



Encontro Técnico
AESABESP

Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente

06230

MAPEAMENTO DE REDES DE TUBULAÇÕES SUBTERRÂNEAS E DEFINIÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS UTILIZANDO O MÉTODO GEOFÍSICO GPR

Me Túlio Cordeiro Bicudo

Mr. Itiro Nakakura

Oriti Solutions Serviços de Engenharia

OBJETIVOS  **DE DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**



Túlio Bicudo

Gerente de Projetos
Mestre em Geofísica
Pesquisador



USP
Universidade de São Paulo



Oriti Solutions

- Geofísico
- Mestre em Geofísica
- Gerente de Projetos

Experiência comercial em Prospecção Geofísica aplicada ao planejamento urbano, engenharia, geotecnia, hidrogeologia, arqueologia entre outras.

Dedica-se à pesquisa na área de computação geofísica (modelagem, inversão e inteligência artificial).

Trabalha principalmente com os métodos de Radar de Penetração do Solo (GPR), Eletrorresistividade (ER) e Sísmica de Ondas de Superfície (MASW).

Introdução

- Método geofísico Georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*) no mapeamento de tubulações e cabamentos;
- Principal objetivo: o sistema de distribuição de água;
- As características das tubulações desse sistema também foram definidas/estimadas;
- Locais com prováveis vazamentos foram indicados;
- Georreferenciamento dos sistemas de distribuições mapeados.



Introdução

Planejamento

- Escopo
- Resultados Esperados
- Metodologia
- Equipamentos



Aquisição

- Georadar
- Marcação em Tempo Real
- GNSS



Processamento

- Dados para o Mapeamento
- Detecção de Vazamentos
- GNSS



Resultado Final

- Planta Georreferenciada
- Alta Qualidade
- De acordo com o Esperado



Integração

- Georadar
- GNSS
- Inspeções Diretas

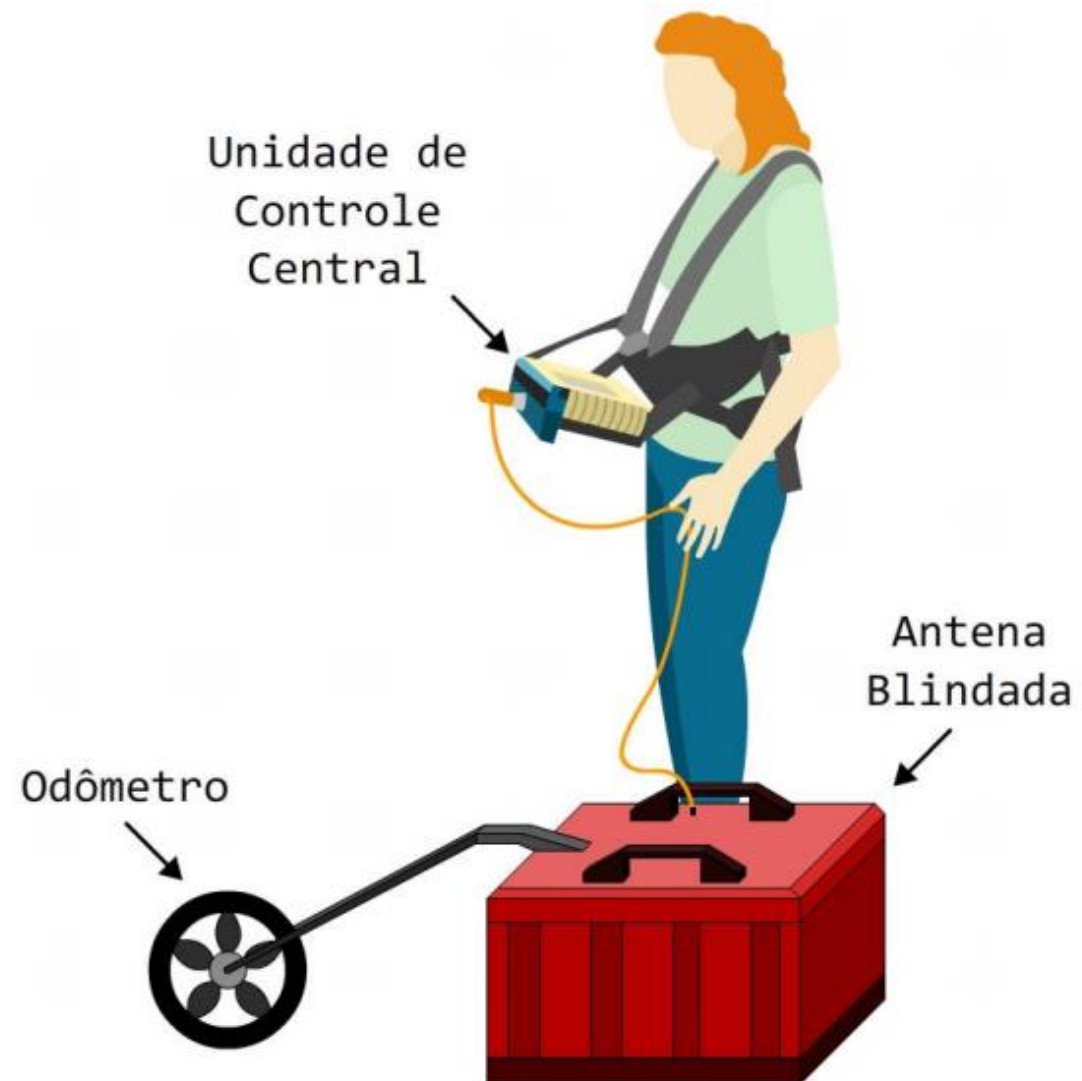


Interpretação

- Georadar
- Experimentos Controlado
- Modelos Numéricos

Metodologia

- Georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*);
 - O GPR pode ser aplicado na Engenharia, Geotecnia, Meio Ambiente, Estudos Forense, Arqueologia, Hidrologia entre outros.
 - Em aplicações da engenharia pode ser usado para investigações em pavimentos, estruturas de concreto armado, infraestrutura ferroviária, planejamento urbano entre outras.



Metodologia

- Georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*);
 - O GPR pode ser aplicado na Engenharia, Geotecnia, Meio Ambiente, Estudos Forense, Arqueologia, Hidrologia entre outros.
 - Em aplicações da engenharia pode ser usado para investigações em pavimentos, estruturas de concreto armado, infraestrutura ferroviária, planejamento urbano entre outras.



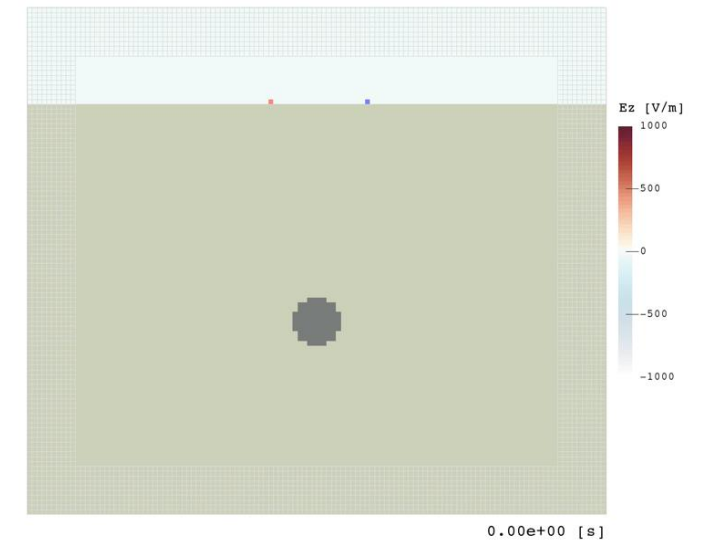
Metodologia

- Georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*);
 - Baseado na Reflexão de Ondas Eletromagnéticas (Frequências de Rádio);
 - O caráter não destrutivo da geofísica faz essa ferramenta ser amplamente utilizada;
 - Para sua aplicação adequada é necessário conhecimento profundo sobre os princípios teóricos e práticos de funcionamento do método;



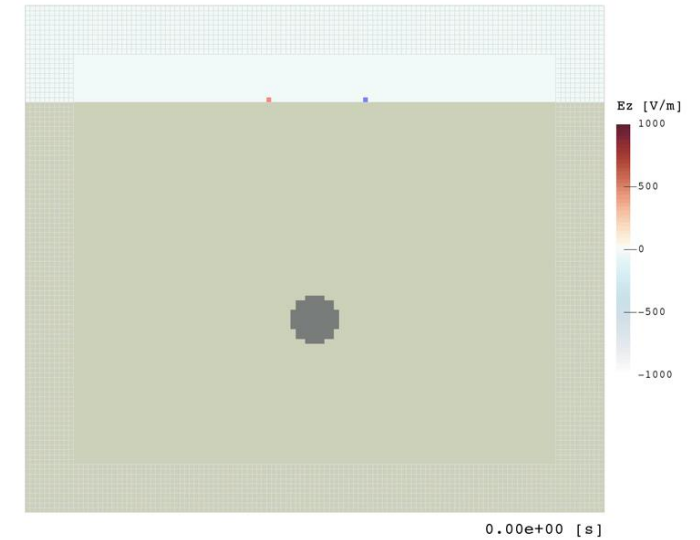
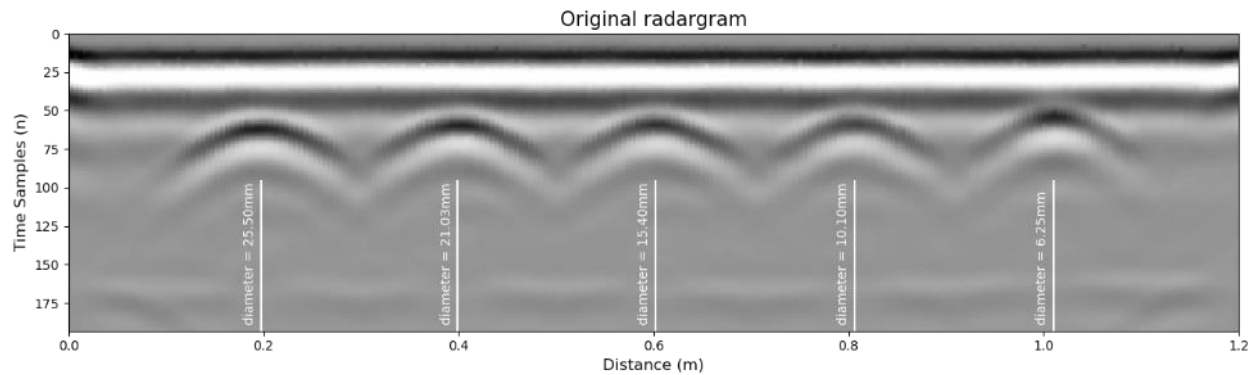
Metodologia

- Georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*);
 - Baseado na Reflexão de Ondas Eletromagnéticas (Frequências de Rádio);
 - O caráter não destrutivo da geofísica faz essa ferramenta ser amplamente utilizada;
 - Para sua aplicação adequada é necessário conhecimento profundo sobre os princípios teóricos e práticos de funcionamento do método.



