

Utilização do Radar de Penetração no Subsolo (GPR) na caracterização de armaduras em estruturas de concreto armado

Pedro Henrique Rocha¹ (IC)*, Antônio Lázaro Ferreira Santos¹ (PQ), Welitom Rodrigues Borges² (PQ).

¹Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curso de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Goiás (UEG), BR 153 KM 99, Anápolis Goiás, Brasil.

²Campus Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências, Curso de Geofísica - Universidade de Brasília (UnB).

Resumo: O método de radar de penetração no solo (GPR – Ground Penetrating Radar) consiste em obter uma imagem de alta resolução da subsuperfície, através da transmissão e reflexão de ondas de rádio de alta frequência (10 MHz – 2,5 GHz), visando localizar alvos no subsolo. No âmbito das estruturas de concreto, o método do Georadar possui várias aplicações, dentre elas: determinação da espessura do concreto, detecção/identificação de falhas de concretagem na estrutura, detecção de barras de aço, entre outros. O trabalho tem o objetivo determinar diferentes padrões de reflexões, utilizando-se do GPR, a fim de caracterizar os vergalhões presentes no interior da estrutura de concreto de uma placa experimental. Na aquisição de dados, realizado em uma placa de concreto, usou-se um sistema de GPR acoplado a uma antena blindada de 2600MHz. Os resultados obtidos com o GPR possibilitaram a identificação de padrões de reflexão característicos para as ferragens. Neste trabalho foi possível avaliar a aplicabilidade desse tipo de equipamento como ferramenta auxiliar à avaliação não destrutiva de estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: GPR. avaliação. ferragens. concreto.

Introdução

O radar de penetração no solo ou Ground Penetrating Radar (GPR) é um método que baseia-se em pulsos eletromagnéticos de curta duração e alta frequência central (Figura 1), geralmente contemplada na faixa de 10 a 3000 MHz, que são repetidamente irradiados para o subsolo através da antena transmissora. O registro contínuo de traços amostrados, ao longo de uma seção, gera um radargrama, que após a aplicação da rotina de processamento, converte-se em uma seção de alta resolução do meio.

*pedro.h070@gmail.com

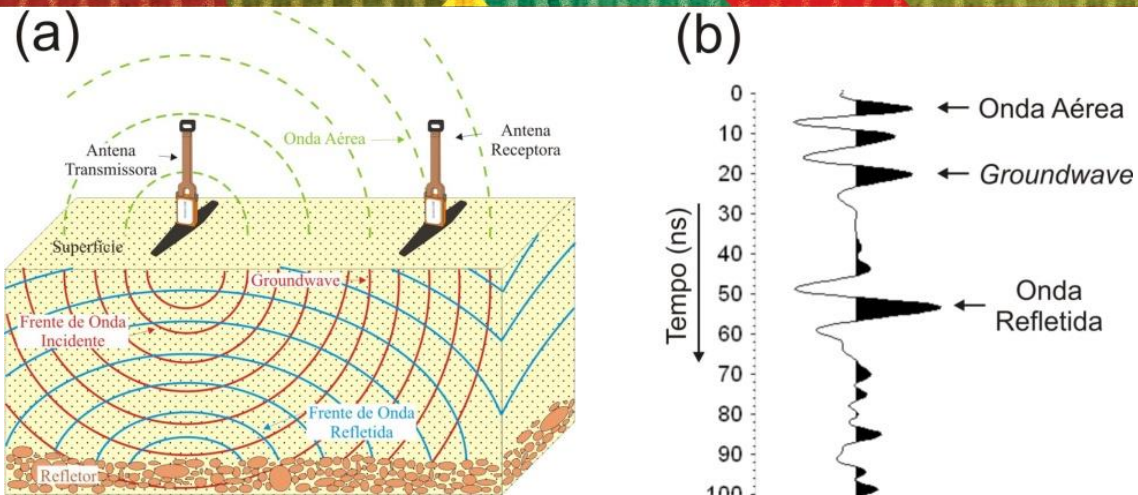


Figura 1 – (a) Diagrama de antenas GPR (modo biestático) ilustrando o comportamento das frentes de onda. (b) Traço esquemático mostrando as chegadas das principais frentes de onda do GPR. Fonte: (BORGES, 2007).

