

O MÉTODO GPR APLICADO À LOCALIZAÇÃO DE TUBULAÇÕES UTILIZADAS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PARÁ

The GPR method applied to the location of pipes used in water supply of the municipal district of Belém-Pará

Gerson Pompeu Pinto*

Marcos Welby Correa Silva**

RESUMO – Este trabalho consistiu em avaliar a viabilidade do método GPR (*Ground Penetrating Radar*) na localização de tubulações de aço, cimento-amianto, PVC e ferro fundido, de diversos diâmetros, utilizadas pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), no abastecimento de água à população da região urbana do município de Belém-Pará. Para o alcance deste objetivo foram realizados 14 perfis em 6 locais, distintos da área urbana de Belém, com o intuito de identificar 13 alvos, utilizando-se antenas de 200 MHz e 400 MHz, geralmente usadas neste tipo de levantamento. Os radargramas obtidos com o GPR permitiram identificar quase todos os alvos pesquisados. Apenas 3 dos 13 alvos, não foram plenamente identificados, ficando de fora, apenas os alvos de PVC, de pequena bitola (50 mm e 75 mm). Após o estudo concluímos que o método GPR é muito eficaz neste tipo de aplicação e que sua utilização tem grande valia na localização das redes de abastecimento de água, o que deve facilitar enormemente as obras de expansão da rede, assim como a sua manutenção.

ABSTRACT – This work was carried out to evaluate the feasibility of the method GPR (*Ground Penetrating Radar*) to locate steel, cement-asbestos, PVC and cast iron pipes of several diameters, used by the Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) for water supply to the population of the urban area of Belém-Pará. To achieve this goal 14 profiles were performed at 6 distinct sites of Belém's urban area, in order to identify 13 targets, using 200 MHz and 400 MHz antennas, commonly used in this type of survey. The radargrams obtained with GPR allowed to identify almost all targets surveyed. Only 3 of the 13 targets were not fully identified, leaving out only the targets of PVC of small gauge (50 mm and 75 mm). After the study, we concluded that the GPR method is very effective in this type of application and its use has great value in the location of the water supply network, what should greatly facilitate the work of expanding the network, as well as its maintenance.

Palavras Chave – Geofísica aplicada. Método GPR. Localização de tubarias.

Keywords – Applied geophysics. GPR method. Tubing location.

1 – INTRODUÇÃO

O GPR é um método de investigação geofísica proposto em 1904, pelo engenheiro alemão Christian Hülsmeier (Reynolds, 1997), fundamentada na propagação de sinais eletromagnéticos para a localização remota de objetos enterrados no solo. Entretanto, foi só em 1910 que ocorreu a primeira publicação descrevendo uma aplicação do método, feita por Gotthelf Leimbach e Heinrich Löwy, na Alemanha. Neste trabalho foi sugerido o uso de equipamentos que transmitiam ondas continuamente, porém foi só em 1926 que Hülsenbeck patenteou o primeiro equipamento

* Professor do Ministério da Defesa, Primeiro Comando Aéreo Regional. E-mail: gersonpompeu@gmail.com

** Programa de Pós-graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará-UFPA, Belém, PA, BR. E-mail:welby@ufpa.br

que usava a emissão de pulsos de radar, com objetivo de investigar a natureza das estruturas em subsuperfícies. Em 1929, na Áustria, Stern realizou a primeira aplicação prática do GPR, com a finalidade de detectar espessuras de glaciares (Olhoeft, 1981).

Com os avanços tecnológicos e após anos de estudos e aprimoramentos dos equipamentos, o GPR tornou-se um dos métodos mais eficazes para sondagens e investigações até pequenas profundidades (geofísica rasa), devido aos baixos custos e à praticidade na realização dos trabalhos de campo. Hoje o método possui uma grande variedade de aplicações, tais como: aplicações forenses, militares, engenharia civil, estudos de solos, exploração mineral, geologia básica e ambiental, geotecnia, hidrogeologia, pesquisa arqueológica, planejamento urbano, dentre outras (Porsani, 2008).

Neste trabalho tratar-se-á da aplicação do GPR na localização de tubulações utilizadas pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) no abastecimento de água à população da região urbana de Belém-Pa. Esta aplicação é de grande relevância, pois visa contribuir nas soluções de alguns problemas decorrentes das obras de expansão e manutenção do sistema de abastecimento de água, tais como a localização exata de suas redes de abastecimento de água, pois ao longo do tempo não foram tomados os devidos cuidados com o registro e catalogação das tubulações. Atualmente a COSANPA dispõe de informações desatualizadas e muitas vezes confusas, sobre o posicionamento correto de suas redes, ocasionando um sério problema no desenvolvimento das obras de expansão e manutenção da rede. Dentro dessa perspectiva, a aplicação do método GPR na localização das tubulações, torna-se uma alternativa viável, com custos aceitáveis, haja em vista que atualmente a COSANPA não possui nenhum método de localização indireta de suas redes.