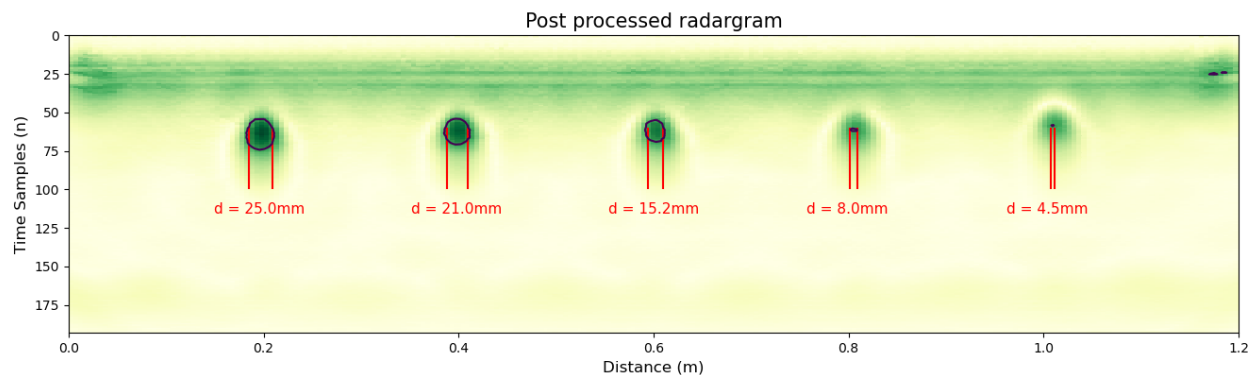
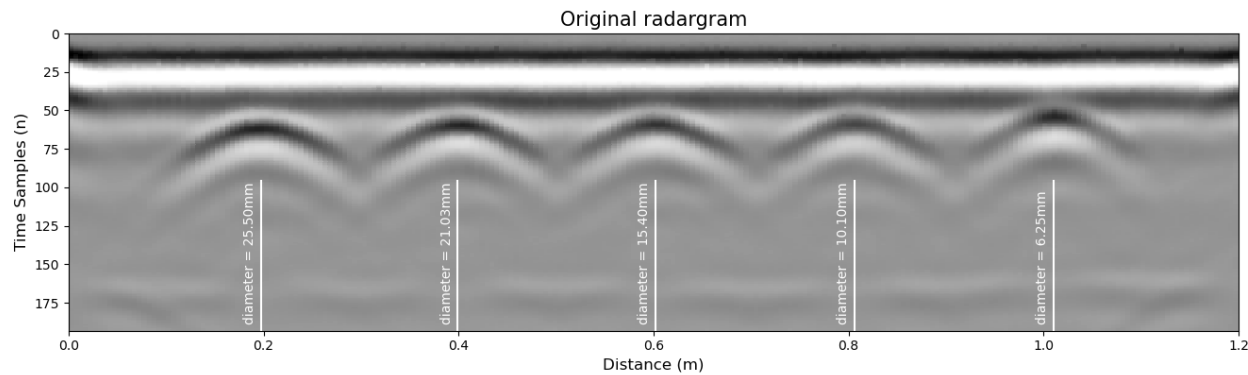
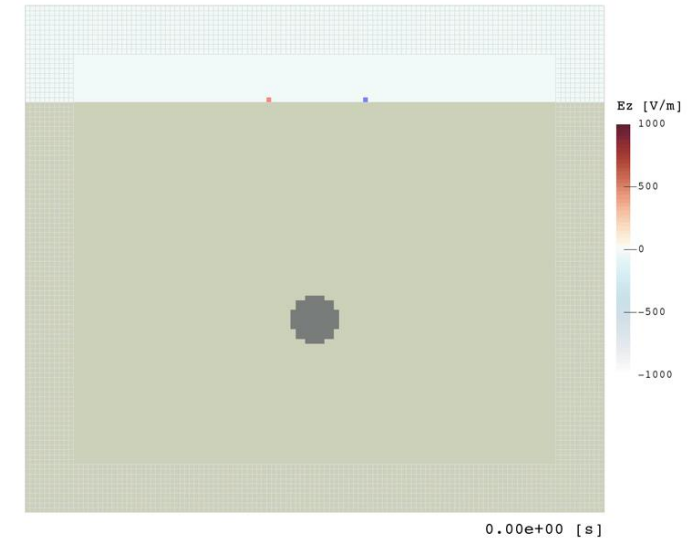
Metodologia

- Georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*);
 - O caráter não destrutivo da geofísica faz essa ferramenta ser amplamente utilizada;
 - Para sua aplicação adequada é necessário conhecimento profundo sobre os princípios teóricos e práticos de funcionamento do método.



Metodologia

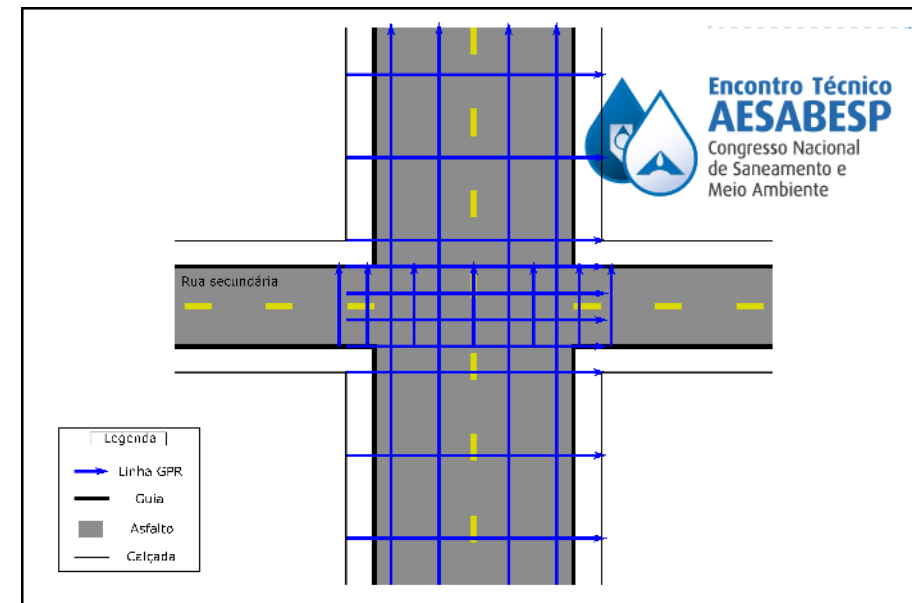
- Georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*);
 - O caráter não destrutivo da geofísica faz essa ferramenta ser amplamente utilizada;
 - Para sua aplicação adequada é necessário conhecimento profundo sobre os princípios teóricos e práticos de funcionamento do método.



Aquisição de Dados

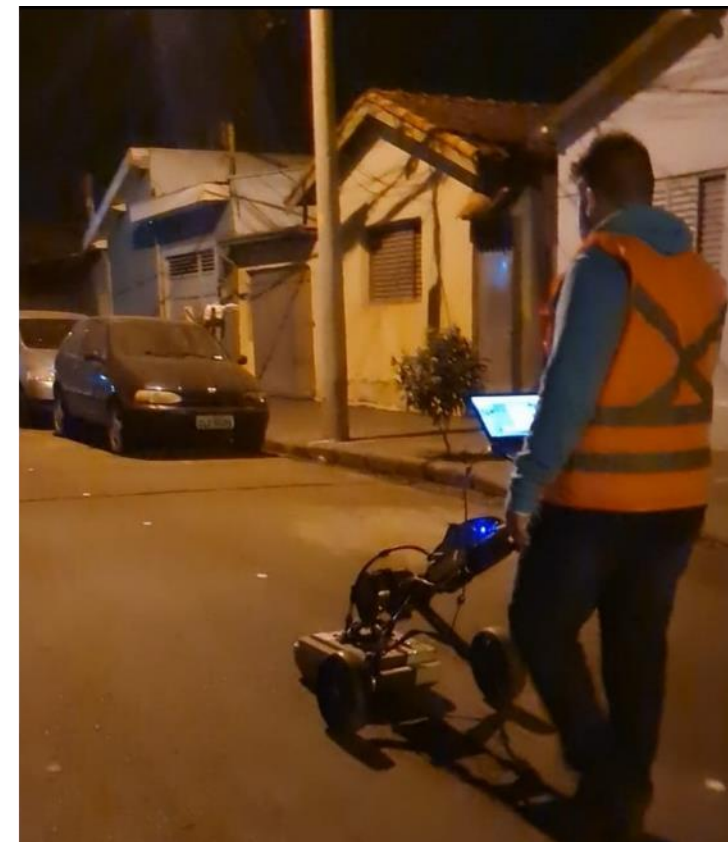
- **Detecção e Mapeamento de Tubulações**

- 10 km de mapeamento em um período de 10 dias;
- Planejamento visando o detalhamento dos cruzamentos;
- Marcação em Tempo Real no Período Noturno;
- Coleta das posições das tubulações por sistema GNSS.



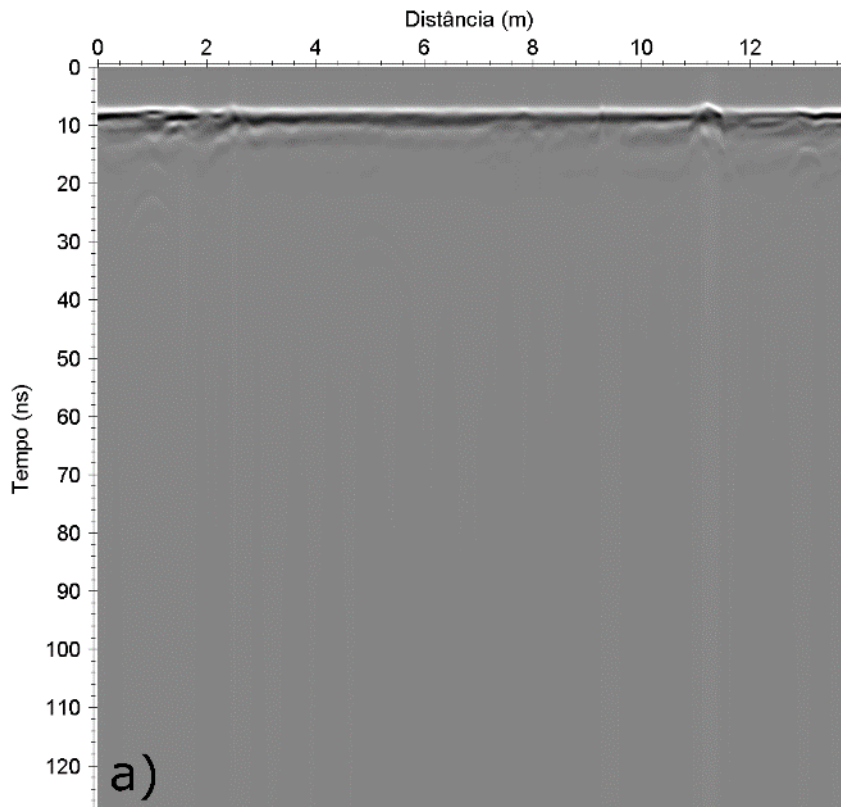
Aquisição de Dados

- Detecção de Vazamentos
 - Pontos Específicos com Problemas na Distribuição;
 - Metodologia diferenciada;
 - Marcação em Tempo Real no Período Noturno.



