



Published under the following license: [Atribuição-Não-Comercial-Compartilhamento.](#)

Fonte: <https://clium.org/index.php/edicoes/article/view/1836>. Acesso em: 12 abr. 2024.

Referência

PANTOJA, João da Costa et al. Uso de métodos não invasivos para monitoramento e avaliação em construções públicas e/ou patrimônio histórico. **Concilium**, [S. l.], v. 23, n. 14, p. 599-613, 2023.

DOI: 10.53660/CLM-1826-23M42. Disponível em:

<https://clium.org/index.php/edicoes/article/view/1836>. Acesso em: 12 abr. 2024.

Use of non-invasive methods for monitoring and evaluation of public buildings and/or historical heritage

Uso de métodos não invasivos para monitoramento e avaliação em construções públicas e/ou patrimônio histórico

Received: 2023-08-01 | Accepted: 2023-09-10 | Published: 2023-0090-14

João da Costa Pantoja

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0763-0107>

Universidade de Brasília, Brasil

E-mail: joapantoja@unb.br

Luiz Roberto da Cunha Freitas Junior

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0288-438X>

Universidade de Brasília, Brasil

E-mail: luiz.junior@unb.br

Pedro Vencovsky Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2822-2671>

Universidade de Brasília, Brasil

E-mail: pedro.nogueira@aluno.unb.br

Érika Stella Silva Menezes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5351-3753>

Universidade Católica de Brasília, Brasil

E-mail: martois.stella@gmail.com

ABSTRACT

Historical heritage and listed buildings are a reality in many Brazilian cities and keeping them intact is of paramount importance to preserve memory and the historical process. Thus, the use of non-invasive methods can be an excellent way of acquiring data inside buildings, without the need for destruction, bringing to light well-localized information about the conditions of the built environment. This work was carried out in the basement of the library of the University of Brasília (BCE/UnB), in order to discover problems without the need to remove the floor.

Keywords: Historic heritage; Building maintenance; Non-invasive methods; Geophysics; GPR.

RESUMO

Patrimônios históricos e construções tombadas são uma realidade em muitas cidades brasileiras, e mantê-las íntegras é de suma importância para preservar a memória e o processo histórico. Destarte, o uso de métodos não invasivos pode ser uma excelente maneira de aquisição de dados no interior das construções, sem a necessidade de destruição, trazendo à luz informações bem localizadas sobre as condições do ambiente construído. Este trabalho foi executado no subsolo da biblioteca da Universidade de Brasília (BCE/UnB), no intuito de descobrir problemas sem a necessidade de retirada do piso.

Palavras-chave: Patrimônio histórico; Manutenção de obras de engenharia; Métodos não invasivos; Geofísica; GPR.

INTRODUÇÃO

Investigar e monitorar obras de engenharia já construídas, torna-se uma tarefa complexa, considerando que: a maioria dos ensaios propostos pela engenharia são, em sua maioria, invasivos e requerem destruição em algum grau. Quando se trata de patrimônio público ou histórico, tais ensaios podem precisar de licenças dos órgãos competentes, que podem ou não ser concedidas e possuem o agravante da espera por resposta; por vezes rápidas ou longínquas.

Métodos geofísicos provém uma maneira de investigar o meio de forma indireta e não destrutiva, assim, podem proporcionar a coleta de dados sem danos as construções e manter a integridade física e estética, tão importantes neste tipo de ambiente.

Na ausência de boas condições de manutenção em uma construção, diferentes anomalias na superfície e subsuperfície podem aparecer, podendo causar diversos tipos de insuficiências, tais como:

- (i) para a saúde humana, capacidade geral e estrutural do edifício. Podendo, no limite, ocasionar o irreversível colapso dos vários materiais da construção, colocando em risco a integridade do edifício, da vida das pessoas e do patrimônio; e,
- (ii) no caso de um prédio público e/ou histórico, o dano pode ir além, tais obras precisam ser mantidas devido seu valor intangível (social, turístico, histórico), e quiçá, todo um acervo e patrimônio público que pode estar sendo guardado e mantido em suas dependências.

É de suma importância o questionamento sobre o decaimento das estruturas das obras construídas, sobretudo no Brasil, onde o foco está sempre nos valores dispendidos durante a construção, e parece que o poder público padece de “esquecimento” ou “desconhecimento” de que a manutenção constante destas obras públicas precisa ser levada em conta, sobretudo pelos diversos problemas causadas pelo envelhecimento, condições ambientais, má utilização e ainda, sem registro de tratamentos devidos de restauração.

A inspeção não deve focar apenas nos problemas e manutenção em si, mas também verificar se todos os itens construídos estão em acordo com os regulamentos e normas.

Documentar todas as inspeções e avaliações é igualmente relevante, pois, os estudos ao longo do tempo, independentemente da natureza do edifício e das anomalias encontradas, podem ajudar na geração de segurança, sustentabilidade, e durabilidade além de auxiliar no planejamento dos futuros recursos necessários que precisarão ser investidos na manutenção destas obras.

Reforça-se a importância do uso dos Ensaio Não Destrutivos (END), também conhecidos pela sigla em inglês, *Non Destructive Test* (NDT), para avaliação e inspeção das estruturas, com o intuito de verificar anomalias e integridade, sem modificar suas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, de tal maneira que ela não seja danificada e que sua capacidade para operar ou cumprir sua função não seja comprometida, nem mesmo alterada.

O GPR ou radar de penetração de solo, em português, é um equipamento da geofísica que oferece uma das técnicas não destrutivas mais importantes aplicadas em inspeção predial (Sonia Santos-Assunção, 2014). Possui excelente resolução e pode ser usado em praticamente em todos os elementos estruturais típicos. Torna-se explícita ainda; sua versatilidade (antenas de diferentes frequências), seu tamanho e peso e sua capacidade de acessar diversos locais, tanto na vertical ou horizontal, inclusive área de teto.

