

**A UTILIZAÇÃO DO GEORADAR DE PENETRAÇÃO NO SUBSOLO (GPR) NA DETERMINAÇÃO ESTRATIGRÁFICA DO PAVIMENTO DA RODOVIA DO CÂMPUS DA UEG-ANÁPOLIS-GO<sup>1</sup>**

**THE USE OF THE PENETRATION OF GEORADAR UNDERGROUND (GPR) STRATIGRAPHIC IN DETERMINING THE RIGID PAVEMENTS HIGHWAY THE CÂMPUS OF UEG-ANÁPOLIS-GO**

**ANTONIO LÁZARO FERREIRA SANTOS**

Docente da UEG – CCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)  
antoniolazaros@gmail.com.br

**EDIANA CARVALHO DA SILVEIRA**

Graduanda da UEG – CCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)  
ediana\_carvalho@hotmail.com

**WELITOM RODRIGUES BORGES**

Docente da UnB – DF (Campus Darcy Ribeiro – DF)  
welitom@unb.br

**Resumo:** Neste trabalho o equipamento de Georadar ou radar de penetração de subsolo (GPR) é apresentado como um recurso para a investigação indireta das espessuras das camadas da estrutura do pavimento rodoviário flexível, do Campus da Universidade Estadual de Goiás, Anápolis-GO, como subsídio ao monitoramento e conservação da infraestrutura local. A aquisição de dados de GPR realizou-se com auxílio de técnica do perfil de afastamento constante. Na rodovia, adquiriu-se o perfil transversal, com comprimento individual de 20 metros acoplado a uma antena blindada de 900MHz. Para a calibração das velocidades eletromagnéticas realizaram-se perfurações no pavimento, determinando-se assim as espessuras das camadas de revestimento e de base. A estrutura da pista é composta por uma camada de revestimento asfáltico com 3,5cm de espessura, assentado diretamente sobre uma camada de base de 20 cm de espessura de solo laterítico. O resultado do perfil confirmam a eficiência do método na caracterização de pavimento.

**Palavras-chave:** Radar de penetração no subsolo (GPR). Investigação indireta. Pavimentos.

**Abstract:** In this work the equipment Georadar or ground penetrating radar (GPR) is presented as a resource for indirect research thicknesses of the layers of flexible road pavement structure, the campus of the State University of Goiás, Anápolis-GO, as a subsidy to monitoring and maintenance of local infrastructure. The acquisition of GPR data was conducted with technical assistance from the constant spacing profile. On the highway, got the cross-section, with individual length of 20 meters coupled to a shielded antenna 900MHz. For calibration of electromagnetic speeds were held perforations in the deck, thereby determining whether-the thicknesses of the skin layers and base. The track structure comprises a coating asphalt layer with 3.5cm thick, seated directly on a

---

<sup>1</sup> Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento à pesquisa com a bolsa de pesquisa de Iniciação, ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) e ao suporte logístico do técnico Péricles.

base layer of 20cm in thickness of laterite. The result of the profile confirm the efficiency of the method for characterizing flooring.

**Keywords:** Ground penetrating radar (GPR). Indirect research. Pavements.

## 1. INTRODUÇÃO

O radar de penetração no solo ou Ground Penetrating Radar (GPR) é um método que utiliza a propagação de ondas eletromagnéticas (EM) para imagear contrastes elétricos de objetos e materiais presentes no subsolo. Os contrastes entre as propriedades elétricas do meio fazem com que partes do sinal sejam refletidas, refratadas e difratadas para a superfície. 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.

Os primeiros registros do uso de sinais eletromagnéticos são de Hülsmeier (1904), que detectou a presença de objetos de metal enterrados no solo (HÜLSMEYER,1904 apud DANIELS, 2004).

Nas últimas três décadas, diversos trabalhos comprovam a utilização do GPR na investigação da estrutura de pavimentos rodoviários. No início da década de 90, Gartin (1991), realizou um estudo relativo à propagação da onda de GPR em pavimentos e solos, apresentando um histórico detalhado dos primeiros estudos realizados sobre essas pesquisas. Ballard (1993) realizou pesquisas em trechos experimentais em rodovias, com a retirada de núcleos de amostras para comparação com os resultados das investigações indiretas com o GPR. Esse mesmo pesquisador identificou significativas variações nas espessuras das camadas do pavimento investigado e atribui essas variações à construção e à degradação dos pavimentos estudados.