Durante o percurso dos pulsos no sentido descendente, eles vão perdendo amplitude e, à medida que atingem materiais de propriedades eletromagnéticas contrastantes entre si, sofrem reflexões, refrações e difrações, sendo, por consequência, parcialmente captados pela antena receptora (NUNES, 2002 apud ALVES, 2011).

Os primeiros registros do uso de sinais eletromagnéticos são de (HÜLSMEYER, 1904), que detectou a presença de objetos de metal enterrados no solo (HÜLSMEYER, 1904 apud DANIELS, 2004). Durante a década de 1960, pesquisadores utilizaram o método GPR na identificação de espessuras de placas de gelo, com o objetivo de controlar a altitude das aeronaves de pouso com segurança, com base no tempo duplo de viagem dos pulsos de radar, dessa vez no Ártico e na Antártida. Houve um aumento nas pesquisas, após a missão à Lua, por ocasião da nave Apollo 17 (ULRIKSEN, 1982). O GPR é destaque, dentre os métodos geofísicos, na investigação rasa pela sua portabilidade, praticidade, rapidez na aquisição de dados e agilidade no processamento. Como produto final, apresenta uma imagem de alta resolução com detalhes de ocorrências em subsuperfície, que auxilia na tomada de decisão por profissionais de diversas áreas.

Dentre os trabalhos realizados no Brasil, uma das primeiras aplicações do GPR no Brasil, com a finalidade de se avaliar as condições de estruturas de concreto, ocorreu no Rio Grande do Sul. Na situação, o objetivo era avaliar um deck de uma ponte de concreto com a possibilidade de existir falhas de concretagem ou

vazios devido ao uso de um concreto com trabalhabilidade reduzida. Essas falhas poderiam provocar sérios problemas de desempenho estrutural. Os resultados do radar demonstraram que a probabilidade de existência de vazios de grande porte, que compromettesse a capacidade estrutural do tabuleiro era muito pequena.

(MATOS, 2009) mostrou que a antena de 400 MHz tem uma aplicação muito boa para identificar barras de aço e zonas de vazio, mas também que é muito limitada para delimitar as dimensões e a localização precisa destes alvos.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo o levantamento e confecção de seções utilizando-se do radar de penetração (GPR) com uma antena de 2600MHz, tendo como experimento piloto, uma placa de concreto com a finalidade de se determinar a posição exata das barras de aço, seu espaçamento entre barras de aço e diâmetro.

Material e Métodos

Confecção da Placa Experimental:

O concreto utilizado nas placas foi dosado de acordo com Método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), cuja resistência característica à compressão (f_{ck}) é de 20MPa.

O traço do concreto utilizado de acordo com o Método de Dosagem da ABCP foi: 1: 1,87: 2,10 e $a/c = 0,56$.

Inseriu-se o concreto em uma forma metálicas de dimensão 70 x 50 x 5 cm (C x L x P) e em dois corpos de provas de dimensões 10 cm x 20 cm (Diâmetro x Altura).

Adicionou-se na placa experimental bolas de tênis de mesa, cujo interior possui ar, com a finalidade de representar um alvo de plástico, juntamente com vergalhões de diferentes diâmetros espaçados de 10 cm.

Da esquerda para a direita, as bitolas de aço inseridas foram 8mm, 10mm, 6.3mm, 10mm, 10mm, 6.3mm.



Figura 2- Vergalhões e bolas de tênis de mesa inseridos na placa experimental (acervo do autor).