Processamento de Dados

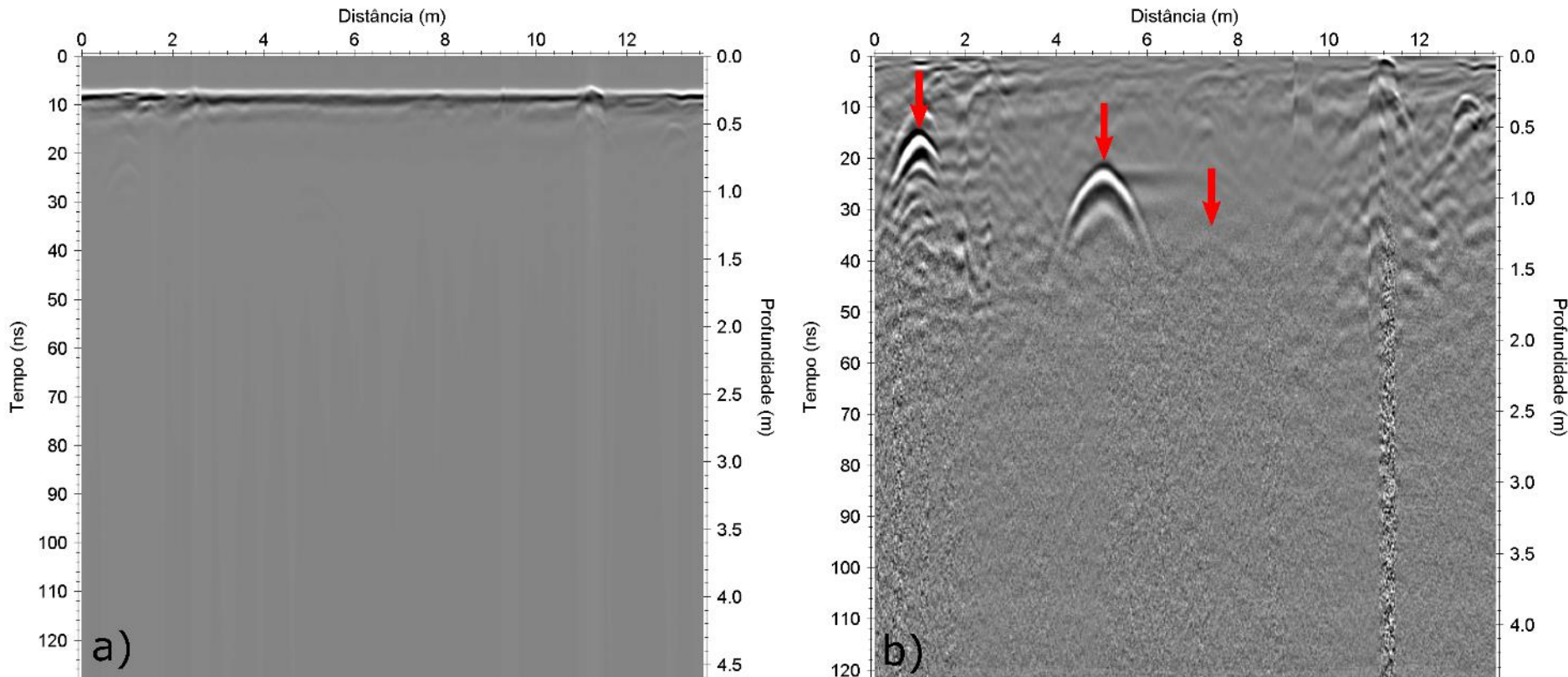
- Fluxo de Processamento
 - Filtros para Remover Ruídos
 - Ganhos para Compensar Perdas de Energia
 - Correções para Ajustar Aspectos Geométricos



a) Dado bruto.

Processamento de Dados

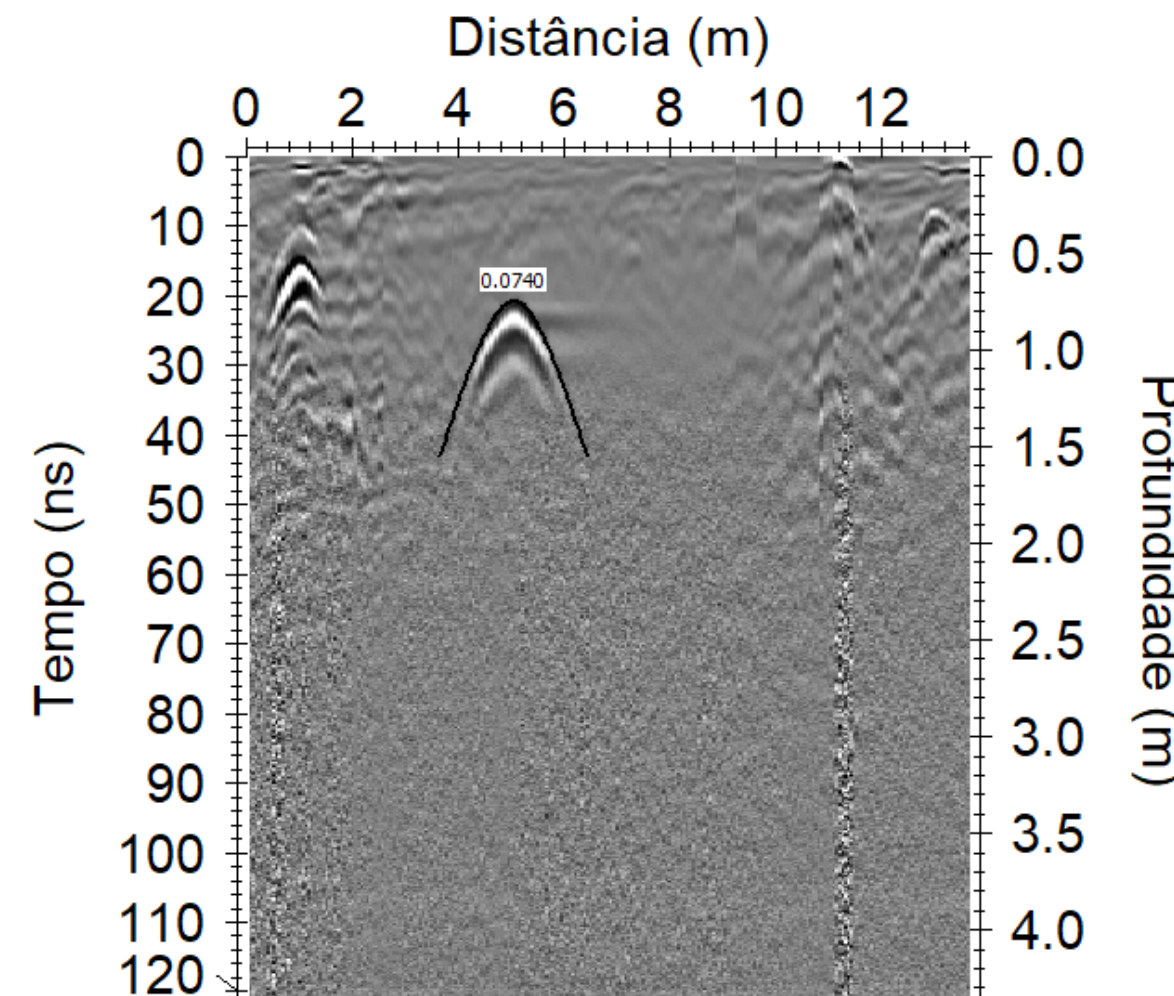
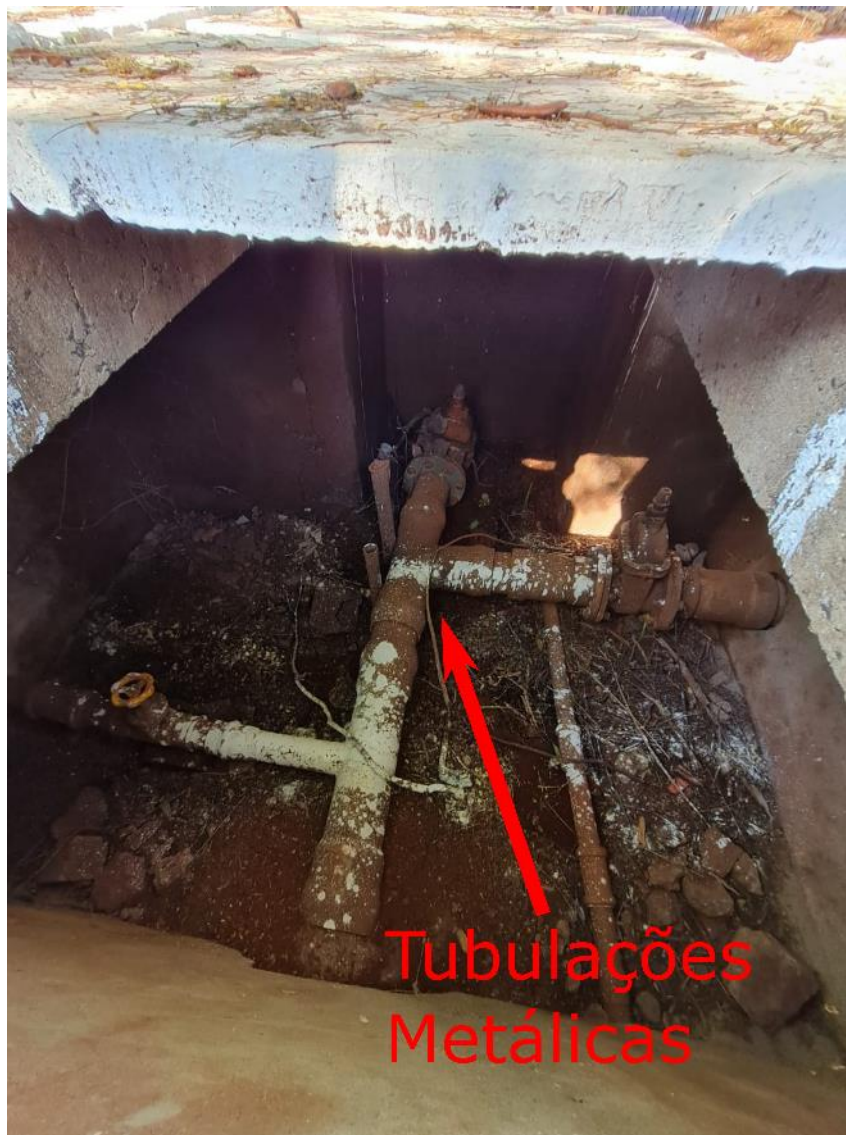
- Fluxo de Processamento
 - Filtros para Remover Ruídos
 - Ganhos para Compensar Perdas de Energia
 - Correções para Ajustar Aspectos Geométricos



a) Dado bruto.