2 – METODOLOGIA

2.1 – Fundamentação teórica

O método GPR utiliza um dipolo elétrico horizontal como fonte do campo de ondas eletromagnéticas. As frentes de ondas para uma fonte dipolar sobre a superfície da Terra são ondas esféricas e qualquer onda esférica pode ser descrita por uma superposição de ondas planas (Stratton, 1941). A equação da onda plana para o campo elétrico, supondo o fluxo de corrente numa dada direção-x, é dada por:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial z^2} = k^2 \vec{E}_x \quad (1)$$

onde \vec{E}_x é o campo elétrico na direção-x e k é o número de onda, expresso por:

$$k^2 = \omega^2 \mu \epsilon - i \omega \mu \sigma \quad (2)$$

onde $\omega^2 \mu \epsilon$ corresponde a corrente de deslocamento e $i \omega \mu \sigma$ a corrente de condução.

O método GPR utiliza altas frequências, maiores que 1 MHz, então os dois termos da equação devem ser considerados, e a corrente de deslocamento é predominante sobre a corrente de condução:

$$\omega^2 \mu \epsilon \gg |i \omega \mu \sigma| \quad (3)$$

Essa é a condição favorável para o funcionamento do método GPR. Um meio com essa característica é denominado de meio dielétrico de baixa perda (Annan, 1992).

A equação 2, pode ser escrita da seguinte forma:

$$k = \alpha + i\beta \quad (4)$$

onde α corresponde à constante de atenuação, expressa em decibel/metro (dB/m) e β à constante de propagação (Stratton, 1941):

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2} - 1 \right)} \quad (5)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2} + 1 \right)} \quad (6)$$

A profundidade de penetração e as perdas associadas à propagação das ondas eletromagnéticas no meio geológico podem ser mensuradas pela profundidade pelicular ou “*skin depth*” (δ). O “*skin depth*” é definido como a profundidade de penetração na qual a amplitude da onda eletromagnética reduz-se a $\frac{1}{e} = 36,79\%$ do seu valor inicial (Rijo, 2004):

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{1}{\sigma f}} \quad (7)$$

A equação 7 aplica-se a meios não magnéticos, isto é, $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m e $\omega = 2\pi f$, com f igual a frequência central de operação do GPR.

Analisando a equação 7, pode-se concluir que quanto maior a condutividade elétrica do meio geológico, menor será o “*skin depth*”, ou seja, menor será a penetração da onda no solo. O mesmo efeito é observado quando aumenta-se a frequência da onda eletromagnética (Rijo, 2004).

Conhecer o valor da velocidade de propagação da onda GPR no meio geológico, constitui um fator de extrema relevância, pois é através dele que pode-se estimar a profundidade dos objetos.

A seguinte permite determinar o valor da velocidade de propagação da onda eletromagnética em um meio com permissividade dielétrica relativa (ε_r), condutividade elétrica (σ) e permeabilidade magnética (μ):

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r \left(\frac{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}}{2} \right)}} \quad (8)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo, $\sigma/\omega\varepsilon$ é o fator de perda e ω é a frequência (Van Dam, 2001). Pode observar-se, através do fator de perda, que quando a condutividade aumenta a velocidade da onda diminui e vice-versa.

Quando uma onda de alta frequência, como é o caso do GPR, propaga-se através de um meio geológico com condutividade menor que 100 mS/m, onde a perda é muito pequena, e não há presença de material ferromagnético ($\mu=1$), as equações 5, 6 e 8 podem ser escritas da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon_r}} \quad (9)$$

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon_r} \quad (10)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

Pode-se observar através da equação 11, que a velocidade da onda GPR não depende da frequência GPR utilizada. Depende, unicamente, da permissividade dielétrica relativa do meio de propagação do sinal GPR (Davis e Annan, 1989).

Quando uma onda eletromagnética propaga-se no subespaço geológico ela depara-se com as variações das propriedades eletromagnéticas das diversas camadas que o constituem. Essa descontinuidade eletromagnética pode gerar uma forte impedância na interface de separação das camadas, definida a parcela de energia que será refletida. O coeficiente de reflexão (R) é a grandeza que expressa o poder de reflexão entre duas camadas distintas. O coeficiente de reflexão pode ser calculado por (Reynolds, 1997):

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} = \frac{\sqrt{v_2} - \sqrt{v_1}}{\sqrt{v_1} + \sqrt{v_2}} \quad (12)$$

onde ϵ_{r1} , ϵ_{r2} , v_1 e v_2 , são as permissividades dielétricas relativas e as velocidades da onda nas camadas 1 e 2, respectivamente.

Observando o Quadro 1, pode-se concluir que na interface solo-metal ocorre o fenômeno da reflexão total (R = 100%), que constitui uma excelente aplicação do GPR na detecção de objetos metálicos enterrados. O mesmo não ocorre na interface solo seco-rocha, pois a reflexão é relativamente baixa. Na interface ar-solo seco, temos uma forte reflexão, que é indesejada nos trabalhos de campo e uma forma de tentar reduzir esse efeito é posicionando a antena o mais próximo possível do solo.

Quadro 1 – Coeficientes de reflexão para seis diferentes interfaces geológicas.