OBJETIVO

Apesar do edifício da Biblioteca Central da Universidade de Brasília (BCE/UnB) não ser uma obra tombada, ele tem extrema relevância por ter sido projetado em 1968 pelos arquitetos José Galbinski e Miguel Pereira, com a colaboração de Walmyr Santos Aguiar e Jodete Rios Sócrates, os quais formaram a equipe que concebeu a arquitetura do prédio que foi concluído em 1973 (SANTOS, Erika D. A. dos.).

O local escolhido para o projeto foi o último subsolo da BCE/UnB que possui um problema bem específico: a cidade de Brasília possui um período bem longo de seca (sem chuvas), assim, no período de chuvas, o local pode ficar inundado com até alguns centímetros de água. Desta forma, houve a necessidade da instalação de bombas para retirar o líquido do local.

Por conta desse problema exposto, existia a suspeita de que o solo abaixo do piso de concreto poderia ter sido carreado, e a possibilidade da existência de “vazios” abaixo do piso, era uma questão de dúvida e caso existissem, a estrutura do piso poderia ter sérios problemas. Como não havia, ainda, nenhum indício no piso, como recalques, ou rachaduras, o uso de algum ensaio não destrutivo seria o mais indicado para a situação. Já que a área não poderia ser desocupada, pois funciona como uma espécie depósito para livros e edições que precisam ser recuperadas, um acervo importante para a Universidade de Brasília.

METODOLOGIA

O GPR é um método eletromagnético usa ondas de rádio em altas frequências (10 MHz a 2500 MHz) para localizar estruturas e feições geológicas rasas de subsuperfície ou localizar objetos enterrados pelo homem. O princípio físico e a metodologia de aquisição de dados GPR é semelhante à técnica de reflexão sísmica e a técnica de sonar, com exceção de que o GPR é baseado na reflexão de ondas eletromagnéticas (EM; Porsani, 1999).

Esse método consiste na transmissão de ondas EM repetidamente radiadas para dentro da Terra por uma antena transmissora colocada na superfície. A propagação do sinal EM depende da frequência do sinal transmitido e das propriedades elétricas dos materiais, as quais são principalmente dependentes do conteúdo de água presente no solo (Topp et. al., 1980). Quanto maior o conteúdo de água, maior será a atenuação do sinal da onda EM, e vice-versa.

As mudanças das propriedades elétricas em subsuperfície fazem com que parte do sinal seja refletido. As ondas de radar refletidas e difratadas em subsuperfície são recebidas através de outra antena, denominada de antena receptora, também colocada na superfície da Terra (Na figura).

A energia refletida é registrada em função do tempo de atraso, amplificada, digitalizada e gravada no disco rígido de um computador notebook (Davis e Annan, 1989). Após o processamento dos dados, o resultado obtido é uma imagem de alta resolução da subsuperfície (Na figura).

Em estudos de GPR, normalmente supõe-se que as ondas EM se propagam com uma incidência normal às interfaces das camadas (Annan, 1992). Estas camadas possuem diferentes propriedades elétricas que podem causar uma forte impedância nas interfaces, determinando assim a quantidade do sinal que deverá ser refletida, expressa pelo coeficiente de reflexão (Ward e Hohmann, 1987; Porsani, 1999).

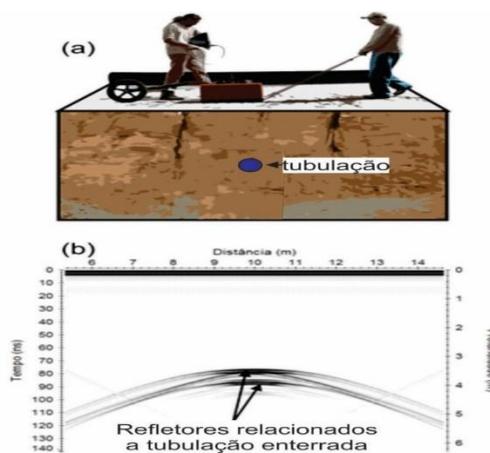
Os fatores mais importantes que governam a propagação da onda EM num determinado meio são: a velocidade e a atenuação. Para materiais geológicos com baixa perda, o campo eletromagnético (EM) propaga-se com uma velocidade que depende essencialmente da constante dielétrica dos materiais (Equação 0.1).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Equação 0.1

Onde c é a velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo, v é a velocidade da onda no meio, e ϵ_r é a constante dielétrica do material.

Figura 1 (a e b) Representação esquemática e Radargrama.



Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023).

Na figura (a), consta a representação esquemática de uma aquisição genérica de dados de GPR em uma área onde existe uma tubulação enterrada. A figura (b), apresenta o Radargrama em

resposta ao modelo geotécnico da tubulação enterrada. Os principais fatores que influenciam a profundidade de penetração do sinal GPR são: o espalhamento geométrico, a atenuação pelo terreno e a partição da energia nas interfaces, todos relacionados à perda de energia durante a propagação da onda EM.

As profundidades de investigação e resolução do GPR variam de acordo com a frequência da antena. Quanto maior a frequência, maior a resolução vertical e menor a profundidade de investigação, e vice-versa (Tabela 1).

Tabela 1: Frequência central da antena versus Profundidade máxima de penetração do GPR.

Frequência Central (MHz)	700	500	250	200	100	50
Profundidade Máxima de Penetração (m)	3	5	10	15	18	25

Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

A etapa de aquisição de dados teve o seguinte roteiro:

Inspeção do local;

Realizou-se uma visita ao ambiente para verificar a viabilidade do uso do GPR e qual antena seria mais adequada para a aquisição dos dados.

Planejamento das linhas;

Foram definidos os melhores e mais viáveis locais para posicionarmos as linhas de aquisição. Esses locais precisariam estar secos, os mais planos possíveis, e sem obstáculos.

Verificação do equipamento;

Foi realizado um *checklist* de todo o equipamento para verificar seu pleno funcionamento, baterias, cabos, roda odômetro, módulo de controle.

