

USO DO GPR PARA DETECÇÃO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA.

ESTUDO DE CASO: PARQUE GRÁFICO DO JORNAL O GLOBO-RJ

Michelle Matos de Souza¹; José Tavares Araruna Júnior²; Franklin dos Santos Antunes³ & Cassiane Maria Ferreira Nunes⁴

RESUMO: O presente trabalho descreve e discute a utilização do GPR (Ground Penetrating Radar) em investigação de campo que engloba estudos hidrogeológico, geotécnico e ambiental. É apresentada uma investigação realizada no Parque Gráfico do Jornal O Globo localizado na cidade de Duque de Caxias-RJ que incluiu a determinação da estratigrafia do solo identificando suas camadas e respectivas profundidades, a determinação do lençol freático e na detecção de contaminação provocada por vazamentos no sistema de distribuição de água. Com o objetivo de aumentar a exatidão na determinação das profundidades dos alvos de interesse, foi utilizada a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR). Conclui-se pelos benefícios da utilização do GPR em conjunto com o TDR, que identificou com boa resolução os contrastes bruscos, como a posição do lençol freático. Entretanto, se faz necessário a realização de uma maior quantidade de estudos para comprovar a eficácia do GPR na detecção de vazamentos de água em sub-superfície.

ABSTRACT: The present work describes and discusses the use of GPR (Ground Penetrating Radar) in site investigation involving hydrogeological, geotechnical and environmental studies. This investigation, conducted at the Graphical Park of the newspaper “O Globo” located in the city of Duque de Caxias, state of Rio de Janeiro, included the determination of the stratigraphy of soil profiles, the position of water level and the detection of contamination caused by leakages in the water distribution system. With the aim of increasing the accuracy in the determination of the targeted depths, the time domain reflectometry (TDR) technique was used. So the benefits of the use of the GPR together with the TDR are proved, by identifying the good resolution in abrupt changes, such as the position of the water level. However, further studies are necessary to prove the accuracy of the GPR technique use in the detection of water leakages subsurface.

PALAVRAS-CHAVE: GPR, Vazamento de água, TDR

¹ Ex-mestranda do Programa de Pós graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, Brasil. E-mail: michelle_souza@yahoo.com.br

² Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil. E-mail: araruna@civ.puc-rio.br

³ Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil. E-mail: franklin@civ.puc-rio.br

⁴ CENPES, Petrobrás. E-mail: cassiane.gorceix@petrobras.com.br

1 INTRODUÇÃO

A utilização da técnica GPR (Ground Penetrating radar) traz inúmeras vantagens e fornece subsídios para a implantação de obras de engenharia e de controles ambientais. Sua utilização vem complementar as técnicas tradicionais comumente utilizadas na identificação das diversas camadas componentes do substrato e no conhecimento das características e propriedades dos solos. Estas técnicas tradicionais, constituídas de sondagens, amostragens e ensaios de campo, fornecem informações muito localizadas, mesmo que detalhadas, de pontos em uma superfície. A interpolação entre pontos de amostragem pode não representar a realidade, uma vez que as condições geológicas podem se modificar consideravelmente no espaço. O uso da técnica GPR pode fornecer as informações necessárias entre esses pontos investigados, minimizando tempo, custos e resíduos gerados com escavações.

O método emprega o conceito de propagação de ondas elétricas no meio e é capaz de fornecer perfis contínuos e de alta resolução das características da sub-superfície, num alcance de poucos centímetros até dezenas ou centenas de metros. Por apresentar estas características, a técnica tem sido amplamente empregada em investigações ambientais, onde se faz necessário um mapeamento dos limites entre litologias, estratigrafias, propriedades físicas e áreas contaminadas.

Neste trabalho serão apresentados os ensaios realizados em campo utilizando-se o método GPR com o objetivo de avaliar a sua aplicabilidade no conhecimento da sub-superfície e na detecção de anomalias elétricas que poderiam estar relacionadas a vazamentos da rede de distribuição de água. O trabalho foi desenvolvido no Parque Gráfico do Jornal O Globo localizado no município de Duque de Caxias – Rio de Janeiro.

2 EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA

Os ensaios descritos nesse trabalho foram realizados utilizando-se um GPR modelo RAMAC com antena blindada na frequência central de 250 MHz. A escolha dessa antena foi feita em função da facilidade e rapidez de execução, além de ser adequada para atingir a profundidade na qual as tubulações de interesse estavam enterradas, i.e. profundidades máximas de 4 m, correspondentes à profundidade teórica de alcance dessa antena. A aquisição de dados em campo foi facilitada por meio do uso de um carrinho fabricado para acondicionar os acessórios do GPR e que possui um odômetro acoplado em uma de suas rodas, facilitando a medição das distâncias percorridas.

A localização dos pontos de interesse foi levantada utilizando-se um GPS geodésico, que fornece com maior exatidão a localização dos perfis GPR adquiridos.

O resultado do perfil GPR é uma imagem das variações em sub-superfície das propriedades

elétricas em função do tempo duplo de percurso do sinal eletromagnético. Entretanto, este tempo duplo pode ser convertido em profundidade desde que seja conhecida a constante dielétrica do solo (k). A opção de medir essa constante dielétrica em campo ao invés de utilizar valores recomendados na literatura aumenta a exatidão na determinação dessas profundidades de interesse.

Com esse objetivo, foi utilizado o equipamento de reflectometria no domínio do tempo (TDR). Esta técnica consiste na determinação da constante dielétrica (k) medindo-se o tempo de propagação da onda elétrica por meio de um cabo coaxial até as hastes metálicas de comprimento definido L, imerso no solo. Com o tempo de passagem da onda eletromagnética (t) pela guia de onda inserida dentro do solo, calcula-se a velocidade de propagação do pulso no solo, dada por:

$$V = \frac{2L}{t} \quad (1)$$

Sendo assim, a constante dielétrica do meio que contém o sensor fica definida:

$$k = \left(\frac{ct}{2L} \right)^2 \quad (2)$$

onde: c = velocidade da luz.

