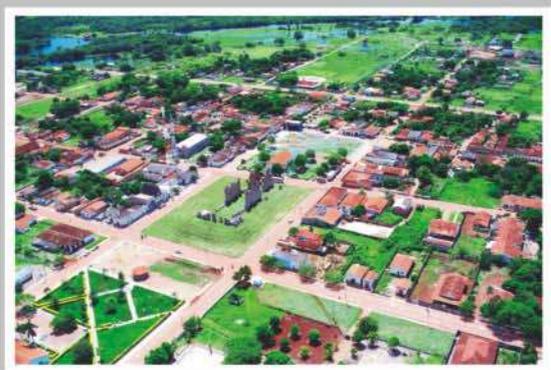


PROJETO FRONTEIRA OCIDENTAL
Arqueologia e História - Vila Bela da Santíssima Trindade / MT

RELATÓRIO FINAL
FASE 1 - julho 2002

L
E
V
A
N
T
A
M
E
N
T
O

G
E
O
F
Í
S
I
C
O



COORDENADORIA DE PRESERVAÇÃO CULTURAL
DIVISÃO DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO, ARTÍSTICO E ARQUEOLÓGICO



ZANETTINI
ARQUEOLOGIA

PROJETO FRONTEIRA OCIDENTAL

Projeto autorizado pelo IPHAN/MINC Portaria nº 16 de 28/01/2002

REALIZAÇÃO

GOVERNO DO MATO GROSSO

JOSÉ ROGÉRIO SALLES

SECRETARIA DE CULTURA DO ESTADO

JURANDIR ANTÔNIO FRANCISCO

COORDENADORIA DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL,
HISTÓRICO, ARTÍSTICO E ARQUEOLÓGICO

BERNADETE DURÃES ARAÚJO

PATROCÍNIO

FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DO MATO GROSSO - FAPEMAT

APOIO

PREFEITURA MUNICIPAL DE VILA BELA DA SS. TRINDADE

EQUIPE DE PESQUISA

COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

PROF^a. DRA. ERIKA M. R. GONZÁLEZ

PROF. MS. PAULO ZANETTINI

CONSULTORIA EM HISTÓRIA

PROF. DR. CARLOS ALBERTO ROSA

7

CONSULTORIA FOTOGRÁFICA

MARIO FRIEDLÄNDER

PESQUISA E SISTEMATIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO

MS. LEANDRO DOMINGUES DURAN
PAULO FERNANDO BAVA DE CAMARGO
LEANDRO KEY H. YANAZE (ARQUITETO)
MARISA BUENO E SOUZA (ARQUITETA)

EQUIPE DE CAMPO

PROF. MS. WAGNER GOMES BORNAL
PAULO AFONSO VIEIRA
LUÍS VINICIUS SANCHES ALVARENGA
ELKE BERENICE KÖLLN (ARQUITETA)
DAYUNI MIGLIÁCIO DOS SANTOS (ARQUITETA)

LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

GEO-RADAR LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

APOIO TÉCNICO DE LABORATÓRIO

JOSÉ QUINTINO DA SILVA JÚNIOR

AS ESCAVAÇÕES VIRTUAIS NO COMPLEXO DE SANTO ANTONIO DOS MILITARES, QUARTEL E PRIMEIRA MATRIZ COM O AUXÍLIO DE GPR (GROUND PENETRATING RADAR)