Preparação do GPR;

Execução de linhas de teste para verificação dos melhores parâmetros para configuração no módulo de controle.

Coleta dos dados.

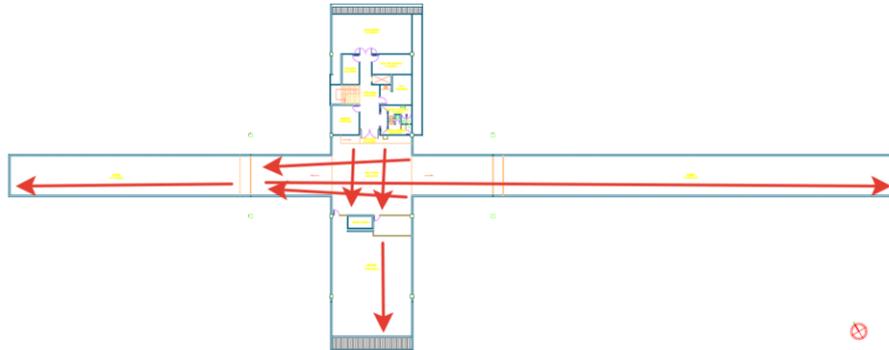
Na aquisição de dados de GPR utilizou-se o equipamento SIR-3000, fabricado pela empresa GSSI, com antena blindada de frequência central de 400 MHz e odômetro acoplado.

Os parâmetros de aquisição de dados de GPR em campo foram:

- 512 amostras por traço;
- A janela temporal de aquisição dos dados foi de 100 ns;
- A profundidade de investigação foi de aproximadamente 4 m.
- O intervalo de amostragem entre os traços foi de 5 cm. Esta amostragem foi realizada automaticamente com o uso de um odômetro eletromecânico (roda);

Foram adquiridas oito seções de GPR no subsolo da Biblioteca Central da Universidade de Brasília (BCE/UnB), a disposição dos perfis em campo teve como objetivo investigar diversas áreas no subsolo.

Figura 2: Croqui com a localização dos perfis de GPR adquiridos na etapa de coleta de dados.



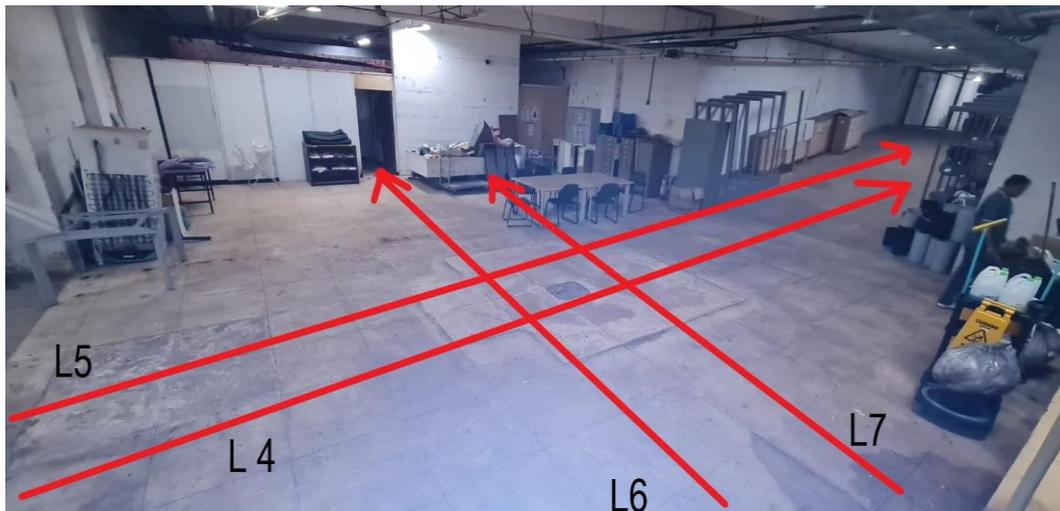
Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 3: Local de aquisição dos perfis de GPR, a seta vermelha indica o sentido de aquisição das linhas.



Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 4: Local de aquisição dos perfis de GPR, a seta vermelha indica o sentido de aquisição das linhas.



Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Verificação da integridade dos dados em campo;

Antes de deixarmos o local do trabalho foi feita a verificação dos dados coletados para garantir que não houve problema nos arquivos gerados.

Processamento dos dados;

O processamento dos dados de campo adquiridos pelo método GPR 2D foram processados no *software ReflexW*, versão 7.5.8 (Sandmeier, 2015). A rotina de processamento dos dados 2D consistiu em:

- *IMPORT* – conversão de formato dos arquivos (*.dt1 – saída do equipamento DS200, para o formato *.dat – arquivo do ReflexW);
- *Set time zero* (ajuste do tempo zero) – ajuste das primeiras chegadas da onda eletromagnética;
- *Dewow e Bandpass* (filtros 1D) – eliminação dos ruídos eletrônicos e estáticos inerentes ao sistema;
- *Background removal* (filtro 2D) – remoção de ruídos coerentes relacionados à reverberação da onda eletromagnética dentro da blindagem da antena e de ruídos externos;
- *Energy decay* (ganho) – aplicado para recuperação da amplitude do sinal eletromagnético atenuada durante a propagação do sinal no meio;
- *Diffraction stack* – processo utilizado para colapsar as hipérbolas de difração. A migração é um processo inverso no qual as ondas registradas são propagadas de volta à localização correspondente ao difrator;
- *Timedepth conversion* – conversão dos perfis de tempo para profundidade. A velocidade de conversão, utilizada nesta etapa, foi obtida através do ajuste hiperbólico de alguns pontos difradores encontrados na área investigada.

