

GPR Aplicado na Investigação de Pavimentos

Vicente Luiz Galli (IPT), Rubens Vieira (IPT), Cauê Lopes Alencar (IPT)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This paper presents the results of a research related to the feasibility of using the SIR 3000 radar system with 2.6 GHz antenna to investigate the pavement structure focused on identifying the interfaces between the pavement layers made of different materials as well as to determine the thicknesses of these layers. The results showed the efficacy of the GPR method for the present application.

Introdução

O radar tem sido usado com sucesso na engenharia de pavimentos para determinar as espessuras das camadas de asfalto bem como as espessuras da base e da sub base dos pavimentos.

Os equipamentos de radar dedicados à engenharia de pavimentos são transportados por veículos que fazem a aquisição dos dados em movimento com velocidade de até 90 km/h obtendo registros contínuos em duas dimensões (2D). Os softwares utilizados no processamento dos dados são totalmente automáticos e o resultado é quase imediato. No entanto o investimento necessário para aquisição desse aparato (equipamento e software) pode superar U\$150 mil quantia esta um pouco elevada para a pouca demanda de solicitações desse tipo de serviço de muitas empresas.

Neste trabalho são apresentados os resultados de uma pesquisa relacionada a viabilidade de se usar o sistema de radar SIR 3000 com antena de 2,6 GHz para os propósitos de avaliação de obras de pavimentação.

Método

O ensaio com radar *GPR* (*Ground Penetrating Radar*) é uma técnica não destrutiva que permite investigar a sub superfície por meio da transmissão e reflexão de ondas eletromagnéticas pelo material analisado. A velocidade dessas ondas varia em função das propriedades dielétricas do material, o que possibilita a detecção de descontinuidades como, por exemplo, a interface entre a camada de material betuminoso e material granular e a delimitação entre material granular e solo de fundação, no caso de pavimentos flexíveis.

Na área de pavimentos o ensaio de radar é executado com base nas diretrizes da norma ASTM D4748 (2010).

A Figura 1 ilustra o esquema de obtenção dos dados de radar sobre um pavimento e o registro de um traço ao longo do tempo.

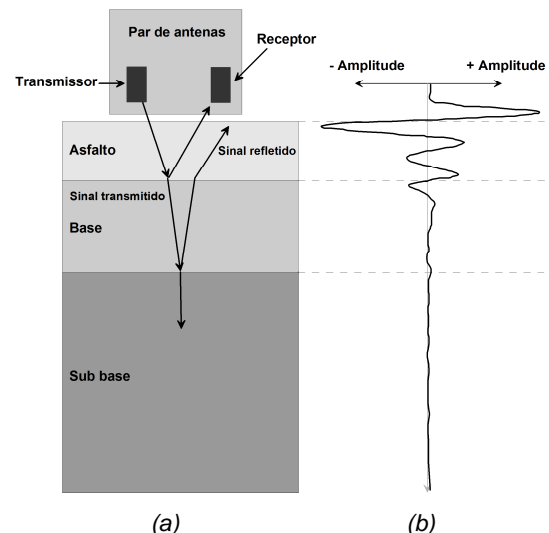


Figura 1 – Ilustração da aquisição de dados com o radar sobre pavimento. (a) Representação esquemática da estrutura do pavimento, (b) Registro de um traço.

Trabalhos Realizados

Os trabalhos foram conduzidos segundo a seguinte sequência de atividades:

- Geração de seções de radar teóricas a partir de modelos de estruturas de pavimentos constituídos de diferentes camadas;
- Execução de ensaios de radar em local em que as camadas constituintes do pavimento são conhecidas a fim de balizar e validar os estudos teóricos;
- Aplicação prática do ensaio de radar em obras de pavimentação.

Modelamento Teórico

Inicialmente foi feita uma simulação da resposta a ser obtida com o radar quando o alvo investigado for um pavimento constituído por quatro camadas de materiais diferentes, sendo a primeira camada de asfalto, com espessura variando de 10 cm a 1 cm, a segunda camada de brita, com espessura de 10 cm, a terceira camada de solo-arenoso com espessura de 20 cm; e a quarta camada de areia com espessura acima de 40 cm.