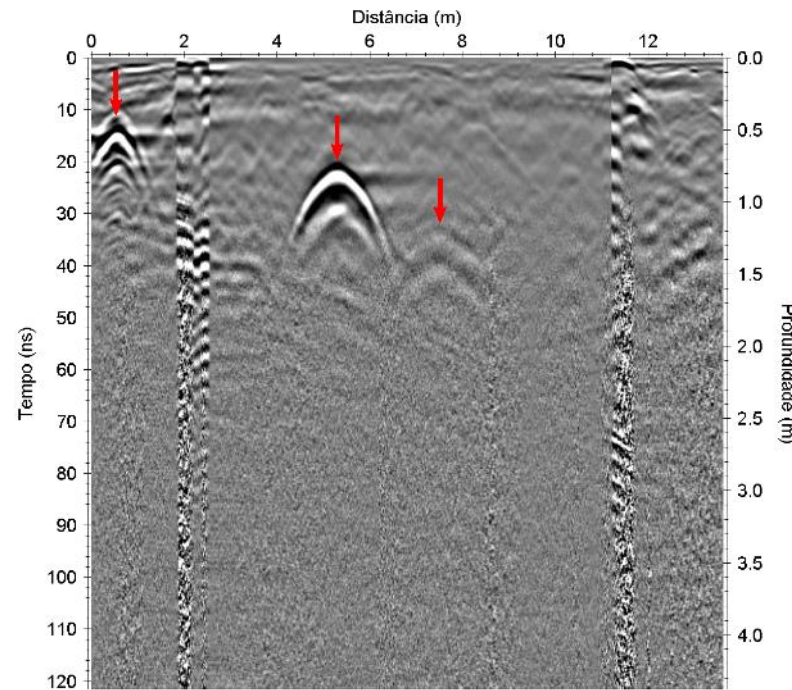
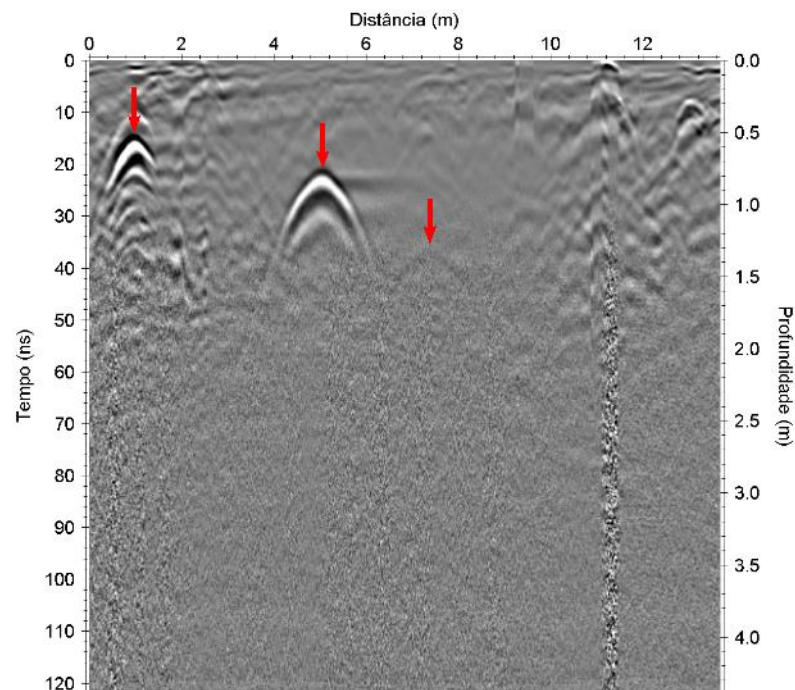
b) Dado após a aplicação do fluxo de processamento.

Processamento de Dados



Interpretação dos Resultados

- **Análise das Correlação entre Perfis**
 - As anomalias hiperbólicas correspondentes entre cada perfil são analisadas confirmando a presença de tubulações e/ou cabeamentos
- **Análise das Anomalias de Interesse**
 - Além das informações diretas por caixas de inspeções, características são inferidas através de (1) comparação com dados controlados e (2) modelagem numérica



Interpretação dos Resultados

Análise das Anomalias de Interesse

A comparação com dados controlados é uma maneira de diminuir a ambiguidade das interpretações, principalmente onde não se tem dados diretos para agregar informações.

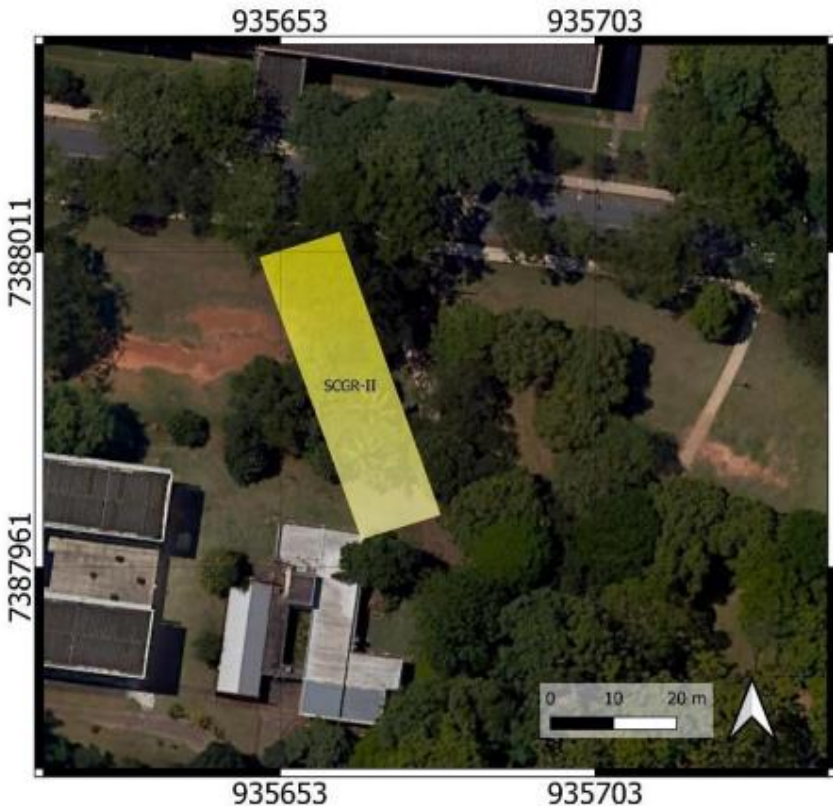
Neste projeto, dados adquiridos sobre o Sítio Controlado de Geofísica Rasa 2 foram utilizados para embasar uma análise ainda mais adequada dos dados.



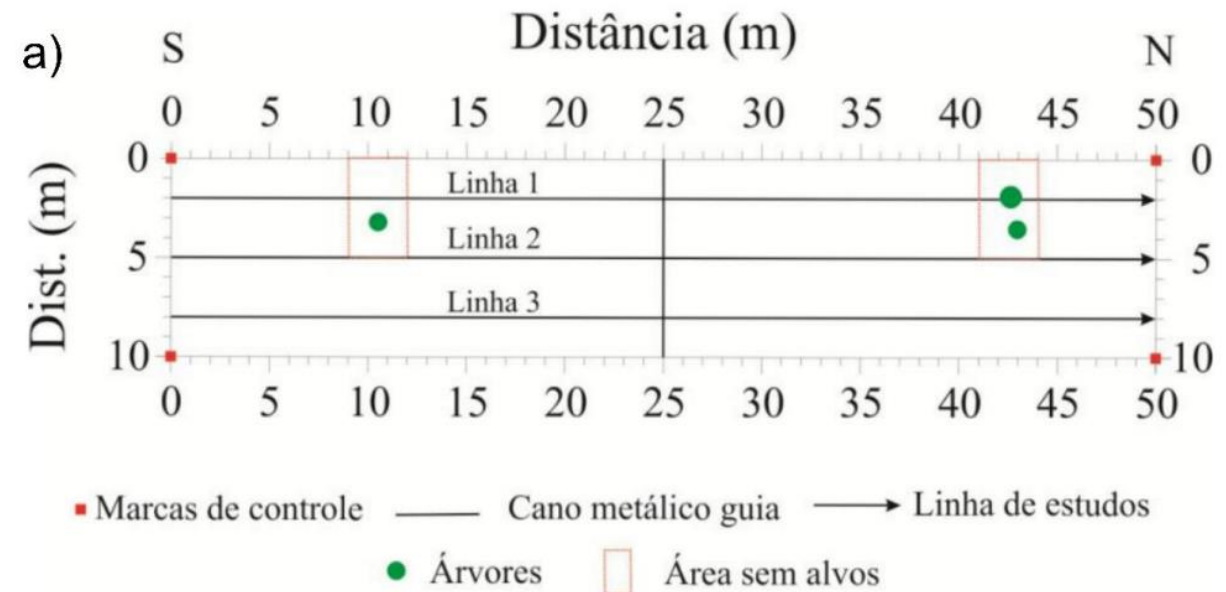
Mapa de Localização
Sítio Controlado de Geofísica Rasa 2
(SCGR-II)
IAG-USP

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum SIRGAS 2000 22S

Interpretação dos Resultados



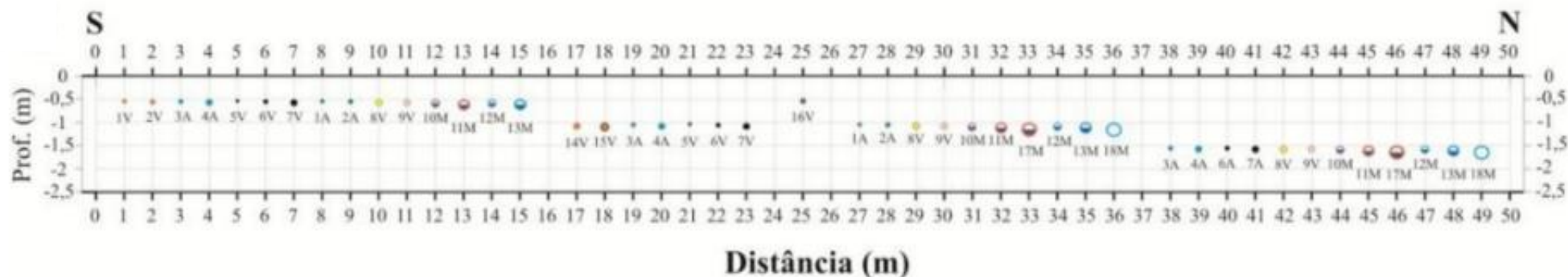
Mapa de Localização
Sítio Controlado de Geofísica Rasa 2
(SCGR-II)
IAG-USP
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum SIRGAS 2000 22S



Sítio Controlado de Geofísica Rasa 2

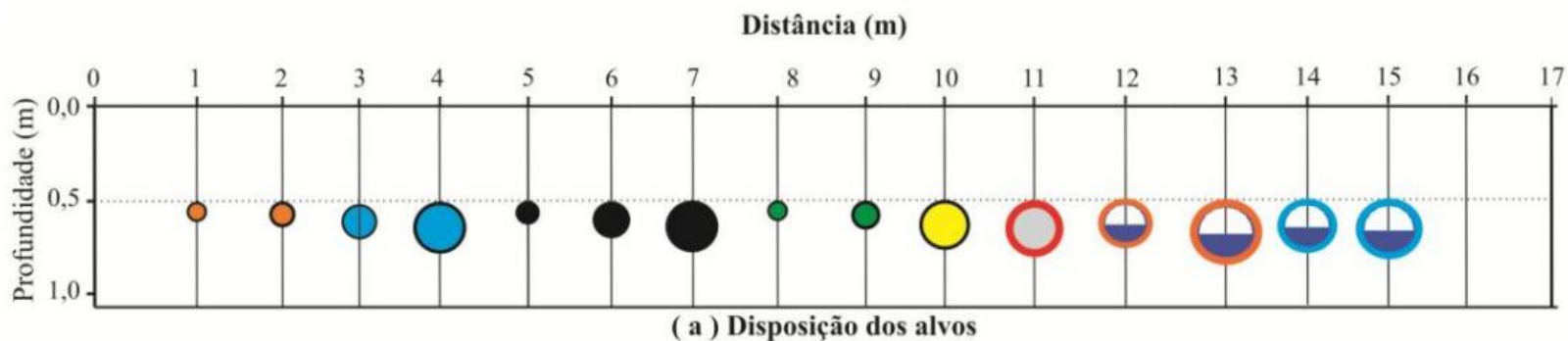
Um grande laboratório de testes para auxiliar em aplicações de geofísica na indústria. Três