Pesquisas tem sido desenvolvidas para testar a aplicabilidade do GPR na detecção de vazamentos de água em sub-superfície. Pode-se citar o estudo realizado por Prado *et al.* (2003), que obteve resultados ambíguos no que diz respeito à eficiência do GPR na detecção de vazamentos. Neste caso, foram realizados levantamentos WARR (*Wide Angle Reflection and Refraction*) e CO (*common offset*) utilizando antenas não blindadas. As análises de velocidade da propagação da onda no meio permitiram a identificação de possíveis pontos de vazamento, uma vez que zonas saturadas apresentavam menores valores de velocidade, mapeando-se assim os locais que apresentavam maiores valores de umidade. Entretanto, a iniciativa de utilizar antenas blindadas aliadas ao uso do TDR como ferramenta auxiliar para o GPR constitui uma experiência nova.

3 JUSTIFICATIVA

A capacidade de conhecer a sub-superfície sem a necessidade de perfurá-la constitui um benefício extremamente importante, particularmente onde a execução de muitos furos de sondagens podem ameaçar a integridade da estrutura, por exemplo, em locais que exista uma malha fechada de tubulações em que perfurações de sondagens podem atingir a rede e provocar prejuízos nestas áreas. A técnica foi utilizada nesta aplicação com o objetivo de identificar anomalias na sub-superfície relacionadas a vazamentos do sistema de distribuição de água, assim como, complementar os dados geológicos levantados em investigações diretas.

Os ensaios foram realizados no Parque Gráfico (PG) do Jornal O Globo, localizado no município de Duque de Caxias/RJ, rodovia Washington Luiz (BR-040) quilômetro 2,5, sentido Petrópolis. A aproximadamente 2 anos o Jornal O Globo tem registrado um aumento de 100% na conta do PG referente ao valor médio mensal costumeiramente pago à Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE. A direção do PG iniciou uma investigação à procura de vazamentos em seu sistema de distribuição de água. Foram investigadas as tubulações metálicas da rede de incêndio e gás, que foram submetidas a uma avaliação de corrosão externa sendo posteriormente interditada, causando um leve declínio no consumo de água. Diversas iniciativas foram tomadas para a investigação de vazamentos nas redes de abastecimento de água e irrigação. A realização de sondagens próximas às referidas redes foi executada em diversas ocasiões. Porém, em nenhuma delas se obteve resultados satisfatórios.

A utilização de metodologia direta para pesquisar os possíveis pontos de vazamento, nesse caso, se torna muito difícil, onerosa e não operacional. Seria necessária a execução de um número excessivo de perfurações em todo o caminhamento da rede, em locais nem sempre disponíveis tampouco de fácil acesso.

Neste sentido, objetivou-se investigar a aplicabilidade do método geofísico de superfície, GPR, como ferramenta para detectar o suposto vazamento da rede de distribuição de água. A proposta inicial foi delimitar as regiões saturadas que apresentavam uma maior atenuação do sinal comparando-as com as respostas do sinal em regiões não saturadas. Uma vez mapeada a região que apresentava maior teor de umidade, o passo seguinte seria a instalação de furos de sondagem para a determinação pontual do(s) ponto(s) de vazamento.

4 DESCRIÇÃO DO LOCAL E DA GEOLOGIA

A região de Duque de Caxias se caracteriza geologicamente por formações do pré-cambriano representadas por rochas metamórficas e por sedimentos quaternários. O trabalho desenvolvido por Polivanov (1998) fornece toda a descrição detalhada da geologia desta região, de onde foram retiradas as informações de interesse para este trabalho, além das observações de campo.

O Parque Gráfico (PG), construído em 1997, está assentado sobre um aterro de altura variável, estando o empreendimento com uma elevação média de 16m em relação ao nível do mar. Inicialmente, a área selecionada para a construção do parque ficava situada num morrote adjacente à BR-040, que originalmente apresentava uma variação da elevação entre +15m a +35m. Foi então realizada uma terraplenagem para regularizar e atingir a elevação de interesse. As sondagens locais indicaram um terreno constituído em linhas gerais por quatro horizontes. O mais superficial, provavelmente coluvionar/residual maduro, de textura silto argilosa ou silto arenosa com espessura

variável de 2 a 7m. O segundo horizonte é constituído de solo residual jovem ou solo saprolítico de gnaiss (de textura areia siltosa, micácea ou silte areno-argilosa) com espessura variável de 2 a 6m. Abaixo deste material ocorre um saprolito de gnaiss ou gnaiss muito alterado com espessura atingindo até 6m, que fica sobrejacente ao topo rochoso são de gnaiss.

A estrutura do Parque Gráfico (PG) possui uma área construída de 28.750 m² que abriga todo o maquinário para impressão dos jornais além de matérias primas e produtos acabados. Em junho de 2004 foi construída uma área de lazer para os funcionários da empresa numa área adjacente à edificação do PG, situada ao norte da mesma (vide Figura 1).



Figura 1 – Vista superior da área de lazer do Parque Gráfico do Jornal O Globo

Segundo informações obtidas no local, o espaço escolhido para a construção da área de lazer funcionava como local para descarte dos materiais de escavação retirados na fase de construção do PG. Estes materiais pertenciam ao perfil de intemperismo da área construída. Foi feita a regularização deste material e sua compactação foi realizada por meio do deslocamento de caminhões e guinchos que foram utilizados durante a fase de construção do PG, uma vez que esta área também era utilizada como canteiro de obras onde ficavam estacionados os caminhões e máquinas.