A placa de concreto foi investigada através do GPR 14 dias após sua confecção. Para isso marcou-se linhas paralelas entre si e ortogonais ao menor lado da placa com o objetivo de marcar o traçado do equipamento. As linhas foram marcadas com distância de 3 cm. Optou-se por um espaçamento reduzido entre as linhas de investigação porque na placa estavam presentes alvos pontuais que poderiam não ser localizados com o espaçamento maior.



Figura 5 - Processo de aquisição das linhas para leitura com o GPR (fonte própria).

Processamento dos Dados:

Após a coleta dos dados brutos, utilizou-se o programa Reflexw, Version 7.5.9 (SANDMEIER, 2015) para processar os dados. As etapas para o processamento dos dados brutos, foram as seguintes:

- Ajuste do tempo zero: a onda emitida pelo equipamento GPR demora um certo tempo para alcançar a estrutura de investigação, este tempo altera a profundidade dos alvos investigados no radargrama. Isso foi corrigido por meio da função StaticCorrection no software, na qual por meio da janela wiggle window se marca o primeiro pulso registrado;
- Filtragem de ruído instrumental de baixa frequência (DEWOW): este filtro foi utilizado para eliminar grande parte de frequências baixas relacionadas à saturação do sistema. Para isso, o intervalo da janela temporal foi ajustado para o tamanho do pulso principal;
- Remoção de ruído coerente (background removal): esta função foi utilizada como parte da filtragem 2D. Aplicou-se esta filtragem para todo o perfil em análise.

- Ganho (AGC-Gain): foi aplicada a função Automatic Gain Control para uma janela temporal de 2 ns, que consiste do tempo aproximado onde está localizada a placa experimental, considerando uma escada de ganho de 1,5.

Por meio do tratamento dos dados, foram gerados os perfis de investigação das placas, e assim, pode-se avaliar a capacidade de investigação do GPR diante dos problemas propostos.

Resultados e Discussão

É mostrado na Figura 6, modelo representativo da placa experimental evidenciando em vermelho a linha de pesquisa escolhida para análise dos dados. Nesta placa foram inseridos alvos plásticos juntamente com vergalhões.

