

APLICAÇÃO DO GEORADAR EM PROTÓTIPO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL - SÍTIO GEOFÍSICO DA UEG - ANÁPOLIS / GO

241

APPLICATION OF GROUND PENETRATING RADAR IN FLEXIBLE PAVEMENT PROTOTYPE, GEOPHYSICAL SITE, UEG - ANÁPOLIS / GO

Prof. Dr. ANTÔNIO LÁZARO FERREIRA SANTOS
Universidade Estadual de Goiás, Campus Central, Anápolis / GO
antoniolazaros@gmail.com

ISADORA GUIMARÃES BATISTELA
Graduada em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás,
Campus Central, Anápolis / GO
isadora226@hotmail.com

Prof. Dr. TULE CÉSAR BARCELOS MAIA
Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental,
Goiânia / GO
tulebarcelos@gmail.com

Resumo: A interpretação de dados de investigações geofísicas rasas pode ser complexa devido às incertezas a respeito dos alvos em subsuperfície. Para reduzir as ambiguidades e auxiliar a interpretação dos dados geofísicos de superfície foi instalado no Campus da UEG o Sítio controlado de geofísica rasa aplicada à Engenharia SCGR-ENG da UEG. O presente trabalho apresenta os resultados da aplicação do Geofísico através do método GPR, como Método Não Destrutivo, na definição da espessura do sistema de pavimento asfáltico. A aplicação do GPR nas frequências de 2000 MHz e 900 MHz apresentou resultados eficazes na validação no processo construtivo de pavimentos.

Palavras-chave: Sítio controlado de geofísica rasa aplicada à Engenharia. Georadar. Pavimento asfáltico.

Abstract: The data interpretation from shallow geophysical survey can be complex because the uncertainty about subsurface targets. To reduce the ambiguity and help in the interpretation of geophysical data, the Shallow Geophysical Test Site of UEG-CCET was installed inside the Câmpus at UEG. The present work presents the results of the application of the Geophysicist through method GPR, as Non destructive method, in the definition of the thickness of the asphalt pavement system. The application of the GPR in the frequency of 2000 MHz and 900 MHz presented effective results in validation in the pavement construction process.

Keywords: SCGR-ENG, Shallow Geophysical Test Site. GPR-Ground Penetrating Radar. Asphalt pavement.

Introdução

Os fundamentos advindos do estudo de pavimentos flexíveis são de suma importância e aplicabilidade em várias áreas, visto que, no Brasil, os pavimentos asfálticos constituem mais de 95% das rodovias do país. A obtenção de variadas informações do subsolo e do

revestimento do pavimento pode ser feitas por métodos de verificação direta no campo ou por meio de investigações indiretas.

Os métodos diretos são conhecidos como métodos destrutivos, pois necessitam fazer aberturas no pavimento para retirada de amostras para análise e investigação. Já os métodos geofísicos, não destrutivos, em destaque o *Ground Penetrating Radar* (GPR), de características não invasivas e baixos custos de operação, vêm mostrando bons resultados e sendo amplamente utilizados em estudos em engenharia, para mapeamento de estruturas enterradas em subsuperfície (tubulações, caixas, etc), como também, para caracterização de estruturas diversas; como as de revestimentos flexíveis e rígidos, proporcionando a identificação de rupturas e irregularidades normalmente ocorrentes (CASTRO *et al.*, 2011).

Estudos recentes mostram bons resultados do método GPR na identificação de espessuras de revestimentos (SOUZA *et al.*, 2022; MARECOS *et al.*, 2018; FONTUL *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2017; MARECOS *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2016) na identificação de manta de impermeabilização e da espessura do concreto secundário. Neste contexto, visando à aplicação do método GPR em protótipo de pavimento flexível, na área do Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo da Universidade Estadual de Goiás (UEG) em Anápolis, Goiás, iniciou-se em 2014, os primeiros trabalhos de geofísica aplicada a engenharia civil, com o intuito de determinar as espessuras das camadas do pavimento da rodovia do Câmpus (SANTOS *et al.*, 2015).