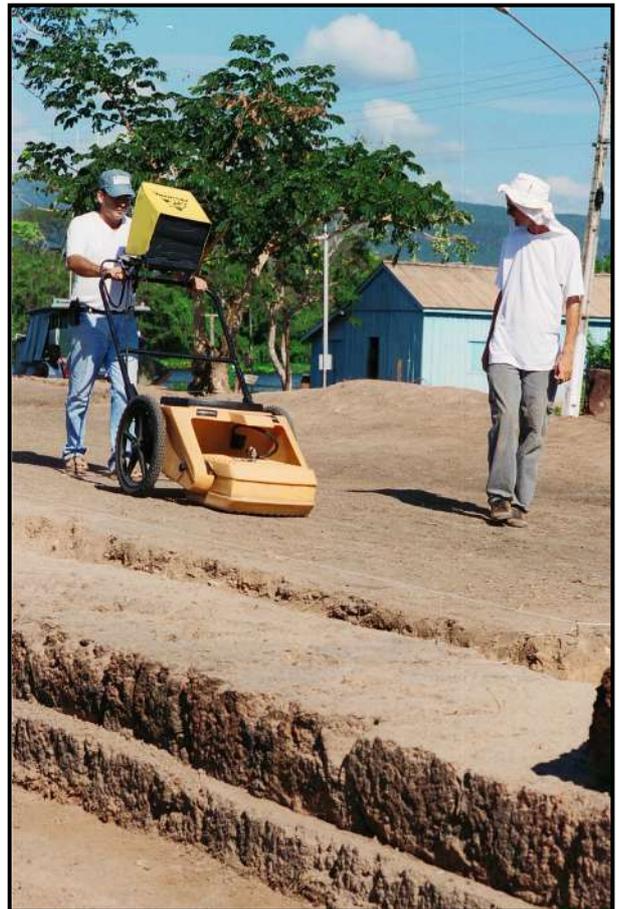
Apresentação

Constitui na atualidade uma palavra de ordem para a Arqueologia a busca por procedimentos não invasivos que contribuam efetivamente para a preservação dos recursos arqueológicos em jogo, bens culturais de caráter não renováveis.

Nesse sentido, o Projeto Fronteira dentre diversos métodos geofísicos optou pela utilização do moderno Radar de Penetração no Solo, GPR realizando possivelmente a maior recobertura já feita em um sítio histórico-arqueológico no Brasil, totalizando aproximadamente 7 mil m² de escavações virtuais em apenas 3 dias. Essa investigação preliminar permitiu que os pesquisadores selecionassem os locais de maior potencial para as prospecções que ocorreram no complexo de Santo Antonio dos Militares. Além desse sítio foram realizadas investigações no quartel (Quadra 604) e na Quadra 505, onde, segundo a cartografia antiga existiu a casa do Governador e a Primeira Igreja Matriz que compunham o centro administrativo projetado para a Capital.

Além da síntese adiante apresentada, o Projeto Fronteira Ocidental apresenta em CD (em anexo), o conjunto das imagens captadas e analisadas pelos geofísicos que integraram a equipe de arqueologia. Essa documentação constitui a matéria-prima que irá guiar as futuras intervenções no subsolo do complexo de Santo Antonio, tendo em vista a sua completa reintegração ao perímetro urbano tombado pelo Governo do Mato Grosso.

Prancha 1



Mostra dos trabalhos de análise geofísica desenvolvido pelo projeto "Fronteira Ocidental", na cidade de Vila Bela.

1. Introdução

No subsolo do município de Vila Bela da Santíssima Trindade (MT) encontram-se inúmeros vestígios (restos de cerâmica produzida por moradores, diversos utensílios, alicerces de pedra lavrada de antigos edifícios desaparecidos, etc.). A descoberta destes vestígios permite o conhecimento de uma série de aspectos sobre a vida em Vila Bela no passado.

Neste contexto, a utilização do GPR representa uma valiosa ferramenta pois permite a obtenção de imagens de altíssima resolução do subsolo, orientando de maneira eficaz as escavações arqueológicas realizadas no local.

Os locais investigados pelo GPR foram separados em 3 áreas:

- 1) Igreja Santo Antônio do Militares e Área Murada.
- 2) Quartel
- 3) Quadra 505

Todos os dados coletados durante a execução deste projeto estarão disponibilizados no seu formato “bruto”, para que futuramente possa ser reprocessados.

2. GPR aplicada à Arqueologia

Dentre todos os métodos geofísicos aplicados, o GPR é aquele que encontra maior aplicação em arqueologia, devido a altíssima resolução que a técnica apresenta. Segundo Wynn (1986), “é a mais importante inovação tecnológica em arqueologia da última década”.

Em um projeto onde o número de escavações é otimizado, torna-se imperativo a execução de técnicas indiretas de investigação, de forma a orientar a precisa localização das sondagens. O GPR possibilita ainda a cobertura de extensas áreas em um curto período de tempo.