Em meados de 2002 foi constatada uma surgência de água próxima do local onde seria construído o campo de futebol. A empresa responsável pelos serviços de terraplenagem relatou que não ocorriam nascentes de água quando foram iniciados os trabalhos de construção do PG. Entretanto, quando retornaram ao local para a construção da área de lazer foi constatado este ponto de surgência de água. A área de lazer foi então construída e a água que surgia próxima ao campo de futebol foi desviada para uma canaleta de drenagem.

5 AQUISIÇÃO DE DADOS

5.1 Aquisições com o GPR

As aquisições com o GPR tiveram que ser realizadas em diversas etapas a fim de se conseguir um bom resultado. Na época em que foi iniciada a aquisição de dados, em fevereiro de 2005, o regime de chuvas era intenso e a presença de água no solo atenuava em muito o sinal da onda eletromagnética, por tornar o meio mais condutivo. Para que pudesse ser evitada a influência da umidade oriunda da chuva nos resultados a serem obtidos, esperou-se uma estiagem mínima de 5 dias para proceder-se a aquisição dos dados.

Foram realizadas diversas aquisições na parte superior do talude, aquisições paralelas e perpendiculares à direção das tubulações. Também foram adquiridos perfis GPR ao longo do talude e sobre sua berma de equilíbrio. Este talude corresponde ao elemento de separação da parte superior do PG à área de lazer. Finalmente, foram adquiridos perfis GPR em todos os lados nas proximidades do campo de futebol inclusive próximo ao ponto de surgência de água. A Figura 2 mostra a localização e direção dos perfis GPR que tiveram maior destaque.

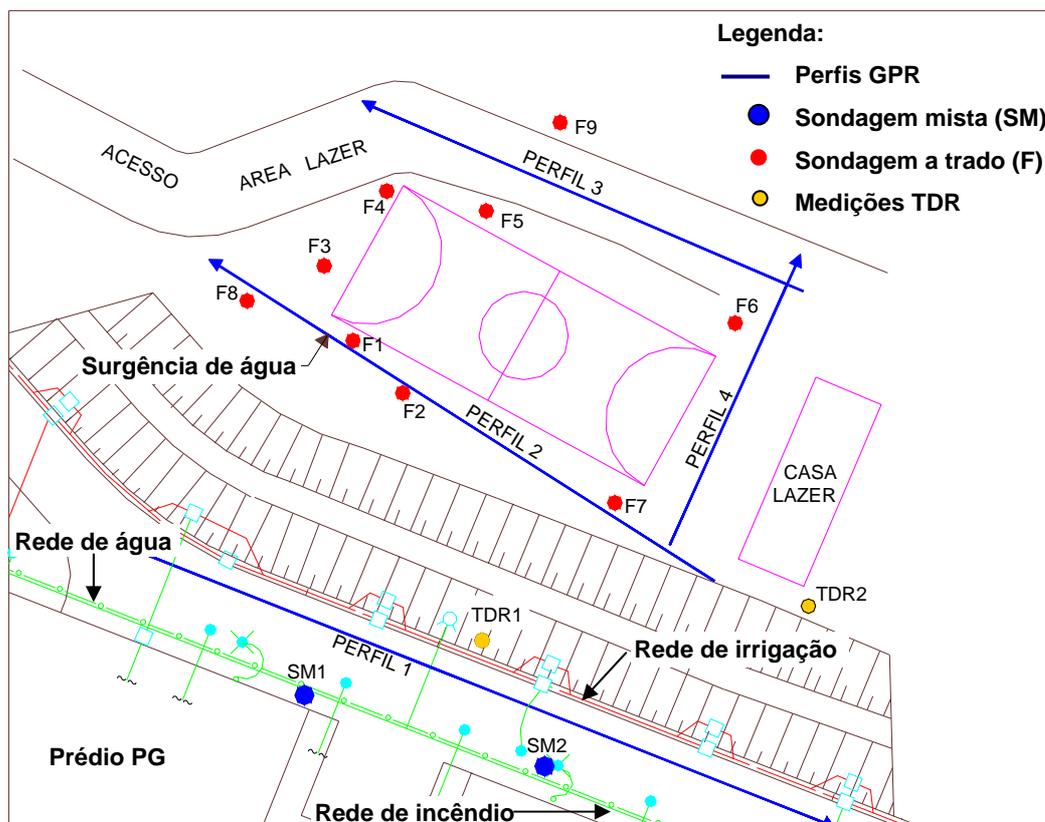


Figura 2 – Lay out com a localização e direção dos perfis GPR, das sondagens de interesse e dos pontos de medição com TDR

5.2 Sondagens e amostragens

Para poder avaliar o resultado obtido com os radargramas foram utilizados os dados das sondagens realizadas pelo PG na parte superior do talude e também foram executados alguns furos de sondagens com trado manual na área onde ocorre a surgência de água (vide Figura 2).

Amostras de solo foram coletadas nas proximidades do ponto de surgência de água para análise e obtenção dos seguintes parâmetros: teor de umidade, condutividade, pH e sais solúveis. O propósito destas análises era fornecer parâmetros para uma melhor interpretação dos dados adquiridos com os levantamentos geofísicos.

