



## Verificação da Existência de Barras de Ligação no Pavimento Rígido com Radar de Penetração no Solo (GPR), BR 101/PE – Lote 7

Karine dos Santos Taveira (Discente do Curso de Graduação em Geofísica do IG/UnB – [karinetaveira@hotmail.com](mailto:karinetaveira@hotmail.com))

Luciano Soares Cunha (Docente do Instituto de Geociências da UnB – [lucianosc@unb.com](mailto:lucianosc@unb.com))

Welitom Rodrigues Borges (Docente do Instituto de Geociências da UnB – [welitom@unb.br](mailto:welitom@unb.br))

Raimundo Mariano Castelo Branco (Docente do Instituto de Geociências da UFC – [marianogcb@gmail.com](mailto:marianogcb@gmail.com))

Marcelo de Lawrence Blassay Blum (Perito Criminal Federal - Instituto Nacional de Criminalística d – [blum.mlbb@dpf.gov.br](mailto:blum.mlbb@dpf.gov.br))

Daniel Russo (Perito Criminal Federal, Instituto Nacional de Criminalística – [russo.dr@dpf.gov.br](mailto:russo.dr@dpf.gov.br))

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> 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 work shows results obtained from GPR along a stretch of highway BR101, which had as main objective to verify the existence and absence of tiebars in the concrete pavement. Data collected with the 900MHz GPR antennas to show some lack of tiebars, both in the traffic lane of the highway as the central hard shoulder, thus proving the efficiency of GPR inspections of concrete pavements.

### Introdução

Os métodos geofísicos representam uma importante ferramenta para investigação da subsuperfície, possibilitando obter informações de propriedades físicas da Terra, podendo solucionar uma grande variedade de problemas. O radar de penetração no solo (*ground penetrating radar* – GPR) é ainda um método geofísico recente quando comparados aos demais. As primeiras aplicações foram para mapear fissuras e espessuras de geleiras na Groenlândia. Os primeiros equipamentos eram fabricados pelos próprios usuários, até que a partir de 1972 surgiram os primeiros fabricantes do equipamento.

Como consequência deste crescimento, o GPR passou a ser utilizado em varias áreas distintas, como arqueologia, engenharia, meio ambiente, aplicações militares, entre outras.

Para a realização deste trabalho, utilizou-se o radar de penetração de solo (GPR) por se tratar de um método não danoso ao solo, podendo ser aplicado em áreas urbanas, possibilitando o imageamento da subsuperfície.

Como houve um questionamento sobre o cumprimento do edital de construção da BR 101/PE, Lotes 7 e 8, a Rede de Controle da Gestão Pública solicitou um estudo para avaliação da rodovia, apresentando as irregularidades e uma possível solução caso encontradas.

Este estudo objetiva analisar a existência e posicionamento das barras de ligação do pavimento rígido na faixa central e na faixa de segurança da rodovia BR 101.

### Metodologia

O Radar de Penetração de Solo (GPR) é um método eletromagnético não destrutivo de que utiliza ondas de radio de alta frequência (entre 10 MHz e 2500 MHz) para investigação da subsuperfície, apresentando uma vasta aplicabilidade devido ao imageamento que se gera da subsuperfície.

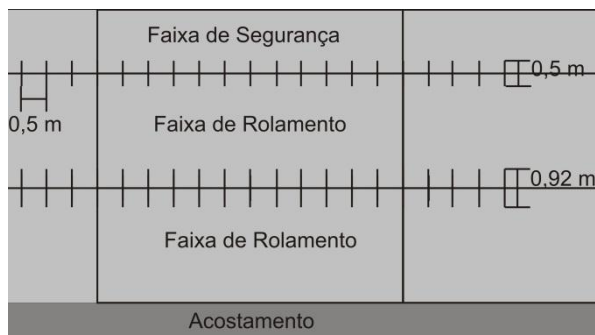
O método consiste transmitir ondas eletromagnéticas na subsuperfície através de uma antena transmissora colocada na superfície, onde a propagação da onda emitida dependerá das propriedades físicas do local em estudo, e da frequência da onda. Devido a mudança das propriedades físicas do meio, essas ondas sofrem reflexão e difração, e ao retornarem a superfície, são recebidas por uma antena receptora, e gravadas em um computador.