Do	ϵ_r	para	ϵ_r	Coeficiente de reflexão
Ar	1	Solo seco	5	38
Solo seco	5	Água	81	80
Solo seco	5	Solo saturado	25	38
Solo seco	5	Rocha	8	12
Solo saturado	25	Rocha	8	28
Solo	3,5	Metal	∞	100

Fonte: adaptado de Annan (2001)

2.2 – Princípios de funcionamento do GPR

O GPR é fundamentado na propagação de ondas eletromagnéticas de altas frequências, na faixa de 10 MHz a 2,5 GHz (Davis e Annan, 1989). Quando um pulso eletromagnético (PEM) é emitido e atinge uma interface geológica que separa propriedades eletromagnéticas diferentes, uma parcela da onda eletromagnética sofre reflexão e difração e a outra parcela continua propagando-se até ser completamente absorvida pelo meio. Parte da onda que foi refletida e difratada, em direção à superfície, é captada por antena receptora (Figura 1). A antena receptora detecta os sinais e os envia para uma unidade de controle, onde são amplificados e armazenados numa unidade de processamento de dados, gerando uma sequência de traços ou “scans” mostrados em registro como função do tempo de propagação (Figura 2).

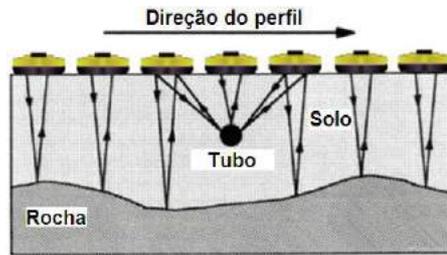


Fig. 1 – Representação esquemática de um perfil GPR onde se observa as reflexões na interface solo-rocha e as difrações em um tubo.

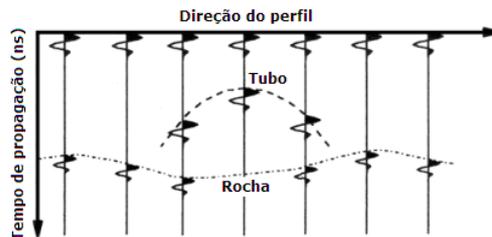


Fig. 2 – Representação esquemática do registro de scans.

A resolução do método para objetos enterrados na subsuperfície está relacionada com o seu tamanho, à orientação em relação às antenas, ao contraste entre as propriedades eletromagnéticas (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética) dos meios geológicos, ao ruído associado à radiofrequência e outras interferências. A condutividade elétrica e a permissividade dielétrica são importantes porque interferem na atenuação e propagação das ondas GPR, respectivamente (Annan, 2001). A profundidade de investigação pode variar desde centímetros, em terrenos muito argilosos, a até quilômetros no gelo polar.

2.3 – Aquisição de dados

Na fase de aquisição de dados executamos os perfis de GPR usando o equipamento TerraSIRch SIR (*Subsurface Interface Radar*) System-3000 fabricado pela GSSI (*Geophysical Survey Systems, Inc.*), que pertence à Faculdade de Geofísica da UFPa. O sistema é constituído por uma unidade de controle digital, com o sistema operacional TerraSIRch pré-instalado, que permite a visualização e controle dos dados; duas baterias, cabos de conexões e duas antenas blindadas de 200 MHz e 400 MHz.

A técnica aplicada à coleta de dados nos perfis foi a de reflexão com afastamento constante, *common offset*, no modo contínuo (Figura 3). Os registros foram realizados no modo tempo com a posição das medidas intercaladas pela inclusão de marcas a cada 1 m, pois para o propósito do trabalho, não houve necessidade de grandes perfis, já que as dimensões dos alvos estão

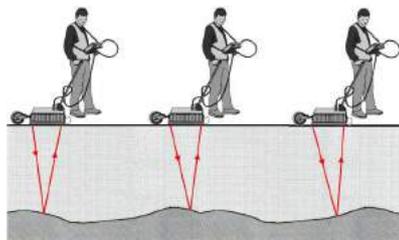


Fig. 3 – Representação esquemática da técnica *common offset*.

compreendidas entre 50 mm e 1000 mm de diâmetro.

Para comparar melhor os resultados, fez-se uso de duas antenas biestáticas blindadas de 200 MHz e 400 MHz. Optou-se por essas antenas porque elas apresentam as características necessárias à solução dos problemas, geralmente encontrados nesse tipo de levantamento, uma vez que as tubulações estão localizadas a pouco mais de 1 metro de profundidade, em média. É importante ressaltar que não foi utilizado hodômetro acoplado às antenas na aquisição dos perfis.

A aquisição dos dados GPR foi realizada em 8 perfis dentro da área do município de Belém, capital do Estado do Pará. Os perfis foram feitos nos seguintes locais: dois dentro da área da COSANPA, localizado no Parque Estadual do Utinga, bairro do Curió-Utinga; dois no conjunto CDP, bairro da Maracangalha; dois no conjunto Costa e Silva, bairro da Castanheira e dois no bairro da Pedreira. A escolha dos locais onde foram realizados os perfis foi feita priorizando-se a variedade de alvos presentes nesses locais e a diversidade geográfica.

2.4 – Processamento de dados

As etapas de processamentos adotadas nesse trabalho têm como propósito destacar os refletores contidos no solo, reduzindo a interferência provocada pela onda direta pelo ar, pela onda direta pelo solo e possíveis interferências geradas por estruturas que possam interagir com o pulso eletromagnético. Para realizar essa tarefa foi usado o software ReflexW versão 5.0.5 para Windows TM 9x/NT.