Em 2018, visando ampliar os estudos de geofísica rasa, foi proposta a criação de um Sítio Controlado de Geofísica Rasa Aplicada a Engenharia (SCGRA-ENG) em parceria com o Tribunal de Contas do Estado de Goiás, com o intuito de subsidiar fiscalizações de obras públicas.

Com a instalação do SCGRA-ENG, foi dado um importante passo para melhorar o conhecimento relativo às respostas geofísicas de alvos rasos como os encontrados nos estudos de engenharia. O presente trabalho, apresenta os resultados da utilização do GPR como Método não destrutivo (MND), para a definição da espessura e estrutura de um protótipo de revestimento na área do SCGRA-ENG, a fim de verificar o grau de detalhamento e resolução do método geofísico.

Metodologia

243

O pavimento flexível situa-se na área do sítio geofísico da UEG, Campus Central - CET, figura 1, na cidade de Anápolis, mais precisamente na região sudeste do Estado de Goiás, meridiano 719000 de longitude oeste de Greenwich e o paralelo 8187600 de latitude sul, (Datum WGS-84), próximo à rodovia BR-153 (SILVA, 2019).

Para a construção do pavimento, o solo foi escavado utilizando uma retroescavadeira. É representada na figura 2, a composição adotada para o experimento de acordo com a norma do DNIT (2006), que classifica os pavimentos, com as camadas típicas de Revestimento, Base, Sub-base e Subleito.

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Fonte: Google Earth Pro, WGS-84 UTM, organizado pelos autores.

Neste contexto, a estrutura da seção dos pavimentos em estudo, foi constituída com as seguintes camadas:

- **Revestimento:** camada constituída pela junção de duas placas asfálticas de 110 cm x 41 cm x 03 cm;
- **Base:** Esta é composta de material granular, com espessura de 27 cm, bem compactada. Nesta camada há uma desconformidade causada por um cano PVC (50 mm de diâmetro), este possui abertura em sua extensão que permite a introdução de água em meio a camada de brita. Este tem como função simular galerias de água pluvial e esgotamento sanitário;
- **Sub-base ou Colchão Drenante:** Constituído por brita 01 e uma camada de geomanta (localizada acima da brita), possui espessura total de 10 centímetros e tem como função drenar a água entre as camadas e impedir a passagem de finos para as camadas posteriores; e,
- **Subleito:** Formado pelo próprio solo disposto na fundação da cava aberta no talude natural. Segundo Santos *et al.* (2019) este se caracteriza por um Plintossolo Pétrico Concrecionário, bem compactado, de característica granular.

Figura 2 - a) Subleito mais camada de brita 01; b) Sub-Base (brita 01 mais geomanta com tubo PVC); c) Solo granular compactado; d) Pavimento com revestimento asfáltico.

