



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

RELATÓRIO TRABALHO FINAL

**USO DO GROUND PENETRATING RADAR EM ÁREAS
POTENCIALMENTE SUJEITAS A ALVOS DE INTERESSES
ARQUEOLÓGICOS**

Discente: 170049604 / Aline Leite Jardim Oliveira

Coordenador: Prof. Dr. Elder Yokoyama

Banca avaliadora:
Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges
Dr. Vagney Aparecido Augusto

BRASÍLIA
Setembro 2022

ALINE LEITE JARDIM OLIVEIRA

**USO DO GROUND PENETRATING RADAR EM ÁREAS POTENCIALMENTE
SUJEITAS A ALVOS DE INTERESSES ARQUEOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à banca examinadora do
Instituto de Geociências da Universidade de
Brasília, como requisito para obtenção do
grau de bacharel em Geofísica.

BRASÍLIA

2022

ALINE LEITE JARDIM OLIVEIRA

**USO DO GROUND PENETRATING RADAR EM ÁREAS POTENCIALMENTE
SUJEITAS A ALVOS DE INTERESSES ARQUEOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à banca examinadora do
Instituto de Geociências da Universidade de
Brasília, como requisito para obtenção do
grau de bacharel em Geofísica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Elder Yokoyama (IGD/UnB)

Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges

Dr. Vagney Aparecido Augusto

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu queria agradecer a minha família, em especial meus pais, Ernando e Fábria por me proporcionarem o melhor de tudo para chegar até aqui. A minha irmã Gabriela por ser minha companheira de todas as horas, sendo elas felizes ou tristes. A Phygeo, principalmente o Natan e o Quemuel que fizeram a aquisição dessa pesquisa, o Prof. Dr. Elder Yokoyama, a Prof. Sibeles Viana e sua equipe de alunos, por me concederem a chance de utilizar esse projeto como meu trabalho final.

Aos meus amigos e colegas de graduação, dos cursos de Geofísica e Geologia, Ana Livia, Nana, Genesson, Malu, Gabi, Duda, Douglas, Thales, Luis Fernando, Mari, Luiza, Valentina, João Vitor e vários outros, e em especial o Relâmpago Marquinhos que esteve comigo desde o começo da graduação e sem ele, estar onde estou seria impossível. Agradeço, também, aos meus amigos de longa data e ao meu namorado, Lucas, que me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor a cada dia, me ajudando a superar meus medos e minha ansiedade.

Mais uma vez, gostaria de agradecer a Phygeo, que por quase 4 anos me proporcionou experiências inimagináveis fazendo parte dessa empresa maravilhosa.

“A vida não é sobre ser forte o tempo todo, é sobre apanhar, cair, suportar todas as dificuldades, levantar e continuar sua jornada, tendo a certeza que as fases ruins também acabam.”

Autor desconhecido

RESUMO

A Arqueologia é o estudo cultural e do modo de vida de diversos povos, tanto no presente quanto no passado. Nela existem diversas áreas, como por exemplo, a Geoarqueologia que visa utilizar a Geofísica, Geologia e Geomorfologia a favor dos estudos arqueológicos. Neste trabalho foi utilizado o equipamento *Ground Penetrating Radar* (GPR), esse é um método geofísico eletromagnético, para auxiliar as pesquisas arqueológicas em Palestina de Góias-GO. Nos Sítios Arqueológicos GO-Cp-16 e GO-Cp-17, foram realizadas diversas linhas utilizando as antenas de 400 MHz e 900 MHz, a primeira para atingir uma maior profundidade, e a segunda para se obter mais detalhamento nas aquisições. Após a obtenção dos dados, os mesmos foram processados utilizando o software *Reflexw*, assim, gerando produtos 2D e 3D, a fim de se atingir o objetivo deste projeto, sendo ele, identificar alvos de interesse arqueológico. No sítio GO-Cp-16, as seções geradas com o GPR foram efetivas para contribuir com as escavações dos arqueólogos, com a definição de áreas que potencialmente dificultaria a evolução das escavações. E além disso foi encontrada uma anomalia de interesse, o que mais tarde foi aberta uma escavação no local e foi identificada um fragmento de cerâmica. Já no sítio GO-Cp-17 a aquisição não foi muito eficiente, devido as condições da área.

Palavras-chave: Geofísica; GPR; Geoarqueologia.

ABSTRACT

Archeology is the cultural study and way of life of different peoples, both in the present and in the past. There are several areas that help it, such as Geoarchaeology, which aims to use Geophysics, Geology and Geomorphology in favor of archaeological studies. In this work, the *Ground Penetrating Radar* (GPR) equipment was used, this is an electromagnetic geophysical method, to assist archaeological research in Palestine de Góias-GO. In the Archaeological Sites GO-Cp-16 (Units A, B and C) and GO-Cp-17, several lines were made using the antennas of 400 MHz and 900 MHz, the first to reach a greater depth, and the second to for more details on acquisitions. After obtaining the data, they were processed using the *Reflexw* software, thus generating 2D and 3D products, in order to achieve the objective of this project. At the GO-Cp-16 site, the products generated were effective in contributing to the excavations of the archaeologists, with the definition of areas that would potentially hamper the evolution of the excavations, and in addition, an anomaly of interest was found, which was later opened a excavation at the site and a ceramic fragment was identified. At the GO-Cp-17 site, the acquisition was not very efficient, due to the conditions of the area.

Keywords: Geophysics; GPR; Geoarcheology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema simplificado dos componentes do sistema GPR e do processo de transmissão da onda. (ARAGÃO, 2006 – adaptado de REYNOLDS, 1997).....	3
Figura 2.2: Processos que resultam na perda de energia (ARAGÃO, 2006 – adaptado de REYNOLDS, 1997).....	4
Figura 2.3: a) Posicionamento de tambores metálicos vazios; b) Perfil GPR sintético de 250 MHz resultantes da modelagem numérica 2D; c) Perfil GPR de 250 MHz antes da migração; d) Perfil GPR de 250 MHz com a migração com velocidade constante de 0,065 m/ns (compilado de PORSANI et. al, 2006).	7
Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo.	9
Figura 3.2: Sítios arqueológicos: a) GO-Cp-16, Unidade A; b) GO-Cp-16, Unidade B; c) GO-Cp-16, Unidade C (Fonte: Phygeo Jr.); e d) GO-Cp-17.	10
Figura 3.3: Mapa simplificado da Bacia do Paraná, apresentando as supersequências existentes na mesma, com contornos indicando profundidade da bacia (MILANI, 2004).	10
Figura 3.4: Mapa litológico da área de estudo.	11
Figura 3.5: Perfil estratigráfico de dois cortes realizados na Unidade A. Onde há presença de biortubação, blocos de rocha e outros elementos (VIANA. et. al, 2016).	13
Figura 4.1: Exemplo de antena blindada, e unidade de controle (CORREIA, 2019).....	15
Figura 4.2: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade A.....	16
Figura 4.3: a) GO-Cp-16, Unidade B.1; b) GO-Cp-16, Unidade B.2.....	17
Figura 4.4: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade B.1, utilizando a antena de 900 MHz.	17
Figura 4.5: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade B.1, utilizando a antena de 400 MHz.	18
Figura 4.6: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade B.2.....	18
Figura 4.7: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade C.....	19
Figura 4.8: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-17.....	19
Figura 5.1: Seção UA_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	22
Figura 5.2: Seção UA_L2, utilizado a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.	23

Figura 5.3: Seção UA_L3, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.	23
Figura 5.4: Seção UA_L4, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.	24
Figura 5.5: Anomalias identificadas à 10 cm de profundidade.	25
Figura 5.6: Anomalias identificadas à 14 cm de profundidade.	25
Figura 5.7: Anomalia identificada à 20 cm de profundidade.....	25
Figura 5.8: Seção UB1_L17, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.....	26
Figura 5.9: Seção UB1_L18, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.....	26
Figura 5.10: Seção UB1_L19, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.....	27
Figura 5.11: Seção UB2_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	28
Figura 5.12: Seção UB2_L2, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	28
Figura 5.13: Seção UB2_L3, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	29
Figura 5.14: Seção UB2_L1 utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	29
Figura 5.15: Seção UB2_L4 utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.....	30
Figura 5.16: Seção UB2_L5, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal vertical 1.....	30
Figura 5.17: Seção UC_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	31
Figura 5.18: Seção UC_L2A, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	31
Figura 5.19: Seção UC_L2B, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	31
Figura 5.20: Seção 17_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.....	32

Figura 5.21: Seção 17_L2, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.....	32
Figura 5.22: Seção 17_L3, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.....	33
Figura 5.23: Seção 17_L4, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.....	33
Figura 5.24: Seção 17_L5, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Valores da permissividade dielétrica relativa e velocidade da onda do GPR em alguns materiais geológicos (REYNOLDS, 2011).	5
--	---

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1: Equação de Maxwell.....	3
Equação 2.2: Fator de atenuação	4
Equação 2.3: Velocidade de propagação	5
Equação 2.4: Profundidade atingida	5
Equação 2.5: Equação da onda eletromagnética para o campo elétrico	6
Equação 2.6: Solução geral da equação da onda eletromagnética.....	6
Equação 2.7: Constante de propagação	6
Equação 2.8: Coeficiente de reflexão	6

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo Geral.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
2.1. Geoarqueologia	2
2.2. Radar de Penetração no solo (GPR).....	2
2.2.1. Produtos de uma aquisição com o GPR.....	6
2.3. O GPR na Arqueologia	8
3. ÁREA DE ESTUDO	9
3.1. Localização da área de estudo.....	9
3.2. Contexto Geológico.....	10
3.2.1. Estratigrafia.....	12
3.3. Contexto Arqueológico	13
4. METODOLOGIA.....	15
4.1. Aquisição.....	15
4.1.1. GO-Cp-16, Unidade A	15
4.1.2. GO-Cp-16, Unidade B	16
4.1.3. GO-Cp-16, Unidade C	18
4.1.4. GO-Cp-17	19
4.2. Processamento.....	19
4.2.1. Etapas do processamento	20
4.2.1.1. Correção do tempo zero	20
4.2.1.2. Filtros	20
4.2.1.3. Ganho.....	20
4.2.1.4. F-K migration.....	21
4.2.1.5. Time cut	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
5.1. GO-Cp-16, Unidade A	22
5.2. GO-Cp-16, Unidade B.1.....	25
5.3. GO-Cp-16, Unidade B.2.....	28
5.4. GO-Cp-16, Unidade C.....	31
5.5. GO-Cp-17.....	32
6. CONCLUSÃO.....	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

A história cultural e do modo de vidas das civilizações, desde sua origem, sendo elas ainda existentes ou não, é o objetivo de estudos da Arqueologia. Neste sentido, a Arqueologia tem papel importante no entendimento das sociedades humanas atuais, uma vez que traça um paralelo entre o passado e o presente. De acordo com Funari (2005), esse paralelo é feito a partir da análise do conjunto de artefatos/fragmentos semelhantes, que representam um povo de cultura definida e ocupante de um território em uma dada época. Com isso, a valorização e preservação de tais fragmentos são de grande importância.

Embora a Arqueologia vise entender a história das civilizações, essa necessita da compreensão dos ecossistemas pré-históricos (BUTZER, 1982). O estudo desses ecossistemas faz parte de uma subárea da Arqueologia, denominada Geoarqueologia, que pode ser considerada uma ciência multidisciplinar que se utiliza métodos variados de investigação. Nesse cenário, os métodos geofísicos de investigação são cada vez mais requisitados para a realização de estudos iniciais, auxiliando o mapeamento e a delimitação dos sítios arqueológicos, resultando num melhor planejamento da investigação e possibilitando uma escavação pontual dos alvos mais promissores (BRITO-SCHIMMEL *et al*, 2002).

Na América do Sul, em especial no Brasil, o uso dos métodos geofísicos na Arqueologia poderia ser mais efetivo. Nesse sentido, para incentivar ainda mais o uso da Geofísica em sítios arqueológicos brasileiros, recentemente foi estabelecida um acordo de cooperação científica entre a Geofísica da Universidade de Brasília (UnB) e a Arqueologia da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC/GO).

O presente trabalho, inserido nesse acordo de cooperação UnB-PUC/GO, focou no estudo geofísico de sítios arqueológicos na cidade de Palestina de Goiás-GO.

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo principal empregar um método eletromagnético, utilizando o equipamento *Ground Penetrating Radar* (GPR) para a detecção e a estimativa da geometria dos alvos de interesse arqueológico, na região de Palestina de Goiás-GO.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Geoarqueologia

Desde a origem das análises arqueológicas, sabe-se que a antiguidade do homem esteve ligada aos princípios da Geologia e Geomorfologia, pois a maioria dos dados arqueológicos são resíduos da cultura material, elementos da estratigrafia dos depósitos sedimentares ou clásticos (KASHIMOTO, 2015).

Sendo assim, a Geoarqueologia é uma ciência multidisciplinar que utiliza métodos variados, derivados das Ciências da Terra, com o objetivo de se compreender as relações que existem entre os nossos ancestrais e o ambiente em que habitavam.

À Geoarqueologia, interessam todos os métodos que, potencialmente, possam trazer informações de ordem geológica, petrográfica ou mineralógica de artefatos e sítios arqueológicos. Desta forma os métodos geofísicos poderão, também, integrar-se neste grupo (CARDOSO, 1996).

Assim, segundo Cardoso (1996), as áreas principais de âmbito estritamente geoarqueológicos são:

- a) Condições de ordem geológica correspondentes à implantação de estruturas arqueológicas, assim como evolução geoambiental que tais locais sofreram anteriormente;
- b) Rochas e minerais utilizados na confecção de artefatos, na perspectiva de determinação de fontes de abastecimento e circulação de matérias primas;
- c) Relações entre a natureza geológica (incluindo a identificação dos recursos naturais disponíveis) e geomorfológicas (sendo esta consequência direta daquela) de determinada área de território e as estratégias ou modelos de implantação humana nele verificados.

2.2. Radar de Penetração no solo (GPR)

O *Ground Penetrating Radar*, conhecido como Radar de Penetração no Solo, ou GPR, é um método geofísico eletromagnético, que emite ondas eletromagnéticas de alta frequência (entre 10 MHz e 2,6 GHz) para a subsuperfície, e após sofrerem reflexões em interfaces que possuem diferentes propriedades eletromagnéticas, voltam para o receptor, sendo registradas pela unidade de controle. Sendo assim, ele dá-se da inversão de dados afim de se visualizar geometricamente os alvos investigados e estimar as propriedades elétricas dos materiais a partir do registro do sinal eletromagnético refletido (ALMEIDA, 2016).