Tabela 1 – Teor de umidade dos solos amostrados

Amostras	Profundidade de coleta (m)	Teor de umidade (%)
Furo 1	0,42	25,5
Furo 1	0,47	15,3
Furo 1	0,80	17,1
Furo 1	1,00	18,6
Furo 1	1,90	19,7
Furo 2	0,60	29,4
Furo 2	1,10	29,9

Tabela 2 – Resultados das análises de pH, condutividade e sais solúveis dos solos amostrados

Amostras	Profundidade de coleta (m)	Condutividade mS/m	pH	Sais solúveis (cmol/kg)	
				Na	K
Furo 1	1,13	22	5,16	0,003	0,001
Furo 1	1,90	29	4,97	0,002	0,001
Furo 2	1,00	98	5,89	0,008	0,002
Furo 4	2,20	70	6,53	0,004	0,001

Os resultados dos teores de umidade, apresentados na Tabela 1, revelam um ligeiro aumento ao longo da profundidade, em ambos os furos em que foram coletadas as amostras, com exceção para a primeira amostra do furo 1, que se apresentava mais úmida. Este ponto, indicado na Figura 2, está localizado em uma região caracterizada pela presença de argila vermelha que possivelmente retém mais água.

Nota-se uma leve dispersão nos resultados apresentados na Tabela 2. Apesar da proximidade dos furos 1 e 2 (vide Figura 2), os valores de pH e condutividade nas amostras analisadas se mostraram bem diferentes. Esta discrepância de valores pode ser justificada pela composição do aterro presente nesta região, pois, conforme já mencionado, a área funcionou como depósito do material excedente de escavação que ali foi depositado sem nenhum tipo de controle. Entretanto, percebe-se uma relação nos furos 2 e 4, onde valores elevados de condutividade podem estar associados a maiores concentrações de sais solúveis, conforme pode ser observado na Tabela 2.

5.3 TDR para obtenção da constante dielétrica do meio

Foram medidas as constantes dielétricas em alguns pontos distribuídos na área do Parque Gráfico, na parte superior do talude e na sua base (vide Figura 2). Os valores adotados correspondem a uma média aritmética de 3 valores medidos em cada ponto, cujos resultados foram: Topo do talude: $k = 9$ e Base do talude: $k = 10$. Valores estes próximos aos valores adotados para solo residual segundo algumas literaturas, e.g., Nunes (2002) onde foi adotado 13 para a constante dielétrica do solo.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente foi adquirido um perfil no topo do talude, denominado perfil 1, paralelo às tubulações, ao prédio do PG e aos pontos onde foram realizados os furos de sondagens SM1 e SM2, (vide Figura 2). O radargrama correspondente a esta aquisição pode ser visualizado na Figura 3. O objetivo desta aquisição seria identificar regiões saturadas que apresentassem uma atenuação do sinal do radar muito acentuada e, com isto, delimitar as regiões que poderiam apresentar vazamentos nas redes de distribuição, de irrigação e de incêndio. Analisando este radargrama, mesmo com a forte atenuação presente em algumas partes, pode-se notar a aparição de um refletor horizontal entre 40m e 80m da escala horizontal na profundidade de 3m. A interpretação deste refletor foi realizada com o auxílio da seção geológica elaborada a partir dos dados de sondagem e mostrada na Figura 4. Nesta seção é mostrado um contato entre o aterro e o solo residual, sendo este constituído de material silto-arenoso variegado, que ocorre na profundidade de 3m nas proximidades da sondagem SM2. Este contato possivelmente corresponde ao refletor aparente no radargrama apresentado na Figura 3. Não é possível perceber este contato no extremo inicial do radargrama porque, conforme se pode observar na seção geológica, ele ocorre numa profundidade maior nesta região, profundidade esta não alcançada pela antena utilizada.

É perceptível neste radargrama algumas regiões onde a atenuação do sinal é mais acentuada, principalmente em seu início. Entretanto, mesmo utilizando os diversos recursos do software de processamento dos dados, o RADAN®, não foi possível delimitar uma área em que a atenuação fosse muito significativa e que a amplitude do sinal fosse semelhante à amplitude do sinal onde ocorre a surgência de água.