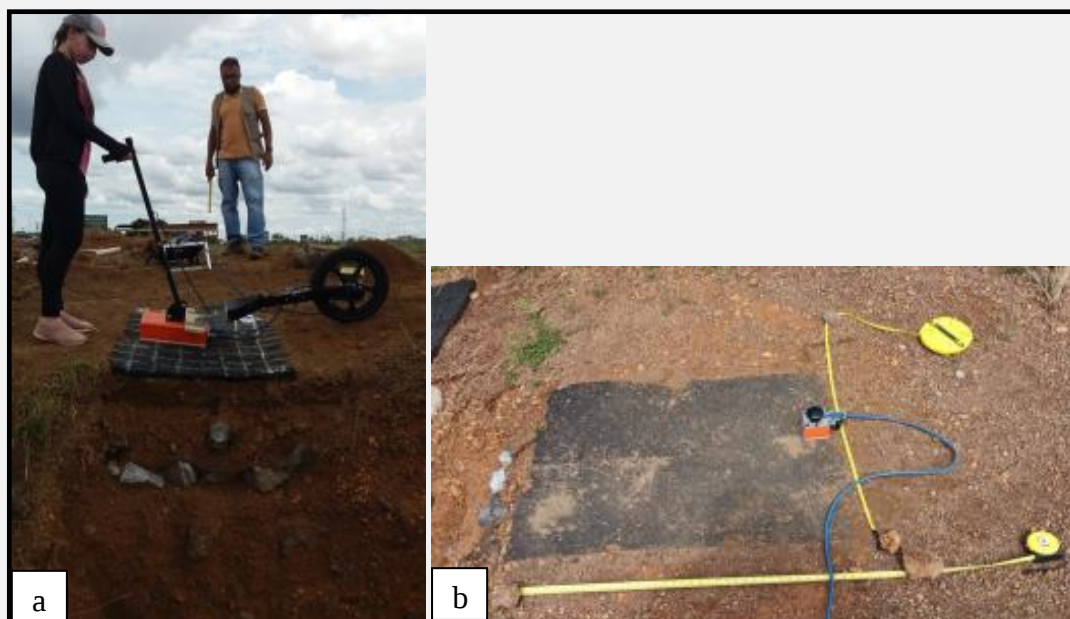


Fonte: Autores.

O modelo de equipamento GPR utilizado no levantamento de dados deste estudo foi da marca GSSI, modelo SIR 4000, figura 3, utilizando antenas blindadas do tipo Bi-estáticas, de 900 MHz e de 2000 MHz, as quais apresentam melhores resoluções do sinal. As aquisições dos dados foram realizadas com amostragens a cada 10 cm e a cartografia 2D e 3D, da área

estudada integrada à aquisição dos dados, por meio do *software de processamento* RADAN 7, da GSSI (2018).

Figura 3 - Orientação da coleta de dados em campo utilizando o SIR 4000 e as antenas de 900 (a) MHz e 2000 MHz (b).



Fonte: Autores.

Todos os dados de GPR produzidos foram filtrados antes da interpretação para corrigir o deslocamento do sinal causado pela interface ar-terra e amplificar o sinal recebido. O objetivo da filtragem é melhorar a extração de informações dos sinais recebidos e produzir uma imagem de subsuperfície incluindo todas as características de interesse, a fim de facilitar a interpretação dos dados do GPR. Os dados foram processados com o software Radan 7.

A obtenção de um padrão representativo do local estabeleceu-se em função dos valores totais medidos e das variações das características físicas de cada material. Os valores representativos da área, desta forma, foram obtidos por meio do processamento e correlação com os dados diretos de campo.

Os valores dos parâmetros usados na etapa do processamento dos radargramas gerados com as antenas de 900 MHz e 2000 MHz estão dispostos na tabela 2, respectivamente.

Tabela 2 - Etapas do processamento dos radargramas gerados com as antenas de 900 MHz e 2000 MHz.

ETAPAS DO PROCESSAMENTO DOS RADARGRAMAS			
		Antena-900MHz	Antena-2000MHz
Correção do tempo zero	<i>Position Corrcetion</i>		
	<i>Shift (ns)</i>	0,28	12,48
		-0,08	-0,80
		0,02	0,52
Filtragem	<i>IIR Filters</i>		
	<i>Vertical (MHz)</i>		
	<i>High Pass</i>	225	400
	<i>Low Pass</i>	1800	5295
	<i>Noise Band Removal</i>		
	<i>Algorithm</i>	Full Scan Band	Full Scan Band
	<i>FIR Filters</i>		
	<i>Design</i>	BOXCAR	BOXCAR
	<i>Horizontal (MHz)</i>		
	<i>Tipo</i>	STACKING	STACKING
Migração / Correção tempo - profundidade	<i>Width of (nº de scans)</i>	93	33
	<i>Speed (m/ns)</i>	0,082	0,01
Aplicação de Ganhos	<i>Range Gain (L)</i>		
	<i>#Of Points (nº de pontos)</i>	1	1
	<i>Gain 1</i>	4	4