As etapas utilizadas no processamento dos dados deste trabalho estão descritas a seguir:

Primeira etapa: Importação dos dados

Este primeiro procedimento consiste na importação dos dados adquiridos nos levantamentos de campo e na criação de um projeto.

Segunda etapa: Edição dos dados

Este foi o segundo procedimento adotado no processamento dos dados adquiridos em campo onde foram inseridas as informações do cabeçalho, tais como frequência da antena, direção e dimensão do perfil.

Terceira etapa: Interpolação das marcas

Consiste na interpolação dos dados na direção do perfil, tendo como referência as marcas inseridas nos registros a cada metro para controle da posição das medidas.

Quarta etapa: Correção do tempo zero

Sua função é corrigir o efeito de desalinhamento em tempo, dos traços de um radargrama, provocados por saltos da antena durante a aquisição dos dados em campo, ocasionados por irregularidades presentes no terreno. A correção é realizada aplicando um deslocamento linear, para cima ou para baixo, nos traços do radargrama de modo a corrigir o desalinhamento entre traços adjacentes.

Quinta etapa: Dessaturação

Remove as componentes de baixa frequência (WOW) acopladas à amplitude da onda que originam saturações no sinal, impedindo que alguns refletores sejam perceptíveis no radargrama. Isso ocorre devido à existência do fenômeno indutivo da onda eletromagnética entre as antenas transmissora e receptora ou a saturação eletrônica do equipamento, causada pela onda direta no ar

ou outras fontes externas de campo eletromagnético, tais como: casas, cercas metálicas, edifícios, árvores de grande porte, muros, torres de alta tensão, postes de iluminação, estações de rádio FM, antenas de microondas, rádios transmissores, celulares e etc (Porsani, 2008). A aplicação do filtro DEWOW resulta em um registro “mais limpo”.

Sexta etapa: Ganho

A amplitude do sinal GPR ao se propagar no solo decai exponencialmente, por esse motivo, objetos localizados a grandes profundidades são mais difíceis de serem identificados no radargrama. Uma forma de compensar esse decaimento é a aplicação de um ganho para que se possam intensificar as reflexões provenientes de tempo de propagação mais longos.

É importante ressaltar que na aplicação de ganhos, todo sinal refletido é amplificado, ainda que se trate de ruído. Um ganho excessivo para um grande intervalo de tempo de propagação no qual o sinal tem uma amplitude similar à do ruído, pode-se amplificar o ruído eletrônico do aparelho, do cabeamento ou emissão das mesmas frequências que estão sendo registradas, dando lugar a registros confusos.

Há vários tipos de ganhos que podem ser aplicados em um processamento de dados GPR. Para esse trabalho será utilizado o ganho *Energy Decay* que consiste na aplicação de um ganho na direção do eixo do tempo para cada traço. Este ganho é baseado na curva de decaimento médio de amplitude. Primeiramente uma curva de decaimento médio é determinada de todos os traços existentes do perfil. Depois da aplicação de um filtro de mediana nesta curva, cada amostra do traço é dividida pelo valor da curva de decaimento. Frequentemente é necessário aplicar um fator de escala, parâmetro de multiplicação, menor do que um, pois, após a aplicação deste ganho, alguns valores de amplitude excederão a amplitude máxima do perfil original (Sandmeier, 2006).

Sétima etapa: Filtragem temporal

Consiste em retirar do radargrama os ruídos ou reverberações para destacar o sinal de interesse, principalmente os que estão contidos na parte inferior. Com este filtro é possível eliminar as frequências espúrias, que se encontram em faixas de alta ou baixa frequência e que eventualmente podem mascarar estruturas no radargrama.

3 – RESULTADOS

3.1 - Perfis 1 e 2

Esses perfis foram realizados dentro da área da COSANPA no Parque Estadual do Utinga, na rua principal que dá acesso ao lago Bolonha e Água Preta. Os perfis foram feitos sobre uma camada de asfalto, tomando o sentido Sul – Norte, perpendicular a uma adutora. O solo da região pesquisada é predominantemente argilo-arenoso. O objetivo foi localizar uma adutora de aço de 1000 mm de diâmetro, usada para o transporte de água bruta do lago do Utinga até a estação de tratamento de São Brás. A dimensão dos perfis foi de 6 m de comprimento, correspondente à largura máxima da rua, com marcações feitas a cada 1 m.

O perfil 1 foi obtido com a antena de 200 MHz. Pode-se observar, através do radargrama (Figura 4), a presença de um forte refletor, hipérbole de reflexão assinalada, localizado entre as posições 3 m e 6 m a, aproximadamente, 1 m de profundidade. Esse refletor corresponde à adutora de aço procurada.

O perfil 2, coincidente com o perfil 1, foi obtido com a utilização da antena de 400 MHz e o seu radargrama é mostrado na Figura 5, onde se constata a presença duma reflexão hiperbólica, correspondente à adutora de aço de 1000 mm, a aproximadamente 1 m de profundidade e localizada entre as posições 3 m e 6 m.