A mesma rotina de processamento foi aplicada a todos os radargramas 2D, com o intuito de comparação das amplitudes dos sinais. A velocidade média de propagação da onda eletromagnética, no solo, foi determinada pelo método do ajuste hiperbólico de pontos difratores relacionados a tubulações encontradas próximas à superfície (Yilmaz, 1987). O ajuste dos eventos hiperbólicos mostra que a média das velocidades adaptadas foi de 0,09 m/ns.

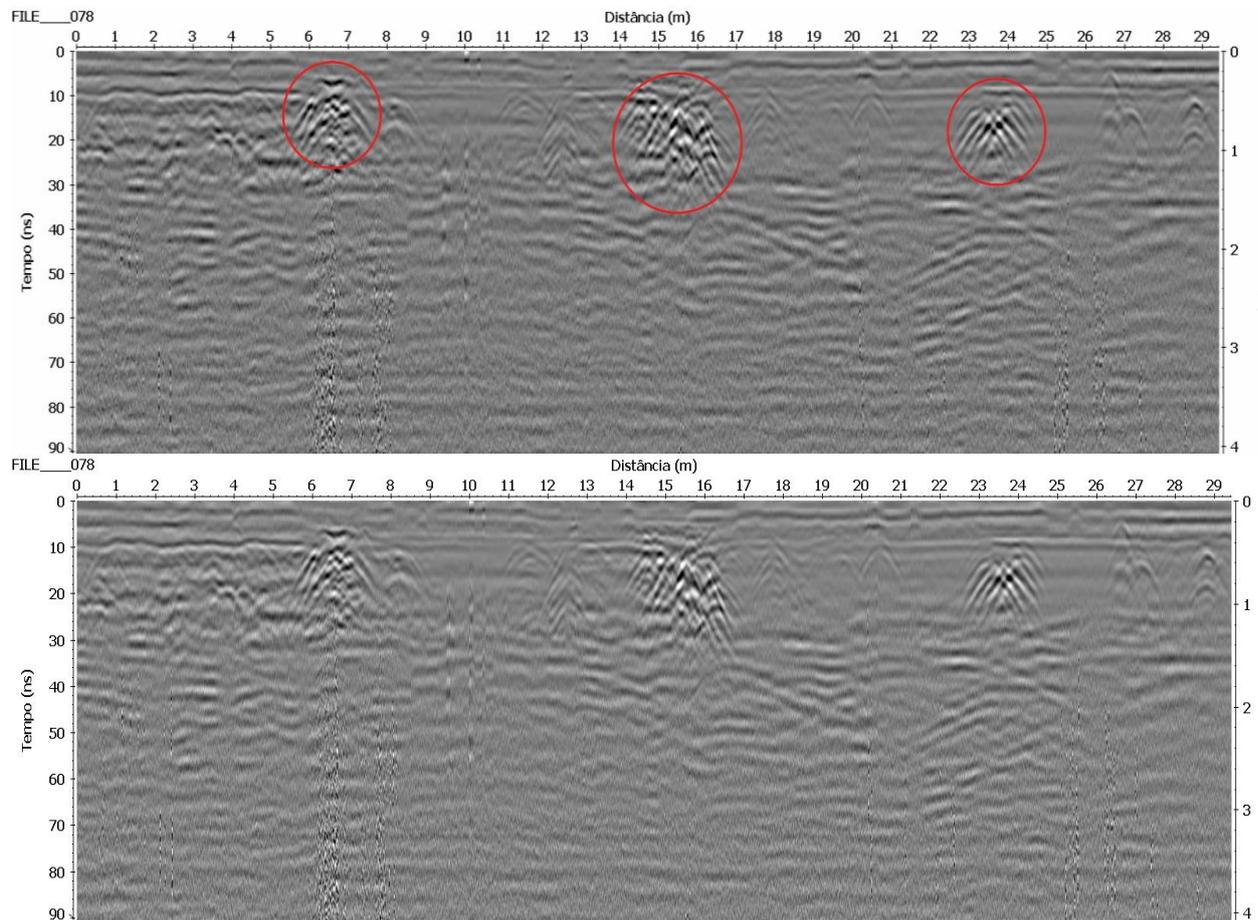
Integração dos dados com a realidade do local;

Depois de verificadas as interferências e anomalias nos radargramas, é necessário confrontar com as informações geológicas (solos e rochas), e ainda com as plantas do ambiente construído para atestar a presença de encanamentos e outros elementos construídos. Isso se houverem esses documentos disponíveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