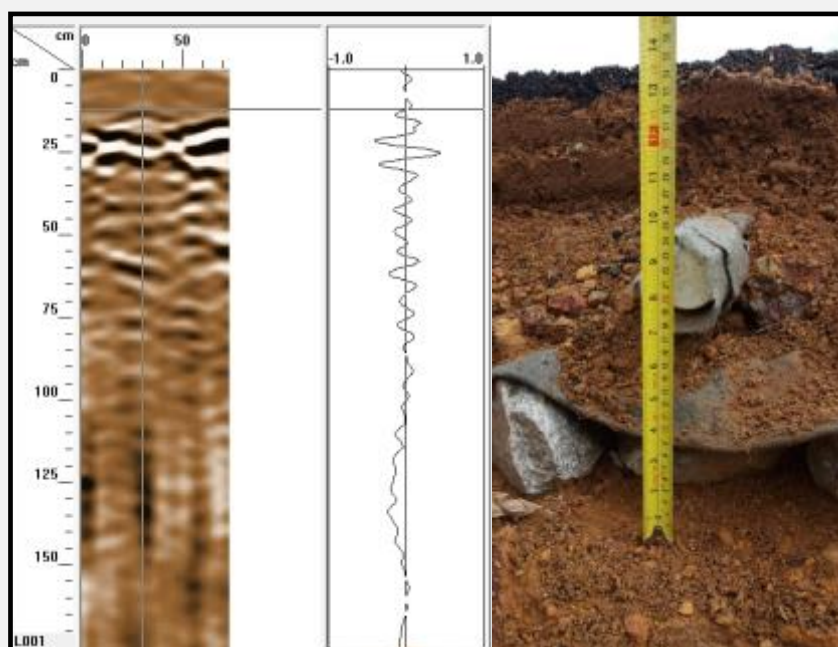
Fonte: Autores.

Resultados e discussão

Os perfis analisados foram determinados por malha geofísica de 10 cm em 10 cm de espaçamento. Os perfis paralelos ao eixo X tem uma extensão 75 cm e os perfis paralelos ao eixo Y tem extensão de 100 cm. Para a identificação dos refletores presentes nos radargramas

utilizou-se da metodologia proposta por Brito *et al.* (2018), a partir das diferentes camadas das radarfacies visualizadas no imageamento. Na Figura 4, observa-se que a primeira camada, do revestimento, não apresentou diferenciação visual expressiva quando comparada a camada da base, causando no imageamento uma uniformidade visual entre o solo granular compactado e a placa asfáltica. Notou-se assim, nestas condições específicas, a limitação da antena de 900 MHz para identificar capa asfáltica com 3 cm.

Figura 4 - Radargrama com a antena de 900 MHz, com as diferentes espessuras das camadas superiores do pavimento em a) perfil 2D e b) foto do pavimento.



Fonte: Autores.

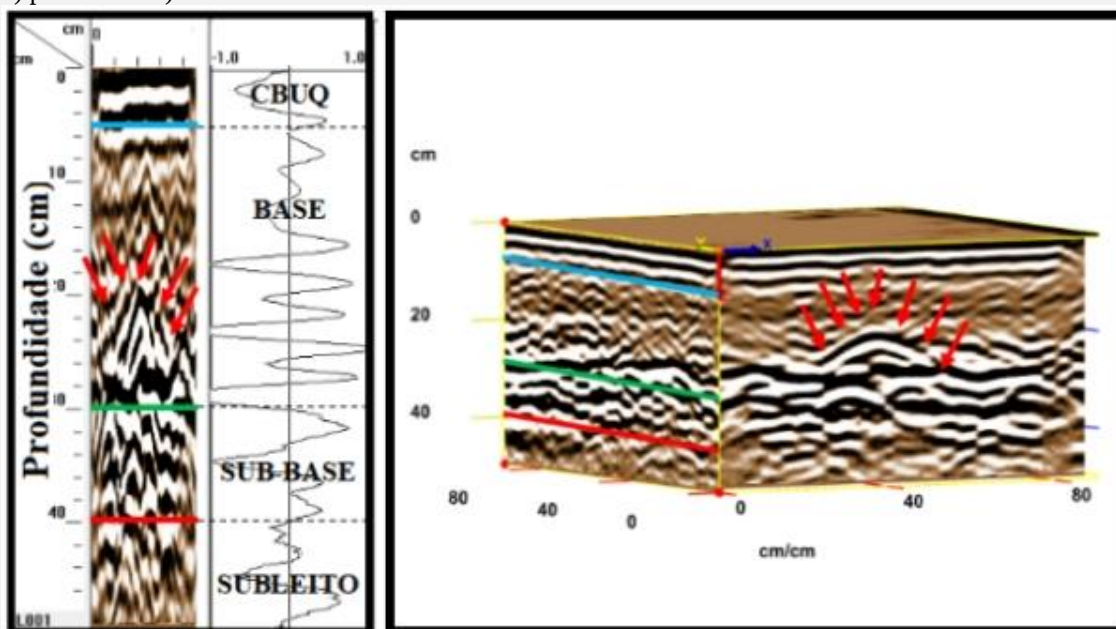
A camada da base, constituída pelo solo granular bem compactado, classificado de acordo com os estudos de Santos *et al.* (2019), como um Plintossolo Pétrico Concrecionário com espessura de 27 cm. Esta apresentou no imageamento a 27 cm de espessura, de base mais capa asfáltica, localizada na profundidade de 30 cm (figura 4) refletores horizontais, paralelos e contínuos. A camada da sub-base, composta por brita 01 e geomanta, apresentou no radargrama processado uma espessura de 10 cm, localizada na profundidade de 40 cm. Nesta há um alto contraste (reflexos positivos e negativos), causado provavelmente pela presença de vazios. O tubo de PVC a profundidade de 10 cm é representada por forte refletor hiperbólico