Foram geradas seções de radar teóricas para duas situações: 1) antena colocada em contato com a

superfície do pavimento; 2) antena colocada afastada de 20 cm da superfície do pavimento.

A Figura 2 ilustra o modelo do pavimento, a Figura 3 mostra a seção de radar gerada com antena colocada em contato com a superfície do pavimento, a Figura 4 apresenta o modelo do pavimento com a antena suspensa e a Figura 5 mostra a seção de radar gerada com antena colocada afastada da superfície do pavimento.

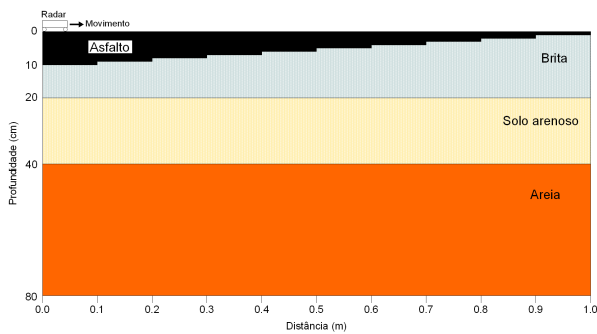


Figura 2 – Modelo de pavimento constituído por quatro camadas: 1- asfalto, com espessura variando de 10 cm a 1 cm, 2- brita, com espessura de 10 cm, 3- solo-arenoso com espessura de 20 cm; e 4 – areia com espessura acima de 40 cm.

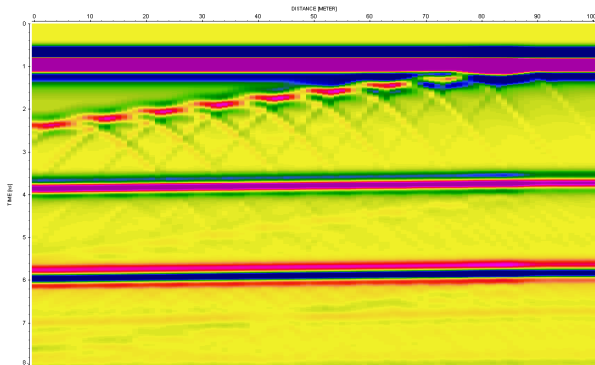


Figura 3 – Seção de radar teórica gerada com antena em contato com o pavimento do modelo apresentado na Figura 2.

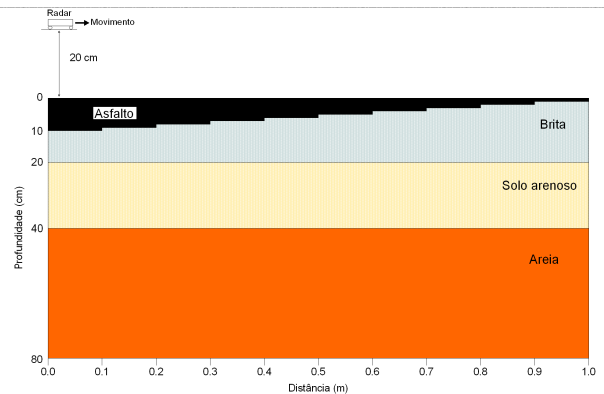


Figura 4 – Modelo de pavimento constituído por quatro camadas: 1- asfalto, com espessura variando de 10 cm a 1 cm, 2- brita, com espessura de 10 cm, 3- solo-arenoso com espessura de 20 cm; e 4 – areia com espessura acima de 40 cm.

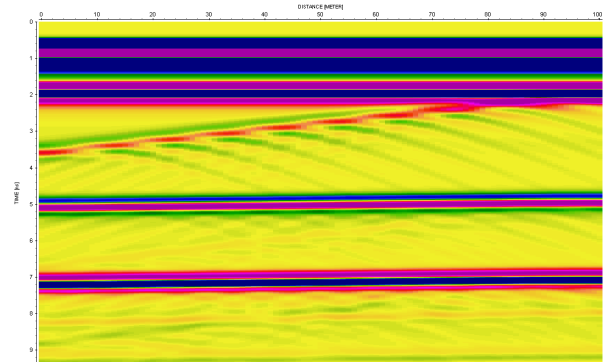


Figura 5 – Seção de radar teórica gerada com antena afastada de 20 cm do pavimento do modelo apresentado na Figura 4.