As ondas são registradas em nanossegundos, correspondendo ao intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão delas. Onde o esquema de aquisição com o método GPR (A), a propagação da onda (C) e a seção interpretada pós aquisição e processamento (B), pode ser descrita pela Figura 2.1.

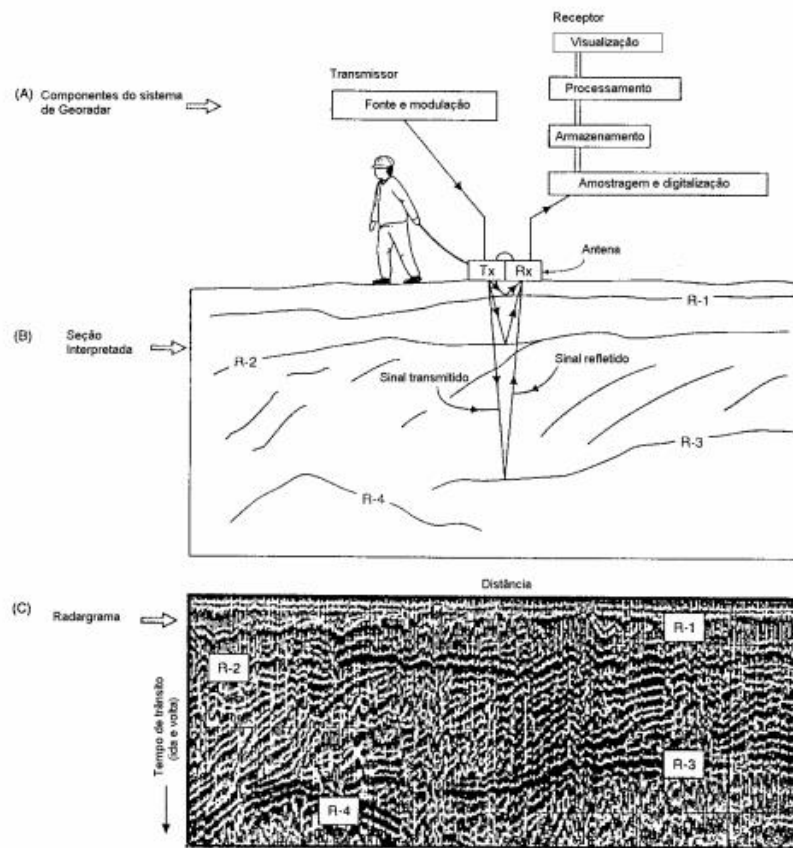


Figura 2.1: Esquema simplificado dos componentes do sistema GPR e do processo de transmissão da onda. (ARAGÃO, 2006 – adaptado de REYNOLDS, 1997).

Os campos eletromagnéticos ficam definidos a partir da equação de Maxwell, sendo ela a Lei de Gauss, Lei de Gauss para o magnetismo, Lei de Ampère e Lei de Faraday, respectivamente:

$$\begin{aligned}
 \Delta \vec{D} &= \rho \\
 \Delta \vec{B} &= 0 \\
 \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\
 \nabla \times \vec{E} &= - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

em que \vec{D} a densidade de fluxo elétrico (C/m²); ρ é a densidade volumétrica da carga elétrica (C/m³); \vec{B} a densidade de fluxo magnético (T); \vec{H} a intensidade do campo magnético (A/m); \vec{J} a densidade de corrente elétrica (A/m²); e \vec{E} a intensidade do campo elétrico (V/m).

Para resolver as equações de Maxwell em problemas geológicos/geofísicos é necessário ter as informações sobre as propriedades elétricas do meio por onde as ondas eletromagnéticas se propagam (CATETE, 2010).

Um meio tem suas propriedades elétricas definidas por algumas constantes. Na prospecção com a utilização do GPR, três parâmetros são importantes para entender o que se está sendo coletado, sendo eles a condutividade(σ); a permissividade dielétrica(ϵ) e a permeabilidade magnética(μ) (AGUIAR, 2005). Outro parâmetro importante que depende dos parâmetros citados acima, é o fator de atenuação (α) (2.2), que é um parâmetro fundamental para determinar a perda de energia das ondas eletromagnéticas.

$$\alpha = \omega \left\{ \left(\frac{\mu\epsilon}{2} \right) \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2\epsilon^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (2.2)$$

onde $\omega = 2\pi f$ (sendo f a frequência em Hz). Fórmula válida para materiais não magnéticos (Reynolds, 2011).

A Figura 2.2 apresenta processos que causam a perda de energia do sinal transmitido, entre eles a atenuação.

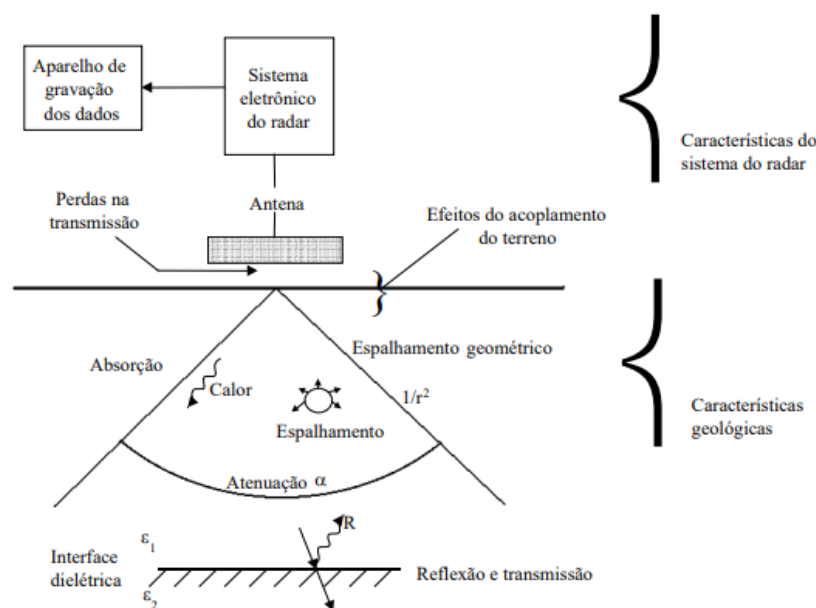


Figura 2.2: Processos que resultam na perda de energia (ARAGÃO, 2006 – adaptado de REYNOLDS, 1997).

A permissividade dielétrica relativa (ϵ_r) define os parâmetros de propagação das ondas eletromagnéticas de alta frequência, variando de acordo com cada meio em que as ondas se propagam. Portanto, ela é responsável por definir a velocidade de propagação da onda, dada pela equação a seguir:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

em que $c = 0,3 \text{ m/ns}$ (velocidade da luz no vácuo).

Sendo a velocidade de propagação dependente da permissividade dielétrica, essa também varia de acordo com o material do meio em que a onda está se propagando (Tabela 2.1).

Material	Velocidade (m/ns)	ϵ_r
Ar	0,3	1
Água Fresca	0,033	81
Água do mar	0,033	81
Areia seca	0,12-0,17	3-6
Areia saturada	0,055-0,06	25-30
Argila saturada	0,086-0,11	8-15
Solo argiloso seco	0,173	3
Silte saturado	0,095	10
Solo fertilizado	0,077	15

Tabela 2.1: Valores da permissividade dielétrica relativa e velocidade da onda do GPR em alguns materiais geológicos (REYNOLDS, 2011).

A profundidade atingida é derivada da velocidade de propagação da onda:

$$z = v \frac{t}{2} \quad (2.4)$$

em que t é o intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão das ondas.

A equação da onda eletromagnética para o campo elétrico \vec{E} é dada por:

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu \frac{\partial(\sigma \vec{E})}{\partial t} + \mu \frac{\partial^2(\epsilon \vec{E})}{\partial t^2} \quad (2.5)$$

no qual ∇ é o operador Laplaciano e t é representado pelo tempo.

Já a solução geral da equação da onda é representada por:

$$E = E_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - \beta z)} \quad (2.6)$$

sendo E_0 a amplitude máxima da onda, z a profundidade, α o fator de atenuação e β a constante de propagação, dado por:

$$\beta = \omega \left\{ \left(\frac{\mu \epsilon}{2} \right) \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)^{1/2} + 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (2.7)$$

Quanto maior a divergência entre a permissividade elétrica relativa entre as camadas, maior é a energia refletida, sendo a mesma dada pelo coeficiente de reflexão (R) (ARAGÃO, 2006).

$$R = \frac{(v_2 - v_1)}{(v_2 + v_1)}$$

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (2.8)$$

v_1 e v_2 são velocidades nas camadas 1 e 2; ϵ_{r1} e ϵ_{r2} são as permissividades dielétricas relativas nas camadas 1 e 2.

2.2.1. Produtos de uma aquisição com o GPR

A energia emitida pelo GPR ao solo é parcialmente refletida quando atingem objetos diferentes do meio em que se encontram. Como ele emite ondas em todas as direções, a energia refletida é medida antes que o equipamento esteja localizado sobre o objeto. Dessa forma, as reflexões obtidas nas seções produzidas pelo equipamento, formam uma hipérbole (MESQUITA, 2011).

A Figura 2.3 mostra a disposição de alguns tambores metálicos posicionados em uma linha de um sítio controlado, com o objetivo de gerar imagens utilizando a técnica GPR. Nela

é possível observar modelos sintéticos, gerados por uma modelagem numérica, e imagens reais processadas.

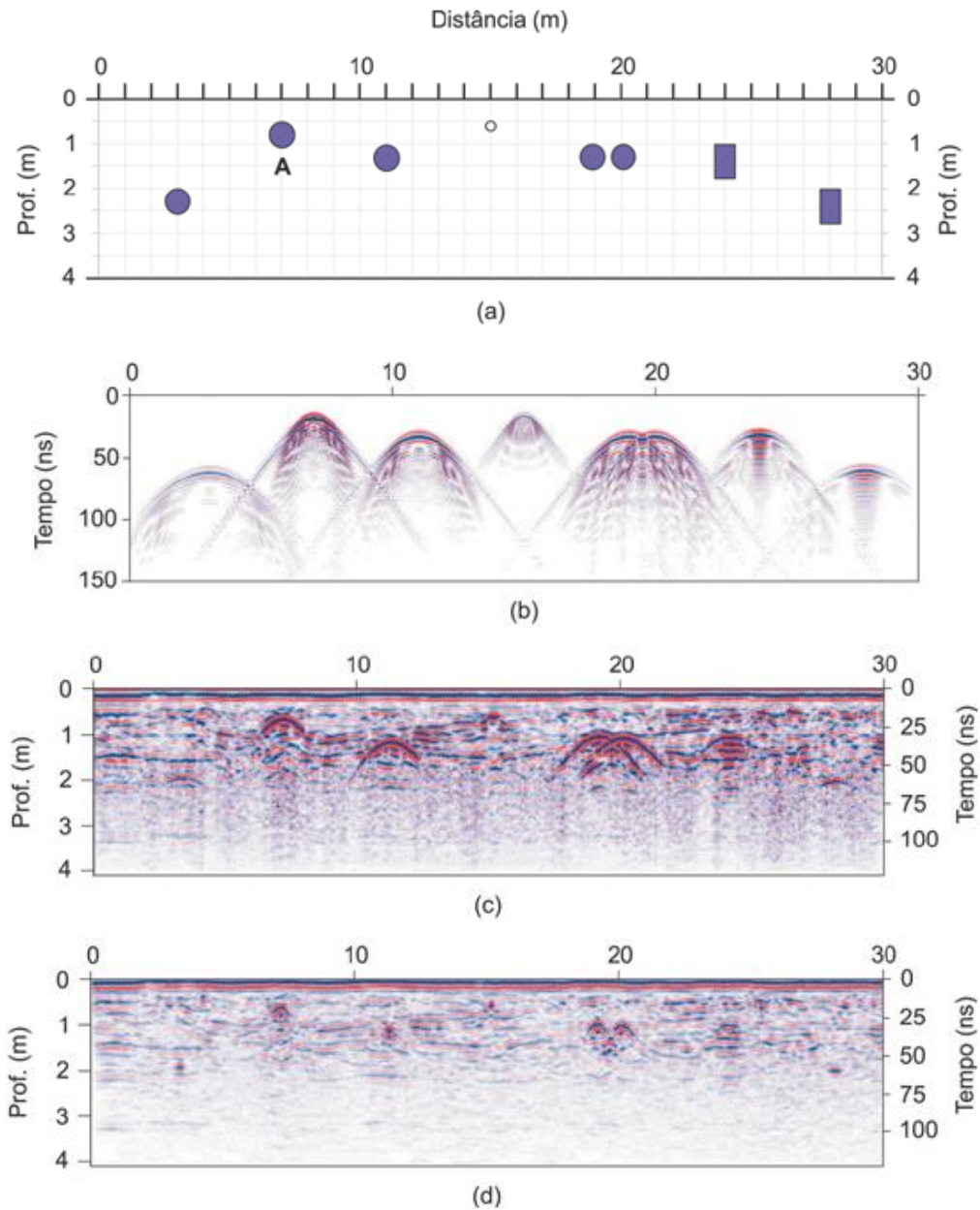


Figura 2.3: a) Posicionamento de tambores metálicos vazios; b) Perfil GPR sintético de 250 MHz resultantes da modelagem numérica 2D; c) Perfil GPR de 250 MHz antes da migração; d) Perfil GPR de 250 MHz com a migração com velocidade constante de 0,065 m/ns (compilado de PORSANI et. al, 2006).

Uma vez que a interpretação dos dados gerados pelo GPR, seja baseada em interpretação de imagem, é necessário compreender a natureza e origem das reflexões, e seja realizado o processamento afim de se identificar anomalias (RIBEIRO, 2021).

O processamento dos dados é executado de forma que o objetivo da aquisição seja evidenciado. A análise é realizada pelas seguintes etapas: (a) identificar os refletores, difratores e medidas do tempo percurso de onda; (b) calcular o valor da permissividade dielétrica, com o objetivo de definir um valor para a velocidade da onda (ARAGÃO, 2006).

As características estruturais e texturais presentes em subsuperfície influenciam a resposta gerada, produzindo efeitos distintos nas observações do radar, como por exemplo: amplitude da reflexão, continuidade e configuração da reflexão (VAN OVERMEEREN, 1998).

2.3. O GPR na Arqueologia

Nas últimas duas décadas o uso da geofísica vem aumentando mundialmente, auxiliando em diversas áreas, entre elas, a arqueologia. Com a utilização da técnica GPR, por exemplo, podem ser encontrados fragmentos de cerâmica, resíduos de fogueiras, ossos e materiais orgânicos.