O GPR fundamenta-se nas teorias de Maxwell, que descrevem o comportamento do campo eletromagnético, sendo essas teorias, a Lei de Ampère, Lei de Faraday e Lei de Ohm. Neste método, são importantes também as propriedades elétricas dos materiais, sendo elas, a condutividade elétrica, a permissividade dielétrica, e a permeabilidade magnética, sendo a condutividade elétrica e a permissividade de maior importância para estudos de GPR. Contudo, os efeitos de uma forte permeabilidade magnética não podem ser totalmente ignorados (ANNAN, 1992).

Para fazer um levantamento de GPR, existem três técnicas: perfis de reflexão, que consiste em mover uma ou mais antenas de radar na superfície para se adquirir os dados em tempo e distância comuns (*common offset*); sondagem de velocidade, utilizada para se converter o tempo duplo dos perfis em profundidade, onde para isso se faz necessário conhecer a velocidade da onda no meio; transiluminação, utilizada em poços para determinar minérios em minas subterrâneas.

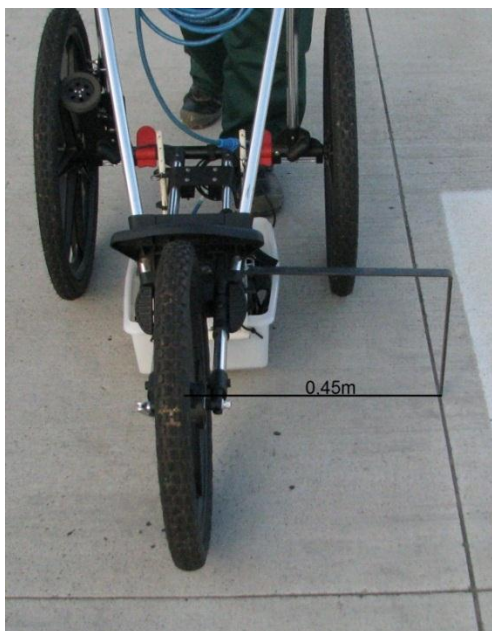
De acordo com o projeto executivo da obra da BR 101/PE, entre as placas de pavimento rígido deve conter barras de ligação (aço CA-50) de 0,5m de comprimento na faixa de segurança, e de 0,92m na faixa central,

estando estas barras dispostas a cada 0,5m entre elas, como mostra a **Figura 1**.



**Figura 1** - Croqui mostrando o design do projeto construtivo do pavimento rígido da BR 101, com o posicionamento das barras de ligação.

As juntas de dilatação das placas de concreto indicam o centro da barra de ligação, sendo assim, para se adquirir o dado, fez-se o perfil a 0,45m de distância da junta de dilatação do lado esquerdo e direito da faixa central (**Figura 2**), e a 0,24m da junta do lado direito e esquerdo da faixa de segurança (**Figura 3**).



**Figura 2** – Foto evidenciando o posicionamento do equipamento GPR ao longo da junta de dilatação localizada entre as faixas de rolamento.

O levantamento foi realizado no sentido Recife/PE para Maceió/AL, onde o início e o final de cada perfil coincidiu com os limites das placas. Os pontos foram marcados pela equipe de cartografia do exército com as siglas EBW, EBS ou EBL (Exército Brasileiro + letra dos pontos cardeais), e numeradas a cada 20 metros de acordo com a distância do ponto inicial - Lote 7.

Os equipamentos utilizados foram o SIR-3000, da Geophysicals Survey System Inc – GSSI, e o Detector Duo da Ingegneria Dei Sistemi – IDS. O SIR-3000 foi conectado a uma antena blindada de 900 MHz, e colocada em um carrinho com odômetro (**Figura 4**). O IDS já possui um conjunto de antenas blindadas, com frequência de 250 MHz e 700 MHz, já acoplada a um odômetro, conectada a um módulo de controle e uma unidade de armazenamento (notebook) (**Figura 5**).



**Figura 3** – Foto evidenciando o posicionamento do equipamento GPR ao longo da junta de dilatação localizada entre a faixa de segurança e a faixa de rolamento.



**Figura 4** – Foto mostra o equipamento SIR 3000 com antena blindada de 900 MHz, utilizados para aquisição de dados de GPR na faixa central da rodovia.



**Figura 5** - Foto mostra o equipamento Detector Duo com antenas blindadas de 250 MHz e 700 MHz, utilizados para aquisição de dados de GPR na faixa de segurança da rodovia.