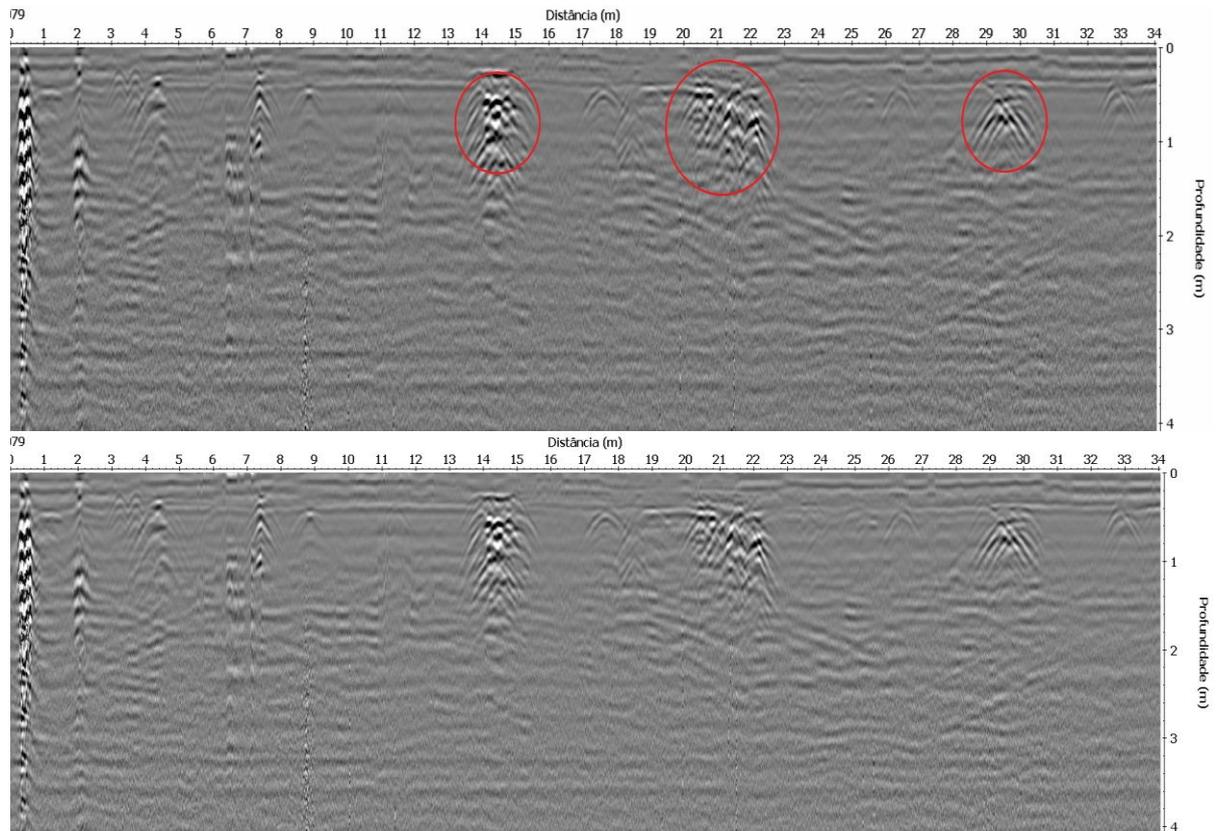
Este capítulo mostra a interpretação de oito perfis de GPR que foram adquiridos na etapa de coleta de dados. Foram encontradas assinaturas de perturbações no subsolo a partir de 0,5 m de profundidade, que podem ser tubulações enterradas e/ou pequenos espaços vazios. Estes locais foram assinalados com círculos vermelhos e são indicados para investigação posterior, pois representam locais no subsolo em que o meio se encontra remexido/perturbado, fato este que foi marcado por reflexões da onda eletromagnética do método de GPR. As seções GPR adquiridas e processadas na área de estudo estão apresentadas abaixo, com o perfil processado do GPR (radargrama) e a interpretação do perfil abaixo ou ao lado da figura.

Figura 5: Perfil 1 de GPR. Acima: Seção de GPR. Abaixo: Interpretação da seção de GPR, com três anomalias detectadas e marcadas em círculo vermelho.



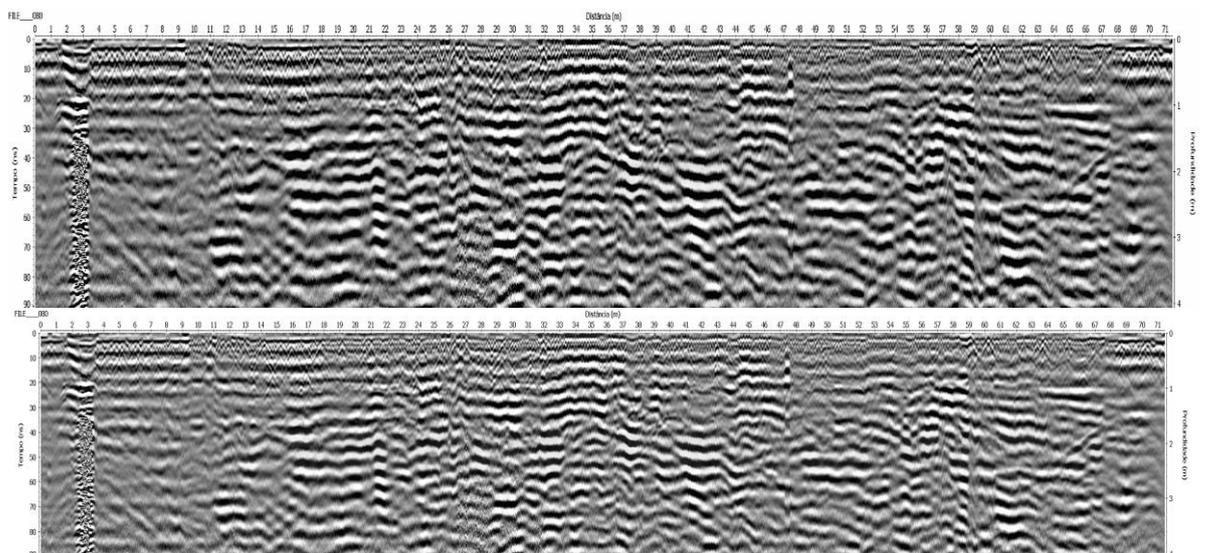
Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 6: Perfil 2 de GPR. Acima: Seção de GPR. Abaixo: Interpretação da seção de GPR, com três anomalias detectadas e marcadas em círculo vermelho.