Daniels (1996) reúne inúmeras aplicações do método GPR na investigação de pavimentos rígidos e flexíveis, dentre os quais os relacionados à determinação da espessura das camadas da estrutura desses pavimentos, no espaçamento e na localização de barras de ligação e de transferência, bem como para detectar fissuras e vazios em subsuperfície.

Loizos e Plati (2007) realizaram pesquisas com a intenção de estimar-se a precisão nas medições das espessuras de camadas de revestimentos asfálticos nos levantamentos com o GPR, utilizando-se das antenas de 250 MHz a 3 GHz.

Dentre os trabalhos encontrados no Brasil, no que refere-se a aplicação do GPR em rodovias, podemos citar: Gonçalves e Cerrati (1998) desenvolveram pesquisas na avaliação de pavimento por ser um método compatível com a realidade dos órgãos rodoviários brasileiros. Strider et al. (1999) realizaram pesquisas na BR-101 e na Ponte Rio-Niterói com intuito de

testar o uso do GPR no monitoramento e gerenciamento de rodovias brasileiras. Os resultados forneceram informações relacionadas à estratigrafia e à espessura das camadas, e identificaram a camada de CBUQ e a camada da base granular. Concluíram que o método possui alto potencial de investigação associado a outros métodos para a determinação das características dos pavimentos. Vieira e Gandolfo (2013) demonstraram a potencialidade da utilização de métodos não destrutivos na determinação da espessura das camadas de pavimentos. E, recentemente, Silva (2014), desenvolveu uma metodologia para estimar a vida útil restante de um pavimento existente, que possibilitou a identificação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento com o uso do GPR, na pista rodoviária experimental de Campo Verde (PECV) e outra, Pista da Avenida Antártica em Cuiabá (PAA), Mato Grosso.

Sob a ótica da estratigrafia de pavimento, propõe-se a caracterização do pavimento da rodovia de acesso do Campus da UEG-Anápolis-GO, utilizando-se do método do radar de penetração no subsolo (GPR), como subsídio ao monitoramento e conservação da infraestrutura local.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

A área de estudo está no município de Anápolis, situada na zona rural, inserida na Folha SE-22-X-B-II do Ministério da Defesa (ARAÚJO,1994). A Via de acesso do Campus da UEG (Figura 01) é atualmente a única asfaltada que dá acesso ao edifício da CCET<sup>2</sup>. Composta por dois sentidos de faixa de rolamento com dois trechos de pavimento com revestimento asfáltico (pavimentos flexíveis) e um canteiro central, a região onde está localizada a via, possui uma declividade menor que 3%.

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT IPR-719 (2006), para identificação das diversas camadas de solo, pela inspeção expedida no campo, são realizadas sondagens no eixo e nos bordos da estrada, devendo estas, de preferência, serem executadas a 3,50 m do eixo. Os furos de sondagem são realizados com trado ou pá e picareta. O DNIT recomenda ainda um espaçamento máximo de 100 a 200 m entre dois furos de sondagem no sentido longitudinal o que eleva os custos e conduz a resultados insuficientes considerando a extensão das rodovias e os problemas pontuais. Há que levar-se em conta também que o método destrutivo exige a reconstrução de camadas elevando ainda mais os custos. Nesse sentido, o uso do GPR pode ser usado para fazer levantamentos bem precisos em grandes

---

<sup>2</sup> Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas

extensões, servindo de uma excelente ferramenta nas atividades de projeto, fiscalização e manutenção de vias e rodovias.



Figura 01 - Via de acesso ao Campus da UEG, à esquerda, imagem do aplicativo Google Earth, à direita, croqui da área de estudo (Escala 1:25000). Imagem: GOOGLE EARTH (2015). Org.: Autores, 2015.

Lopes (2009) aponta, portanto, o GPR como um instrumento promissor tanto para obtenção de parâmetros que deem suporte a avaliação estrutural pontual como também usados periodicamente para conhecer a variação de condições e o histórico de um pavimento.

O princípio de funcionamento do GPR baseia-se em pulsos eletromagnéticos de curta duração e alta frequência central (Figura 2), geralmente contemplada na faixa de 10 a 3000 MHz, que são repetidamente irradiados para o subsolo através da antena transmissora. O sistema de aquisição de dados de GPR consiste de uma unidade de controle, um conjunto de antenas transmissora e receptora, e uma unidade de armazenamento de dados (computador). A antena transmissora tem a função de governar a forma temporal do pulso de radiação, e a antena receptora mede a intensidade do sinal recebido em função do tempo.