Durante o levantamento, em cada faixa (central e de segurança) foi disposta uma equipe, porém ambas deslocavam-se ao mesmo tempo para se evitar erros e para garantir a segurança de todos, visto que o levantamento foi realizado com parte da rodovia liberada para o trânsito (**Figura 6**), tendo participação de uma equipe de segurança responsável pela sinalização do local.



**Figura 6** – Fotografia mostra o deslocamento das equipes ao longo do Lote 7 da BR 101.

O campo teve a duração de 40 dias, onde se pode adquirir 175,6 km de seção de GPR 2D, tendo, cada seção, de 500 a 600 metros para evitar dados muito grandes.

### Processamento e Resultados

Para o processamento dos dados, utilizou-se o software ReflexW, versão 5.5 (SANDMEIER, 2010). As rotinas de processamento aplicadas aos dados foram:

- Conversão de formato dos arquivos nos formatos \*.dtz e \*.dt, em \*.ASCII;
- Ajuste do tempo zero: definição da disposição do tempo zero do radargrama. Para o ajuste do tempo zero e da identificação do refletor correspondente aos alvos, os tempos de trânsito da onda eletromagnética foram ajustados, conforme o pico positivo da wavelet refletida (YELF, 2004). De acordo com a frequência da antena, a posição do pico é modificada. Frequências menores possuem um maior comprimento de onda, aumentando assim o erro de posicionamento dos refletores;
- Filtragem temporal 1D: remoção de ruídos incoerentes presentes ao longo de cada traço (trapezoidal bandpass frequency);
- Filtragem 2D: remoção de ruídos coerentes (ruído de fundo);
- Ganho de decaimento de energia: aplicado baseado na curva de decaimento médio de todos os traços do perfil;
- Migração dos dados: aplicada para melhorar o posicionamento dos alvos nas seções de GPR; e,
- Conversão de tempo para profundidade: realizou-se um ajuste hiperbólico de alguns pontos de difração (barras de aço) encontrados ao longo dos perfis. A velocidade média obtida foi de 0,125 m/ns, utilizada na inversão dos dados (tempo para profundidade).

Os procedimentos de processamento foram aplicados a todos os radargramas, alterando somente os filtros, sendo cada um de acordo com a frequência de cada antena. Após o processamento, foi possível obter a imagem de cada seção (**Figura 7**), possibilitando assim a interpretação dos resultados, podendo marcar a profundidade e distância de cada alvo visualizado de cada perfil.

Para melhor organizar as informações, foram elaboradas tabelas (**Figura 8**) apresentando a quantidade de barras encontradas em cada perfil, sendo referenciadas pelas marcações feitas, colocadas nas laterais esquerda e direita da faixa central e da faixa de segurança. Era de se esperar onze barras de segurança em cada placa.

Através dos estudos realizados, pode-se notar uma imprecisão na posição que as barras de ligação deveriam ocupar. Com relação a quantidade de placas, apresenta uma quantidade inferior ao estabelecido no projeto executivo da obra.

### Conclusão

O projeto de execução da obra da BR 101/PE exige a presença de barras de ligação entre as placas de concreto armado, pois são elas que garantem a sustentabilidade do concreto, possibilitando assim o fluxo de automóveis desta via, sendo eles de pequeno ou grande porte.

Como mostrado neste projeto, a execução da obra não corresponde ao esperado no projeto inicial, visto que detectou-se falhas relacionadas a disposição e quantidade de barras encontradas em todo o perfil estudado.