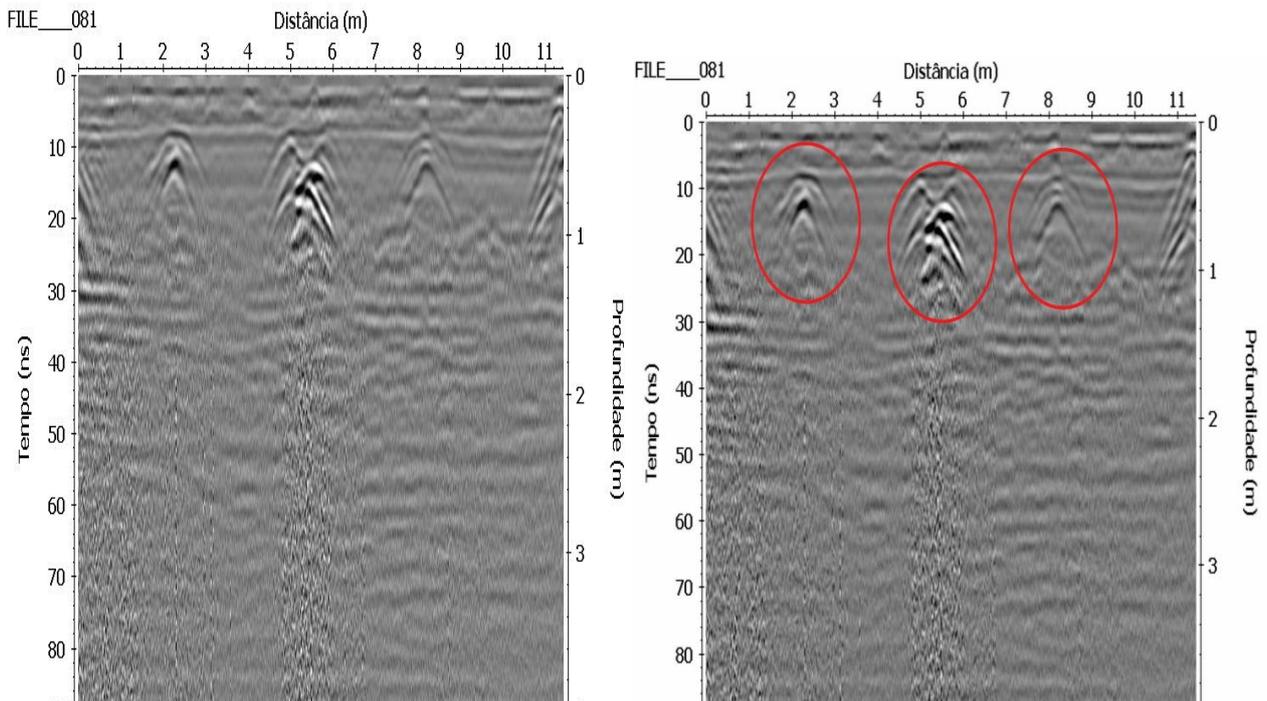
Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 7: Perfil 3 de GPR. Acima: Seção de GPR. Abaixo: Não foram identificadas.



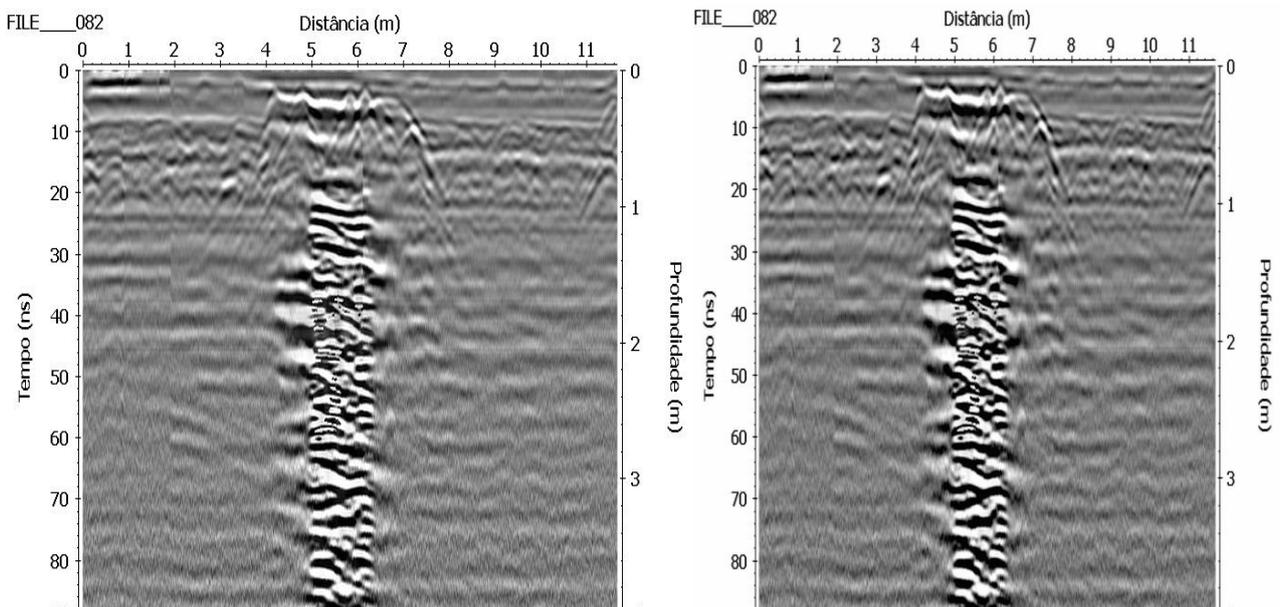
Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 8: Perfil 4 de GPR. Esquerda: Seção de GPR. Direita: Interpretação da seção de GPR, com três anomalias detectadas e marcadas em círculo vermelho.