Durante o percurso dos pulsos no sentido descendente, eles vão perdendo amplitude e, sofrem reflexões, refrações e difrações, sendo, por consequência, parcialmente captados pela antena receptora (BORGES, 2007).

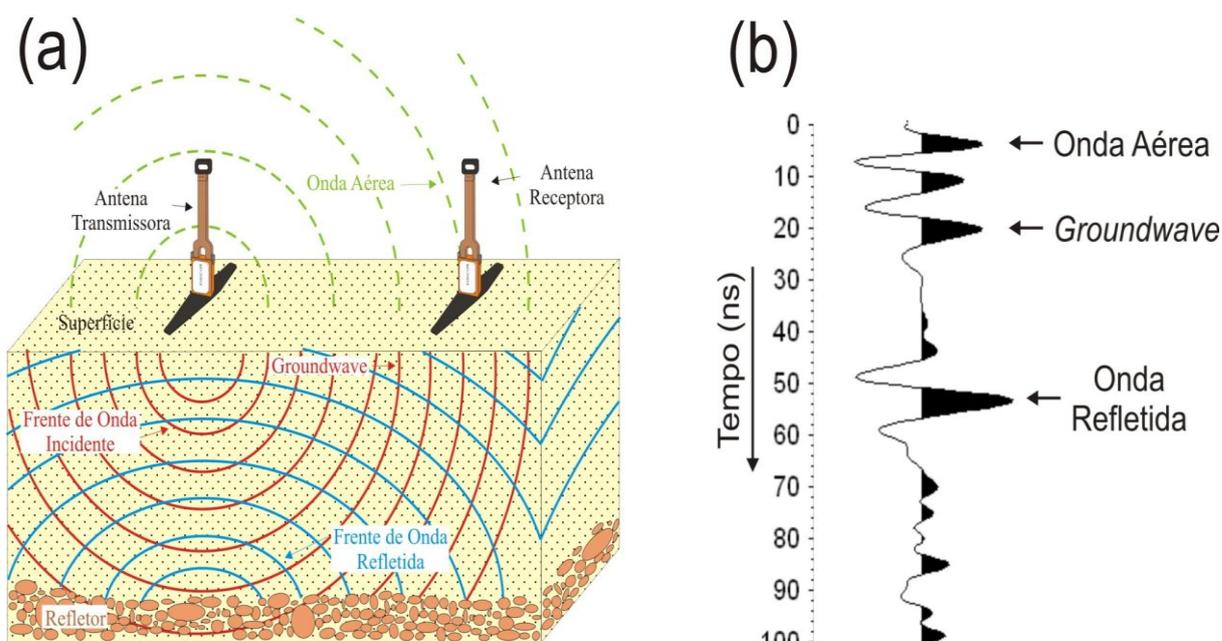


Figura 02 – (a) Diagrama de antenas GPR (modo biestático) ilustrando o comportamento das frentes de onda. (b) Traço esquemático mostrando as chegadas das principais frentes de onda do GPR. Fonte: BORGES, W. R. (2007).

Os perfis de reflexão GPR, comumente denominados radargramas, foram obtidos em função das antenas transmissora e receptora com um intervalo de espaçamento constante. A aquisição de dados de GPR realizou-se com auxílio de técnica do perfil de afastamento constante. Na pista, adquiriu-se o perfil transversal, com comprimento individual de 20 metros (Figura 03).