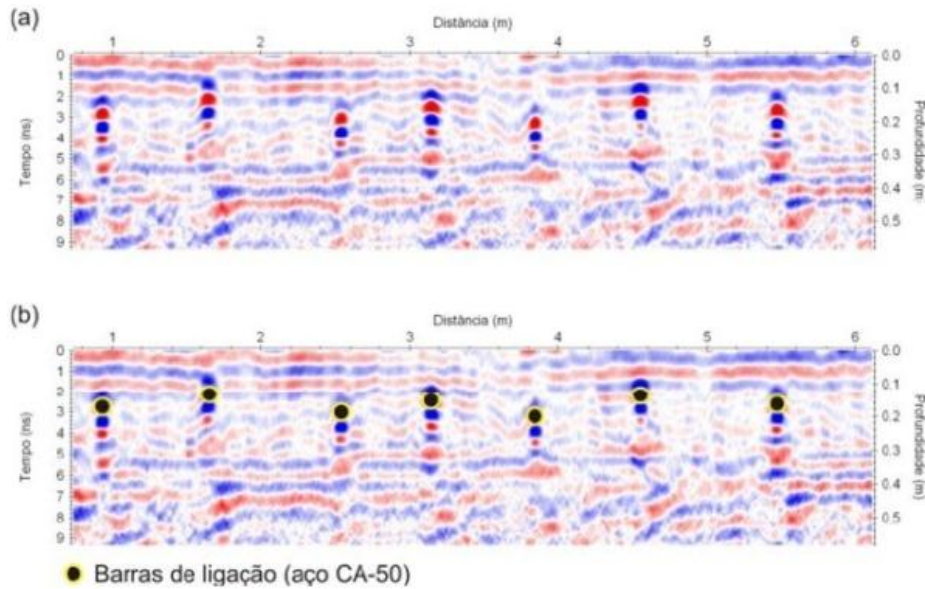
**Referências Bibliográficas**

ANNAN, A.P., 1992. Ground penetration radar workshop notes. Sensors; Software, Inc., *Internal Report*, 130p.

SANDMEIER, K.J., 2010. REFLEXW Version 5.5, Windows 9x/2000/NT/Vista/7. Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection,

refraction and transmission data. *Manual do Software*, Karlsruhe, Germany, 209p.

YELF, R. 2004. Where is True Time Zero? 10<sup>th</sup> International Conference on Ground Penetrating Radar, Delft, The Netherlands, *In. Proceedings...*, p. 279-282.



**Figura 7** – Seção de GPR com as principais anomalias correspondentes às barras de ligação.

REFERÊNCIA DO INÍCIO DA PLACA	FAIXA DE SEGURANÇA DA RODOVIA					
	LATERAL ESQUERDA			LATERAL DIREITA		
	Posição da barra (m)	Profundidade da barra (m)	Espaçamento entre barras (m)	Posição da barra (m)	Profundidade da barra (m)	Espaçamento entre barras (m)
EBV/50+5 m	-	-	-	-	-	-
11 Barras	0,51	0,32	-	0,14	0,31	-
	0,97	0,32	0,46	1,69	0,29	1,56
	1,51	0,31	0,53	2,16	0,27	0,46
	2,02	0,32	0,51	2,62	0,29	0,46
	2,53	0,30	0,51	3,13	0,29	0,51
	2,99	0,30	0,46	3,64	0,27	0,51
	4,01	0,31	1,02	4,15	0,26	0,51
	-	-	-	4,69	0,26	0,53
	5,10	0,34	1,09	5,22	0,32	0,53
	5,96	0,32	0,96	5,68	0,30	0,46
	-	-	-	6,17	0,30	0,49
11 Barras	-	-	-	-	-	-
	6,57	0,29	0,60	7,24	0,26	1,07
	7,30	0,30	0,53	7,75	0,25	0,51
	7,59	0,29	0,49	8,21	0,32	0,46
	8,30	0,31	0,51	8,75	0,26	0,53
	8,61	0,31	0,51	9,26	0,33	0,51
	9,07	0,31	0,46	9,74	0,29	0,49
	10,09	0,31	1,02	10,25	0,27	0,51
	10,60	0,31	0,51	10,77	0,25	0,51
	11,07	0,30	0,46	11,30	0,27	0,53
	11,60	0,30	0,53	11,72	0,30	0,42
-	-	-	12,32	0,30	0,60	
10 Barras	-	-	-	-	-	-
	13,13	0,34	1,53	13,32	0,30	1,00
	13,67	0,34	0,53	13,78	0,25	0,46
	14,13	0,35	0,46	14,31	0,27	0,53
	14,66	0,35	0,53	14,80	0,26	0,49
	15,15	0,36	0,49	15,31	0,32	0,51
	15,66	0,34	0,51	15,80	0,27	0,49
	16,17	0,34	0,51	16,33	0,27	0,53
	-	-	-	16,82	0,26	0,49
	-	-	-	17,33	0,28	0,51
-	-	-	17,82	0,28	0,49	

**Figura 8** – Apresentação dos dados de GPR obtidos ao longo do lote 7 da rodovia, referenciando início de cada perfil GPR, assim como a posição profundidade e espaçamento de cada barra de ligação dentro do pavimento rígido.