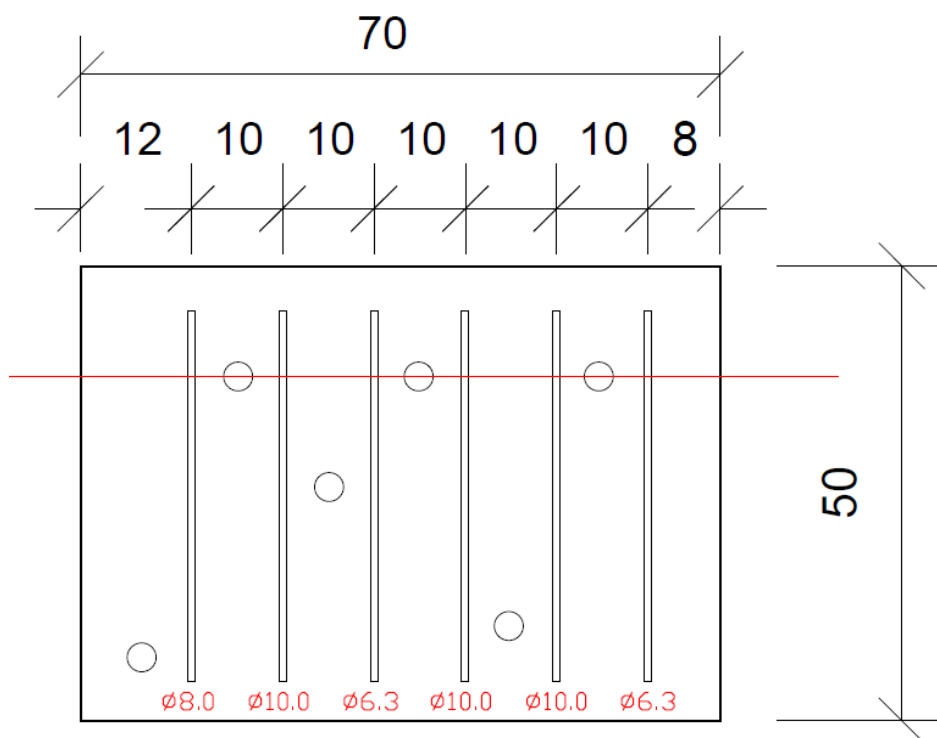


Figura 6 - modelo da placa evidenciando em vermelho a linha de pesquisa escolhida (acervo do autor).

Após o processamento do perfil evidenciado acima através software ReflexW, gerou-se o radargrama da Figura 8.

É observado na Figura 8 que, tanto os vergalhões como as bolinhas de plástico foram facilmente identificadas no perfil de reflexão. Os seis vergalhões são representados pelas hipérboles mais fortes, com cor branca, já as três bolinhas de plástico são evidenciadas pelas hipérboles com brilho mais fraco, em cor preta.

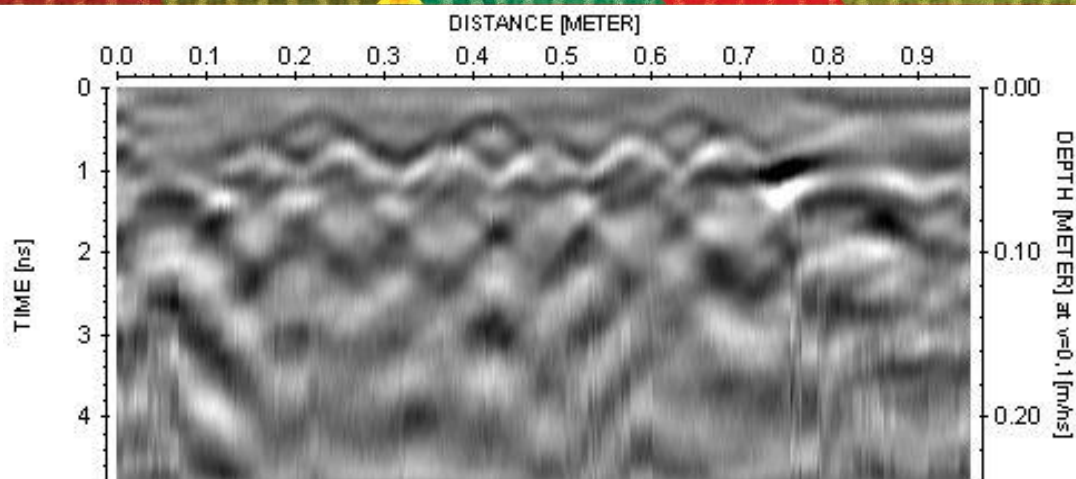


Figura 1 - radargrama após processamento (Fonte: exportado do ReflexW).

É evidenciada na Figura 9, a localização de forma mais precisa das hipérboles geradas por cada alvo.