Aragão (2006) utilizou os métodos magnetometria, cintilometria e GPR, em três sítios arqueológicos no estado do Pará (Bittencourt, localizado em Abaetetuba; Jambuaçu, localizado em Moju; e Jaburu, localizado em Almeirim). O uso do GPR possibilitou a descoberta de materiais de interesses arqueológicos, como cerâmica, fragmentos líticos, louça e ferro.

Brito-Schimel *et. al* (2002) utilizaram o GPR no Sítio Capelinha, localizado em Cajataí, no estado de São Paulo. Com a aplicação desse método foi possível identificar alvos de maior interesse arqueológico, como, uma paleofogueira com pontas de flechas e restos de ósseos associados e uma estrutura de escavação-preenchimento.

Whiting e colaboradores (2000) coletaram resultados de coletas de artefatos em superfície, escavações de teste e amostragem de trado em um Sítio arqueológico no sul de Barbados, e assim sugeriram utilizar o método GPR como um método para direcionar áreas para estudos futuros. As características arqueológicas locais consistiam em sepulturas, lareiras, poços revestidos em cerâmicas, entre outros.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização da área de estudo

O Município de Palestina de Goiás, fica localizado ao sudoeste do Estado de Goiás, região Centro-Oeste do Brasil.

As áreas de estudo estão localizadas ao nordeste do município Palestina de Goiás (Figura 3.1). Ao total são 4 áreas, onde foram executadas as aquisições de dados geofísicos, sendo elas os sítios GO-Cp-16, Unidade A (Figura 3.2a); GO-Cp-16, Unidade B (Figura 3.2b); GO-Cp-16, Unidade C (Figura 3.2c); e GO-Cp-17 (Figura 3.2d), as quais estão separadas por uma distância de aproximadamente de 200 à 300 metros.

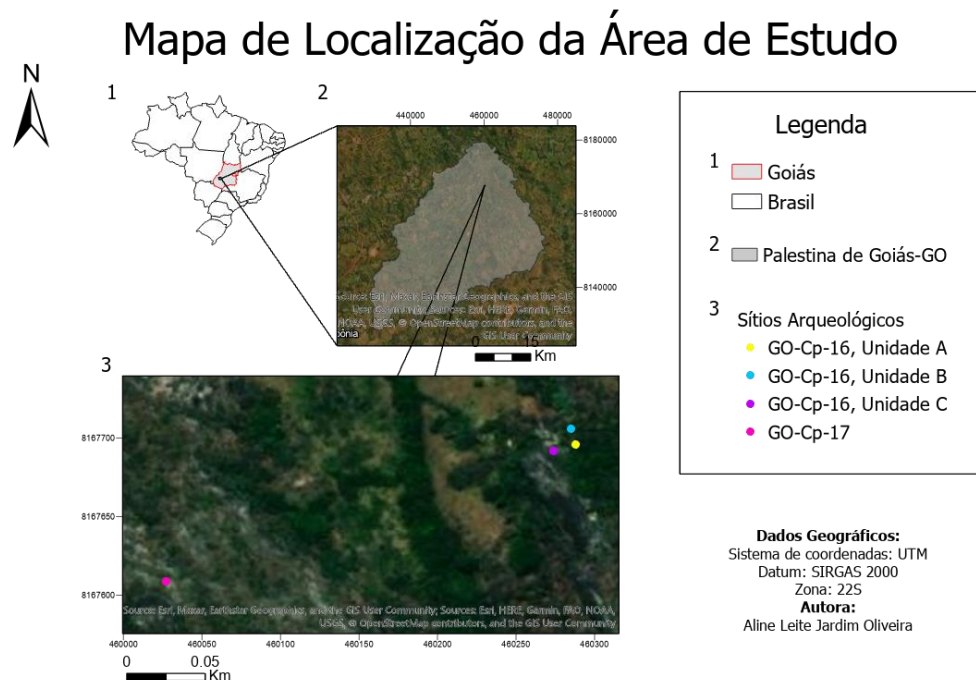
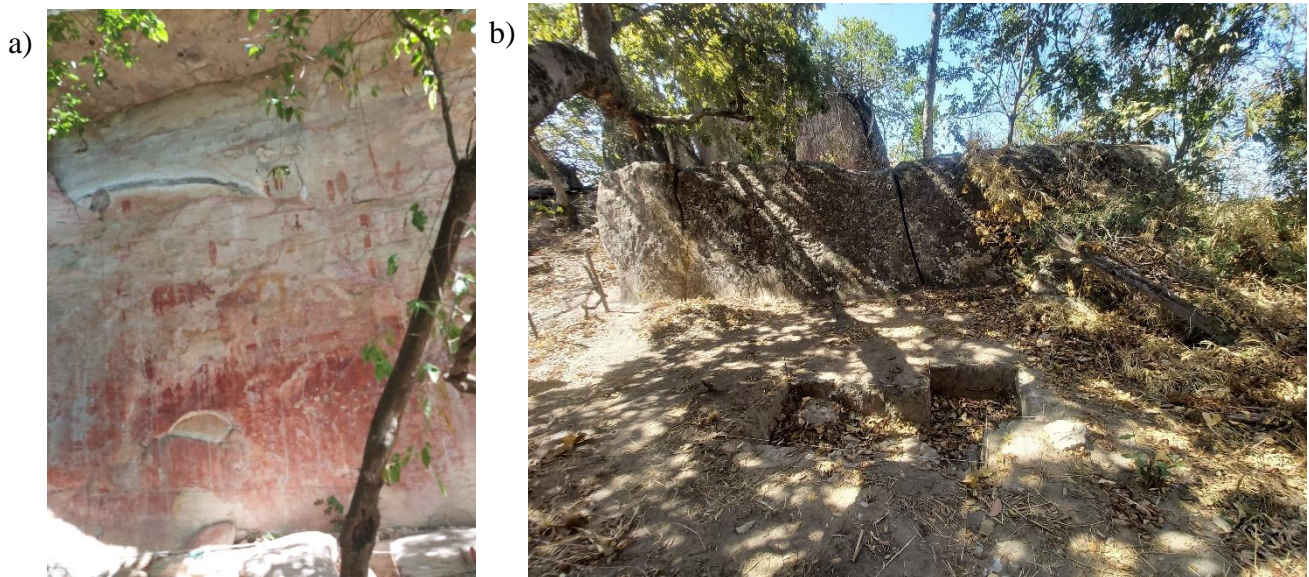


Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo.



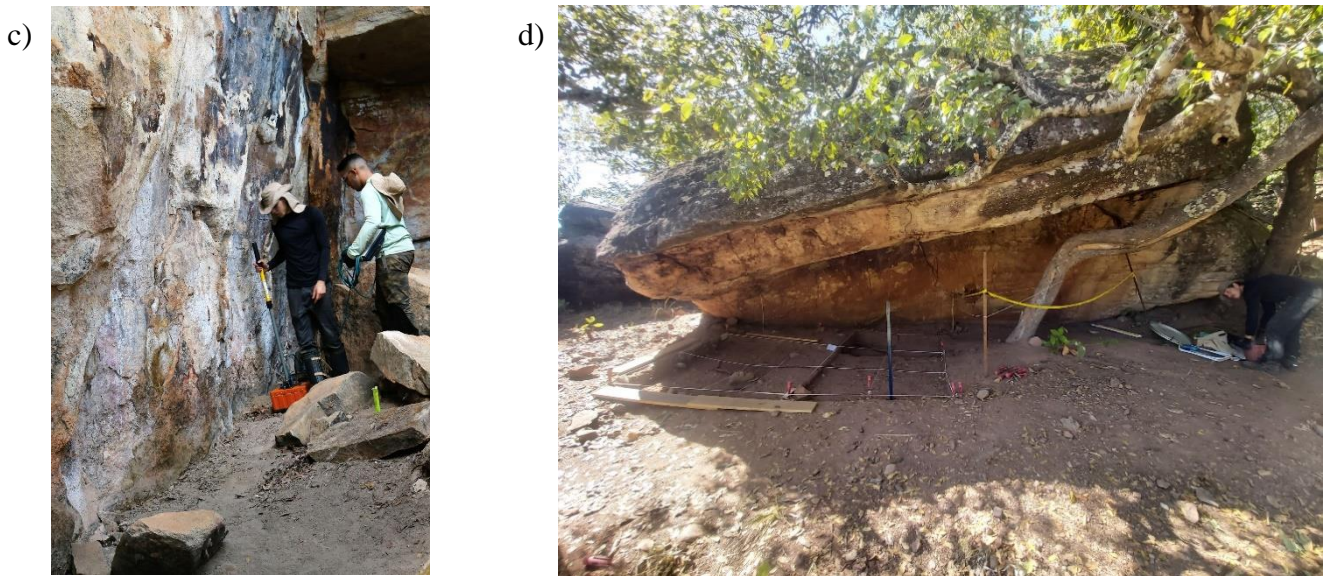


Figura 3.2: Sítios arqueológicos: a) GO-Cp-16, Unidade A; b) GO-Cp-16, Unidade B; c) GO-Cp-16, Unidade C (Fonte: Empresa Júnior de Geofísica da UnB- Phygeo.); e d) GO-Cp-17.

3.2. Contexto Geológico

A Bacia do Paraná (Figura 3.3) compreende uma área total de aproximadamente 1.400.000 Km², localizada no centro-sul do Brasil, no oeste do Uruguai, no leste do Paraguai e na mesopotâmia argentina. De acordo com Assine (1996) a Bacia do Paraná tem uma natureza policíclica, marcada por eventos alternados de subsidência e discordância. Essa ciclicidade, é observada desde o Ordoviciano Superior até o Cretáceo Superior.

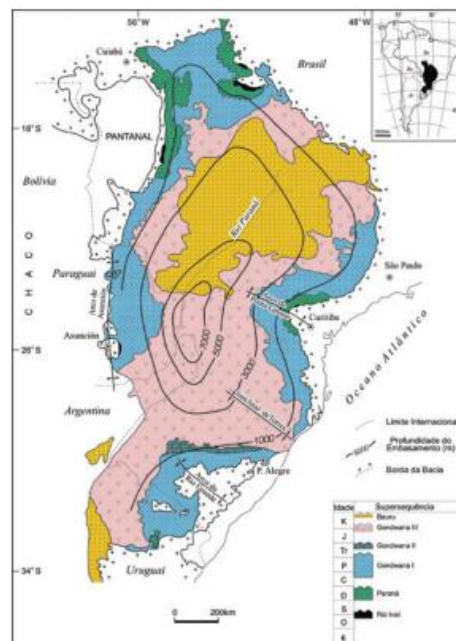


Figura 3.3: Mapa simplificado da Bacia do Paraná, apresentando as supersequências existentes na mesma, com contornos indicando profundidade da bacia (MILANI, 2004).

A área de estudo está localizada no flanco norte da bacia, onde seus principais grupos constituintes são os: Grupo Ivaí (Formação Vila Maria) e Grupo Paraná (formações Furnas e Ponte Grossa); ambos representantes do Paleozóico (MORENTON, 2001).

Visto que a região das análises é bastante limitada, as formações mais importantes nesse contexto, são as Vila Maria e Furnas.

A Figura 3.4 representa um mapa de litotipos do município de Palestina de Goiás, com uma escala de 1:100.000, produzido a partir de dados disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

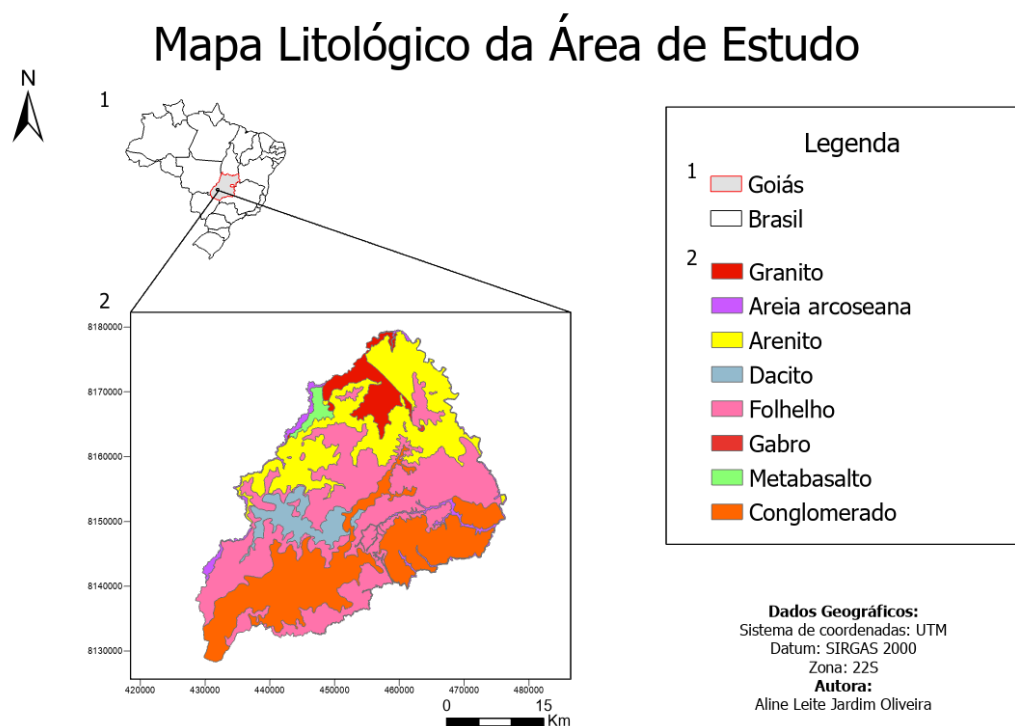


Figura 3.4: Mapa litológico da área de estudo.

A base da Formação Vila Maria é constituída por diamictitos polimícticos arroxeados e microconglomerados (MORETON, 2001). Segundo Assine (1994) com a omissão dos diamictitos basais, como Fm. Vila Maria devem ser referidos somente folhelhos, siltitosossilíferos e arenitos róseos finos superpostos.

Os folhelhos da Fm. Vila Maria são caracterizados por cores cinza esverdeados variando para marrom, com lâminas de calcita ao topo. Os siltitos têm uma coloração avermelhada e presença de laminações arenosas, calcífero (ASSINE, 1994).

A Formação Furnas, sendo ela a mais importante nesse contexto, sobrepõe a Formação Vila Maria, e é constituída por arenitos feldspáticos brancos, com grãos médios à grossos conglomeráticos, feldspáticos e/ou calulínicos, mal selecionados, apresentando estratificação cruzada tabular e acanalada (ASSINE, 1994).