O principal objetivo de um levantamento GPR aplicado à arqueologia é a identificação de artefatos enterrados, assim como o reconhecimento da estratigrafia local onde se encontram estes alvos. A maneira mais eficiente para atingir estes objetivos é através da execução de perfis posicionados lado a lado, muito próximos um do outro inseridos dentro de um “grid”, identificando e correlacionando reflexões e outros eventos observáveis nas seções GPR. (Conyers & Goodman, 1997).

Diversas publicações relatam a utilização de métodos geofísicos aplicados à prospecção arqueológica (Griffiths & Barker, 1994; Weymouth, 1996), com ênfase para o GPR (Goodman, 1994; Vaughan, 1986).

3. Princípios teóricos do método

O GPR (“ground penetrating radar”) é um método de investigação geofísica por meio de ondas eletromagnéticas de altas frequências (10-1000 MHz), não invasivo e portanto não destrutivo, empregado no estudo em detalhe da subsuperfície.

Um pulso de energia de alta frequência é irradiado para o subsolo por intermédio de uma antena transmissora, sofrendo reflexões, refrações e difrações, sendo então captado por uma antena receptora (Figura 1).

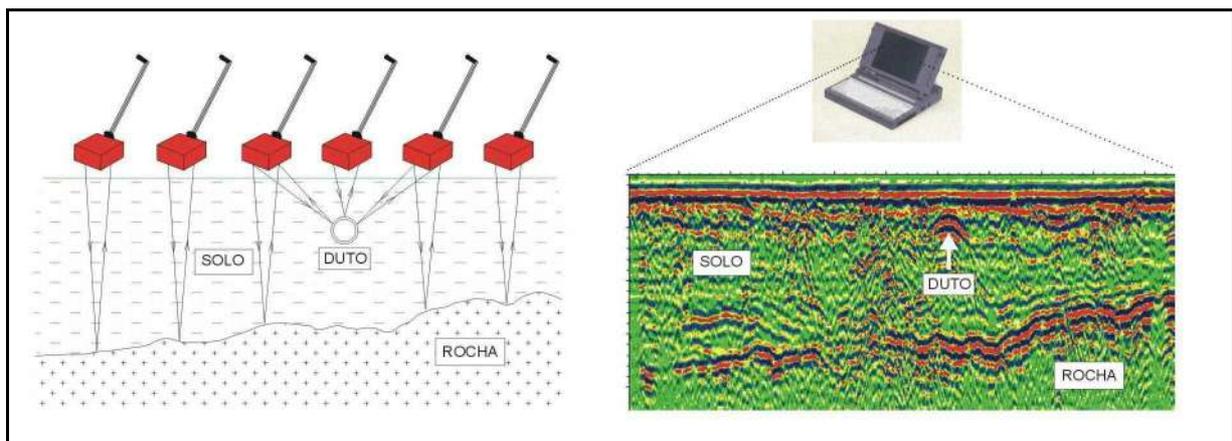


Figura 1 - Levantamento GPR

O sinal recebido é amplificado, digitalizado, visualizado e armazenado, podendo ser processado em uma etapa posterior. Os dados são apresentados na forma de seções onde cada posição de medida em superfície corresponde a um traço que representa o tempo duplo de percurso do sinal refletido/difratado em discontinuidades presentes no subsolo. A rapidez com que a aquisição dos dados é realizada possibilita a coleção de um grande número de traços que produzem uma seção de alta definição.

Para a maioria das aplicações práticas as reflexões das ondas de radar ocorrem nas interfaces de materiais com distintos valores de permissividade dielétrica (ϵ). É comum expressar esta grandeza através de um número adimensional denominado constante dielétrica (K), que se relaciona com a permissividade através da expressão $\epsilon = K \cdot \epsilon_0$, onde ϵ_0 é a permissividade dielétrica do vácuo. Quanto maior for o contraste existente entre as constantes dielétricas de diferentes meios (K_1 e K_2), mais intensa será a reflexão observada, sendo numericamente expressa através do coeficiente de reflexão:

$$R = \frac{\sqrt{K_1} - \sqrt{K_2}}{\sqrt{K_1} + \sqrt{K_2}} \quad (\text{eq. 1})$$

A grande vantagem do método GPR comparando-se com as demais técnicas geofísicas aplicadas à prospecção arqueológica, é a possibilidade de detecção de alvos tanto metálicos como não metálicos.