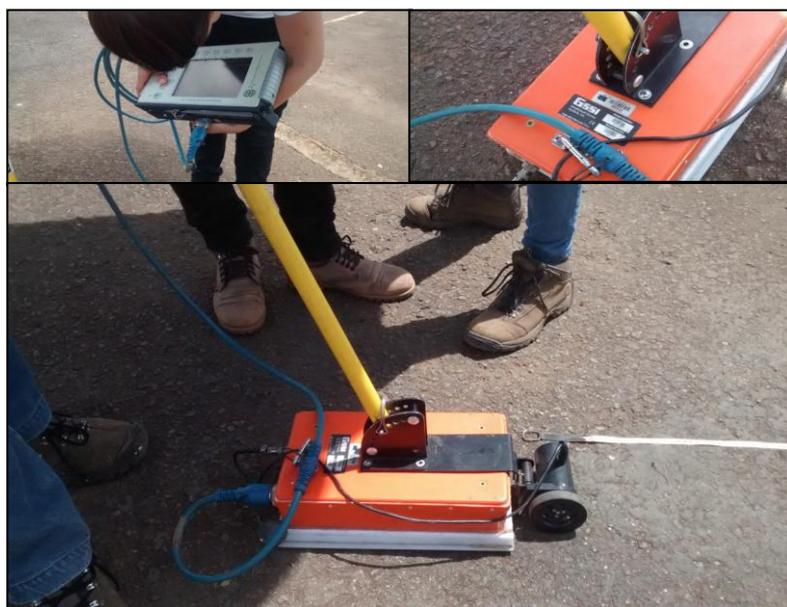


Figura 03 - Fotografias evidenciam a aquisição de dados de GPR com o sistema SIR3000 acoplado a uma antena blindada de 900 MHz. Foto: Autores, 2014.

Para avaliação das camadas que compõem o pavimento da pista, foi utilizado o equipamento SIR3000 (fabricado pela *Geophysical Survey Systems – GSSI*), acoplado a uma antena blindada de 900 MHz. O processamento dos dados ocorreu no software ReflexW, versão 7.5. A rotina de processamento consistiu na aplicação de filtro temporal (*dewow*), de ganho manual (*manual gain* (y), migração e conversão de tempo em profundidade (velocidade constante).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados furos de sondagem no pavimento para calibrar o método GPR pelos valores medidos em campo das espessuras de base Hb e revestimento Hr (Figura 5.2). Os valores medidos de espessura e os valores de tempo duplo de propagação da onda eletromagnética permitiram calcular os valores de velocidade para cada camada do pavimento.

A estrutura da pista é composta por uma camada de revestimento do tipo pré-misturado asfáltico com 3,5cm de espessura, assentado diretamente sobre uma camada de base de 20 cm de espessura de solo laterítico (Figura 04).

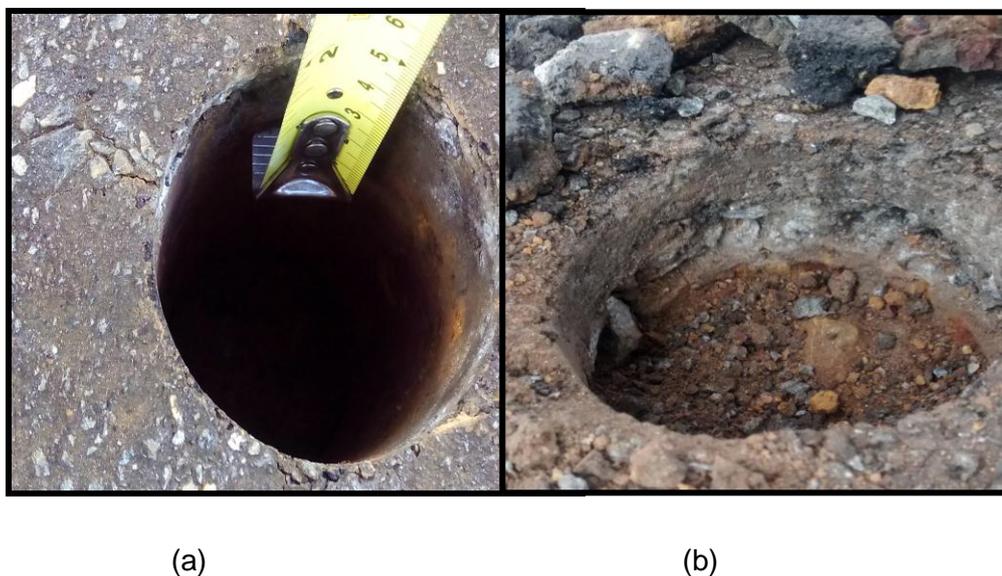


Figura 04 - Furos para extração do núcleo de revestimento asfáltico, realizados na via de acesso ao Campus da UEG. Em (a), furo com profundidade do revestimento asfáltico de 3,0 cm. Em (b) aspecto do furo mostrando o solo laterítico. Foto: Autores (2014).

O cascalho laterítico utilizado na camada de base caracteriza-se como um pedregulho bem graduado, contendo na sua composição, material argiloso, com quantidade acentuada de óxidos de ferro e alumínio, propriedades típicas do solo da região de Anápolis (Figura 05).