Interpretação dos Resultados

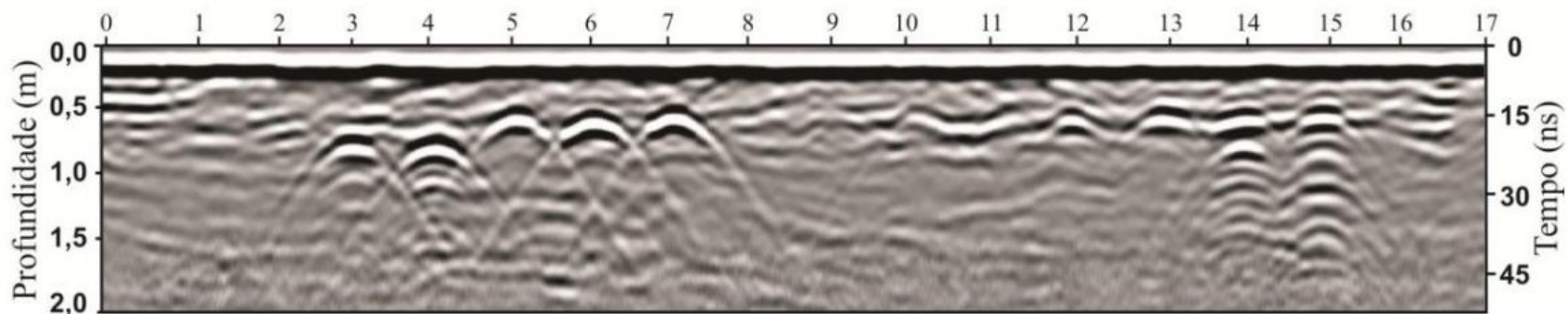


- Cano metálico guia de 3,8 cm de diâmetro
 - Tubo de PVC de 10 cm de diâmetro vazio
 - Manilha cerâmica de 10 cm de diâmetro vazia
 - Tubo de polietileno de 20, 32, 40 e 63 mm de diâmetro vazio
 - Tubo de PVC branco de 75 mm de diâmetro cheio de água
 - Tubo de PVC marrom de 100 mm de diâmetro cheio de água
 - Ferro fundido de 50, 75 e 100 mm de diâmetro vazio
 - Tubo de polietileno de 20 e 32 mm de diâmetro cheio de água
 - Tubo de PVC de 150, 200 e 300 mm de diâmetro metade de água
 - Tubo de PVC de 300 mm de diâmetro vazio
 - Manilha cerâmica de 150, 200 e 300 mm de diâmetro metade de água
- A - Água V - Vazio M - Metade água

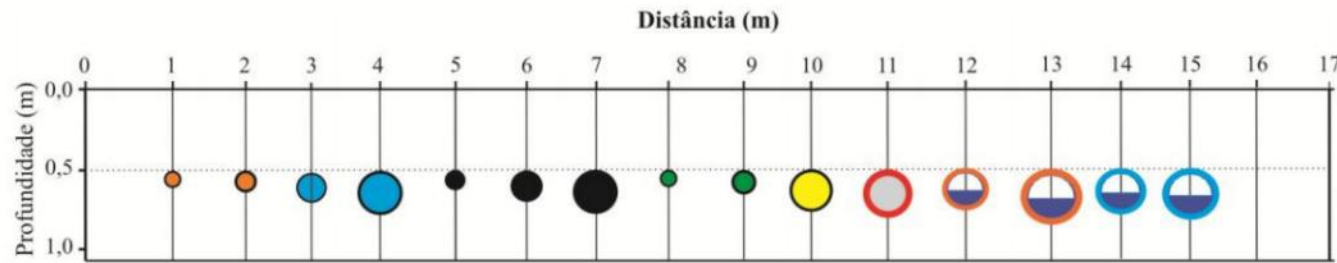
Interpretação dos Resultados



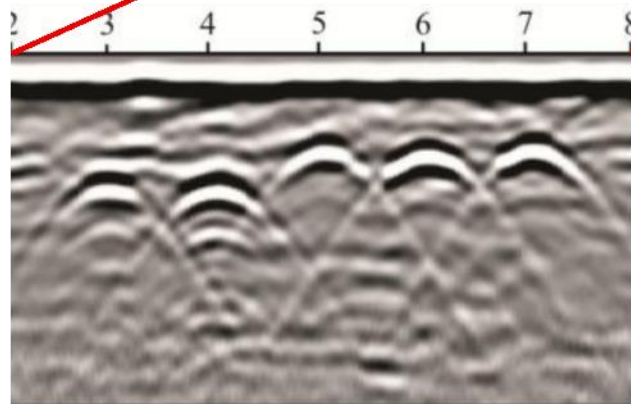
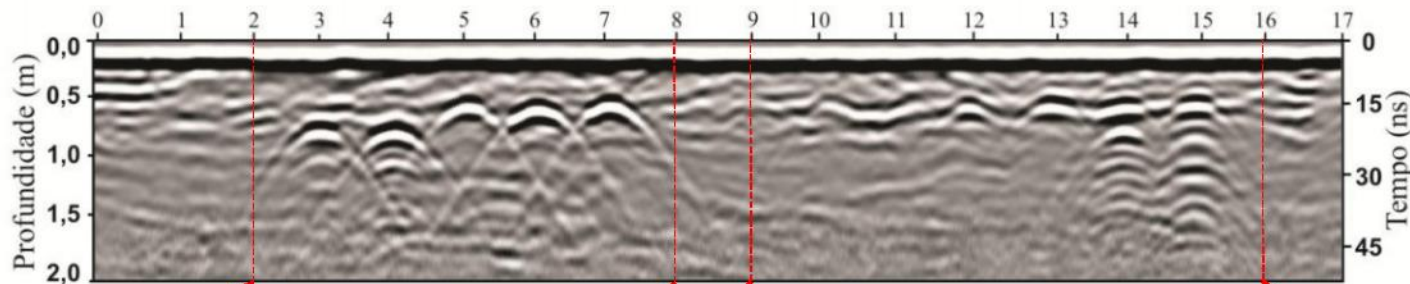
- Tubos de polietileno vazios (diâmetro - 4,0 cm e 6,3 cm)
- Tubos de PVC preenchidos com água (diâmetro - 7,5 cm e 10 cm)
- Tubos de ferro fundido (diâmetro - 5,0 cm, 7,5 cm e 10 cm)
- Tubos de polietileno preenchidos com água (diâmetro - 3,0 cm e 3,2)
- Tubos de PVC e cerâmica vazios (diâmetro - 10 cm e 10 cm)
- Manilhas de cerâmica preenchidos parcialmente com água e ar (diâmetro - 15 cm, 20 cm e 30 cm)
- Tubos de PVC preenchidos parcialmente com água e ar (diâmetro - 15 cm e 20 cm)
- Tubo de PVC vazio (diâmetro - 30 cm)
- Cano metálico guia (diâmetro - 3,8 cm)



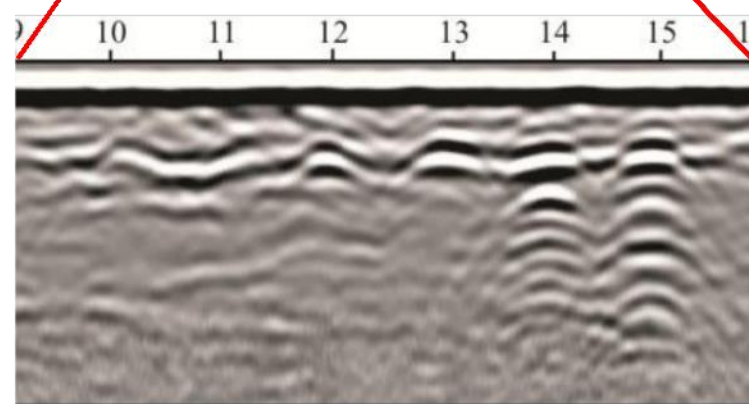
Interpretação dos Resultados



- Tubos de polietileno vazios (diâmetro - 4,0 cm e 6,3 cm)
- Tubos de PVC preenchidos com água (diâmetro - 7,5 cm e 10 cm)
- Tubos de ferro fundido (diâmetro - 5,0 cm, 7,5 cm e 10 cm)
- Tubos de polietileno preenchidos com água (diâmetro - 3,0 cm e 3,2)
- Tubos de PVC e cerâmica vazios (diâmetro - 10 cm e 10 cm)
- Manilhas de cerâmica preenchidos parcialmente com água e ar (diâmetro - 15 cm, 20 cm e 30 cm)
- Tubos de PVC preenchidos parcialmente com água e ar (diâmetro - 15 cm e 20 cm)
- Tubo de PVC vazio (diâmetro - 30 cm)
- Cano metálico guia (diâmetro - 3,8 cm)



Hipérboles relacionadas
a tubulações metálicas



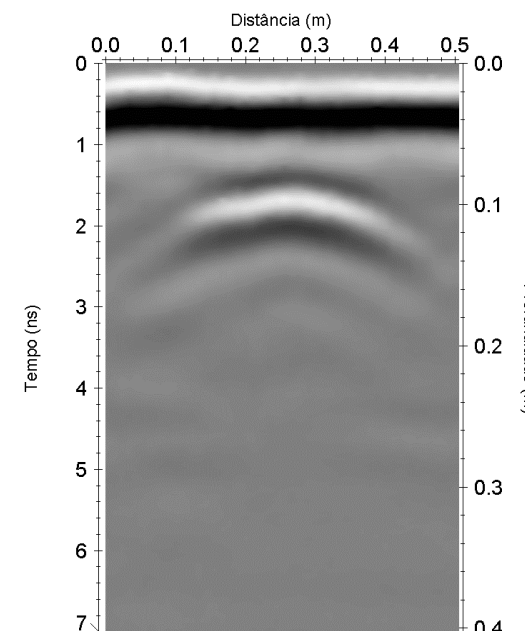
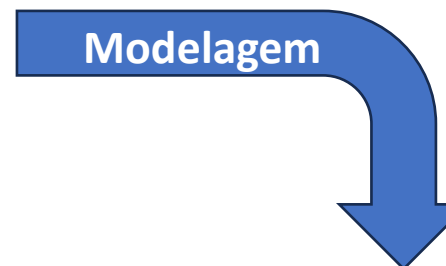
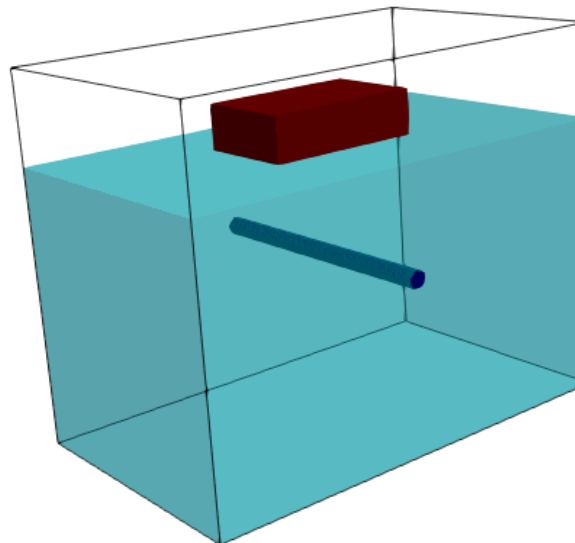
Hipérboles relacionadas
a tubulações cerâmicas

Interpretação dos Resultados

Análise das Anomalias de Interesse

A modelagem numérica é uma maneira muito eficaz de prever formas de anomalias sintéticas e compara-las com seus dados reais.