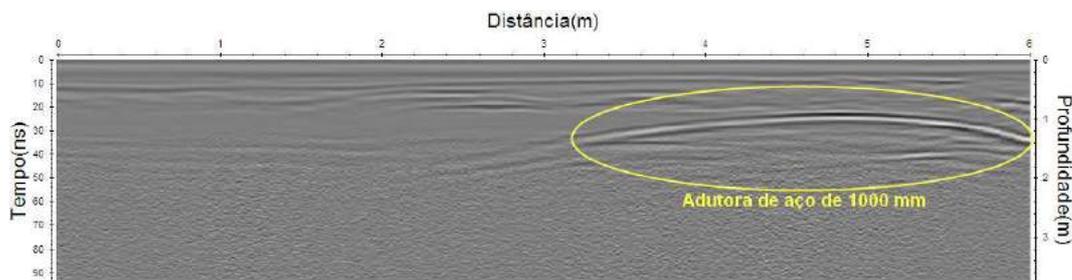


Fig. 4 – Radargrama do perfil 1, usando antena de 200 MHz. A forte reflexão hiperbólica representa a adutora de aço de 1000 mm.

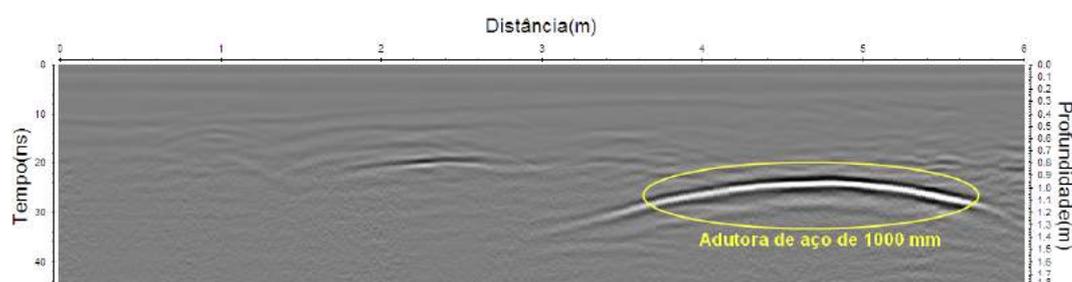


Fig. 5 – Radargrama do perfil 2, usando antena de 400 MHz. A forte reflexão hiperbólica representa a adutora de aço de 1000 mm.

Conclui-se após análise dos radargramas das Figuras 4 e 5, que em ambos os levantamentos os resultados mostrados foram bons. Entretanto, o levantamento feito com a antena de 400 MHz foi, sensivelmente, melhor que o levantamento feito com a antena de 200 MHz, em virtude da melhor resolução do sinal.

Após as realizações dos perfis 1 e 2, foram feitas escavações em torno da adutora com a finalidade de ratificar sua localização. Fato este que pôde ser confirmado após o término das escavações.

3.2 - Perfis 3 e 4

Esses perfis foram realizados no conjunto CDP na Av. Norte, bairro da Maracangalha, próximo a esquina com a Av. Júlio César. Os perfis foram feitos sobre uma camada de asfalto, tomando a sentido Sudeste – Noroeste, perpendicular aos alvos. O objetivo foi localizar duas tubulações de PVC – 150 mm e 250 mm de diâmetro, usadas no fornecimento de água no conjunto CDP. A dimensão dos perfis foi de 11 m de comprimento com marcações feitas a cada 1 m.

A Figura 6 mostra o radargrama do perfil 3, obtido com a antena de 200 MHz. Pode-se observar a presença de três refletores: P1 localizado na posição 4 m, com aproximadamente 2 m de profundidade; P2 situado próximo à posição 7 m e quase a 1 m de profundidade e P3 que está logo após a posição 9 m e a pouco mais de 1 m de profundidade. Os alvos devem representar, respectivamente, tubulação PVC – 150 mm, manilha de esgoto e tubulação PVC – 250 mm. Nesse perfil os alvos de PVC puderam ser identificados em função do seu maior diâmetro e do maior poder de penetração da antena. Neste e nos demais perfis, não foram realizadas escavações para confirmar a localização exata das tubulações. Nossas conclusões foram corroboradas pelo mapa da rede de água e esgoto fornecido pela COSANPA.

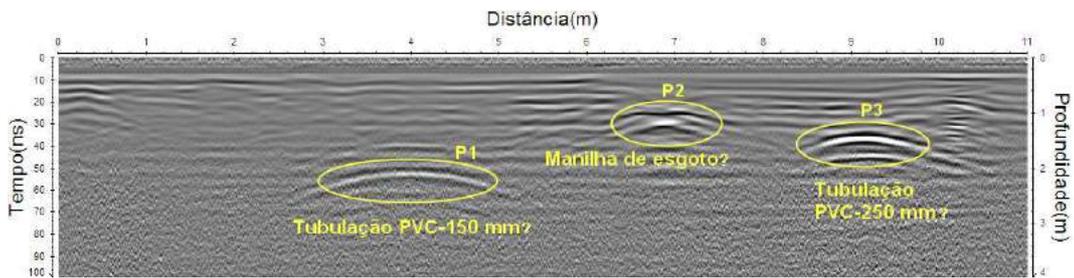


Fig. 6 – Radargrama do perfil 3, usando antena de 200 MHz. As reflexões hiperbólicas P1, P2 e P3 devem representar, respectivamente, a tubulação PVC – 150 mm, manilha de esgoto e tubulação PVC – 250 mm.