Em campo foi encontrado afloramento de arenito muito fino com presença de mica no sítio GO-Cp-16, com presença de solo argiloso. Já no sítio GO-Cp-17 foram encontrados afloramentos semelhantes ao anterior, porém com presença de solo bastante argiloso e presença de seixos.

3.2.1. Estratigrafia

No começo das escavações (1979 a 1981) do sítio GO-Cp-16, a estratigrafia do sítio foi descrita em três camadas, a primeira com material orgânico e as restantes com indícios de ocupação. A estratigrafia atual foi estudada a partir de dois cortes, escavados em 2009, um na Unidade A e um na Unidade B (VIANA, 2016).

Viana e colaboradores (2016) optaram por coletar dado de um dos cortes feitos na Unidade A, para unir com a pesquisa de um outro autor, realizada em 1986. A autora comenta que os dados são parciais, em razão de as escavações dos sítios não ter sido finalizada. Sendo essa pesquisa estratigráfica ilustrada na Figura 3.5.

A primeira camada é um arenito com presença de silte (com porcentagens variáveis de cada elemento), apresentando grãos subarredondados, de baixa esfericidade e mineralogia a base de quartzo, de cor marrom. Com presença bioturbação por raízes e cupins.

A segunda camada apresenta muitas características parecida com a anterior, porém ela tem uma cor rosa acinzentada, e manifesta uma menor bioturbação. Há grãos de areia muito grossos, quartzo, além de clastos.

A terceira camada, também, apresenta características semelhantes com as demais. Sua coloração é análoga à segunda camada. Sem presença de clastos.

No Sítio GO-Cp-17 ainda não foi possível definir sua estratigrafia, por ter sido pouco escavado.

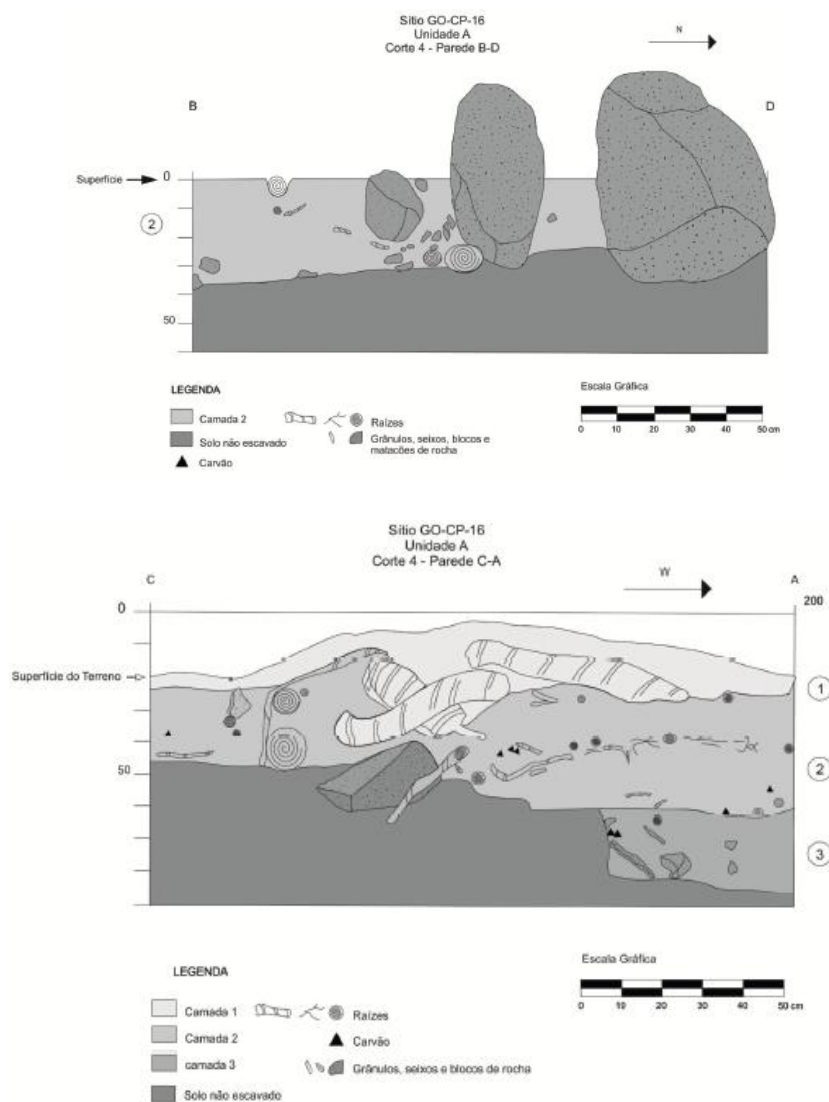


Figura 3.5: Perfil estratigráfico de dois cortes realizados na Unidade A. Onde há presença de biortubação, blocos de rocha e outros elementos (VIANA. et. al, 2016).

3.3. Contexto Arqueológico

Vale e colaboradores (2020) diz que através de estudos arqueológicos realizados no sudoeste do estado de Goiás, há indícios de ocupação que se iniciaram há aproximadamente 10.000 anos.

O Sítios GO-Cp-16 é caracterizado por presença de materiais líticos, alguns fragmentos de cerâmica e óxido de ferro (ocre) e carvão, além de paredões com pinturas rupestres (PROCÓPIO, 2021). Com os estudos estratigráficos foi possível definir a cronologia do sítio, atribuindo uma datação de aproximadamente 4.000 anos (VIANA, 2016).

Segundo Viana e colaboradores (2016) o sítio GO-Cp-17 é localizado em uma local, onde há a ocorrência de conglomerados e diamictitos. Assim, sendo uma área propícia para a

busca de materiais para a fabricação de ferramentas. Em escavações antigas foram encontrados fragmentos líticos e alguns instrumentos, obtidos em uma profundidade de até 35 cm.

4. METODOLOGIA

4.1. Aquisição

A resolução da imagem gerada pelo método GPR e a profundidade são dependentes da frequência utilizada na aquisição e as propriedades do meio. Assim, quanto maior a frequência, menor a profundidade atingida, porém há uma melhor resolução dos dados coletados.

Visando atingir os objetivos deste trabalho, os materiais utilizados na etapa de aquisição dos dados foram:

- 1 unidade de controle SIR - 3000 GSSI;
- 1 antena (blindada) transmissora de 400MHz;
- 1 antena (blindada) transmissora de 900MHz;
- 1 trena;
- 1 hodômetro;
- barbantes.

Na Figura 4.1 pode ser visualizada um exemplo de antena de 200 MHz blindada e unidade de controle SIR-3000 da GSSI, semelhantes àquelas utilizadas neste projeto.



Figura 4.1: Exemplo de antena blindada, e unidade de controle (CORREIA, 2019).

Antes de se iniciar a aquisição, foi necessário definir a velocidade da onda no meio. Para isso foi enterrado um cano de metal a 20 cm de profundidade e feita a aquisição no local, assim foi utilizada a Equação 2.4 para defini-la. A partir disso foi achada uma velocidade de 0,09 m/ns.

4.1.1. GO-Cp-16, Unidade A

No primeiro sítio foram feitas aquisições utilizando as duas antenas. Com a antena de 900 MHz foi feita apenas uma linha, ao longo do paredão. Já com a de 400 MHz foram feitas

três linhas, sendo elas: uma seguindo a mesma lógica da linha feita com a antena de 900 MHz; outra dentro da primeira escavação; e a restante fora da terceira escavação (Figura 4.2).

Sabendo que o local tem três escavações, durante a aquisição foi necessária movimentação não comum do equipamento, para desviar de alguns obstáculos, como por exemplo blocos de rocha e as próprias escavações.



Figura 4.2: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade A.

4.1.2. GO-Cp-16, Unidade B

Nesta unidade foram realizadas aquisições em duas áreas distintas, denominadas de GO-Cp-16, Unidade B.1 (Figura 4.3a); e GO-Cp-16, Unidade B.2 (Figura 4.3b).

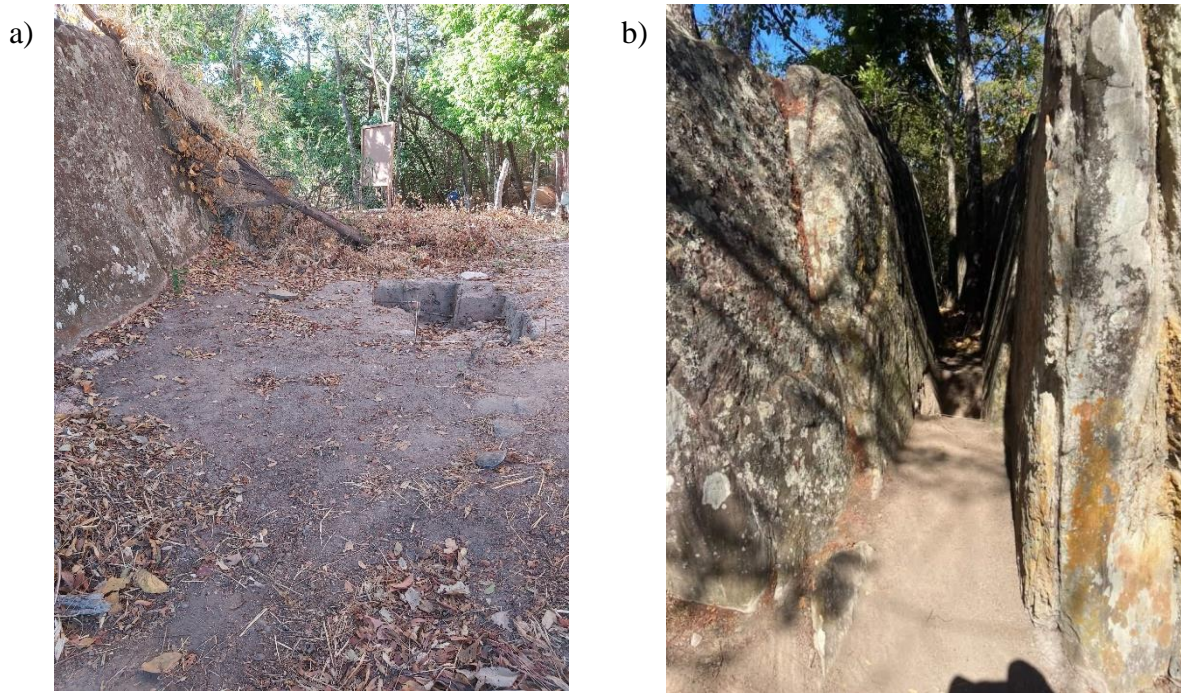


Figura 4.3: a) GO-Cp-16, Unidade B.1; b) GO-Cp-16, Unidade B.2.

Na Unidade B.1 foram dispostas dezesseis linhas paralelas (denominadas por UB1_L1 à UB1_L16) com espaçamento de 10 cm entre elas com o intuito de se gerar um produto 3D, utilizando a antena de 900 MHz (Figura 4.4).

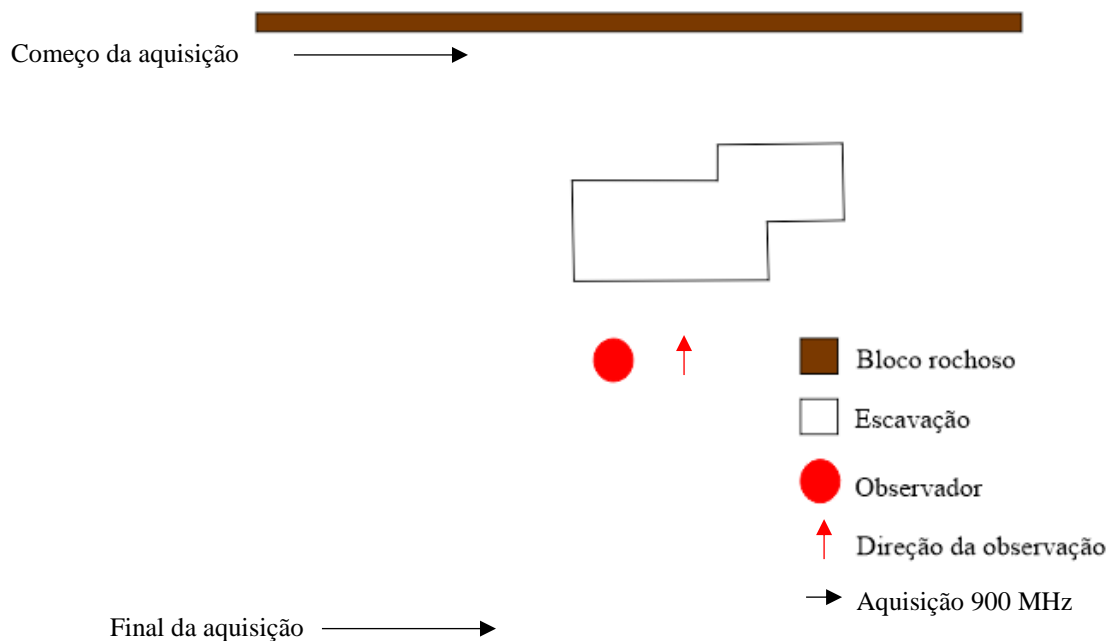


Figura 4.4: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade B.1, utilizando a antena de 900 MHz.

A antena de 400 MHz foi utilizada em ambas as unidades. Na Unidade B.1 foram feitas 3 linhas paralelas, com espaçamento de 0,6 m (Figura 4.5).

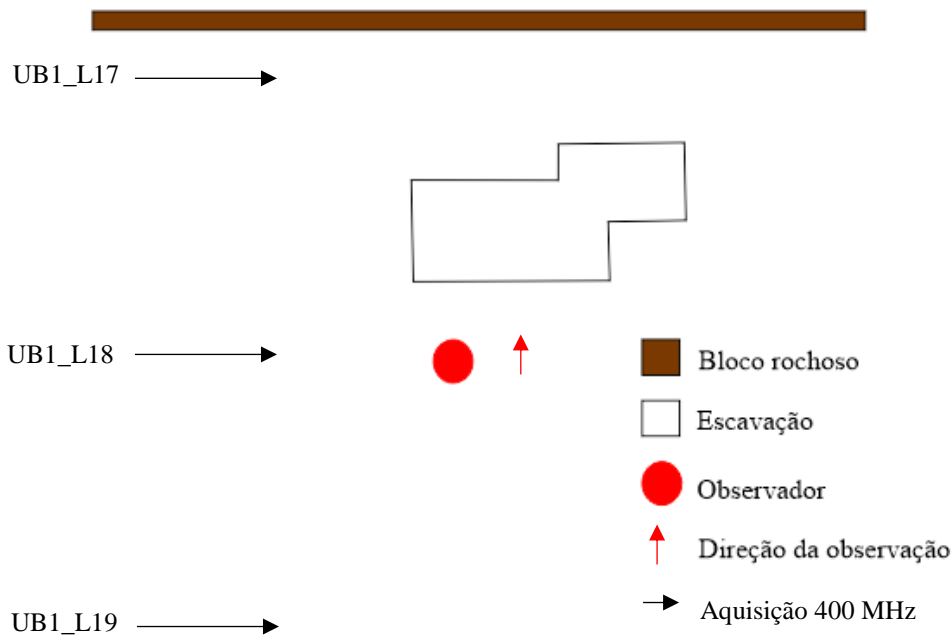


Figura 4.5: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade B.1, utilizando a antena de 400 MHz.