Além desse uso mais simples, modelagens numéricas também são utilizadas para a resolução de problemas inversos e também treinar redes neurais

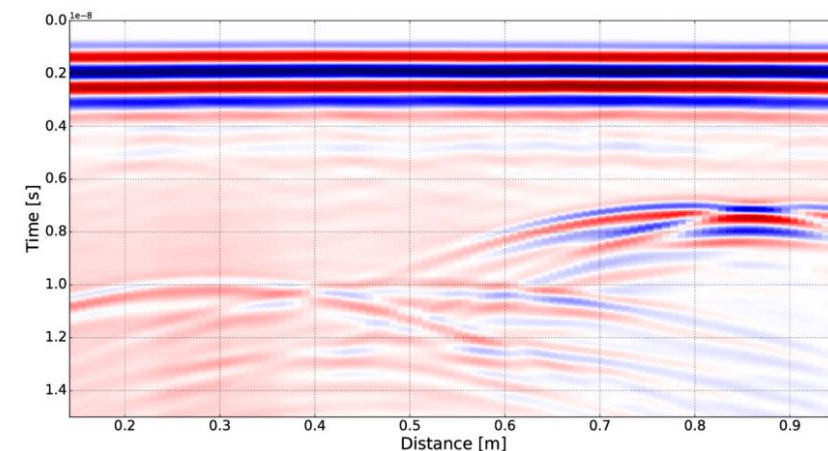
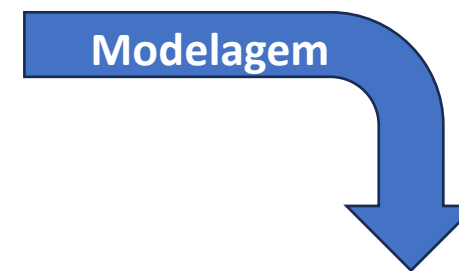
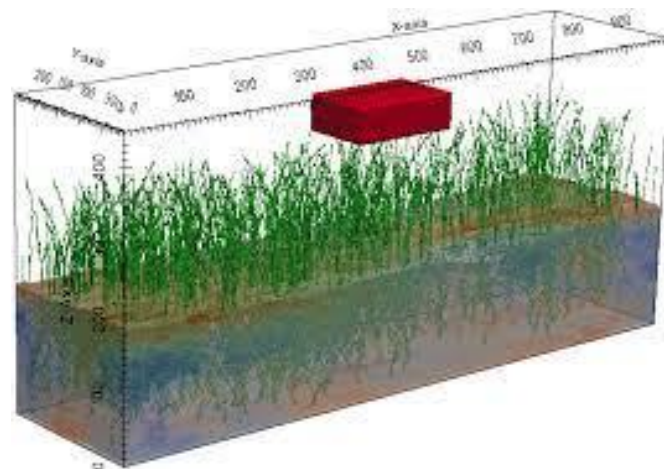


Interpretação dos Resultados

Análise das Anomalias de Interesse

A modelagem numérica é uma maneira muito eficaz de prever formas de anomalias sintéticas e compara-las com seus dados reais.

Além desse uso mais simples, modelagens numéricas também são utilizadas para a resolução de problemas inversos e também treinar redes neurais

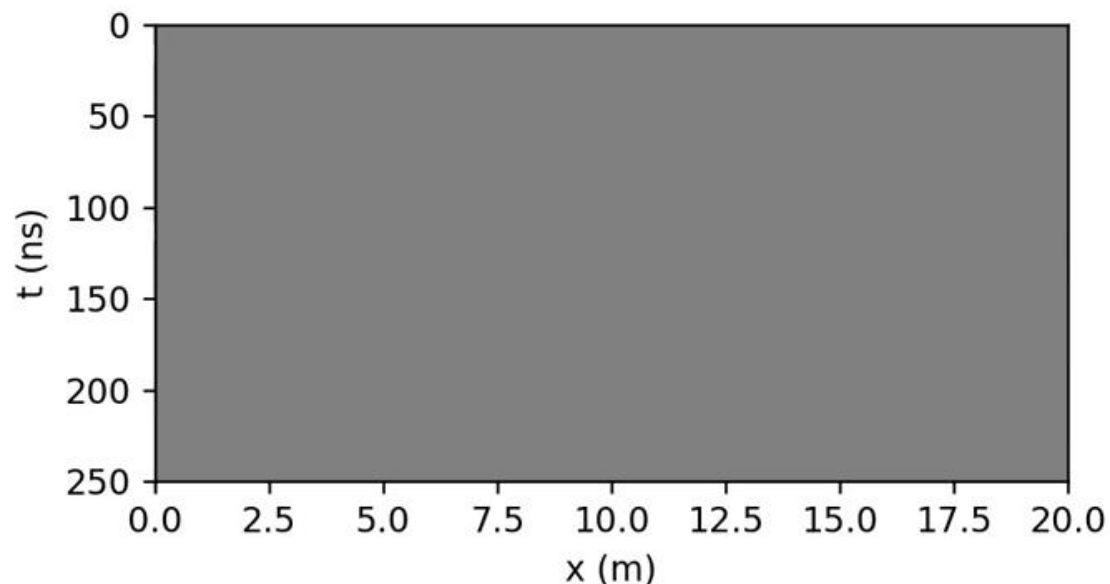
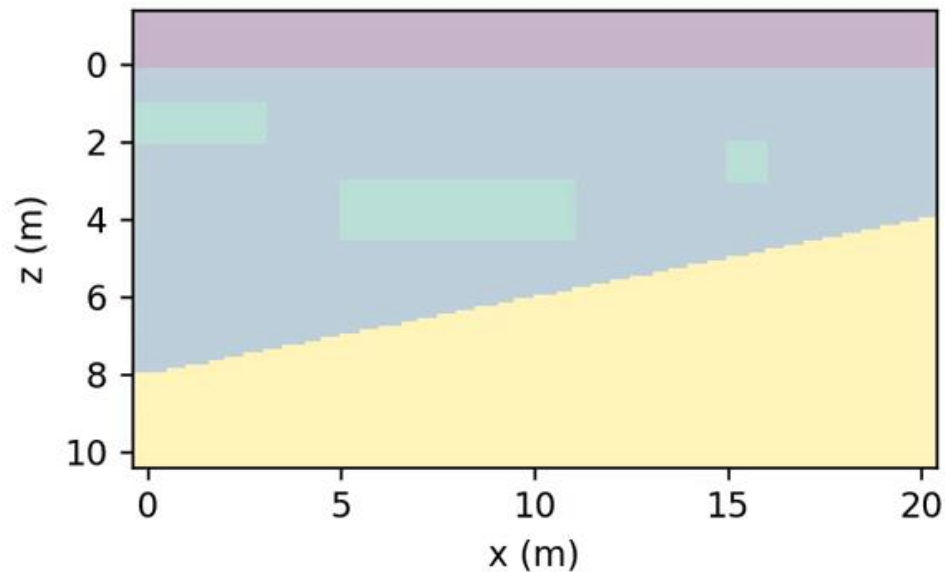


Interpretação dos Resultados

Análise das Anomalias de Interesse

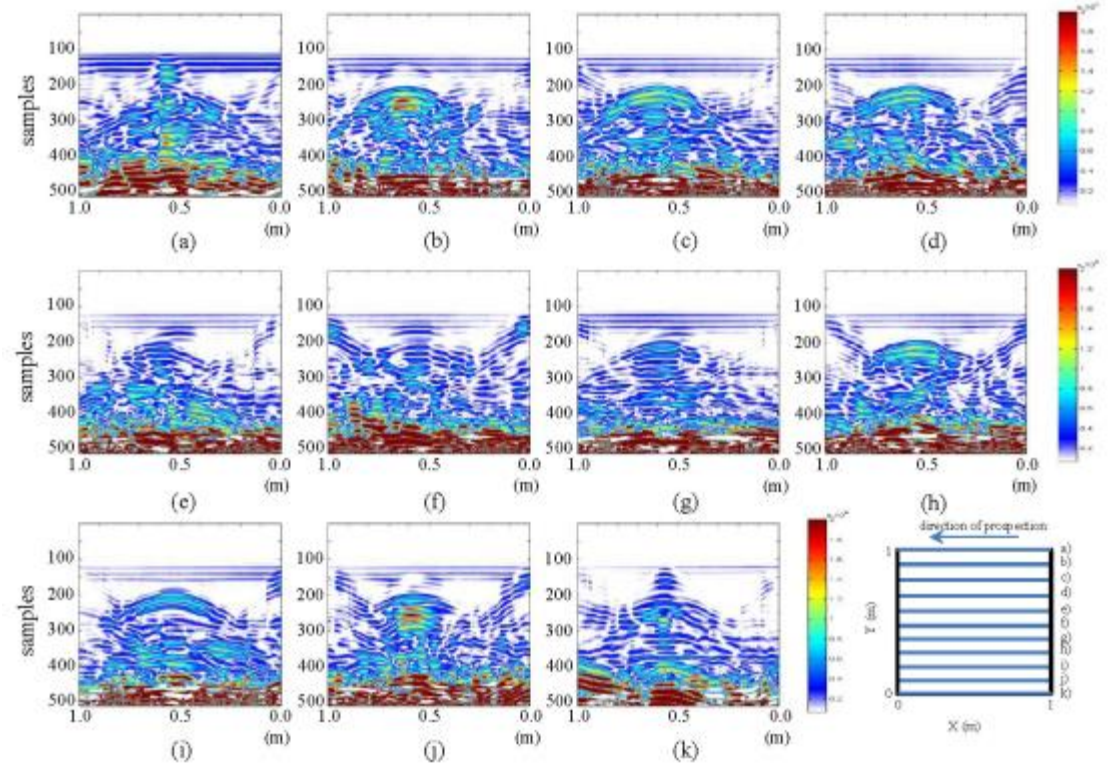
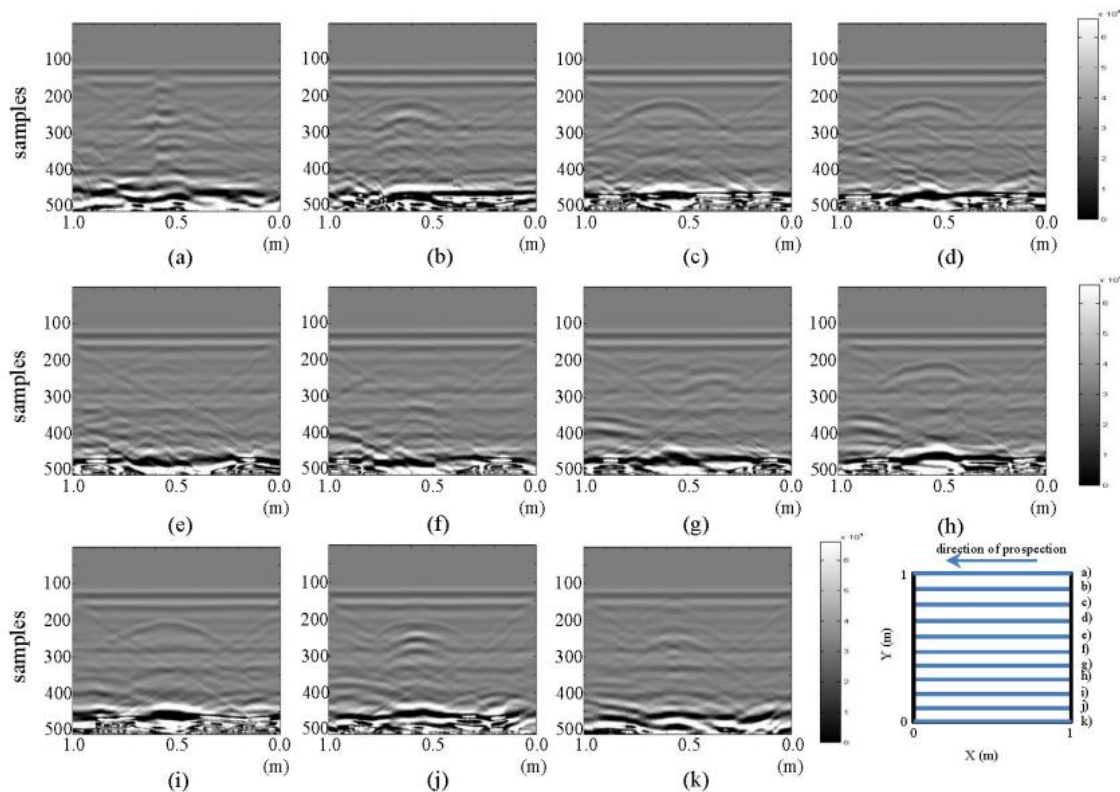
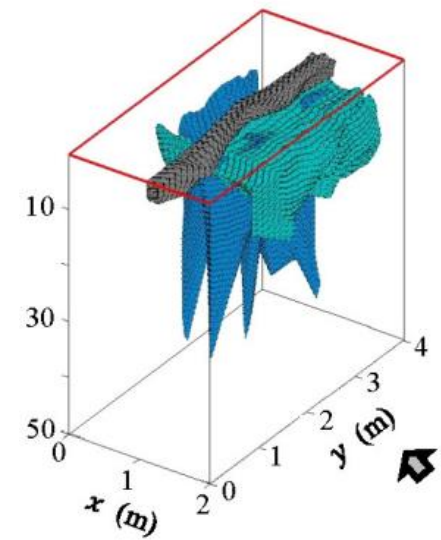
A modelagem numérica é uma maneira muito eficaz de prever formas de anomalias sintéticas e compara-las com seus dados reais.