na parte superior e sua parte inferior era caracterizado por uma reverberação do sinal refletido dentro do tubo.

É observado o radargrama, figura 5, gerado pela antena de 2000 MHz, o contato entre o revestimento asfáltico e as demais camadas, superando a limitação encontrada com a antena de 900 MHz, visto que esta antena possui alta resolução de imageamento em alvos com profundidades inferiores a 2,5 cm. O formato nítido da hipérbole (setas vermelhas), resultante de uma descontinuidade (alvo) na subsuperfície estudada, causada por um cano PVC de 50 mm de diâmetro, situado na base da camada asfáltica, foi evidenciado.

Segundo Silva (2014), o tamanho do alvo e o tipo de material, influenciam diretamente no tamanho da abertura da hipérbole e na sua expressividade no radargrama, respectivamente. Dutos e/ou tubos de constituições metálicas apresentam uma anomalia hiperbólica mais acentuada quando comparadas as hipérboles causadas por canos PVC (POLUHA, 2017).

Figura 5 - Radargrama com antena de 2000 MHz, evidenciando diferentes espessuras das camadas no pavimento em a) perfil 2D e b) bloco 3D.



Fonte: Autores.

A comparação das antenas de 900 MHz e 2000 MHz permite determinar algumas diferenças em relação à identificação da interface da camada de revestimento. A antena de 2000 MHz proporcionou melhor continuidade na reflexão do que a antena de 900 MHz, que pode ser parcialmente justificada pela maior taxa de amostragem. Além disso, a resolução é

uma função do comprimento de onda e aumenta enquanto a antena de frequência aumenta (ANTUNES *et al.*, 2016).

Conclusões

Utilizando-se do georadar acoplado das antenas de 900 MHz e de 2000 MHz na investigação da estrutura do pavimento piloto, foram identificados diferentes padrões de reflexão associados às interfaces das camadas, assim como, o tubo de PVC.

Os dados obtidos a partir dos radargramas processados possibilitaram identificar a espessura de cada camada do pavimento e a sua devida profundidade. As camadas subjacentes à camada do revestimento, base, sub-base e subleito, apresentaram radarfáceis semelhantes, com todas mostrando estruturas de refletores horizontais, paralelos e contínuos.

Utilizando a antena de 900 MHz obteve-se como profundidade máxima investigada de 1,70m. No entanto, a antena de 2000 MHz, apresentou boa definição nas estruturas, até os 40 cm iniciais. Frente aos resultados obtidos, pode-se concluir que a metodologia com GPR, utilizando-se da combinação de antenas de alta frequência, 2000 MHz, para os 40 cm iniciais e a de 900 MHz, para uma profundidade de 1,5 m se mostraram eficazes, sendo que as assinaturas GPR de alvos conhecidos são importantes para calibração dos resultados, que podem ser usados na validação do processo construtivo de pavimentos e auditorias de infraestruturas rodoviárias.