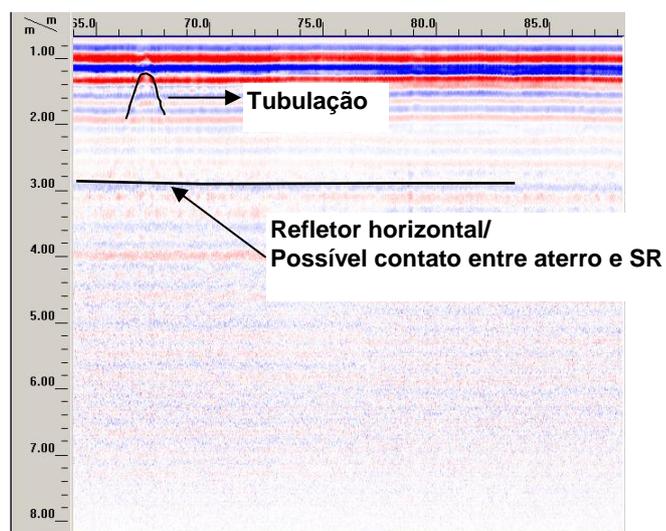
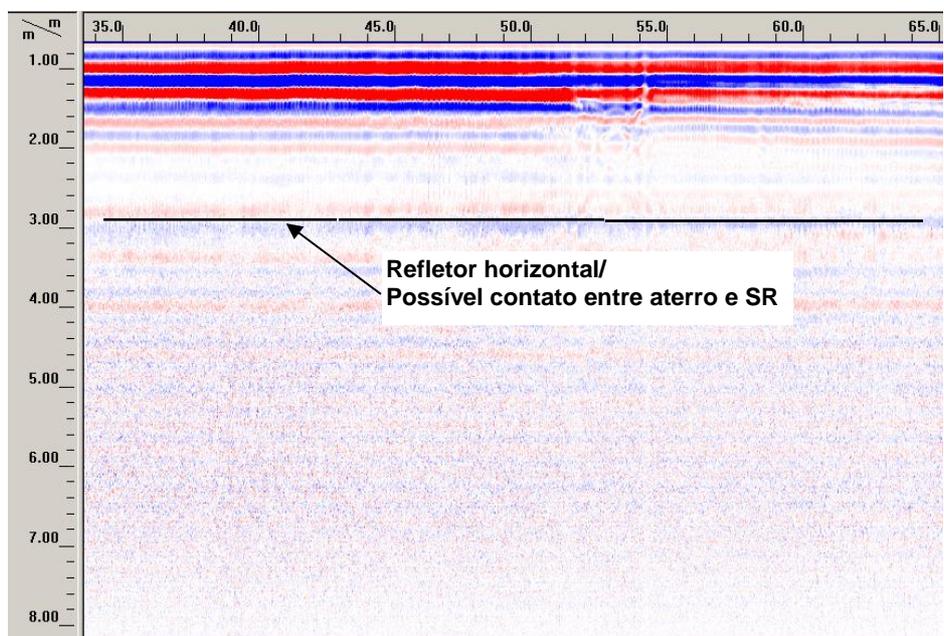
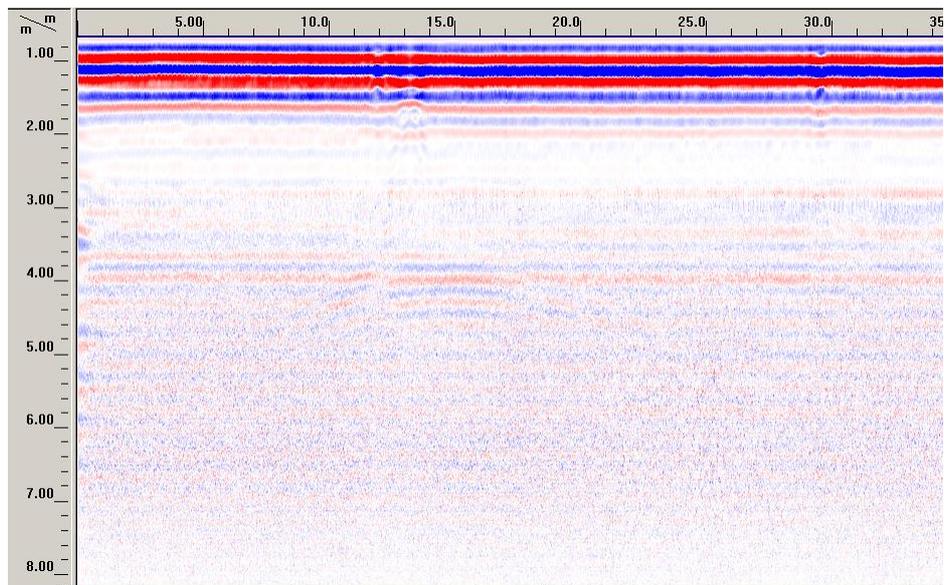


Figura 3 - Radargrama no topo do talude

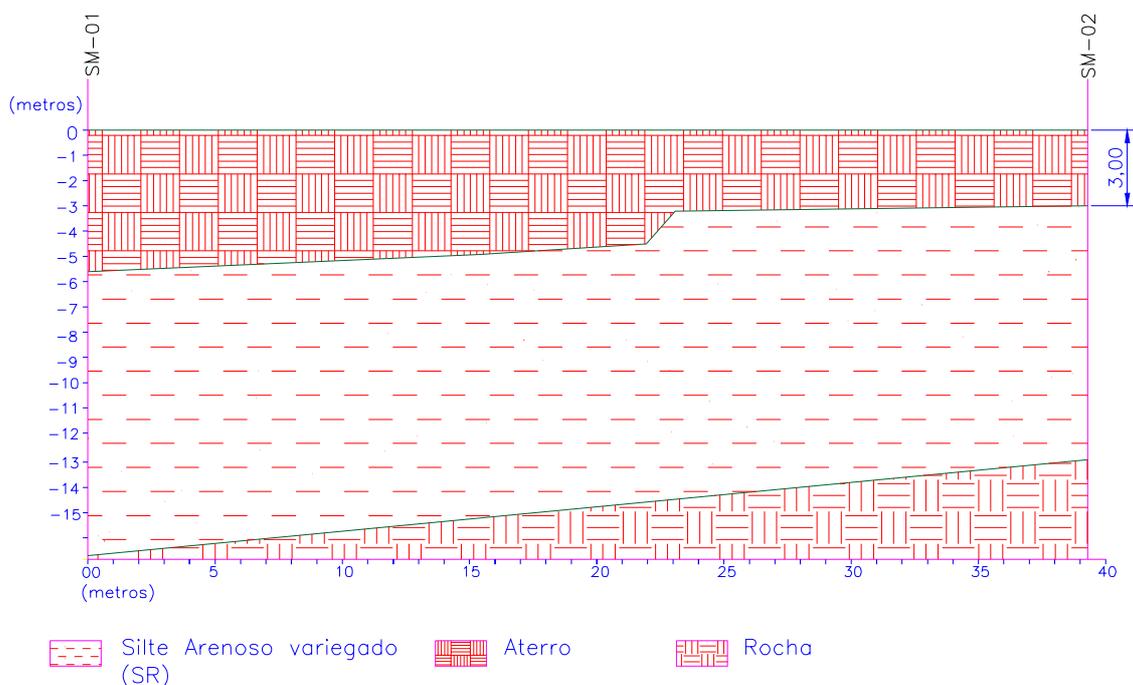


Figura 4 - Seção geológica no topo do talude obtida com resultados de sondagem a percussão

A segunda aquisição foi realizada próxima ao campo de futebol, na base do talude (vide Figura 2). O radargrama processado deste perfil é apresentado na Figura 5, no qual é possível perceber claramente algumas faixas de atenuações do sinal do GPR. A diferença de atenuação nítida aos 66m da escala horizontal corresponde à mudança de revestimento da superfície, passando de aterro para grama. Esta maior atenuação observada na parte referente ao revestimento de grama se explica pela maior umidade por ela retida. Também é possível perceber uma ampla faixa de atenuação do sinal aproximadamente uniforme em todo o perfil abaixo de 1,5m de profundidade.