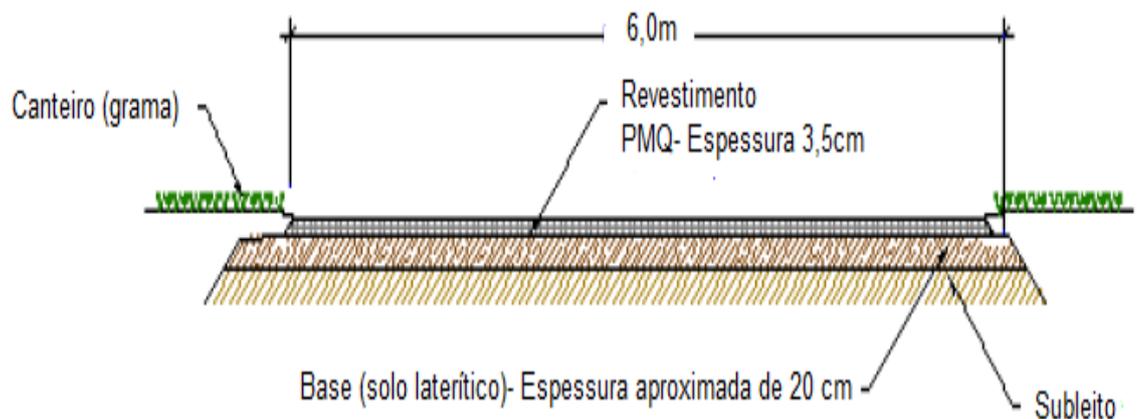


Figura 05 - Croqui da estrutura do pavimento da via do Campus da UEG – corte, ilustrando o trecho construído com estrutura específica. Fonte: Autores (2014).

Os resultados dos ensaios com o GPR possibilitaram identificar dois padrões distintos de reflexão (Figura 06), os quais podem ser relacionados a diferentes tipos de materiais constituintes da estrutura do pavimento.

Com os valores de velocidade média para as espessuras de base e revestimento do pavimento, utilizou-se o modo *continuous pick* do software ReflexW, que permitiu realizar vários *picks* sobre os refletores associados às interfaces das camadas em uma extensa faixa do perfil (Figura 06). Cada *pick* está associado a valores que informam a profundidade, o tempo de propagação da onda e a distância horizontal onde está localizado o traço picado. No perfil de GPR da figura 06, as interfaces das camadas revestimento-base estão pontilhadas por uma linha vermelha.

Observa-se no radargrama (Figura 06) em vermelho, a posição em profundidade do topo da camada de asfalto (3 cm). Pela imagem foi possível identificar os locais onde o refletor (interface capa de asfalto e base laterítica do subleito).