Já na Unidade B.2 foram feitas três linhas paralelas utilizando a antena de 900 MHz; e duas linhas paralelas com a antena de 400 MHz, devido ao seu espaço limitado (Figura 4.6).

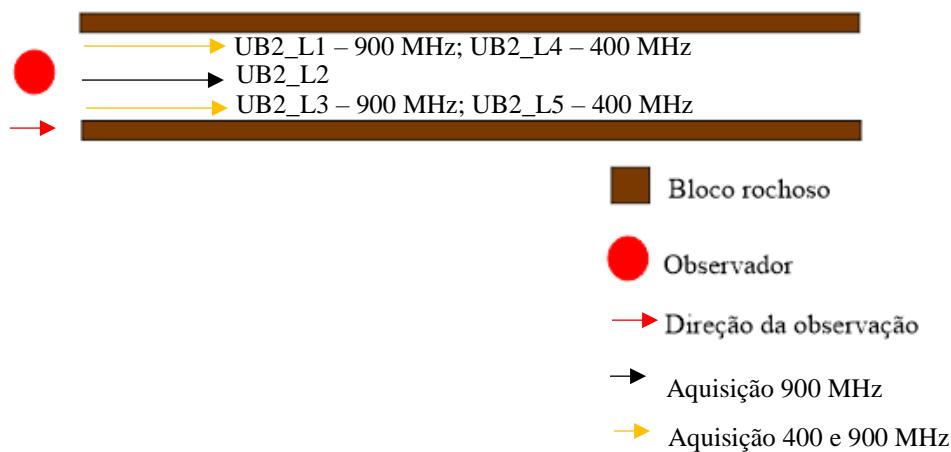


Figura 4.6: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade B.2.

4.1.3. GO-Cp-16, Unidade C

Na Unidade C foi feita uma linha com a antena de 900 MHz e duas, na mesma posição, com a antena de 400 MHz, porém com o número de amostras por traço diferentes, a primeira com 512 e a segunda com 1024. Nessa unidade a aquisição foi feita cerca de 1 m de distância do paredão (Figura 4.7).

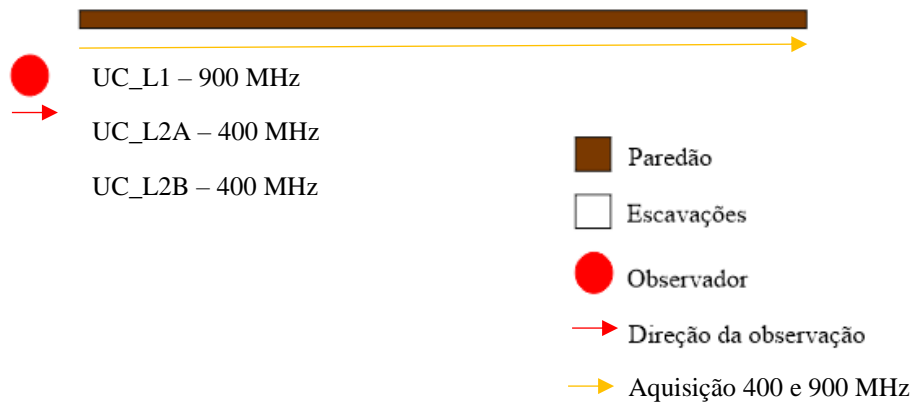


Figura 4.7: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-16, Unidade C.

4.1.4. GO-Cp-17

No sítio GO-Cp-17 foram adquiridas linhas com a antena de 900 MHz, paralelas e perpendiculares à escavação (Figura 4.8).

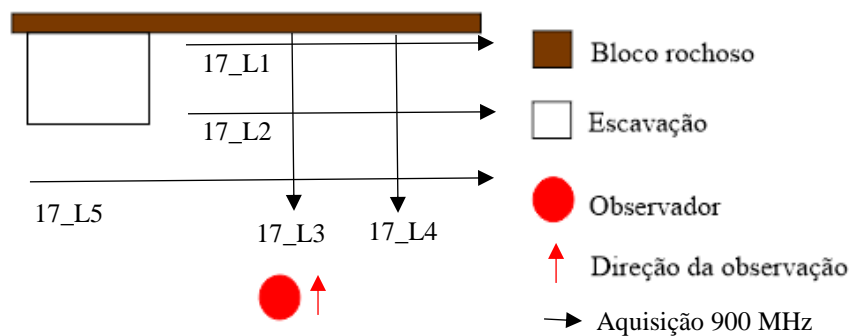


Figura 4.8: Croqui de aquisição do sítio GO-Cp-17.

4.2. Processamento

Segundo Xavier (2006) o processamento tem como objetivo fazer correções em distorções nas imagens. Partindo do princípio de que há conhecimentos dos elementos listados abaixo, é possível recuperar o sinal de interesse.

- i) método;
- ii) meio;
- iii) alvo;
- iv) efeitos de propagação;
- v) ruídos.

Para a etapa de processamento foi utilizado o software *Reflexw*, com as etapas variando de acordo com a necessidade de cada linha, porém as etapas mais importantes aplicadas para todos os dados são:

- i) Correção do tempo zero;
- ii) Filtro Dewow;
- iii) Ganho *Gain function*;
- iv) Ganho *Energy decay*;
- v) *F-K migration*
- vi) *Time cut*.

Para gerar o produto 3D, as linhas foram processadas separadamente, e utilizando o mesmo software foi possível gerar uma visualização.

4.2.1. Etapas do processamento

4.2.1.1. Correção do tempo zero

Essa correção elimina o efeito da onda direta em superfície, com o objetivo de realizar o ajuste do *offset* com a profundidade zero (FURTADO *et. al*, 2010). Sendo assim, essa etapa consiste em definir o tempo real em que a onda eletromagnética atinge o alvo e é refletida, a partir da análise da onda.

4.2.1.2. Filtros

A aplicação de filtros é necessária para eliminar ruídos não condizentes com o objetivo das aquisições. O filtro *Dewow* consiste em eliminar saturação do registro associada a ruídos de baixa frequência, provocados por ondas aéreas e diretas (DUARTE *et. al*, 2012).

4.2.1.3. Ganho

O sinal recebido pela antena receptora, tem sua amplitude diminuída, em função da atenuação, por este motivo o ganho é necessário para corrigir essa amplitude (DINH, 2019). Então, como solução, foi utilizado o ganho *Gain Function*, para obter uma relação entre a profundidade e a amplitude do alvo desejado, assim, espera-se que as amplitudes dos alvos tenham valores aproximados em comparação à suas dimensões.

O ganho *Energy Decay* foi utilizado para reduzir os efeitos de atenuação que ocorrem em profundidade.

4.2.1.4. F-K migration

Yilmaz (2001) diz que a migração é um processo aplicado quando se é necessário posicionar corretamente os refletores inclinados. Então a migração f-k foi utilizada para aumentar a resolução espacial do dado, assim eventualmente, facilitando a interpretação do da seção.

4.2.1.5. Time cut

Essa etapa consiste em “excluir” em profundidade ruídos que não são de interesse, causados pela atenuação da onda. A partir da análise da imagem é definido um tempo de propagação da onda em profundidade em que acontece esse corte.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados gerados pelo levantamento geofísico, foi realizado o processamento, e assim, foram geradas imagens para cada linha adquirida, visando alcançar o objetivo deste projeto.

5.1. GO-Cp-16, Unidade A

As imagens abaixo apresentam linhas realizadas paralelas ao “paredão de pinturas rupestres”. A Figura 5.1 representa a linha adquirida com a antena de 900 MHz, já a Figura 5.2 retrata a aquisição com a antena de 400 MHz.

Em ambas as imagens é possível observar uma atenuação do sinal localizada entre 3 m e 7 m no eixo x (sentido da aquisição), o que geralmente é característico de uma área com mais presença de argila.

É notável a diferença da resolução entre ambas as antenas. Enquanto a antena de maior frequência, é possível detectar a continuidade das anomalias presentes, a de menor frequência pode-se reparar apenas algumas anomalias, mas não necessariamente contínuas.

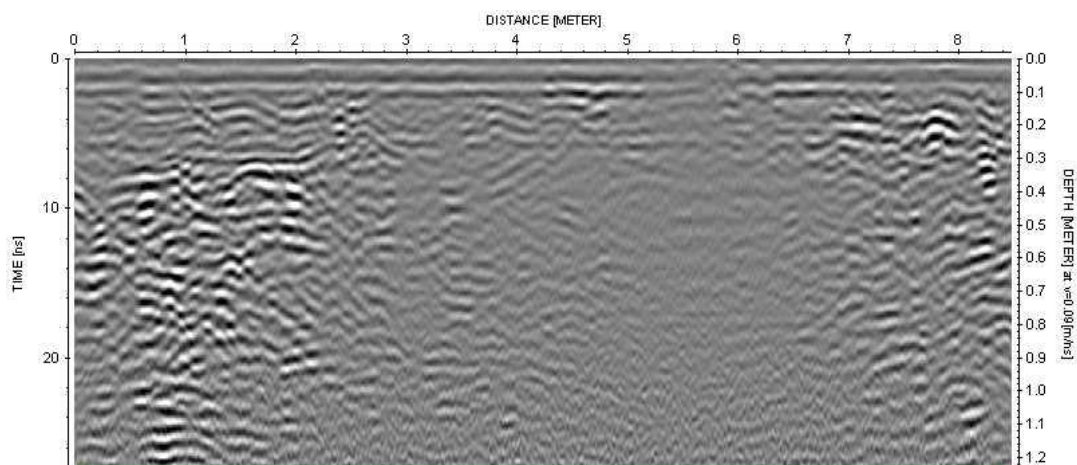


Figura 5.1: Seção UA_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

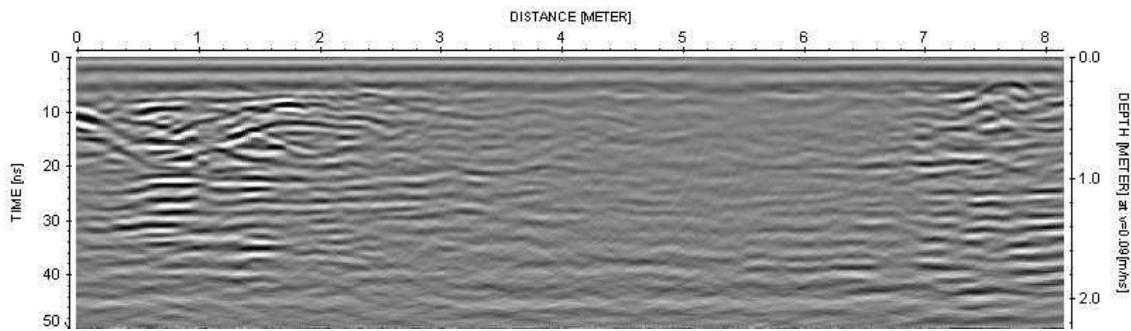


Figura 5.2: Seção UA_L2, utilizado a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.

O produto abaixo (Figura 5.3) está localizado dentro da primeira escavação. Nela não é possível visualizar nenhuma refletor significativa que seja de interesse para esse projeto.

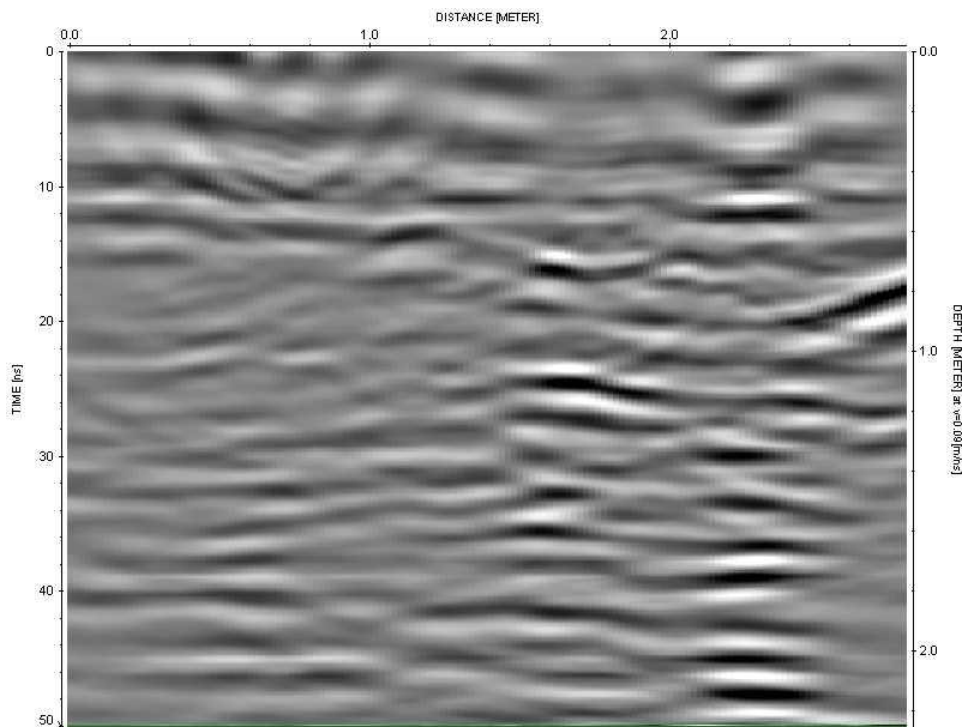


Figura 5.3: Seção UA_L3, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.

Assim como as outras imagens acima, a Figura 5.4 não apresenta nenhuma anomalia com geometria indicativa de artefatos arqueológicos. Porém é observável uma atenuação do sinal no começo da linha até aproximadamente 1,5 m, coincidindo com as Figuras 5.1 e 5.2.