A hipótese de que esta atenuação no sinal do GPR poderia ser proveniente de uma maior salinidade do solo foi descartada, uma vez que os resultados das análises de sais solúveis forneceram valores muito baixos, da ordem de grandeza 0,001cmol/kg, indicando uma presença reduzida de elementos químicos dissolvidos na água intersticial que poderia causar esta atenuação.

De acordo com a inspeção local, toda a região localizada próxima a este perfil se apresenta bem úmida e o furo realizado a trado nesta região, o qual atingiu 1,5m de profundidade, furo 1, mostrou que a partir desta profundidade o solo se encontra saturado. Portanto, é possível que esta atenuação do sinal seja causada pela presença de água. Entretanto, apesar dessa forte atenuação, é possível notar a presença de um refletor horizontal a aproximadamente 2,6m de profundidade. Em nenhum dos furos realizados nesta região, conseguiu-se atingir tal profundidade. Contudo, é possível supor que este refletor corresponda a um contato existente entre camadas de diferentes propriedades elétricas, podendo ser, por exemplo, um contato de uma camada mais porosa onde se encontra a água, com um material de menor porosidade localizado abaixo desta.

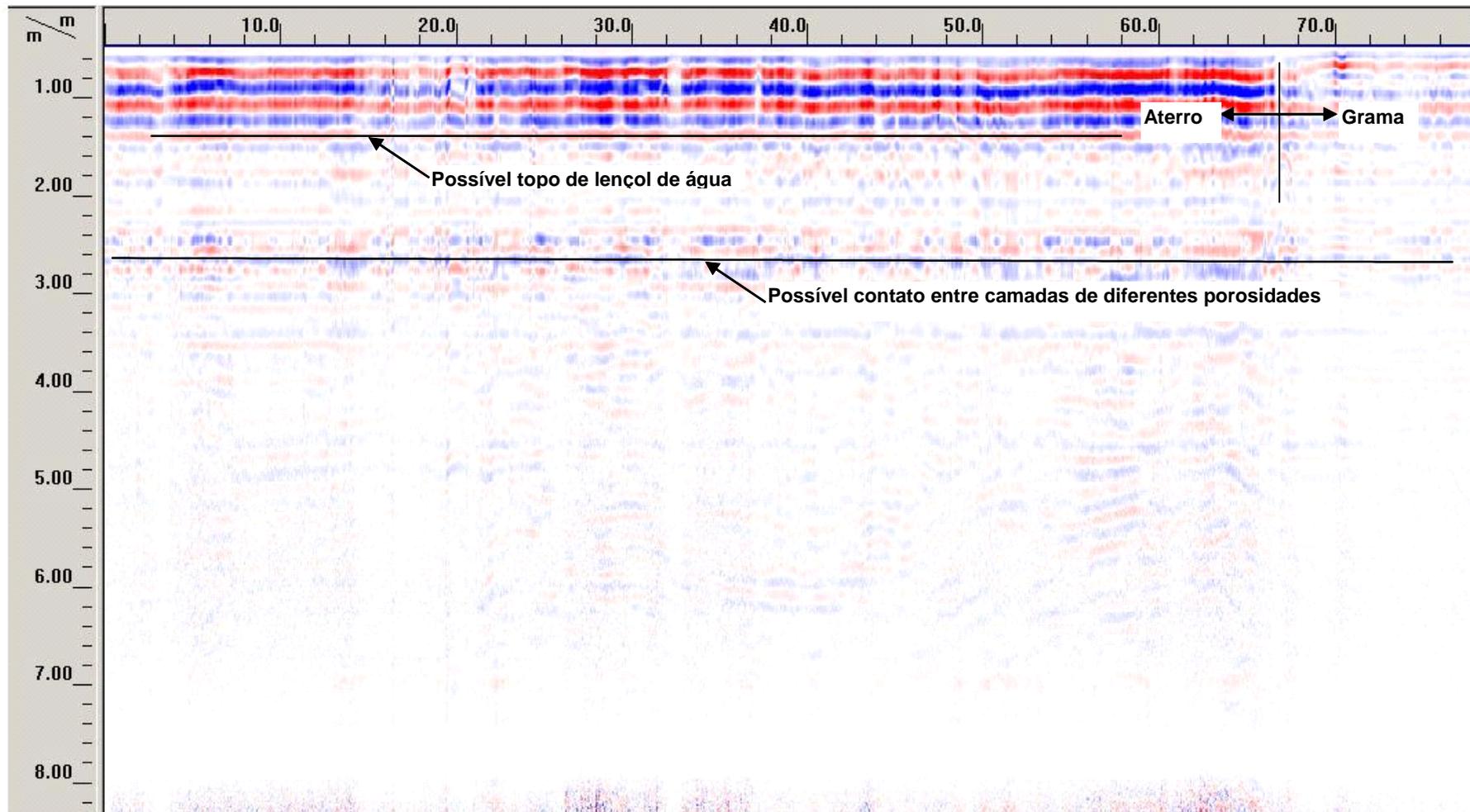


Figura 5 - Segundo perfil de GPR, na base do talude, próximo à surgência de água

Levando-se em consideração as informações passadas sobre a metodologia empregada para compactação e regularização da área de lazer, é possível supor que o aterro nesta região tenha sido mal compactado. Esta área está localizada fora da zona de manobra dos caminhões que circulavam na época da construção do PG. Ademais, esta área está localizada muito próxima do pé do talude, o que pode ter dificultado o trabalho da motoniveladora que executou a regularização do aterro nesta região.

