torno de 1,5 metros (quando quase aflora) por toda a planície entre cordões, mergulhando ligeiramente na direção do continente, logo abaixo do cordão arenoso mais antigo, num *onlap* sobre o manto intemperizado do embasamento (ponto B, Figura 2).

## CONCLUSÕES

Alta qualidade das imagens obtidas no levantamento com o GPR, reforçam a importância que essa ferramenta geofísica possui para o entendimento da estratigrafia costeira bem como na definição de aquíferos. O método também demonstrou ser ágil durante o levantamento de campo, permitindo a obtenção de resultados em um curto espaço de tempo quando comparado a outras técnicas, além de ser valioso no estudo de regiões de restinga devido à boa penetração da onda eletromagnética em terrenos arenosos (alta resistividade).

Certamente, a qualidade das imagens obtidas nos radargramas se deve à escolha da frequência ideal das antenas utilizadas no levantamento (velocidade de penetração da onda eletromagnética), e do processamento adequado para o padrão geológico local, bem como, o tipo e o arranjo dos sedimentos existentes. Essa combinação de fatores endossa a tese da importância de se fazer um estudo preliminar (estratigráfico/topográfico) ao levantamento com o GPR, como sendo uma etapa muito importante antes do início de qualquer campanha.

Foi possível imagear o contato do embasamento com o pacote sedimentar sobre o cordão litorâneo interno, entre 3 e 4 metros de profundidade. Este pacote sedimentar torna-se mais espesso sobre o cordão litorâneo externo, possuindo espessura de 8 metros na região da duna, espessando-se ainda mais em direção ao mar (superior a 13 metros). Na planície entre cordões, o contato entre o pacote sedimentar e o embasamento, ocorre entre 9 e 10 metros de profundidade. Nesse trecho, observa-se uma paleolaguna completamente preenchida por sedimentos, embora a expressão geomorfológica atual seja de uma extensa planície com aproximadamente 120 metros de largura entre os cordões arenosos.

As reflexões referentes ao embasamento possuem características diferentes se compararmos as observadas no cordão interno (hipérbolas mais fechadas) com as do cordão externo (hipérbolas mais abertas). No cordão interno, nota-se também uma mudança no padrão dos refletores representativos do embasamento. Logo abaixo da camada arenosa superficial com 4 metros de profundidade, o embasamento apresenta características diferenciadas, sendo que nos dois primeiros metros de profundidade encontra-se alterado, como pode ser constatado por ocasião da sondagem 3 (Figura 2), e a partir daí, em profundidade, possui um comportamento mais homogêneo (rocha sã).

Os paleocanais vistos em um perfil pertencente à malha 3D (Figura 3A), sobre o cordão litorâneo externo, são elementos importantes indicativos da existência de um complexo de barreira-laguna ocorrido nesse trecho do litoral de Itaipuaçu. Esses canais são evidências de que nesse local havia uma laguna protegida por uma barreira arenosa, que em determinados pontos encontrava-se segmentada, propiciando a circulação da água do mar na laguna.

Foi possível visualizar, tanto na linha regional como na malha 3D, estratos mergulhando para a praia, compatíveis com escarpas de tempestade atuais, mostrando a persistência da dinâmica costeira através dos anos. Próximo ao topo do reverso do cordão litorâneo externo, são observados estratos com a mesma inclinação da duna atual, que apresenta um mergulho de aproximadamente 40°, no lado relativo a face de deslizamento.

A sondagem 1 (Figura 2) encontrou uma camada arenosa com 7 metros de espessura, formada por areias grossas e médias, sobre uma camada de sedimentos turfosos coletados entre 7 e 8 metros de profundidade. Através da datação por <sup>14</sup>C, a camada de turfa revelou a idade de 6.040/5.900 anos BP. O contato entre a camada arenosa com a camada turfosa encontra-se representado como refletor Z na Figura 5. Essas idades estão contidas no período entre 7.000/5.000 BP, estabelecido por Turcq e outros (1999), como época provável de formação do sistema lagunar e barreira externa, durante a transgressão Holocênica.

Uma feição muito importante observada em quase todo o perfil regional, é o refletor referente ao lençol freático (refletor X, Figura 2) que ocorre entre 4 e 5 metros sob o cordão litorâneo externo, a cerca de 1 metro na planície entre os cordões litorâneos, desaparecendo em um *onlap* sobre o cordão litorâneo interno. As sondagens auxiliaram na interpretação de um refletor logo abaixo do topo do lençol freático (refletor Y, Figura 2), interpretado como sendo um incremento da salinidade e presença de matéria orgânica e argila na água.