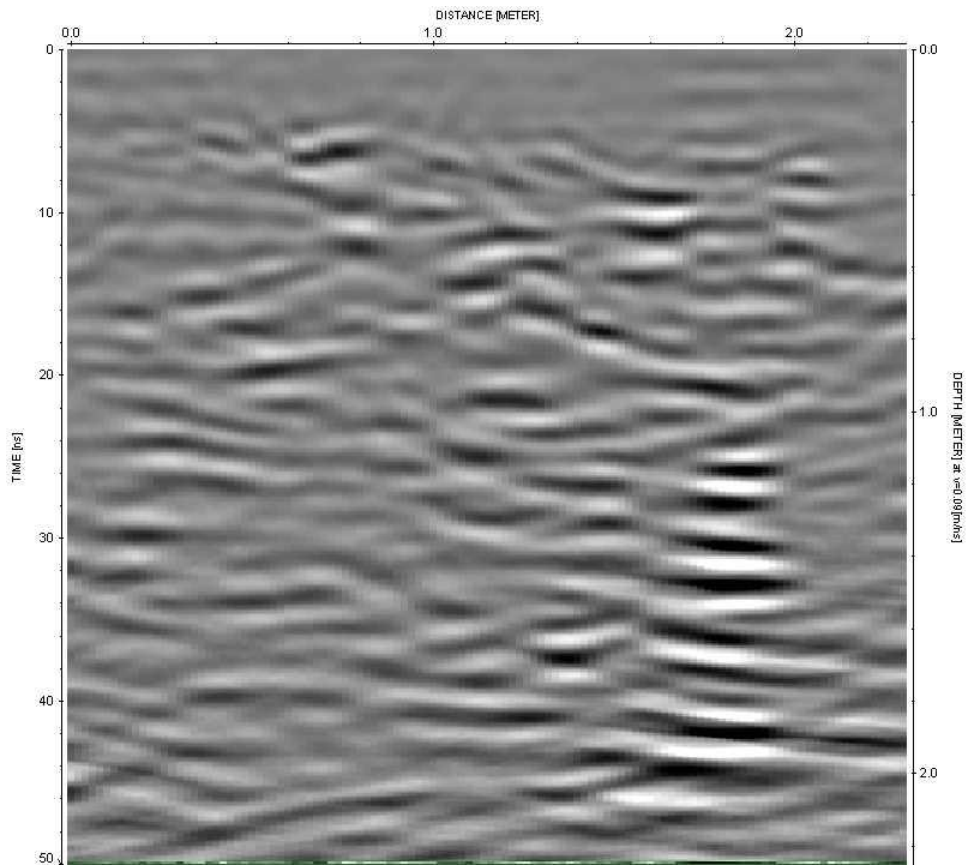


Figura 5.4: Seção UA_L4, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.

5.2. GO-Cp-16, Unidade B.1

Neste sítio foi gerado um produto 3D, com a antena de 900 MHz. A partir do produto 3D, foram identificadas algumas anomalias contínuas com uma espessura média de aproximadamente 10 cm, demonstradas nas Figuras 5.5, 5.6 e 5.7, delimitadas em vermelho.

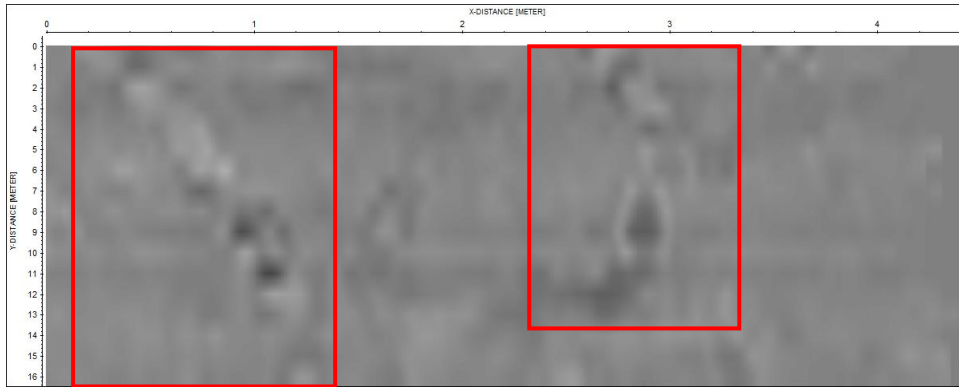


Figura 5.5: Anomalias identificadas à 10 cm de profundidade.

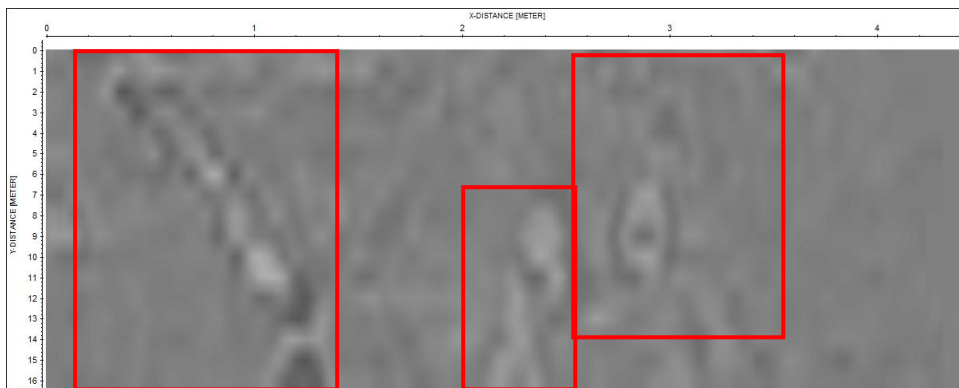


Figura 5.6: Anomalias identificadas à 14 cm de profundidade.



Figura 5.7: Anomalia identificada à 20 cm de profundidade.

As anomalias identificadas, por apresentarem uma espessura constante e formatos característicos, foram classificadas como biortubação. Essa classificação foi possível por

análises feitas em campo e por pesquisas realizadas anteriormente sobre a estratigrafia do local.

Além do produto 3D, foram feitas algumas linhas com a antena 400 MHz, demonstradas nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10.

Analisando as imagens, não foi possível identificar nenhuma anomalia característica, diferentemente das observações realizadas das linhas que foram realizadas com a antena de maior frequência.

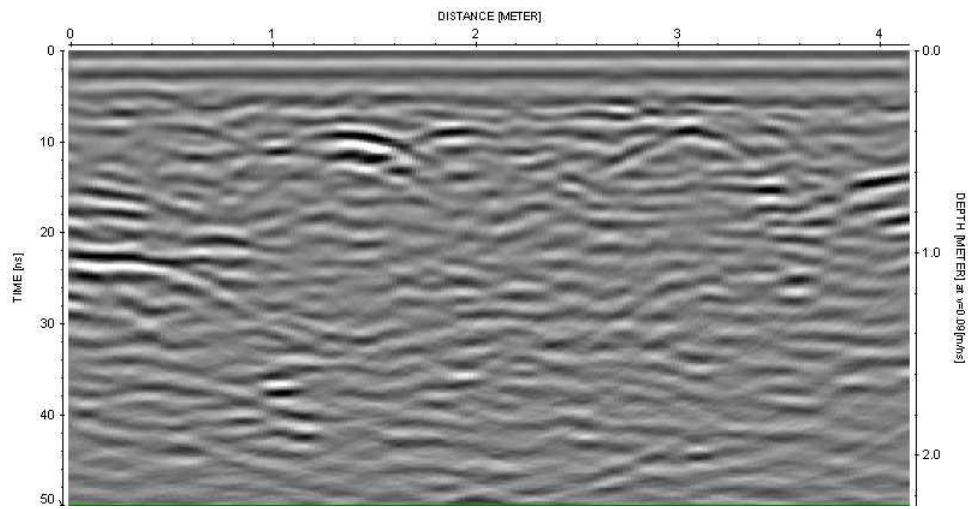


Figura 5.8: Seção UB1_L17, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1

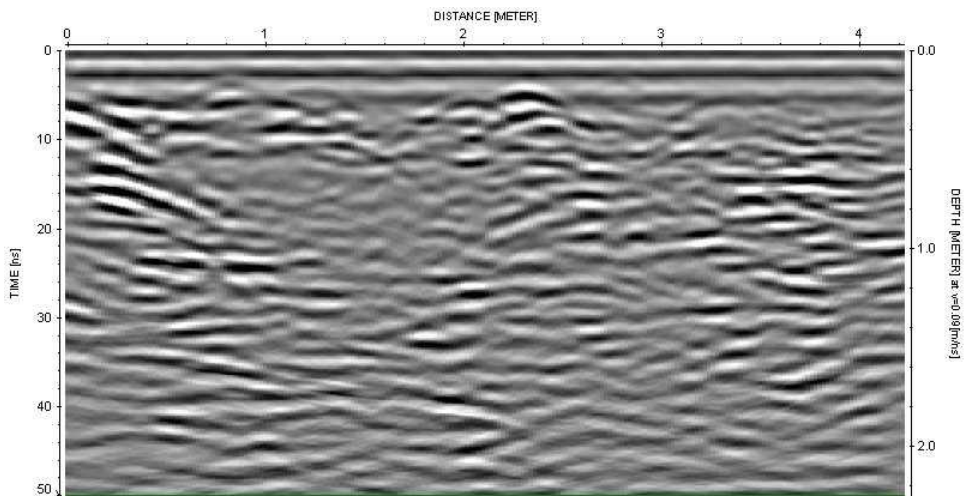


Figura 5.9: Seção UB1_L18, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.

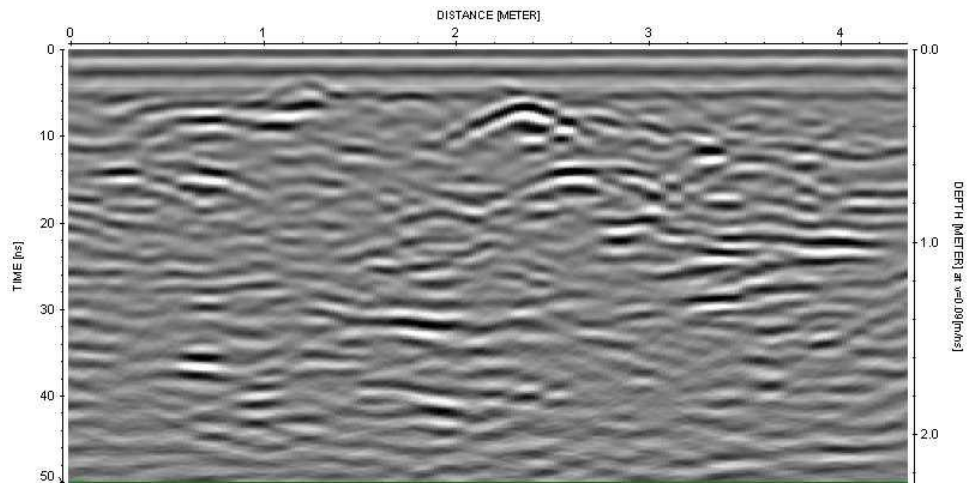


Figura 5.10: Seção UBI_L19, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.

5.3. GO-Cp-16, Unidade B.2

As linhas adquiridas com a antena de 900 MHz estão representadas nas Figuras 5.11, 5.12 e 5.13). Nas Figuras 5.11 e 5.12 foi possível identificar uma possível direção de uma camada em subsuperfície (representada pela linha amarela). Já na seção da Figura 5.14, não foi identificado nenhum refletor de interesse.

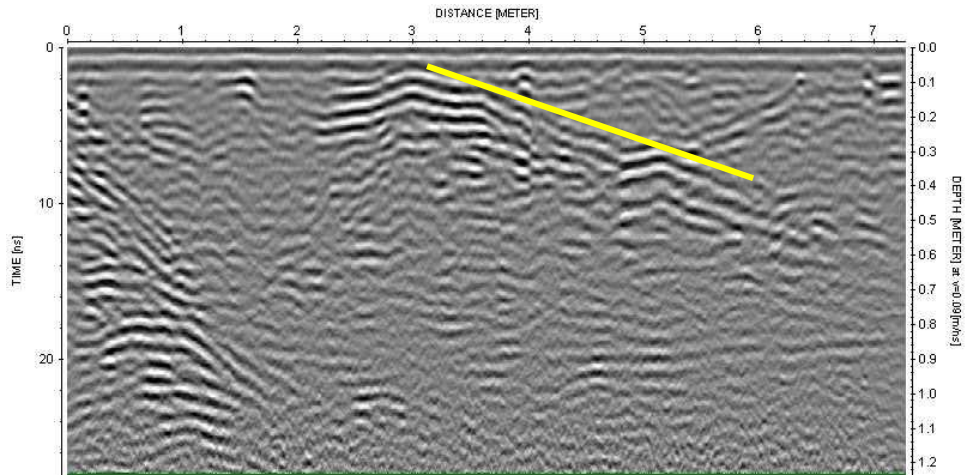


Figura 5.11: Seção UB2_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

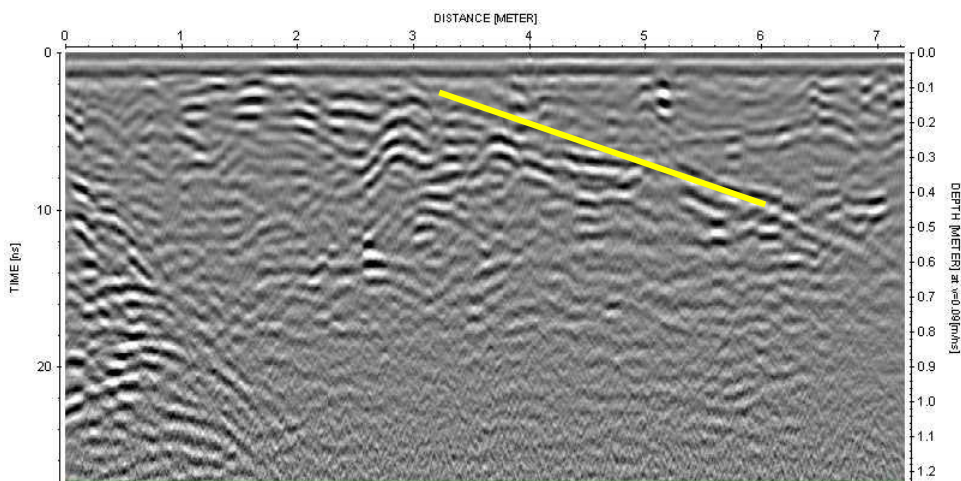


Figura 5.12: Seção UB2_L2, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

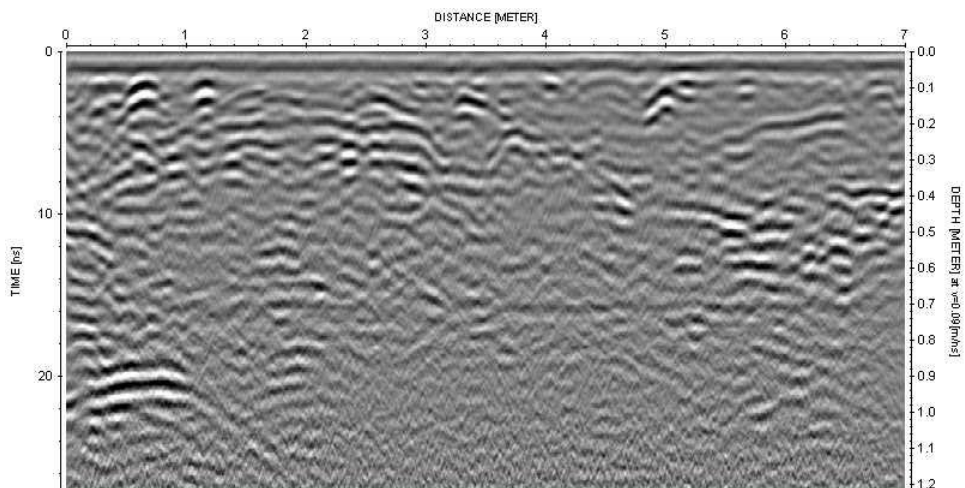


Figura 5.13: Seção UB2_L3, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

Com a finalidade de se facilitar a visualização a Figura 5.14, se refere, novamente, à linha UB2_L1, nela é possível observar uma anomalia suave (vermelho) de eventual interesse, posicionada em aproximadamente 4 m no eixo x, entre 20 e 30 cm de profundidade. Foi possível identificá-la após analisar a Figura 5.15.