A profundidade de um refletor pode ser determinada se for conhecido valor da velocidade de propagação da onda no meio, sendo dado pela seguinte expressão:

$$v = \frac{c}{\sqrt{K}} \quad (\text{eq. 2})$$

Para uma dada frequência, a penetração do pulso de radar no interior do solo é limitada fundamentalmente pela condutividade elétrica do terreno. A atenuação (α , em dB/m) possui uma correlação direta com a condutividade (σ , em mS/m), sendo dada por (Davis & Annan, 1989):

$$\alpha = 1,69 \frac{\sigma}{\sqrt{K}} \quad (\text{eq. 3})$$

A equação acima mostra que nos meios onde predominam altos valores de condutividade, a atenuação será grande, limitando a eficácia da técnica. A Tabela 1 apresenta alguns valores característicos da constante dielétrica (K), velocidade (v), condutividade (σ) e atenuação (α) para diversos tipos de materiais.

Tabela 1 - Valores típicos de K, v, σ e α observados em diversos tipos de materiais a 100 MHz (Davis & Annan, 1989).

Material	K	v (m/ns)	σ (mS/m)	α (dB/m)
Ar	1	0,3	0	0
Água doce	80	0,033	0,5	0,1
Água do mar	80	0,01	30000	1000
Areia seca	3-5	0,15	0,01	0,01
Areia saturada	20-30	0,06	0,1-1	0,03-0,3
Calcários	4-8	0,12	0,5-2	0,4-1
Folhelhos	5-15	0,09	1-100	1-100
Siltes	5-30	0,07	1-100	1-100
Argilas	5-40	0,06	2-1000	1-300
Granito	4-6	0,13	0,01-1	0,01-1
Gelo	3-4	0,16	0,01	0,01

A frequência de operação é escolhida de forma a fornecer a relação mais vantajosa entre penetração e resolução para um determinado objetivo. Sinais de alta frequência produzem alta resolução, porém baixa penetração, ocorrendo o inverso para sinais de baixa frequência. Os sistemas GPR podem operar com diversos valores de frequências, cada qual correspondendo a uma determinada antena.

A onda eletromagnética ao deparar-se com objeto localizado e de dimensões relativamente pequenas (da mesma ordem de grandeza do seu comprimento de onda) sofre o fenômeno de difração. Como consequência, temos a formação de típicas figuras hiperbólicas, como mostrado na Figura 2.

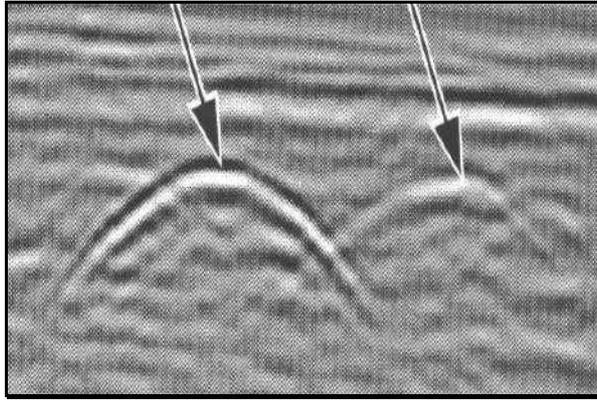


Figura 2 -Sinal típico em uma seção GPR devido devido ao fenômeno da difração.

4. Equipamento utilizado

No presente trabalho foi utilizado o equipamento de última geração Interragator II (Figura 3). A antena opera com uma antena de frequência igual a 300 MHz, fornecendo o melhor benefício em termos de resolução / penetração para os objetivos propostos. A profundidade máxima de investigação nesta frequência é em torno de 3 metros, podendo variar para mais ou menos dependendo das condições geológicas do local investigado.