O perfil 4 obtido com a antena de 400 MHz e coincidente com o perfil 3, pode ser observado na Figura 7, onde se pode verificar uma nova configuração dos refletores, pois não aparece o alvo P1 (tubulação PVC – 150 mm), já que a configuração do alcance da antena não permitiu que a mesma alcançasse a profundidade do alvo. Como foi observado no radargrama da Figura. 6, o refletor P1 encontra-se a uma profundidade de aproximadamente 2 m, entretanto, como podemos observar na Figura 7, a profundidade máxima alcançada com o uso da antena de 400 MHz foi de 1,80 m, o que impossibilitou a sua localização. Então tem-se: P2 (manilha de esgoto) situado próximo a posição 7 m, quase a 1 m de profundidade e P3 (tubulação PVC – 250 mm) que está na posição 9 m e a pouco mais de 1 m de profundidade.

Pode-se concluir após análise dos radargramas das Figuras 6 e 7, que o melhor resultado foi obtido com a utilização da antena de 200 MHz, pois com a antena de 400 MHz o alvo P1 não pôde ser identificado, em decorrência do baixo poder de penetração da antena de 400 MHz, para o respectivo solo.

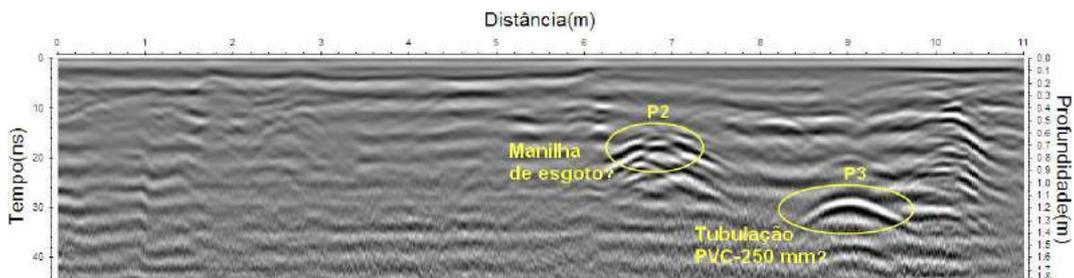


Fig. 7 – Radargrama do perfil 4, usando antena de 400 MHz. As reflexões hiperbólicas P2 e P3 devem representar, respectivamente, a manilha de esgoto e tubulação PVC – 250 mm.

3.3 - Perfis 5 e 6

Esses perfis foram realizados na Av. Victor da Silva, bairro da Castanheira, entre o residencial Costa e Silva e o posto dos Correios. As sondagens foram feitas sobre uma camada de asfalto, tomando o sentido Sudoeste – Nordeste, perpendicular ao alvo. O objetivo foi localizar uma tubulação de cimento – amianto (C.A.) de 150 mm de diâmetro, usada no fornecimento de água. A dimensão dos perfis foi de 7 m de comprimento com marcações feitas a cada 1 m.

O radargrama do perfil 5 é mostrado na Figura 8, obtido com a antena de 200 MHz. Pode-se observar a presença de um refletor, associado à tubulação de C.A. – 150 mm, localizado entre as posições 6 m e 7 m, a pouco mais de 0,5 m de profundidade.

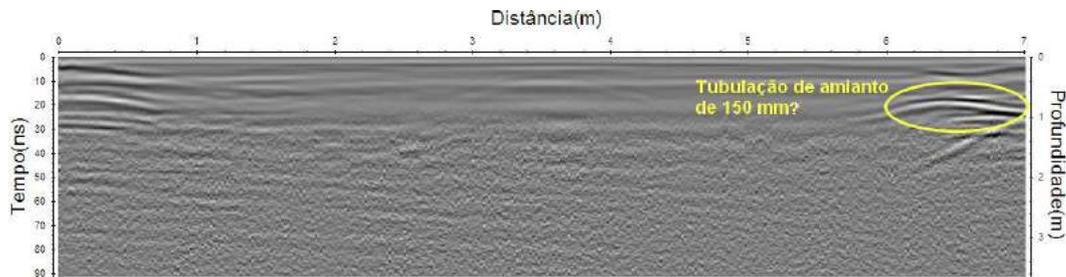


Fig. 8 – Radargrama do perfil 5, usando antena de 200 MHz. A reflexão hiperbólica deve representar uma tubulação de cimento-amianto com 150 mm de diâmetro.

A Figura 9 mostra o radargrama do perfil 6, coincidente com o perfil 5, obtido com a antena de 400 MHz, onde o forte refletor hiperbólico deve corresponder à tubulação de C.A. – 150 mm, entre as posições 6 m e 7 m, a pouco mais de 0,5 m de profundidade.

Pode-se concluir através da análise dos resultados fornecidos pelos radargramas das Figuras 8 e 9, que as informações obtidas com as antenas são equivalentes, com uma sensível melhoria nos resultados fornecidos pela antena de 400 MHz, já que tem maior resolução.