Os resultados obtidos no modelamento teórico mostram que as interfaces entre as diferentes camadas detectadas com o radar colocando a antena em contato com o pavimento também são detectadas pelo radar quando a antena é colocada suspensa, no caso, afastada de uma distância de 20 cm do pavimento.

Nota-se também nas seções teóricas que camadas com espessuras inferiores a 2,5 cm não são possíveis de serem quantificadas com o ensaio de radar com antena de 2,6 GHz.

Ensaio com radar em local de pavimento controlado

Com intuito de verificar os resultados de simulação foram feitas aquisições de dados de radar em um pátio de estacionamento (Foto 1) em que as camadas do pavimento estavam à mostra de forma a ser possível visualizar, fotografar e medir suas espessuras (Foto 2).

Utilizou-se um sistema de radar SIR-3000 com antena de 2,6 GHz montada sobre um carrinho para mantê-la suspensa e afastada de 23 cm do pavimento. O espaçamento entre os registros foi de 2,5 mm.



Foto 1 – Ensaio com radar no pátio do estacionamento.



Foto 2 – Camadas do pavimento do pátio do estacionamento mostrando a capa asfáltica, a camada de brita graduada tratada com cimento, a camada de brita graduada simples e a camada de solo compactado.

Os dados de radar foram processados com o software Reflexw versão 8.2 (SANDMEIER, 2016) e o resultado obtido é apresentado na Figura 6.

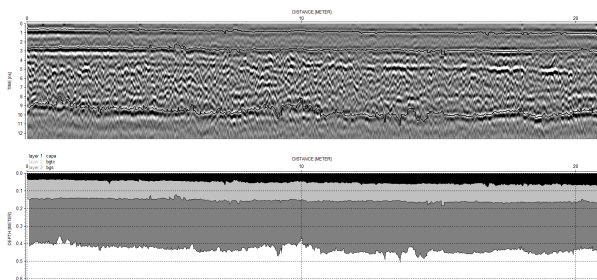


Figura 6 – Seção de radar interpretada realizada no pátio do estacionamento utilizando antena de 2.6 GHz colocada a 23 cm de distância acima da superfície do pavimento.

A Figura 7 ilustra uma montagem das camadas interpretadas na seção de radar com uma foto das camadas medidas no local.

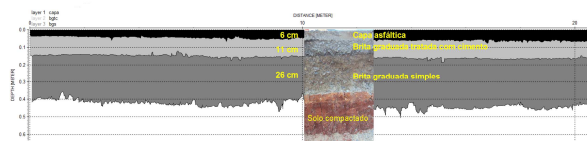


Figura 7 – Montagem ilustrativa das camadas interpretadas na seção de radar com foto das camadas medidas no local.

Nota-se na Figura 7 a concordância das espessuras das camadas interpretadas na seção de radar com as espessuras medidas no local tanto da camada da capa asfáltica de 6 cm como a da camada de brita graduada tratada com cimento de 11 cm e da camada de brita graduada simples de 26 cm.

Aplicação do ensaio com radar com antena suspensa

Uma aplicação do ensaio com radar utilizando a antena de 2,6 GHz montada sobre um carrinho rebocado por uma bicicleta e afastada de 23 cm da superfície do pavimento foi realizada na Av. Prof. Almeida Prado na USP.

A Foto 3 ilustra a aquisição dos dados de radar e a Figura 8 apresenta o resultado obtido.



Foto 3 – Aquisição de dados de radar com antena de 2.6 GHz montada sobre carrinho rebocado por bicicleta.