Além desse uso mais simples, modelagens numéricas também são utilizadas para a resolução de problemas inversos e também treinar redes neurais

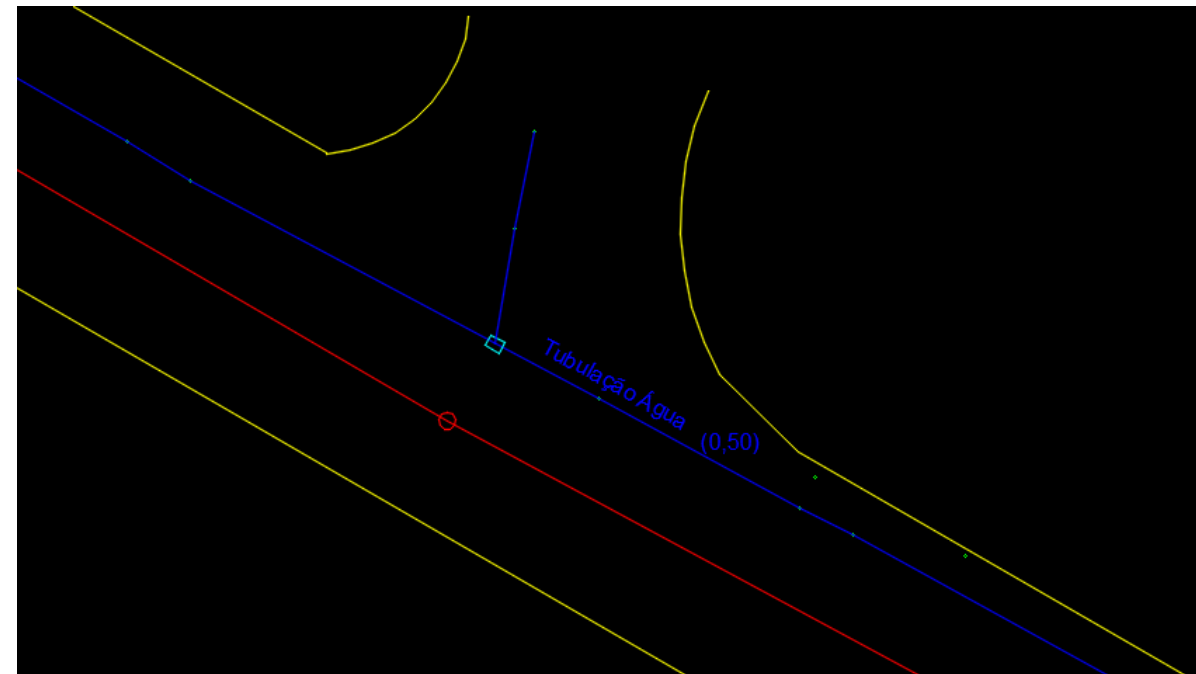
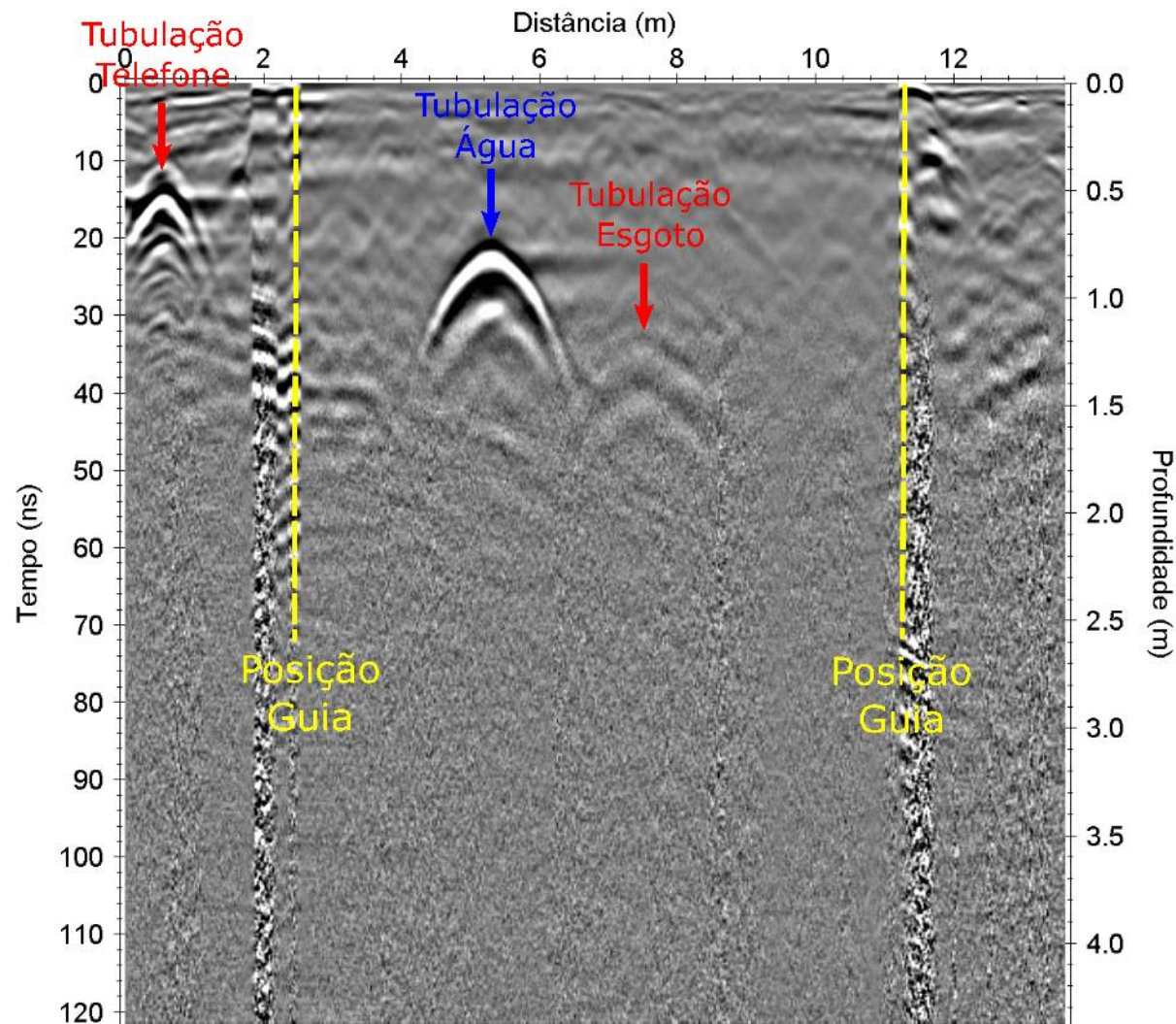


Interpretação dos Resultados

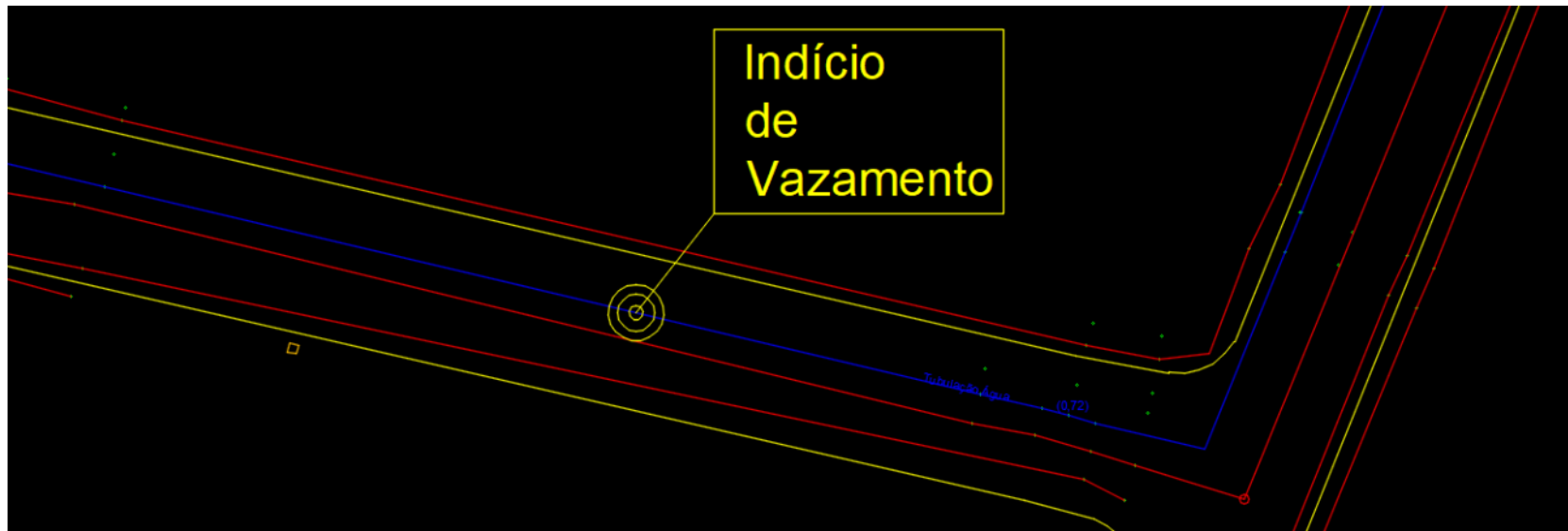
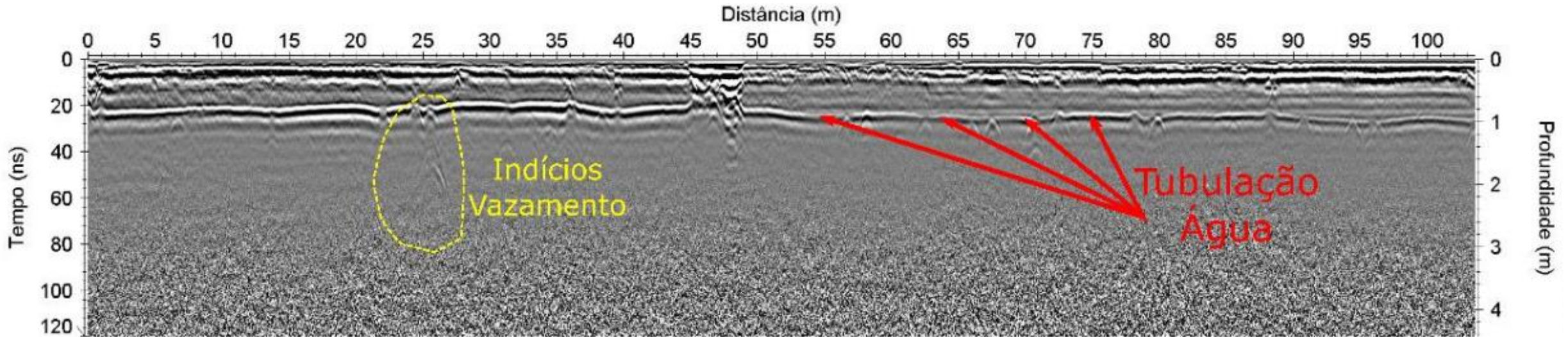
- Análise dos Dados Sintéticos
 - Observando os padrões criados em modelos de vazamentos para a criação de um parâmetro de indicação nos dados reais.