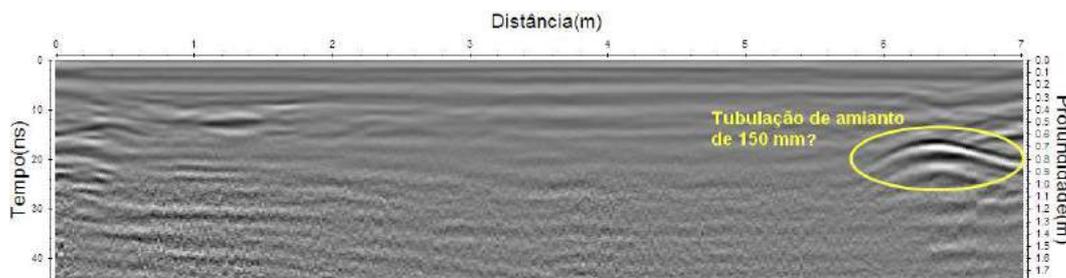


Fig. 9 – Radargrama do perfil 5, usando antena de 400 MHz. A reflexão hiperbólica deve representar uma tubulação de cimento-amianto com 150 mm de diâmetro.

3.4 - Perfis 7 e 8

Esses perfis foram obtidos na Tv. Angustura, entre Rua Nova e Rua Antônio Everdosa, bairro da Pedreira, em frente a residência de número 1168. Os perfis foram feitos sobre uma espessa camada de asfalto, em uma região onde se pôde constatar in loco, tratar-se de um solo argilo-arenoso, com a presença de Grés do Pará e concreções ferruginosas. Os perfis foram realizados tomando a sentido Nordeste – Sudoeste, perpendicular aos alvos. O objetivo foi localizar as seguintes tubulações: PVC – 75 mm, ferro fundido (FoFo) – 600 mm e CA – 200 mm, usadas no fornecimento de água. A dimensão dos perfis foi de 10 m de comprimento com marcações feitas a cada 1 m.

A Figura 10 mostra o radargrama do perfil 7, obtido com a antena de 200 MHz. Pode-se observar a presença de quatro regiões refletoras: P1 localizada entre as posições 1 m e 2 m, P2 situada entre as posições 5 m e 6 m, P3 próxima a posição 8 m e P4 na posição 9 m. Na região onde se encontra o alvo P1, pode-se perceber a formação de possíveis hipérbolas, entretanto não se pode afirmar, categoricamente, tratar-se de uma tubulação PVC – 75 mm, alvo localizado nesta região, segundo o cadastro de redes da COSANPA. Os demais alvos devem ser, respectivamente, as seguintes tubulações: manilha de esgoto (P2), FoFo – 600 mm (P3) e CA – 200 mm (P4).

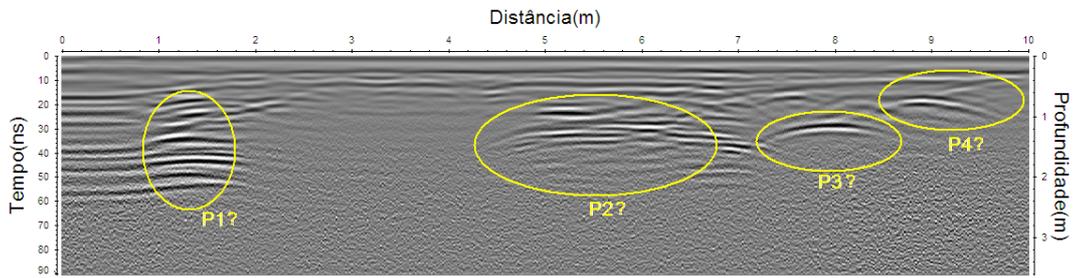


Fig. 10 – Radargrama do perfil 7, usando antena de 200 MHz. As reflexões hiperbólicas P1, P2, P3 e P4 devem representar, respectivamente, alvo indeterminado, manilha de esgoto, FoFo – 600 mm e FC – 200 mm.

O radargrama do perfil 8, coincidente com o perfil 7, é mostrado na Figura 11, obtido com a antena de 400 MHz, onde se podem identificar as seguintes regiões refletoras: P1 (possível alvo de PVC – 75 mm, segundo o cadastro da COSANPA) localizada entre as posições 1 m e 2 m, P2 (manilha de esgoto) situada entre as posições 5 m e 6 m, P3 (FoFo – 600 mm) próxima a posição 8 m e P4 (FC – 200 mm) na posição 9 m. As informações colhidas neste perfil coincidem com as informações do perfil 7, quando usamos a antena de 200 MHz, excetuando-se a tubulação de PVC – 75 mm, pois a amplitude do sinal GPR não foi suficiente para que se pudesse chegar a uma conclusão exata da sua localização.

Após análise dos resultados obtidos nos radargramas das Figuras 10 e 11, concluí-se que os resultados fornecidos com a utilização da antena de 200 MHz são melhores que os fornecidos pela antena de 400 MHz, fato que fica evidente na Figura 10, já que os alvos procurados estão localizados a uma profundidade relativamente grande e são menos reflexivos, excetuando-se o FoFo – 600 mm, que é um bom refletor.