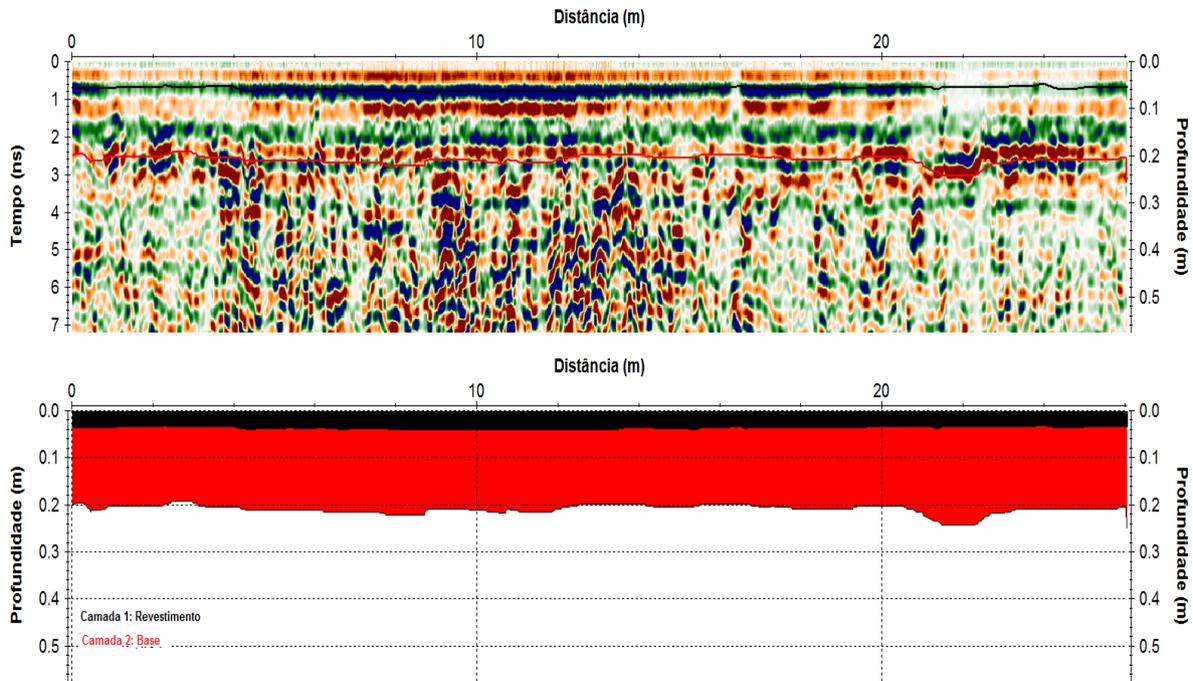


Figura 06 - Seção típica da estrutura do pavimento corresponde à interface base asfalto/subleito. Fonte: Autores (2014).

Estudos experimentais de pavimentos rodoviários flexíveis, realizados por Silva (2014) nas estações de Campo Verde (PECV) e outra em Cuiabá (PAA), Mato Grosso, utilizando-se de antena de 900 MHz permitiram a obtenção dos valores médios e das variâncias das espessuras das camadas dos quatro pavimentos investigados, atendendo perfeitamente os objetivos das campanhas de aquisição de dados com GPR, corroborando dessa forma, para aceitação desse método no âmbito da área da infraestrutura.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, o método realizado com o GPR, na pista do Câmpus da UEG, possibilitou o delineamento de anomalias geofísicas associadas as interfaces geotécnicas, representadas pela espessura de 3,0 cm da camada de revestimento asfático e a camada de base de solo laterítico, com 20 cm de espessura. Foi possível avaliar a aplicabilidade desse método não destrutivo, como ferramenta na investigação e monitoramento da infraestrutura rodoviária.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES, F. D. S. **O Uso do georradar para estudos de estratigrafia do subsolo**. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Ministério de Ciências e Tecnologia. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil - PLGB. **Folha SE.22-X-B-I - Nerópolis**. Goiânia: CPRM, 1994. 98 p.

BALLARD, G. S. Non-Destructive assessment of pavement design and new build quality. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-DESTRUCTIVE TESTING IN CIVIL ENGINEERING, 1, 1993, Liverpool. **Proc...** Liverpool: 1993. The British Institution of NDT, 1993, p. 391–404.

BORGES, W. R. **Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente - estudo sobre sítio controlado do IAG/USP**. 2007. 260 f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DANIELS, D. J. **Ground penetrating radar**. 2 ed. London: The Institute of Electrical Engineers- IEE, 2004.

DANIELS, D.J. **Surface-Penetrating radar**. 1 ed. London: Institute of Electrical Engineers - IEE, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

GARTIN R. S. An Introduction to wave propagation in pavements and soils – Theory and practice. In: STATE OF ALASKA, DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC FACILITIES, v. 2554, 1991, Statewide Research MIS, **Proc...** 1991, p. 1- 35 p.

BALLARD, G. S. Non-Destructive assessment of pavement design and new build quality. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-DESTRUCTIVE TESTING IN CIVIL ENGINEERING, 1, 1993, Liverpool. **Proc...** Liverpool: 1993. The British Institution of NDT, 1993, p. 391–404.

GONÇALVES, F. P.; CERATTI, J. A. P. Utilização do ground penetrating radar na avaliação de pavimentos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: RAPv, 1998. p. 01-15.

LOIZOS, A.; PLATI, C. Accuracy of pavement thicknesses estimation using diferente ground penetrating radar analysis approaches. **NDT e International**, v. 40, n. 2, p. 147-157, 2007.

LOPES, O. A. **Uso do GPR (Ground Penetrating Radar) em trechos de pavimentos da cidade universitária da UFRJ**. 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, L. A. **Uso de georadar (GPR) e retroanálises de deflexões como suporte a análises probabilísticas de desempenho de pavimentos**. 2014. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de Brasília, Brasília, 2014.



STRIEDER, A. J.; GONÇALVES, F. P.; SALVADORETTI, P.; CERATTI, J. A. P.; KLEIN, S. L.; HIRAKATA, A.M. Aplicação de geo-radar em investigações de pavimentos rodoviários: Estudo de casos em estruturação estratigráfica e em degradação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, 1999, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ABGE, 1999. p. 01-13.

VIEIRA, R.; GONDOLFO, O. C. B. Investigando a estrutura do pavimento por método não destrutivo (GPR). In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO; ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 42 / 16, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado: RAPv, 2013. p. 1-12.