Conforme observado nos furos a trado realizados, uma camada menos porosa se encontra no horizonte mais superficial desta região, que por sua vez, pode estar sobrejacente a uma camada mais porosa proveniente da má compactação do aterro, e esta, localizada acima de uma camada menos porosa, contato representado pelo refletor horizontal a 2,6m de profundidade. Esta camada intermediária, mais porosa, pode estar armazenando água proveniente de vazamentos da rede de água do PG, uma vez que esta região se constitui numa bacia que pode receber contribuição de 3 dos seus 4 lados adjacentes.

Uma outra hipótese possível, concomitante ou não com a primeira hipótese levantada, está baseada nas informações obtidas sobre a existência de uma nascente de água descoberta antes da construção da área de lazer. Como esta surgência só foi percebida após a construção do PG, é possível que a carga desta construção tenha propiciado seu aparecimento, sendo, portanto, este “bolsão” de água, correspondente a um aquífero confinado que pode ou não estar recebendo a contribuição de águas procedentes de vazamentos. Apesar de uma ligeira aleatoriedade nos resultados das análises químicas, observa-se que os resultados da condutividade e pH nas amostras dos furos 2 e 4 estão muito próximos dos valores normalmente registrados para águas de nascentes, valores de pH próximos de 6, conforme sugere Vaitsman (2005).

Com a finalidade confirmatória da existência deste “bolsão” de água, foram feitas mais duas aquisições de GPR. Uma delas, adquirida na rua de acesso à área de lazer e, a outra, adquirida na transversal do perfil 2, entre o campo de futebol e a casa de lazer, respectivamente perfis 3 e 4, que podem ser visualizados na Figura 2. Os respectivos radargramas processados são apresentados nas Figuras 6 e 7.