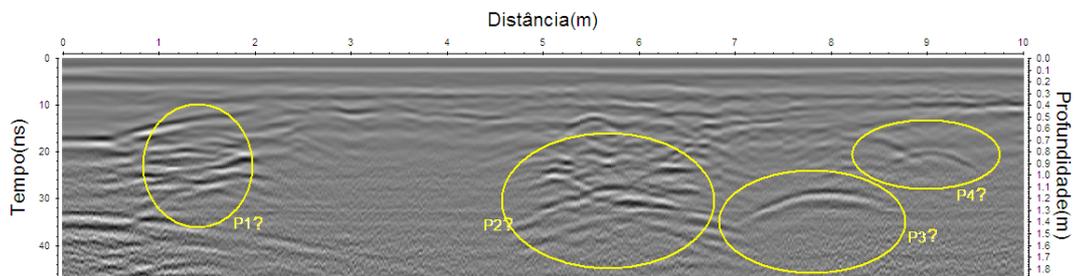


Fig. 11 – Radargrama do perfil 8, usando antena de 400 MHz. As reflexões hiperbólicas P1, P2, P3 e P4 devem representar, respectivamente, alvo indeterminado, manilha de esgoto, FoFo – 600 mm e FC – 200 mm.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro das perspectivas iniciais, propostas por este trabalho, o método GPR mostrou-se uma ferramenta eficaz na localização das tubulações utilizadas pela Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA, no abastecimento de água à população da área urbana do município de Belém-PA, pois dos 7 alvos pesquisados, apenas 1 não pôde ser plenamente identificado, em decorrência do material constituinte do alvo.

O alvo que não foi plenamente identificado pelas duas antenas de 200 MHz e 400 MHz, foi à tubulação constituída de PVC – 75 mm de diâmetro, haja vista o baixo poder reflexivo do PVC e a pequena dimensão do alvo.

O método GPR revelou-se muito eficaz na localização de alvos metálicos, pois, apenas um deles não foi identificado pela antena de 400 MHz, devido a sua maior profundidade e ao baixo poder de penetração da antena, menor que 2 m. Porém, esse alvo foi perfeitamente identificado pela antena de 200 MHz, que possui um poder maior de penetração.

Os perfis realizados com o intuito de localizar as tubulações de cimento-amianto, foram 100% cobertas de êxito, já que as tubulações feitas com esse material são armadas em estruturas feitas de metal, o que contribui para o seu poder reflexivo, pois o poder reflexivo do cimento-amianto é pequeno.

Por não ser o foco deste trabalho, as interferências provocadas pelas heterogeneidades presentes no solo não foram destacadas, exceto nos casos em que algum elemento superficial ou informação adicional, visualizadas em campo, permitiu sua descrição mais detalhada, como foi verificado no caso das manilhas de esgoto descritas nos perfis 3, 4, 7 e 8.

No que diz respeito à utilização das antenas, para um mesmo *range nr*, podemos concluir que a antena de 200 MHz destacou-se nos resultados obtidos, em comparação com a antena de 400 MHz, pois a mesma foi capaz de localizar todos os alvos metálicos, de cimento-amianto e os de PVC de maior dimensão.

O mesmo não ocorreu com a de 400 MHz, pois não foi capaz de localizar uma das tubulações metálicas, devido ela encontrar-se em profundidade maior que o poder de penetração da antena.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a José Joaquim Melo Rodrigues, engenheiro chefe de manutenção da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), pela contribuição no fornecimento das informações necessárias a realização dos perfis e pelos esclarecimentos, decorrentes das dúvidas surgidas ao longo deste trabalho.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Annan, A. P. (2001). *Ground Penetration Radar Workshop notes*. Sensors & Software, 197p.
- Annan, A. P. (1992). *Transmission dispersion and GPR*. Journal of Environmental and Engineering Geophysics. v.0, n.2, p. 125-136.
- Davis, J. L.; Annan, A. P. (1989). *Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy*. Geophysical Prospecting, v. 37, p.531-551.
- Olhoeft, G. R. (1981). Electrical properties of rocks, in *Physical Properties of Rocks and Minerals, in Touloukian, Y. S., Judd, W. R., and Roy, R. F., eds*. New York, McGraw-Hill, p. 257-330.
- Porsani, J.L. (2008). *Método GPR: Aplicações em geologia, geotecnia, meio ambiente e arqueologia*. Belém, PA, Apostila.
- Reynolds, J.M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons Ltd., Baffins Lane, Chichester. West Sussex P019 1UD, England, p. 681-749.
- Rijo, L. (2009). *Electrical Geophysics. 1-D Earth Direct Modeling*. Belém, 2004. 263 p. Disponível em: <www.rijo.pro.br>. Acesso em: 03 jul. 2009.
- Sandmeier, K.J. (2006). *REFLEXW Version 5.0, Windows 9x/2000/NT. Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data*. Germany, 478 p. (Manual do Software)
- Stratton, J. A. (1941). *Electromagnetic Theory*. New York: McGraw-Hill, 615 p.
- Van Dam, R. L. (2001). *Causes of ground-penetrating radar reflections in sediment*. 110 f. Thesis (Doctoral in Earth Sciences) – Vrije Universiteit, Faculty of Earth Sciences Amsterdam.