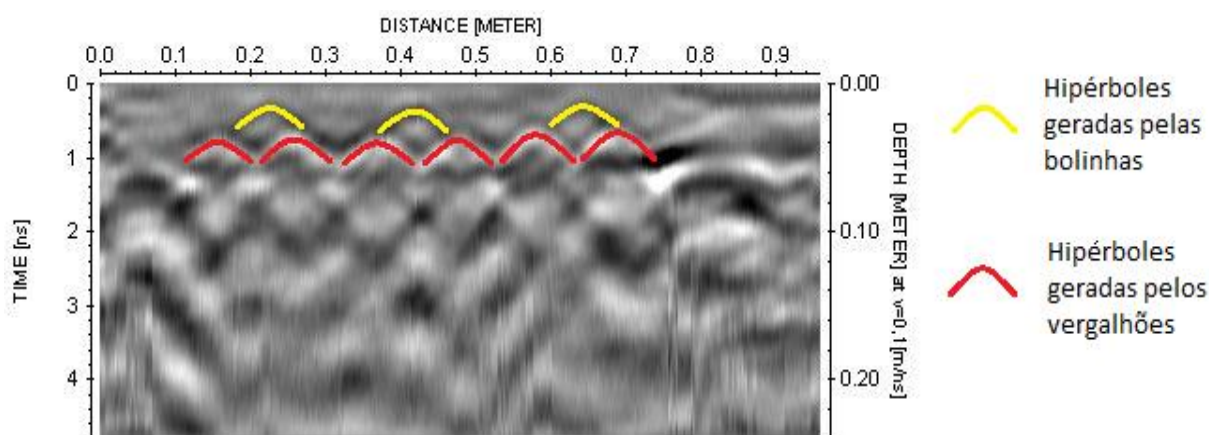


Figura 9 - radargrama após processamento, em amarelo hipérboles geradas pelas bolinhas e, em vermelho as hipérboles geradas pelos vergalhões (Fonte: exportado do ReflexW).

De acordo com (GSSI, 2001), o formato de hipérboles dos alvos é evidenciado, quando a antena cruza com tubos, cabos, vergalhões em um ângulo. O resultado poderá ser um “U” ou “V” invertidos, uma hipérbole é o termo de descrição para essa forma. Isso acontece porque o feixe de radiação da antena tem a forma de um grande cone, assim o radar pode ver o alvo não somente quando está no topo, mas também em muitos scans antes e depois da posição. A forma de hipérbole revela a antena se aproximando do alvo e então se afastando. Seu cume é exatamente onde o alvo está. Sendo que objetos metálicos produzem reflexões claras e fortes, enquanto tubulação de PVC, por exemplo, terá a mesma forma, mas com amplitude mais baixa. O fato do radargrama das figuras apresentarem a forma

de uma hipérbole, corrobora para hipótese mencionada pela GSSI, fabricante do equipamento.

O espaçamento das barras pode ser evidenciado na figura a seguir, na qual o radargrama exportado do software ReflexW indica no eixo x a distância horizontal e no eixo y a profundidade, ambos em metros.

A partir da informação que o cume da hipérbole representa a posição da barra de aço marcou-se a posição do vergalhão de aço e estendeu-se uma linha de chamada até o eixo de coordenadas para se obter de modo mais preciso a distância entre as barras.

Dessa forma, notou-se que dois espaçamentos apresentaram a distância exata esperada, e que os demais apresentaram uma pequena variação em relação ao esperado (10 cm), sendo dois com um acréscimo de 1 cm e outro com uma variação de 0,5 cm.

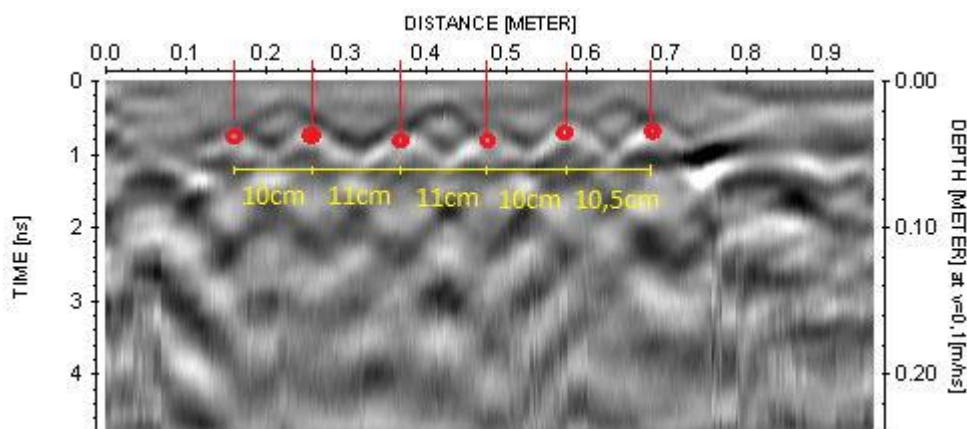


Figura 10 - radargrama após processamento, evidenciando o espaçamento obtido através da interpretação do radargrama (Fonte: exportado do ReflexW).