Os dados indicam para a região estudada uma subida do nível do mar, fato que corrobora os trabalhos de Perrin (1984), que cita os

eventos de transgressão e regressão durante o Holoceno como sendo responsáveis pela colmatagem de enseadas e lagoas e da edificação de cordões litorâneos ao longo da costa fluminense. Do mesmo modo, Turcq e outros (1999), descreveu a existência de duas lagoas isoladas por duas barreiras (uma mais interna, iniciada durante o Pleistoceno e a outra mais externa, próxima do mar, de idade Holocênica), sendo que o início de formação das lagoas externas entre essas duas barreiras estaria entre 7.000 e 5.000 anos BP. Vale lembrar que especificamente nesse local estudado, não existem indícios da ocorrência de duas lagoas entre dois cordões litorâneos como em outros locais do litoral fluminense. Ocorre apenas uma laguna, hoje colmatada, e dois cordões arenosos, sendo que a laguna possui idade de formação contemporânea à das lagoas externas citadas por Turcq e outros (1999). A constatação da existência dessa camada de matéria orgânica e finos abaixo de um espesso pacote de areias, confirma a migração do complexo barreira-laguna em resposta a elevação do nível do mar e retrogradação da barreira externa (seqüência transgressiva (DAVIS, 1985), nesse período de tempo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CENPES/PETROBRAS pelo empréstimo do GPR e pelas análises realizadas nos laboratórios de Meio Ambiente do CENPES, e ao Departamento de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense (UFF), pelo envio de amostra para datação e apoio à pesquisa.

### REFERÊNCIAS

CRUZ, P. R. da; BOTELHO, M. A Migração de dados de radar (GPR) com correção topográfica simultânea. *Revista Brasileira de Geofísica*, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 3-10, 1997.

DAVIS JR, R. A. *Coastal sedimentary environments*. New York: Springer-Verlag, 1985.

OLIVEIRA JUNIOR, J. G. de, MEDEIROS, W. E. de; VITAL, H. Uso do radar penetrante no solo para caracterização de estruturas internas de dunas no município de São Bento do Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS, 1., 2000, Itajaí. *Anais ... Itajaí*: [s.n.], 2000. p. 134-137.

PEREIRA, A. J. *Investigação da estratigrafia da Região Costeira de Maricá — Praia de Itaipuaçu (RJ), através do Ground Penetrating Radar (GPR)*. 2001. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2001.

\_\_\_\_\_ et al. 2001 - Utilização do GPR na investigação da estratigrafia da Região Costeira de Itaipuaçu — Maricá (RJ). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 7., 2001, Salvador. *Anais...* Salvador: [s.n.], 2001. p. 352-355.

PERRIN, P. Evolução da Costa Fluminense entre as Pontas de Itacoatiara e Negra. In: LACERDA, L. D.; ARAÚJO, R. C.; TURCQ, B. *Restingas: origem, estrutura, processos*. Niterói: Universidade Federal Fluminense/CEUFF, 1984. p. 65-73.

SCHENK, C. J. et al. Internal structure of an aeolian dune using ground penetrating radar. *Sedimentology*, [S.l.], v. 16, p. 61-69, 1993.

TURCQ, B. et al. 1999- Origin and evolution of the quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems*, Rio de Janeiro, v. 6, p. 25-46, 1999. Série Geoquímica Ambiental.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Alipio José Pereira** é geólogo formado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1996). Pós-graduado em Planejamento Ambiental em 1997 e em Geologia Marinha em 1998 pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com mestrado em Geologia e Geofísica Marinha pela UFF, em 2001. Atualmente trabalha no Setor de Tecnologia de Rochas da Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento da Exploração do CENPES – PETROBRAS, e estuda a evolução da dinâmica da planície costeira de Itaipuaçú (Maricá) - RJ, sendo este o tema do projeto para seu doutoramento pela UFF.

**Luiz Antonio Pierantoni Gambôa** é geólogo formado pela UFRJ, obteve mestrado em Geologia Marinha na UFRGS e o doutorado na Universidade de Columbia, Nova York, USA. Trabalhou na Gulf Oil, no Ocean Drilling Program e foi professor na Universidade do Texas A&M, College Station, Texas (USA). Trabalha no Departamento de Exploração e Produção da PETROBRAS e no Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense (UFF).

**Maria Augusta Martins da Silva** é geóloga formada pela UFRJ e mestre em Geologia Costeira pela UFRGS. Pela Columbia University (NY/USA) obteve mestrado e doutorado, desenvolvendo pesquisa sobre análise de bacias, em especial a fase evaporítica das bacias do Araripe e Sergipe. O estudo dos evaporitos modernos em salinas vem sendo conduzido como análogo moderno dos depósitos antigos. Outra linha de pesquisa se refere a geologia costeira, e a região de Niterói e Maricá, que vem sendo alvo de uma série de pesquisas voltadas para o entendimento da dinâmica costeira bem como da evolução desses ambientes. A professora é responsável pelos cursos de Sedimentologia (graduação) e Ambientes Depositionais (pós-graduação) do Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense, em Niterói.

**Amilsom Rangel Rodrigues** é graduado em Oceanografia pela UERJ (1987). Mestre em Geofísica pela Universidade Federal do Pará (1992), e atualmente trabalha no setor de Geologia e Geofísica da Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento da Exploração no CENPES – PETROBRAS, com imageamento e interpretação geofísica. Suas áreas de interesse são geofísica de exploração aplicada ao petróleo e geofísica ambiental.

**Ariovaldo da Costa** cursa atualmente Engenharia de Produção na Universidade Veiga de Almeida (UVA). Já trabalhou com processamento sísmico; inversão de dados sísmicos 2D e 3D; aquisição, processamento e interpretação de dados de GPR e de equipamentos de eletroresistividade. Trabalha atualmente no setor de Tecnologia de Reservatórios da Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento da Exploração no CENPES/PETROBRAS. Sua área de interesse é a geofísica aplicada ao meio ambiente.