Agradecimentos

Ao Tribunal de Contas do estado de Goiás-TCE-GO, pelo apoio tendo como base o convênio nº 001/2018 UEG/TCE-GO.

Referências

ANTUNES, J.; FONSECA, V.; AFONSO, P.; GOMES, J.; ANTUNES, L.; FREIRE, M. L.; PEREIRA, A. C.; SILVA, P. S.; PICADO-SANTOS, H.; NEVES, L. Pavement solutions for tropical climate countries - Project R &D Tropical-PAV. In: CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS, 8, 2016, Lisboa. **Anais...** Lisboa: CRP, 2016. p. 1-10.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Instituto de pesquisa rodoviária nº719 de 2006**. Manual de pavimentação. Rio de Janeiro: MT/DNIT/DPP/CGEP/IPR, 2006. 274p.

BRITO, G. L. M.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S.; NETO, S. M. S.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A.; BRAGA, R. A. P. B.; FILHO, S. L. S. 2018. Characterization of the Capibaribe River Dry Bed with Ground Penetrating Radar (GPR). **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 23, n.1, p. 1-17, August, 2017.

FONTUL, S.; PAIXÃO, A.; SOLLA, M.; PAJEWSKI, L. Railway Track Condition Assessment at Network Level by Frequency Domain Analysis of GPR Data. 2018. **Remote Sensing**, v. 10, n.4, p. 1-26, April. 2018.

GSSI. Geophysical Survey Systems – **Manual Radan 7**. 2018. Disponível em: <<https://www.geophysical.com/wp-content/uploads/2020/01/MN43199H-RADAN-7-User-Manual.pdf>>. Acesso: 16/02/2018.

MARECOS, V.; FONTUL, S.; SOLLA, M.; ANTUNES, M. de L. Transport infrastructures assessment using multiple GPR configurations and FWD. In: The 14th International Conference on Vibration Engineering and Technology of Machinery (VETOMAC XIV), , 2018, Lisboa. Anais... Lisboa, 2018. p. 1-6.

MARECOS, V.; SOLA, M.; FONTUL, S., ANTUNES, V. 2017. Assessing the pavement subgrade by combining different non-destructive methods. **Construction and Building Materials** , v. 135, n.15, p. 76-85, March. 2017.

POLUHA, B. **Mapeamento GPR 2D/3D de interferências enterradas no SCGR-II do IAG: Aplicações no planejamento urbano**. 2017. 72p. Dissertação (Mestrado de Geofísica) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, SP, 2017.

SANTOS, A. L. F.; BORGES, W. R.; BORGES, P. A. M.; GONÇALVES, L. P.; SILVESTRE, G. R. 2016. A utilização do georadar- GPR- em via permanente da ferrovia Norte-Sul, Anápolis-GO. **Revista Mirante**, v. 9, n.2, p. 178-187, dez. 2016.

SANTOS, A. L. F.; DA SILVEIRA, E. C.; BORGES, W. R.; 2015. A utilização do georadar de penetração no subsolo (GPR) na determinação estratigráfica do pavimento da rodovia do Câmpus da UEG- Anápolis-GO. **Revista Mirante**, v. 8, n.3, p. 90-99, dez. 2015.

SANTOS, A. L. F.; MAIA, T.C.; BORGES, W. R.; NISHI, E.; SEIMETZ, E. X. 2019. Implantação do Sítio controlado de geofísica rasa aplicado a engenharia da UEG, Câmpus Henrique Santillo, Anápolis-GO. **Revista Mirante**, v. 2, n.12, p. 95-111, dez. 2019.

SANTOS, A. L. F.; ROCHA, P. H.; BORGES, W. R.; 2015. A utilização do georadar de penetração no subsolo (GPR) na determinação estratigráfica do pavimento da rodovia do Câmpus da UEG- Anápolis-GO. **Revista Mirante**, v. 10, n.1, p. 262-274, dez. 2017.

SILVA, F. N. Caracterização pedogeotécnica e estudo geofísico aplicados a um perfil de solo do Câmpus Henrique Santillo UEG – Anápolis/GO. 2019. 89 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 2019.