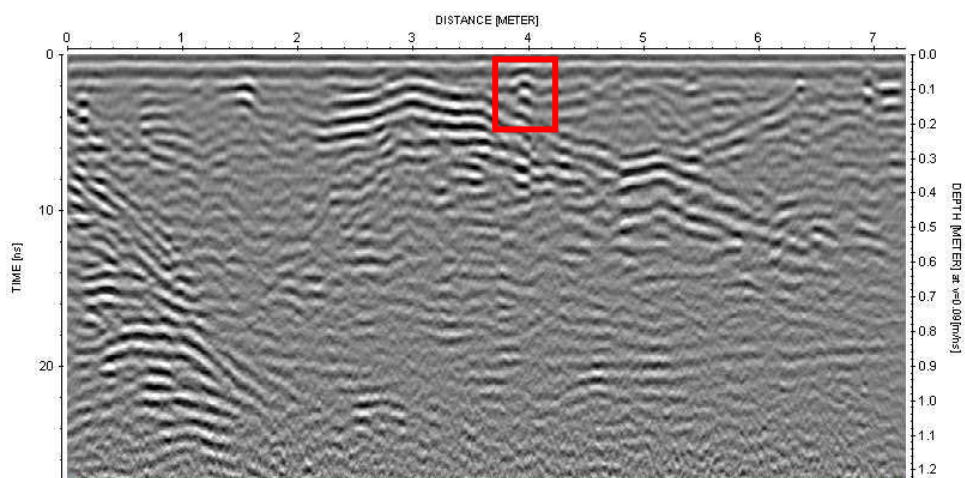


Figura 5.14: Seção UB2_L1 utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

Na Figura 5.15 foi identificada uma anomalia distinta (vermelho) em relação às outras linhas, realizadas no mesmo sítio, passível de ser uma anomalia com interesse arqueológico, localizada em aproximadamente 4 m no eixo x, a uma profundidade de 30 cm.

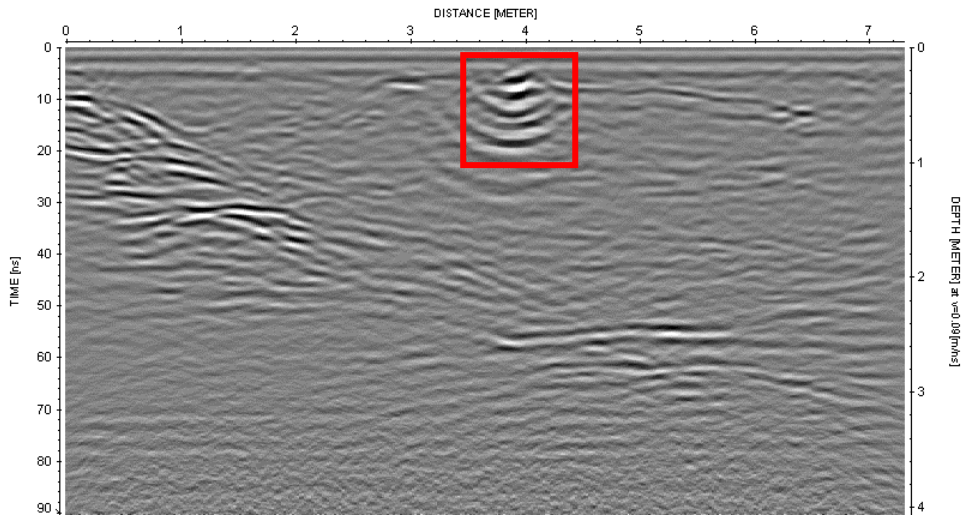


Figura 5.15: Seção UB2_L4 utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal e vertical 1.

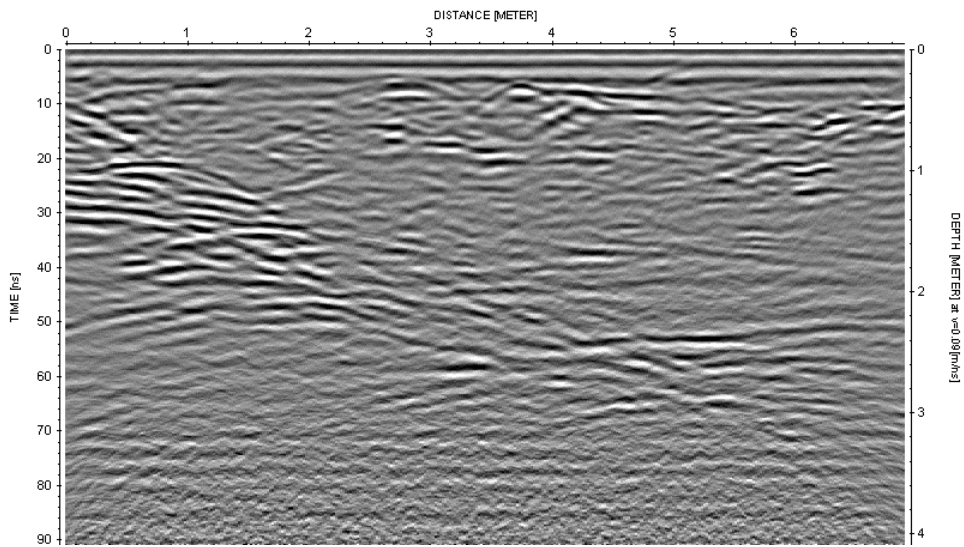


Figura 5.16: Seção UB2_L5, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal vertical 1.

5.4. GO-Cp-16, Unidade C

Nenhum dos produtos gerados da aquisição realizada no sítio GO-Cp-16, Unidade C, apresentam anomalias de interesse. Entretanto, é notório que no começo da seção até aproximadamente 6 m, não há sinal, evidenciado nas Figuras 5.17, 5.18 e 5.19. Semelhante a perda de sinal identificada nas Figuras 5.1 e 5.2, descritas no tópico 5.1.

Essa semelhança se dá pela localização das duas áreas, a Unidade A se localiza a frente do “paredão de pinturas” e a Unidade C está posicionada atrás deste paredão.

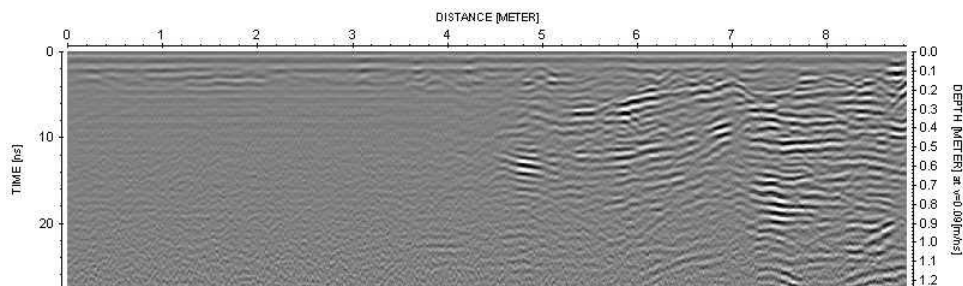


Figura 5.17: Seção UC_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

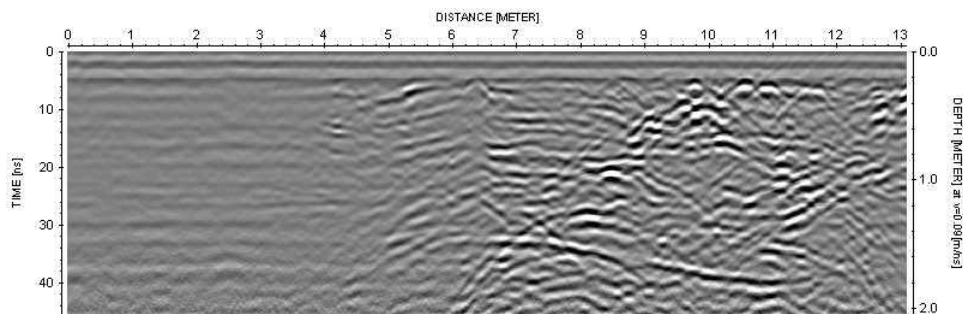


Figura 5.18: Seção UC_L2A, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

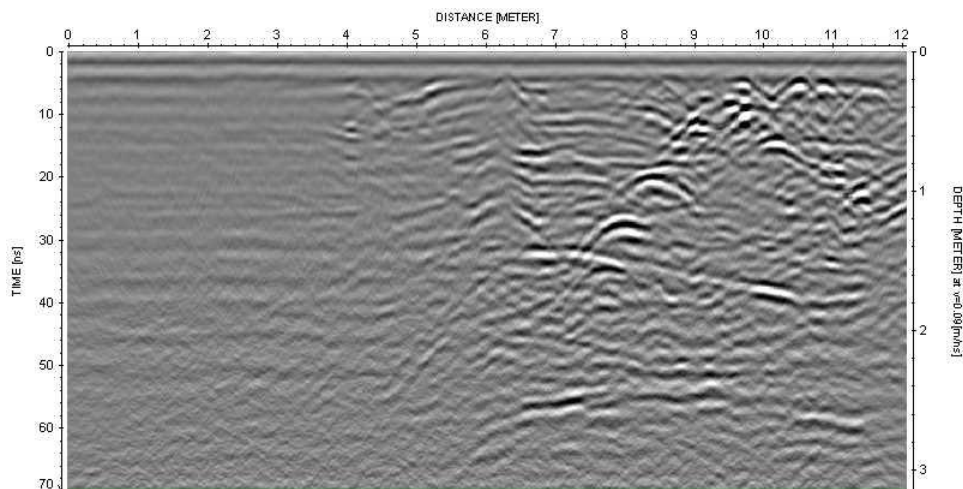


Figura 5.19: Seção UC_L2B, utilizando a antena de 400 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

5.5. GO-Cp-17

Os produtos gerados a partir da aquisição realizada nesse sítio (Figuras 5.20, 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24), não tiveram uma resposta razoável, tendo em vista as condições do local, o qual apresenta solo argiloso e presença de seixos. Gerando, assim, diversas anomalias acima da seção, não sendo possível distinguir elas de possível alvos de interesse. Além disso, o sinal se atenua à uma profundidade de aproximadamente 50 cm.

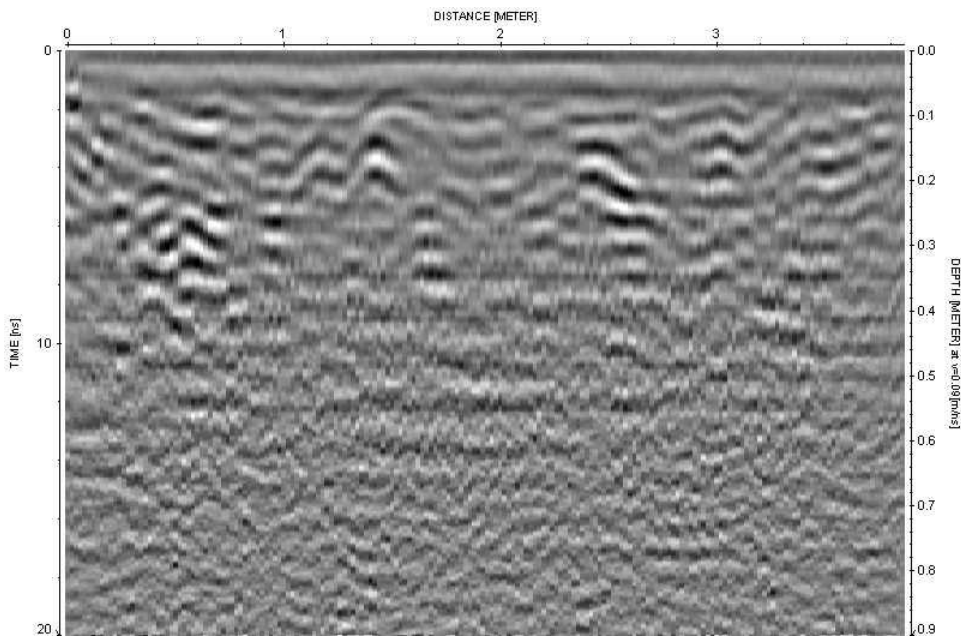


Figura 5.20: Seção 17_L1, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.