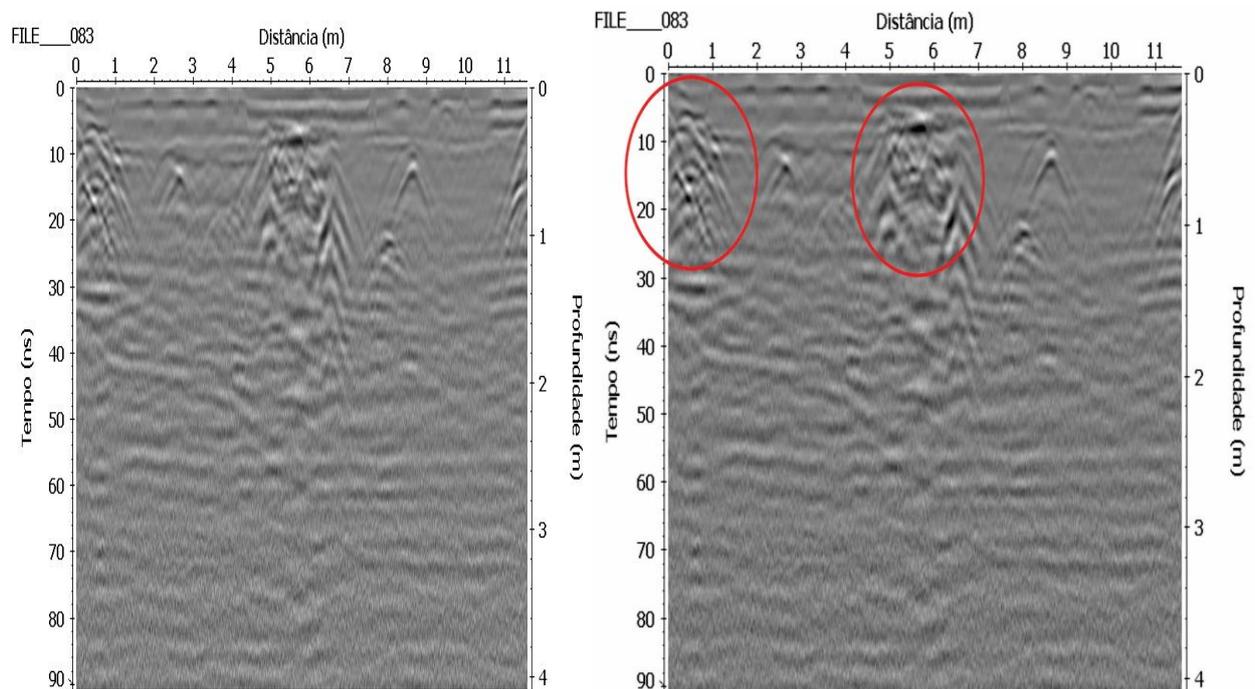
Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 9: Perfil 5 de GPR. Seção que mostra uma tubulação de metal vertical enterrada. Esquerda: Seção de GPR. Direita: Não foram identificadas anomalias neste perfil de GPR.



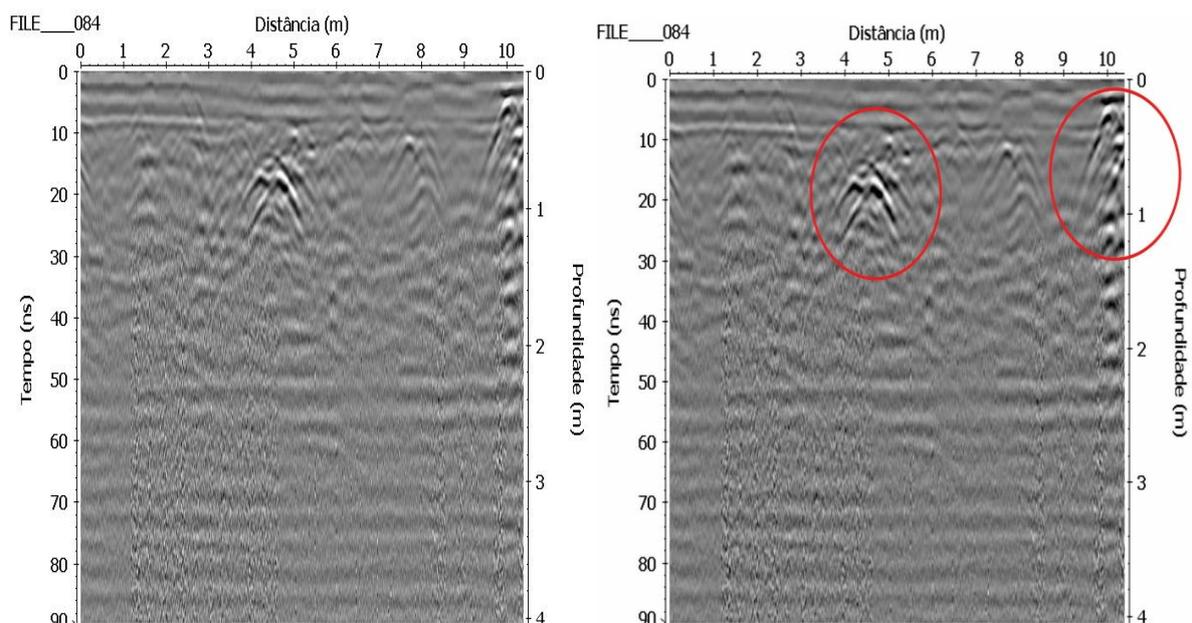
Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023).

Figura 10: Perfil 6 de GPR. Esquerda: Seção de GPR. Direita: Interpretação da seção de GPR, com duas anomalias detectadas e marcadas em círculo vermelho.