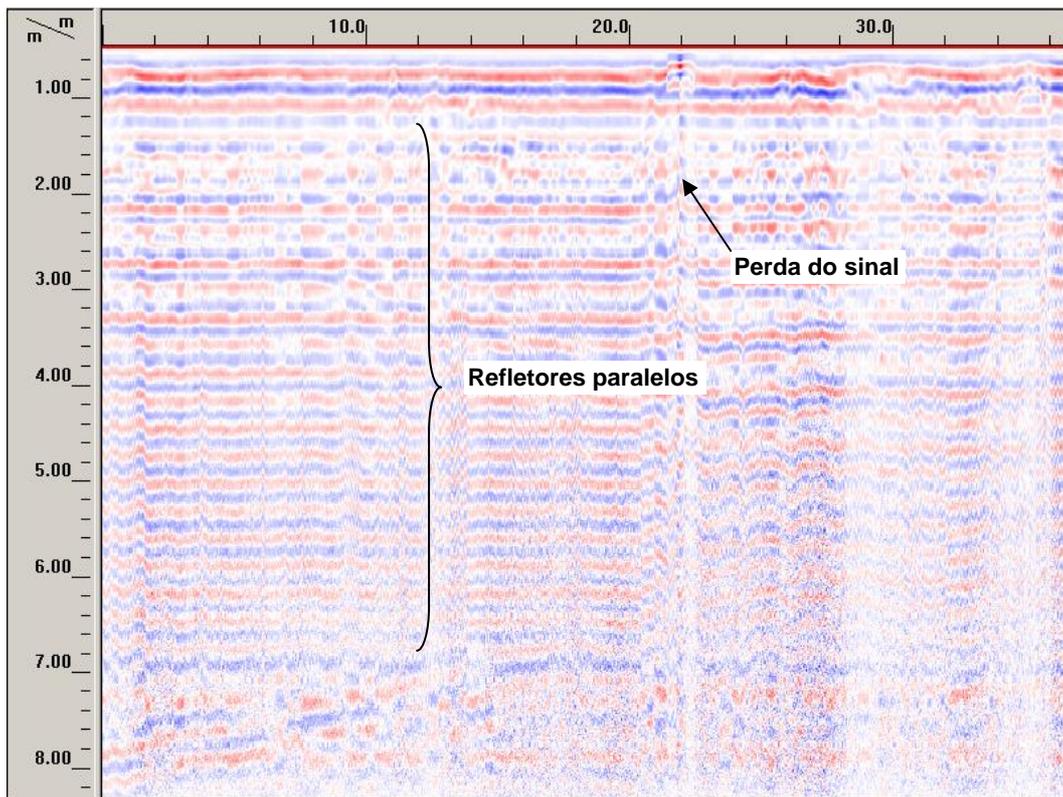


Figura 6 – Terceiro perfil de GPR adquirido na rua de acesso à área de lazer

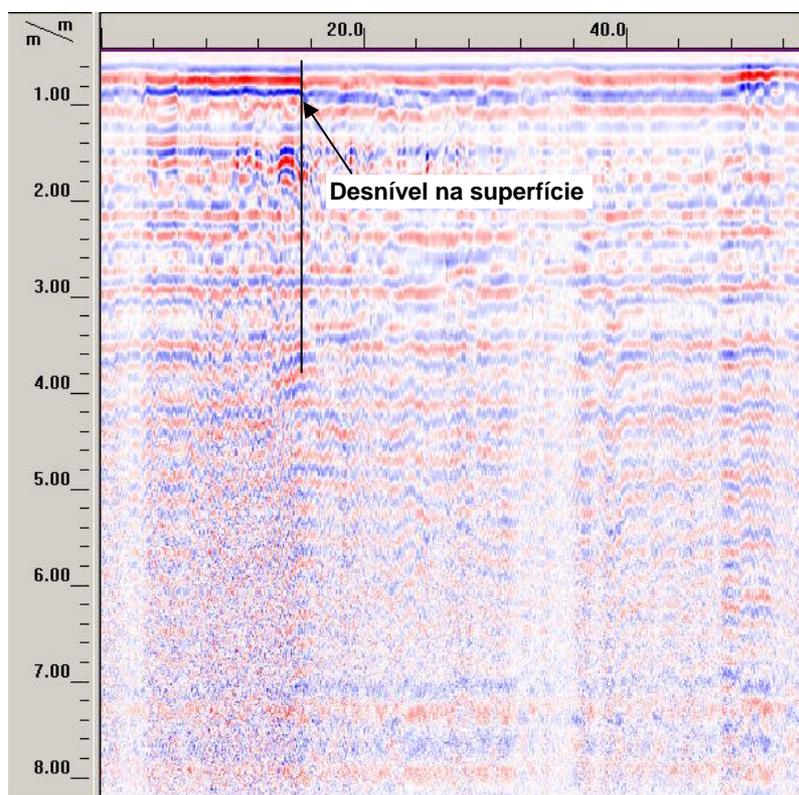


Figura 7 – Quarto perfil de GPR adquirido entre o campo de futebol e casa de lazer

Em ambos os perfis apresentados não é perceptível a forte atenuação apresentada no perfil 2, correspondente à região de interesse, tampouco o refletor horizontal.

A aparência do sinal também se mostra diferente nestes perfis, mais nitidamente no perfil 3, quando comparado ao perfil traçado próximo ao local de surgência de água. Aparência de refletores paralelos superpostos pode ser decorrente das camadas de compactação que foram sendo gradativamente construídas ao longo do processo de deposição do material excedente da escavação seguido da compactação provocada pelo tráfego dos caminhões. Esta aparência de reflexão se assemelha muito aos perfis adquiridos sobre pavimentos que passaram por compactação controlada, como os apresentados em Grote *et al.* (2005).

Em novembro de 2004, após iniciados os trabalhos de pesquisa, a equipe do Globo encontrou um vazamento na portaria do Parque Gráfico, que depois de resolvido, ocasionou uma redução na conta de água do PG quase equivalente ao aumento anteriormente registrado. Analisando os resultados encontrados e sabendo da existência deste vazamento, supõe-se que o local onde ocorre a surgência de água pode estar ligado a um aquífero confinado que pode ou não estar recebendo contribuição de pequenos vazamentos da rede.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação realizada à procura de vazamentos na rede hidráulica do Parque Gráfico do Jornal O Globo sugeriu a importância da execução de sondagens exploratórias para aumentar a confiabilidade da interpretação dos resultados. Embora o GPR identifique anomalias de superfície, a exata identificação de feições geológicas (e.g., posicionamento do nível d'água, contatos litológicos) só é possível por meio da realização de sondagens.

O emprego do TDR na determinação da constante dielétrica permite a determinação, com um grau de exatidão adequada, das profundidades das feições geológicas identificadas. Além disto, a coleta de amostras para análises de propriedades físico-químicas (e.g., teor de umidade, pH, condutividade elétrica, teor de sais solúveis) auxiliou a interpretação dos resultados das sondagens geofísicas.

A técnica common offset (CO) empregada com as antenas blindadas de 250MHz permitiu delimitar algumas regiões de atenuação do sinal do radar que aparentemente estão ligadas a regiões do solo que se encontram com maiores teores de umidade/porosidade. Entretanto, a possibilidade da existência de um aquífero confinado não foi descartada. Os resultados das análises químicas e as informações coletadas junto à direção do Parque Gráfico sugerem que a surgência de água próxima ao campo de futebol pode estar relacionada à sua existência.

A pesquisa realizada no Parque Gráfico do Jornal O Globo forneceu resultados não tão específicos a respeito dos possíveis pontos de vazamento da rede, devido a alguns fatores, dentre eles, as propriedades dos solos e a possibilidade da existência de um aquífero confinado. Os resultados das análises químicas e as informações coletadas junto à direção do Parque Gráfico sugerem que a surgência de água próxima ao campo de futebol pode estar relacionada à existência deste aquífero confinado.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GROTE *et al.*, 2005. Evaluation of infiltration in layered pavements using surface GPR reflection techniques. *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 57, pp. 129-153.

NUNES, C. M. F., 2002. Aplicações do GPR (Ground Penetrating Radar) na caracterização de perfis de alteração de rochas gnáissicas do Rio de Janeiro, dissertação de mestrado, DEC, PUC-Rio, RJ.

POLIVAVOV, H., 1998. Caracterização química, mineralógica, física e geotécnica de perfis de intemperismo desenvolvidos de gnaisses no Rio de Janeiro. Tese de doutorado em geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PRADO *et al.*, 2003. Estudos com GPR (Ground Penetrating Radar) visando a detecção de vazamentos da rede hidráulica em subsuperfície na cidade de São Paulo. 8º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. SBGF.

Radan 6 for Windows 2000 and XP Professional, 2004. User's Manual. Geophysical Survey Systems, Inc.

Souza, M. M., 2005. Uso do Georadar (GPR) em Investigações Ambientais, dissertação de mestrado, DEC, PUC-Rio, RJ.

VAITSMAN, D. S., 2005. Comunicação pessoal.