Interpretação dos Resultados



Interpretação dos Resultados



Referências Bibliográficas

Almeida, E. R. **2016**. Análise da tomografia de micro-ondas em dados GPR sob condições controladas: aplicações em arqueologia e estudos forenses. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo.

Borges, W. R. **2002**. 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. Universidade de São Paulo.

Daniels, D. J. **2004**. Ground Penetrating Radar 2nd Edition. Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom.

Sandmeier, K. J. **2012**. ReflexWin 7.0 – Windows™ 9x/NT/2000/XP/7 – program for processing of Seismic, Acoustic or Electromagnetic Reflection, Refraction, and Transmission Data. Karlsruhe, Germany.

Obrigado!

Túlio Cordeiro Bicudo

tulio.bicudogeo@gmail.com

Oriti **S**olutions

Obrigado!

OritiSolutions

EAGE

In the first commercial project, GPR was applied to map subsurface below the dam's concrete. In this case, the 3D integrated model allowed a clear and intuitive understanding of the position and density of the GPR lines performed, as well as the achieved depth (Figure 2a). Taking into account the interpretation of GPR

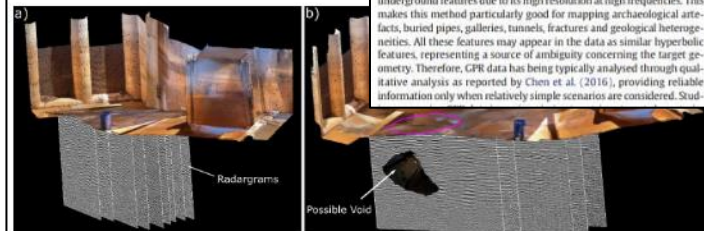


Figure 2 3D integrated model from the data collected over the dam structure. a) View of the GPR radargrams position. b) View of the GPR radargrams and the detected void projection.

The 3D model allowed a clear and intuitive understanding of the position and density of the GPR lines performed, as well as the achieved depth (Figure 2a). Taking into account the interpretation of GPR



ARTICLE INFO

Article history:
Received 12 September 2019
Received in revised form 14 April 2020
Accepted 15 May 2020
Available online 21 May 2020

Keywords:
Dielectric permittivity
Geophysical characterization
Global optimization
Data inversion
Inverse scattering

ABSTRACT

Knowing the dielectric constant of a geologic medium is an important task in GPR studies. Accurate estimation allows realistic results in migration processes, while inaccurate values lead to incorrect time-to-depth conversion of GPR sections. Dielectric constant is also needed for target imaging through Microwave Tomography, which is an inverse scattering problem. In this paper an approach for dielectric permittivity evaluation through the tomographic imaging process in order to retrieve the best image possible for a given target is proposed. Input parameters required for the tomographic imaging process were evaluated through Ant Colony Optimization, an efficient global search algorithm. An experiment was carried out using a 2600 MHz antenna for surveys over metallic and Styrofoam targets of different cross sections embedded in a sand box, in five different scenarios. Accurate results were achieved for estimating dielectric permittivity, with slight variations depending on the scenario complexity. True target positions were well retrieved in most cases; however, depth and shape estimation presented higher errors related to known limitations of the tomographic imaging. In addition, automatic estimation of the regularization factor avoids eventual errors related to subjective analysis. Low computational times required to retrieve the models from real data makes this approach suitable for application in realistic GPR surveys. © 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Ground Penetrating Radar (GPR) has been widely used for mapping underground features due to its high resolution at high frequencies. This makes this method particularly good for mapping archaeological artefacts, buried pipes, galleries, tunnels, fractures and geological heterogeneities. All these features may appear in the data as similar hyperbolic features, representing a source of ambiguity concerning the target geometry. Therefore, GPR data has been typically analysed through qualitative analysis as reported by Chen et al. (2016), providing reliable information only when relatively simple scenarios are considered. Stud-

conductivity on the imaging result was addressed by Soldovieri et al. (2009), showing that the conductivity has some influence on the contrast function sharpness related to the tomographic image.

Environmental clutter usually observed in GPR data can highly affect the quality of the reconstruction. Clutter usually is removed in GPR processing through background removal tools. The effects of these tools on the final imaging were analysed by Persico and Soldovieri (2008). A comparison between the imaging capabilities of MT and conventional migration was carried out by Perini et al. (2009). Both techniques were applied to data acquired over real metallic and plastic targets in order to define the capabilities of each one. It has been shown that MT is more intuitive.

Results and Discussion

The synthetic data generated by realistic modelling showed that voids in the subsurface can be identified by very specific anomalies in the radargrams. These anomalies are characterized by zones of higher intensity reflections associated with reverberations that extend throughout the entire time window of signal recording.

This result was able to provide a guiding parameter for interpreting the real data acquired in the study, thereby reducing the inherent ambiguity in GPR interpretations. Furthermore, additional information about the site was considered in the GPR interpretation process. Among this information, two boreholes supplied details regarding the types and thicknesses of both the soil and the concrete floor.

3D GPR characterization of buried metallic and plastic tanks using time-reversal processing technique

Túlio Cordeiro Bicudo^a*, Vinícius Rafael Neris dos Santos^a, Jorge Luís Porsani^a and Fernando Lisboa Teixeira^a
^a Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Departamento de Geofísica, São Paulo, SP 05508-090, Brazil; tulo.bicudo@iag.usp.br (T.B.); jorge.porsani@iag.usp.br (J.P.)
^b Kerno Geo Soluções, São Paulo, SP 01311-100, Brazil; vinicius@kerno.com.br (V.S.)
^c ElectroScience Laboratory and Department of Electrical and Computer Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH 43221, USA; teixeira.5@osu.edu (F.T.)

Summary

This work presents a 3D GPR characterization of metallic and plastic buried tanks using the Time-Reversal (TR) technique. Geometry estimation of buried objects is very useful in many studies (e.g., archeology and engineering) and the GPR method can yield optimal results. In this work, we applied the TR technique to recover the geometry of buried tanks at the Shallow Geophysics Controlled Site 1, located in University of São Paulo. Four targets were chosen, two 200 L metallic tanks horizontally and vertically located at different depths and two vertical 100 L plastic tanks filled with different fluids. The TR technique uses the invariance property of the wave equation to generate images of targets in many applications (geoscience, medicine, sound quality, etc.). This property allowed modelling electromagnetic wave propagation using real data signals reversed in the source, focusing the energy on the target region covering its geometry. The modelling process is the Finite Difference Time Domain (FDTD) simulation. The 3D geometry obtained with the TR technique was analyzed. The results showed that in some particularly the plastic tanks, the TR obtained good recovery.

Introduction

This work discusses a 3D (volumetric) reconstruction technique for the characterization of metallic tanks buried in a controlled test site. The selected GPR site for near subsurface geophysics is of the Institute of Astronomy, Geophysics and Cosmic Science of the University of São Paulo (USP) is an area with several representative buried structures built in Brazil (Porsani et al., 2006; Porsani

is an empty plastic tank at 0.5 m of depth, target 4 is a plastic tank filled with fresh water at 0.5 m of depth.

The GPR results presented here indicate that features such the major axis alignment direction of the tank (i.e. vertical or horizontal), along with physical properties of the tank and the internal fluid, determine the overall efficacy of the TR-based algorithm to GPR characterization of buried tanks. In general, the high reflectivity at the top boundary of metallic tanks and the weak wave penetration into the tank volume may hamper the characterization of the bottom tank boundaries. On the other hand, TR-based 3D characterization of plastic tanks yields satisfactory results.

Methodology

TR techniques were originally developed for acoustics (Fink et al., 1989) and later successfully extended to EM waves (Cresp et al., 2008; Santos et al., 2017). TR-based techniques has been proved useful in a wide range of applications, such as medical imaging (Thomas and Fink, 1996), remote sensing (Reyes-Rodríguez et al., 2014), geophysical investigations (Artman et al., 2010), characterization of targets applied to urban planning (Santos et al., 2018), studies related to acoustic quality (Lin and Too, 2014), and wireless communications (Fouda et al., 2012), to name a few.

TR techniques exploit the invariance of the wave equation (Equation 1) with respect to time reversal. Mathematically, this refers to the fact that if $\vec{E}(r, t)$ is a solution of the wave equation for a lossless medium

$$\nabla^2 \vec{E}(r, t) - \mu(r) \epsilon(r) \frac{\partial^2 \vec{E}(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

then it follows that $\vec{E}(r, -t)$ is also a solution. In equation (1), $\vec{E}(r, t)$ represents the electric field, r the three-dimensional position vector, μ the magnetic permeability,

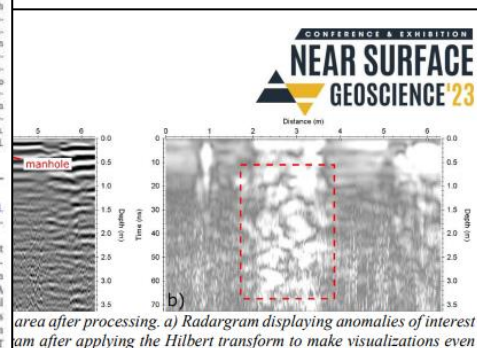
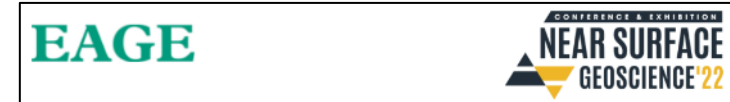


Figure 3 Image after processing. a) Radargram displaying anomalies of interest. b) Image after applying the Hilbert transform to make visualizations even more intuitive.



Diameter estimation of concrete rebars using a practical GPR data processing: a case study.

T. Cordeiro Bicudo¹, I. Nakakura¹, C. Costa Nunes da Silva¹
¹Oriti Solutions Engineering Services

Introduction

Ground Penetrating Radar (GPR) is a well-established geophysical method for investigate the shallow subsurface or engineering structures. The fact that GPR is a non-destructive technique (NDT) combined with aspects such as the high resolution and the ability to cover large areas quickly and continuously, makes this tool widely used for studies from groundwater, archaeology, urban planning to contamination, forensic and engineering.

The application of GPR in civil engineering studies can be performed aiming different objectives, such as the detection of internal cracks or location of excessive humidity (Annan, 1996; Rasol, 2020). The