Esta variação notada corresponde à pequenos erros na medição com trena durante a montagem da placa, visto que é improvável que as barras tenham sido espaçadas com a distância exata de 10 cm, podendo haver pequenas variações, o que é típico de qualquer procedimento experimental.

Outro motivo para esta variação é o fato da marcação da posição do pico das hipérboles no radargrama serem realizadas de modo manual, com auxílio de ferramentas gráficas, o que pode culminar com um acréscimo neste erro, mas que não compromete os resultados.

Portanto, nota-se uma grande precisão do método na determinação do espaçamento entre barras, com uma precisão de 1 cm.

Por outro lado, não foi possível a determinação dos diâmetros das barras de aço como esperado. As hipérboles geradas não apresentaram aberturas muito distintas, de modo que fosse possível a separação das barras de aço por diâmetro.

Um dos motivos para essa não distinção de diâmetros é a pequena diferença entre as bitolas (6.3mm, 8mm e 10mm). Imagina-se que se houvesse uma variação maior de bitolas, por exemplo 16mm, 20mm, seria possível fazer a distinção.

Assim, nota-se que a antena de 2600MHz apresenta precisão de 1cm na detecção de alvos, na qual uma precisão da ordem de milímetros deve ser adquirida com antenas com frequência ainda maiores.

Considerações Finais

Verificou-se que a antena de 2600 MHz, utilizada na pesquisa tem grande aplicação para estruturas de concreto armado, revelando-se ideal na detecção da posição de vergalhões no interior da estrutura, com precisão de 1 cm. Por outro lado, essa antena não foi capaz de diferenciar os diâmetros dos vergalhões, cujas diferenças são da ordem de milímetros. Para essa aplicação é necessária uma antena com frequência maior, sendo esta a sugestão para futuros trabalhos na área.

Assim, atingiu-se com sucesso o objetivo global, que era avaliar o potencial de aplicação do método GPR por meio de uma antena de 2600 MHz em estruturas de concreto armado, mostrando-se bastante útil e prático, pois é método não destrutivo e de baixo custo.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo suporte à pesquisa concedido e ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) pelo fornecimento do equipamento para que este trabalho fosse possível de ser realizado.

Referências

BRANDWOOD, D. Fourier Transforms in Radar and Signal Processing. **artech house**, London, p. 212p., 2003.

COOK, J. C. **Proposed monocycle-pulse very-high-frequency radar for air-born ice and snow measurement.** [S.l.]: AIEE Comm. Eletron, 1960.

GRANDJEAN, G.; BITRI, A. G. J. &. Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site, p. 141-156, 2000.

GSSI. **Handbook for Radar Inspection of Concrete.** [S.l.]: [s.n.], 2001.

MATOS, O. S. Jr. **Modelagem e levantamento GPR em estruturas de concreto com antena de 400 MHz.** 53p. Monografia (Graduação em Geofísica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

MESSINGER, J. Effective automatic picking of travelttime data with high precision. **Delft**, The Netherlands, p. 4p, 2004.

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

PORSANI, J. L. Ground Penetrating Radar (GPR): proposta metodológica de emprego em estudos geológicos-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado-SP, Rio Claro, p. 145p., 1999.

PORSANI, J. L. et al. O sítio controlado de geofísica rasa do IAG/USP: instalação e resultados GPR 2D-3d. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, p. 43-61, 2006.

SANDMEIER, K.J. **Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data.** Manual do Software 03, Karlsruhe, Germany, 2015.