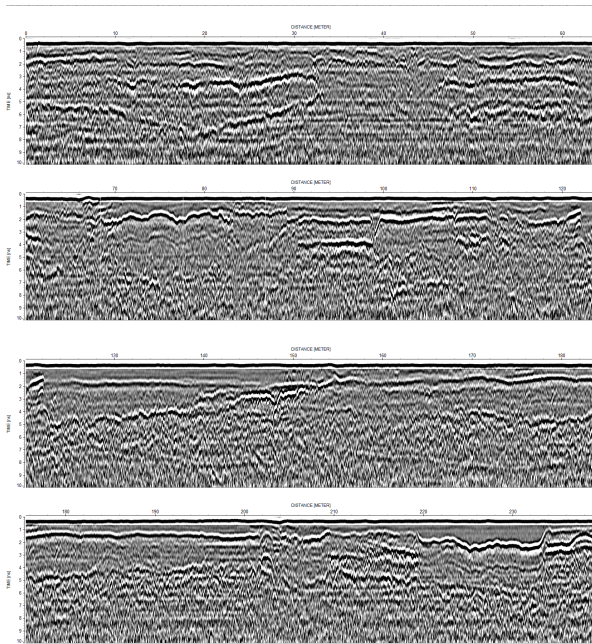


Figura 8 – Seção de radar com 239 metros de extensão realizada na Av. Prof. Almeida Prado na USP com antena de 2.6 GHz montada sobre carrinho e colocada a 23 cm de distância acima da superfície do pavimento e rebocada por uma bicicleta.

A Figura 9 mostra a seção de radar interpretada para o trecho final da avenida. O processamento envolveu a leitura do arquivo digital, correção do tempo zero, aplicação de filtros e identificação das interfaces.

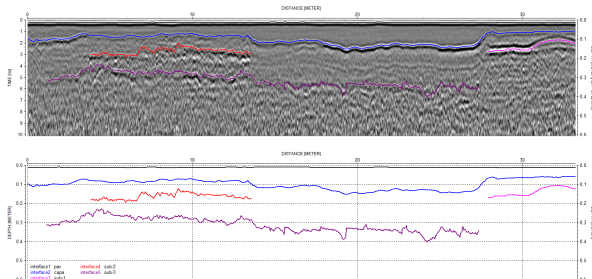


Figura 9 – Seção de radar interpretada do trecho final da Av. Prof. Almeida Prado na USP.

Conclusões

No presente trabalho pôde-se com o método de radar identificar as interfaces entre as camadas do pavimento constituídas de materiais diferentes bem como determinar as espessuras dessas camadas.

O modo de aquisição dos dados mantendo a antena do radar suspensa e não em contato com a superfície do pavimento mostrou ser eficaz com uma coleta de dados contínua com maior rapidez e menor desgaste do equipamento sem que haja, no entanto, perda de qualidade dos dados.

A investigação de pavimentos por meio do ensaio não destrutivo com radar possui um grande potencial de ser utilizado em pequenas obras de infraestrutura.

Referências

- ASTM D4748, (2010). Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar. 7p.
- Geophysical Survey Systems, Inc - GSSI. 2011. SIR System-3000 Manual. 91p.
- Galli, V. L., Guirardi, D. M., Bressan, D. L. (2014). GPR Aplicado na Localização de Armadura em Estrutura de Concreto. VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre.
- Galli, V. L., Guirardi, D. M. (2014). Uso do Radar no Desenvolvimento de Técnicas de Prospecção de Armadura em Estruturas de Concreto. VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre.
- Galli, V. L., Guirardi, D. M., Bressan, D. L. (2015). GPR - Imageamento 3D Aplicado na Investigação de Armaduras em Concreto. 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.
- Giannopoulos, A. (2005). GPRMAX2D/3D – Electromagnetic simulator for Ground Penetrating Radar – version 2.0 – User’s Manual, D.Phil thesis. Department of Electronics, University of York, UK.
- Sandmeier, K.J. (2016) Reflexw – Program for processing of electromagnetic reflection, refraction and transmission data – version 8.2. Germany.
- Tillard, S., Dubois, J.C. (1995) Analysis of GPR Data: Wave Propagation Velocity Determination. Journal of Applied Geophysics, 33, p. 77-91.
- Vieira, R., Gandolfo, O.C.B. (2013). Investigando a estrutura do pavimento por método não destrutivo (GPR). 42º RAPV