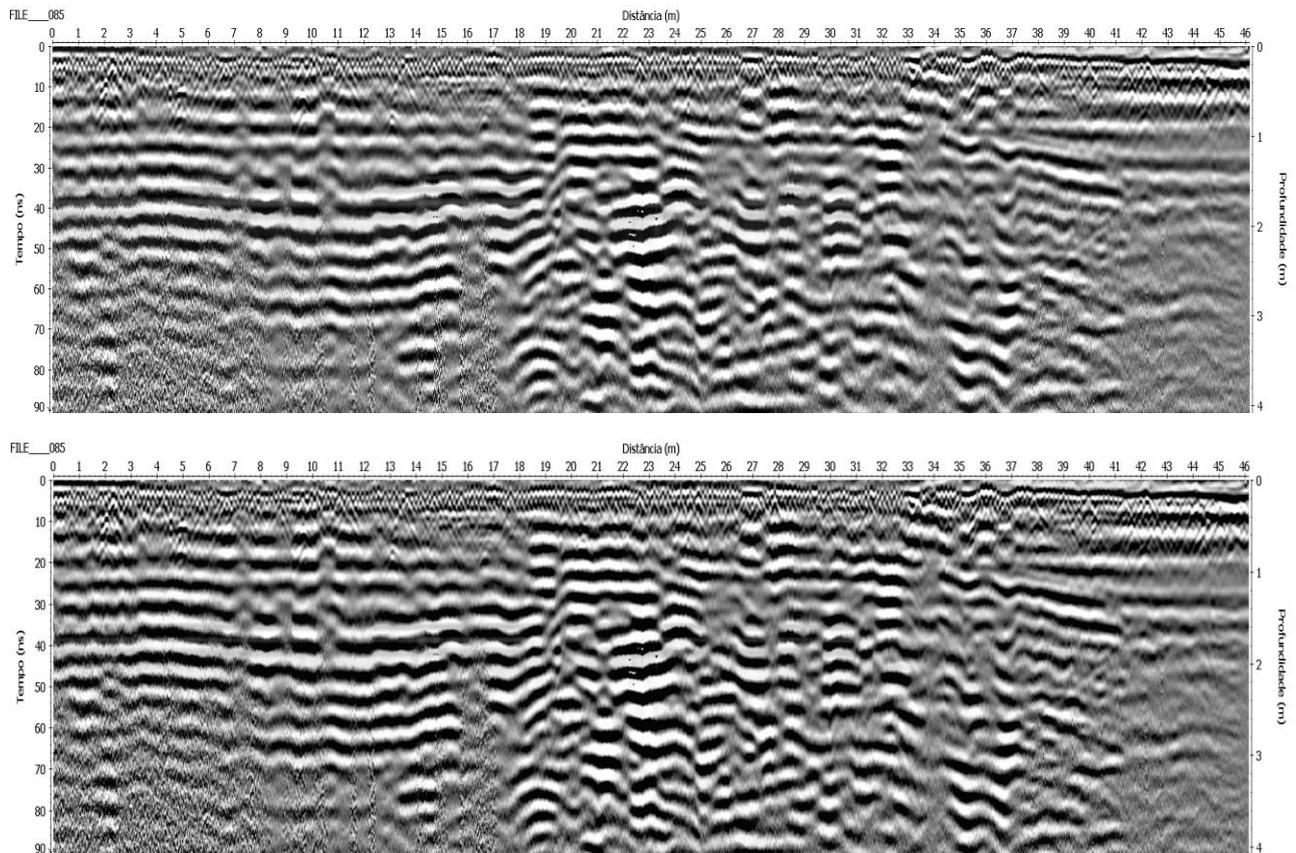
Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 11: Perfil 7 de GPR. Esquerda: Seção de GPR. Direita: Interpretação da seção de GPR, com duas anomalias detectadas e marcadas em círculo vermelho.



Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

Figura 12: Perfil 8 de GPR. Acima: Seção de GPR. Abaixo: Não foram identificadas anomalias neste perfil de GPR.



Fonte: Pantoja; Cunha, Nogueira e Menezes. (2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As investigações com o método GPR ocorreram ao longo de toda a área onde foi possível obter acesso. Nos resultados obtidos com o método GPR, verificou-se que ele forneceu um meio prático, rápido e eficiente de se obter informações diretas e não invasivas sobre o comportamento do subsolo na área investigada, possibilitando localizar anomalias no subsolo.

Não é possível afirmar o que causou as anomalias presentes nos perfis de GPR, sendo que elas podem estar associadas à presença de tubulações e /ou espaços vazios e merecem estudo posterior. Mesmo que o método de GPR não afirme o tipo de anomalia encontrada, ele conseguiu apontar os locais para verificação posterior, o que torna a tarefa de monitoramento e avaliação predial mais ágil e assertiva.

REFERÊNCIAS

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

BORGES, W.R., 2007. **Caracterização Geofísica de Alvos Rasos com Aplicações no Planejamento Urbano e Meio Ambiente**: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG/USP. Tese de Doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG/USP, 256p.

CAMPOS, J. E. G., 2004, **Hidrogeologia do Distrito Federal** – Bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos: RBG, **34** (1), 41-48.

CAMPOS, J. E. G.; Freitas - Silva, F.H., 1998, **Hidrogeologia do Distrito Federal**: in: Inventário hidrogeológicos e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Parte I, Vol II, IEMA-SEMATEC / Universidade de Brasília, 66p.

DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P., 1989. **Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy**. Geophysical Prospecting, Vol 37: 531 – 551.

GARRIDO, I. SOLLA, M., LANGÜELA & S. RASOL, M. 2022. **Review of Infrared Thermography and Ground-Penetrating Radar Applications for Building Assessment**: Advances in Civil Engineering, Volume 2022: 1-2

PORSANI, J.L., 1999. Ground Penetrating Radar (GPR): **Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado** – SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro - SP, 145p.

SANDMEIER, K.J., 2013. REFLEXW Version 7,0, Windows XP/VISTA/7. **Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data**. Manual do Software, Karlsruhe, Germany, 209p.

SANTOS, Erika D. A. dos. 2013. **Duas Bibliotecas de José Galbinski**: “Conexões brutalistas?” X Seminário Docomomo Brasil, 5

SILVA, L S, ZANONI, V. A. G, PAZOS, V. C, SANTOS, L. M. A, JUCÁ, T. R. P. **Fotogrametria com imagens adquiridas com drone**: do plano de voo ao modelo 3D. Editora LaSUS FAU – Universidade de Brasília, Brasília 2022.

TOPP, G. C., DAVIS, J. L. & ANNAN, A. P., 1980. **Electromagnetic determination of soil water content**: measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research, Vol. 16 (3): 574 – 582.

WARD, S. H., HOHMANN, G. W., 1987. **Electromagnetic theory for geophysical applications**: Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, ed. Misac N. Nabighian, v.1, p.131-311. (Investigations in Geophysics, n.3).

YILMAZ, O., 1987. **Seismic Data Processing**. Tulsa: Society of Exploration Geophysics Press, 526p.