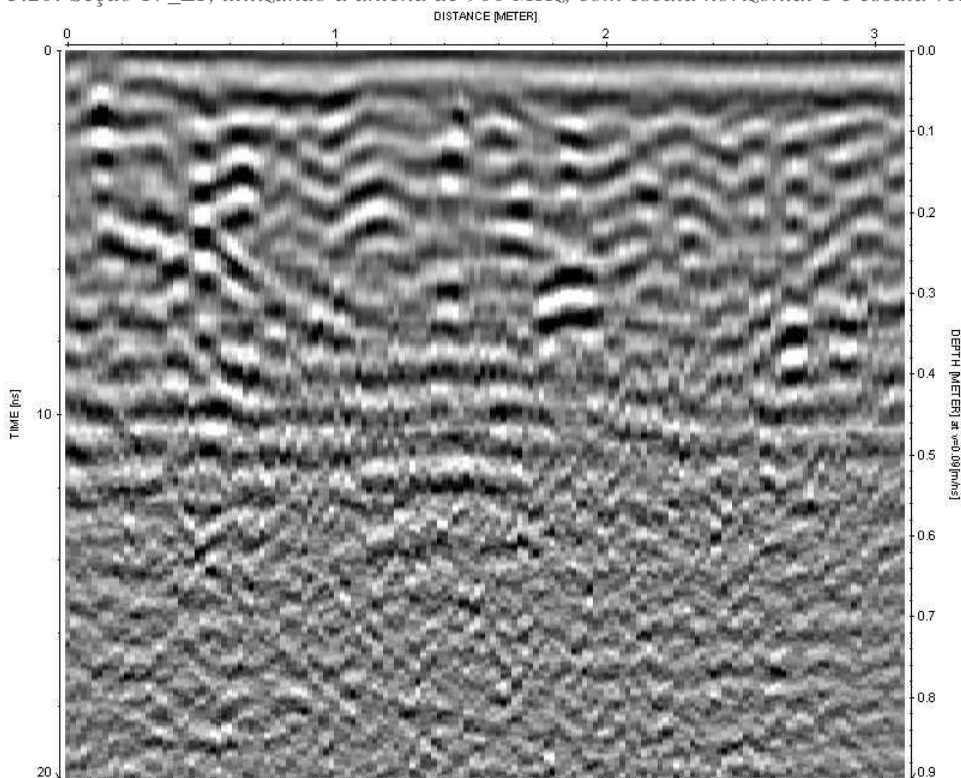


Figura 5.21: Seção 17_L2, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.

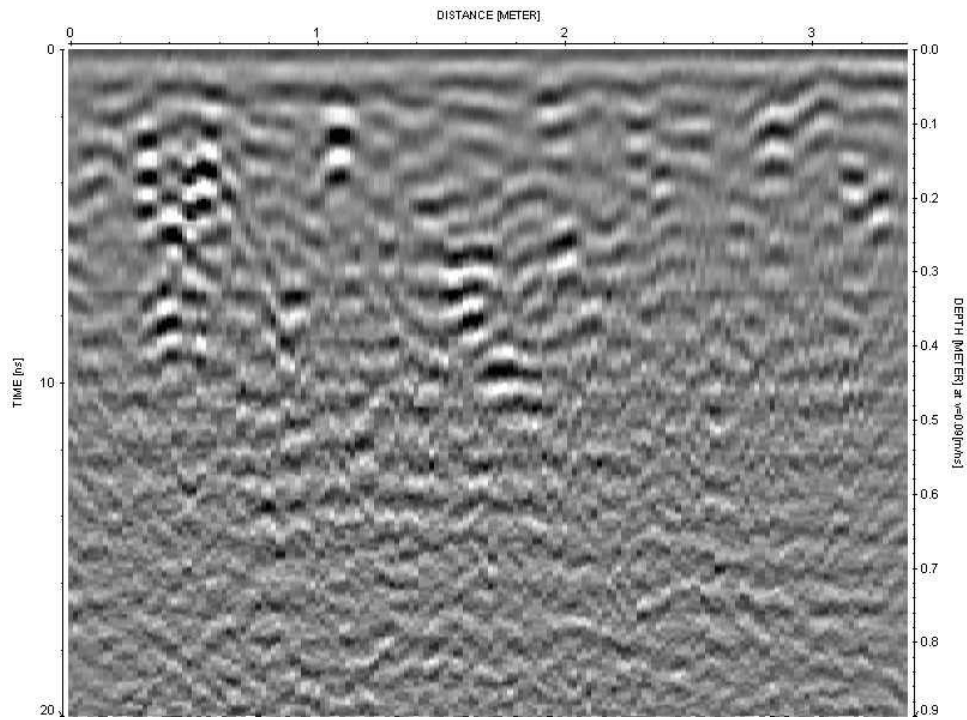


Figura 5.22: Seção 17_L3, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.

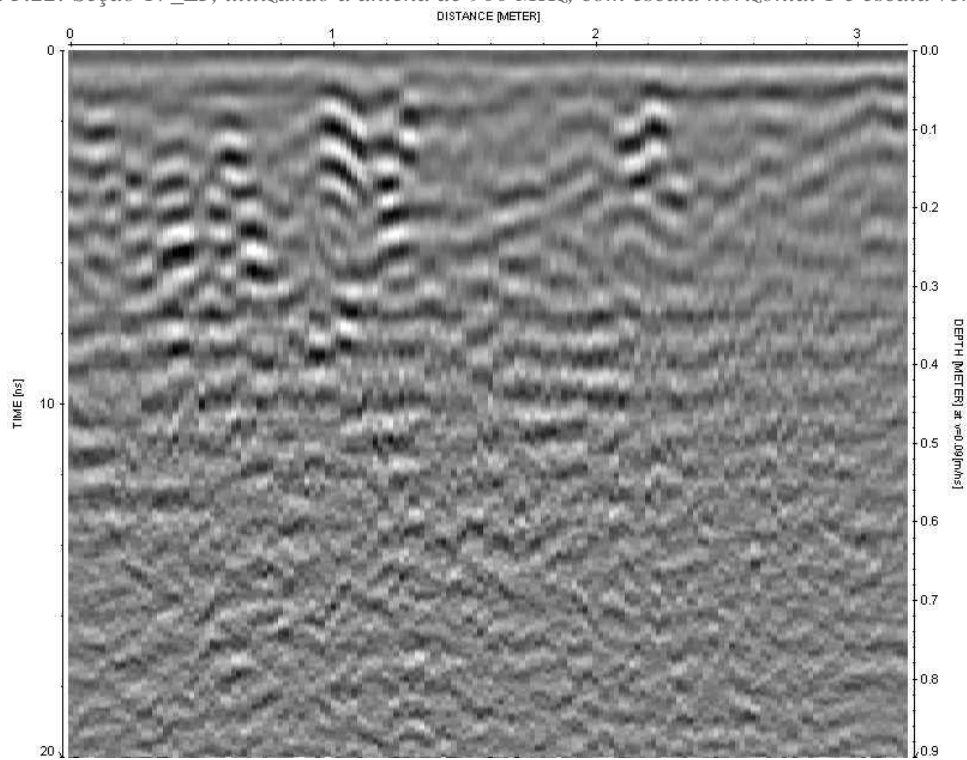


Figura 5.23: Seção 17_L4, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 3.

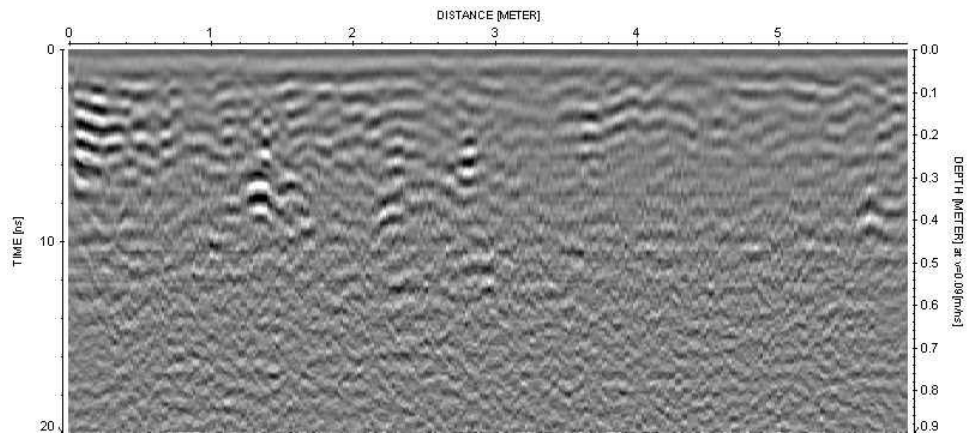


Figura 5.24: Seção 17_L5, utilizando a antena de 900 MHz, com escala horizontal 1 e escala vertical 2.

6. CONCLUSÃO

O método GPR se mostrou efetiva, em alguns locais, para auxiliar os arqueólogos a realizarem os seus trabalhos.

No sítio GO-Cp-16, Unidade A, com a utilização de ambas as antenas, foi identificado uma área em que o sinal se perde, a causa desta ocorrência pode ser uma área com uma maior presença de argila.

No mesmo sítio, na Unidade B.1, com o 3D, foram observadas anomalias que foram apontadas como sendo raízes de árvores. Porém não foi possível identificar as mesmas com as poucas linhas realizadas com a antena de 400 MHz.

Na Unidade B.2 foi identificada uma anomalia de bastante interesse nas linhas UB2_L1 e UB2_L4. Após a entrega dos resultados, foi realizada uma escavação neste sítio, e no local da anomalia identificada, foi encontrado um pedaço de cerâmica de 5 cm. Devido ao espaço limitado do local, foi necessário fazer arranjos diferentes para as antenas, sabendo disso, a linha UB2_L4, realizada com a antena de 400 MHz, passou sobre o artefato arqueológico, registrando muito bem o sinal da cerâmica, diferentemente da linha UB2_L1, que registrou um sinal muito suave, sendo identificado apenas pela realização das análises da linha UB2_L4.

Assim como a Unidade A, a Unidade C apresenta uma área da seção em que houve uma atenuação do sinal.

Já no sítio GO-Cp-17, o GPR não se apresentou satisfatório. Logo é entendível que a resposta do equipamento depende do local em que a metodologia é realizada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Emerson Rodrigo. Análise da tomografia de micro-ondas em dados GPR sob condições controladas: Aplicações em arqueologia e estudos forenses. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ARAGÃO, Rigler da Costa et al. Metodologia geofísica aplicada à pesquisa de salvamento arqueológico nos sítios Bittencourt, Jambuaçu e Jaburu, estado do Pará. 2006.

ASSINE, MÁRIO LUÍS et al. Arquitetura estratigráfica, tratos deposicionais e paleogeografia da Bacia do Paraná (Brasil) no Neo-Ordoviciano/Eo-Siluriano. Revista Brasileira de Geociências, v. 28, n. 1, p. 61-76, 1998.

ASSINE, Mario Luis. Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil. 1996. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSINE, Mario L.; SOARES, Paulo C.; MILANI, E. J. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, sul do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 24, n. 2, p. 77-89, 1994.

BRITO-SCHIMMEL, Paula et al. Aplicação de métodos geofísicos em Arqueologia: primeiros resultados obtidos no sambaqui fluvial Capelinha, Cajati-SP. Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia, v. 12, p. 43-54, 2002.

BUTZER, Karl W. The Americas before and after 1492: An introduction to current geographical research. Annals of the Association of American Geographers, v. 82, n. 3, p. 345-368, 1992.

CARDOSO, João Luís. A geoarqueologia: fundamentos e métodos: sua aplicação em Portugal. Al-Madan, p. 70-77, 1996.

CATETE, Clístenes Pamplona et al. Investigações ambiental e forense com os métodos geofísicos Radar de penetração do solo, Polarização induzida e Eletrorresistividade no Cemitério do Tapanã, Belém/Pará. 2010.

CÉSAR MASCARENHAS AGUIAR, Júlio. Radar de Penetração no Solo (GPR): Aspectos Geofísicos e Geodésicos, Processamento e Análise em Pavimento Flexível. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

CORREIA, Karolina Almeida et al. A utilização do Ground Penetrating Radar (GPR) na definição de penetração de cunha salina e no monitoramento do nível freático em praia estuarina amazônica. *Águas Subterrâneas*, v. 33, n. 1, p. 87-101, 2019.

DINH, Kien; GUCUNSKI, Nenad; ZAYED, Tarek. Automated visualization of concrete bridge deck condition from GPR data. *NDT & E International*, v. 102, p. 120-128, 2019.

DUARTE, Gilденilson Mendes et al. Viabilidade da aplicação do GPR para o mapeamento de camadas de bauxita laterítica e de goethita. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 42, n. 2, p. 423-432, 2012.

FUNARI, Pedro Paulo A. Teoria e métodos na Arqueologia contemporânea: o contexto da Arqueologia Histórica. *Mneme-revista de humanidades*, v. 6, n. 13, 2005.

FURTADO, Carla Patrícia Queiroz et al. Gpr-Processamento E Modelagem. In: IV Simpósio Brasileiro de Geofísica. European Association of Geoscientists & Engineers, 2010. p. cp-197-00134.

KASHIMOTO, Emilia Mariko. Geoarqueologia. *Revista Habitus-Revista do Instituto Goiano de Pré-História e Antropologia*, v. 12, n. 1, p. 185-189, 2015.

MESQUITA, Marcelo Jorge Luz et al. Estimativas de umidade no solo usando GPR. 2011.

MILANI, Edison José. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, p. 265-291, 2004.

MORETON, Luis Carlos (Org.). Iporá: folha SE.22-V-B: estado de Goiás. Brasília: CPRM, 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

PORSANI, Jorge Luís et al. O sítio controlado de geofísica rasa do IAG/USP: Instalação e resultados GPR 2D-3D. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 24, p. 49-61, 2006.

PROCÓPIO, Grazieli Pacelli; VIANA, Sibeli Aparecida. Visibilidade e intencionalidade das pinturas rupestres no sítio GO-CP-33, em Palestina de Goiás, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 16, 2021.

REYNOLDS, John M. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons, 2011.

RIBEIRO, Eloah Vargas et al. Discussão teórica sobre a técnica de prospecção geofísica ground-penetrating radar (GPR) nas escavações do sítio arqueológico GO-Ja-02: Serranópolis. 2021.

VALE, Guilherme Halax Ponciano do et al. Contextualização e análise tecnofuncional dos conjuntos líticos do holoceno recente no sítio arqueológico GO-CP-46, Doverlândia/GO. 2020.

VAN OVERMEEREN, R. A. Radar facies of unconsolidated sediments in The Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology. *Journal of applied geophysics*, v. 40, n. 1-3, p. 1-18, 1998.

VIANA, Sibeli Aparecida et al. O Complexo Arqueológico de Palestina de Goiás/Brasil—uma avaliação dos conjuntos líticos mais antigos em contextualização macrorregional. *Revista Cadernos do Ceom*, v. 29, n. 45, p. 188-211, 2016.

WHITING, Brian M.; MCFARLAND, Douglas P.; HACKENBERGER, Steven. Preliminary results of three-dimensional GPR-based study of a prehistoric site in Barbados, West Indies. In: *Eighth International Conference on Ground Penetrating Radar*. SPIE, 2000. p. 260-267.

XAVIER NETO, Pedro. Processamento e interpretação de dados 2D e 3D de GPR: aplicações no imageamento de feições cársticas e estruturas de dissolução no campo de petróleo de Fazenda Belém-CE. 2006.

YILMAZ, Öz. *Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data*. Society of exploration geophysicists, 2001.