O equipamento é extremamente robusto, especialmente desenhado para trabalhar em condições adversas em campo. A varredura ao longo de um perfil é realizada com leituras automáticas tomadas a cada 2,5 cm, garantindo uma altíssima resolução espacial e uma visão praticamente contínua da subsuperfície.

A visualização dos dados ao longo do levantamento é feita em tempo real na tela de um “notebook” que trabalha acoplado ao equipamento, possibilitando uma pré interpretação dos dados ainda em campo.



Figura 3 - Equipamento Interrogator II com antena de 300 MHz

5. Descrição dos trabalhos de campo

Em comum acordo com a coordenação da equipe de arqueologia, o levantamento foi dimensionado de forma a cobrir com grande detalhe todas as áreas estudadas. Desta forma, estabeleceu-se que o espaçamento entre perfis seria de 1 metro, garantindo a completa cobertura das áreas investigadas, e a correlação dos eventos observados nas seções GPR em perfis adjacentes.

O espaçamento adotado entre perfis adjacentes foi bem dimensionado. Conforme a Figura 4, que ilustra o conceito do “cone de iluminação” (área que o GPR “enxerga” em subsuperfície), a 2 metros de profundidade (Z) o eixo maior da elipse do cone (2A) é da ordem de 1 metro, de acordo com os parâmetros do levantamento ($f=300$ MHz) e as condições do subsolo ($v=80$ m/ μ s, item 6). Ou seja, o grau de cobertura utilizado possibilitou uma efetiva cobertura em subsuperfície na profundidade de investigação desejada.

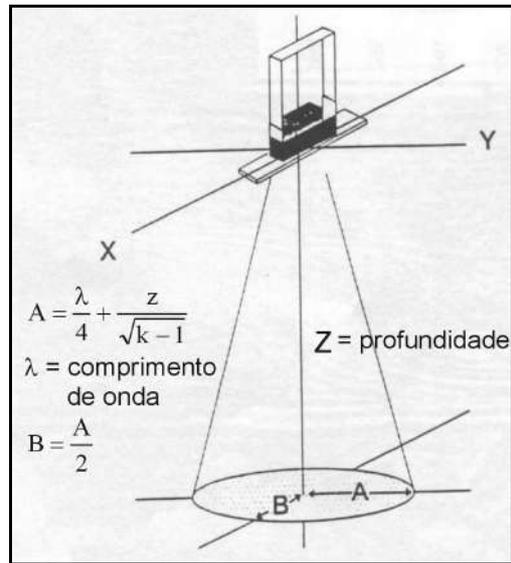


Figura 4 – Conceito do “cone de iluminação”

As áreas levantadas foram subdivididas em três “sites”, e a análise dos resultados será efetuada de acordo com esta divisão:

- 1) Igreja Santo Antônio do Militares e Área Murada.
- 2) Quartel
- 3) Quadra 505

6. Processamento dos dados

Para o processamento dos dados foi utilizado o software GRADIX (v. 1.11) da Interpex Limited (U.S.A). Foi adotada a seguinte rotina de processamento para a geração das imagens GPR obtidas na varredura dos perfis:

- 1) Importação dos dados
- 2) Remoção do “WOW”
- 3) Ganho
- 4) Filtragem passa banda
- 5) Conversão tempo-profundidade

A velocidade utilizada para a conversão tempo-profundidade foi obtida através do ajuste de hipérboles em diversas seções onde esta assinatura típica pode ser identificada. O valor determinado foi igual a 80 m/ μ s, coerente com as condições geológicas observadas na área de estudo (solo areno-argiloso a argiloso sob influência de nível freático raso). De acordo com a equação 2 (item 3), este valor de velocidade corresponde a uma constante dielétrica igual a 14, compatível com a litologia observada em campo (Tabela 1).

Todos os dados levantados, como já fora frisado, serão disponibilizados no seu formato bruto para que possam ser reprocessados em ocasiões futuras.

A escala vertical, devidamente convertida para profundidade, esta representada entre 0 a 2,5m com marcações horizontais a cada 0,5m.

7. Resultados

Nas três áreas estudadas foram realizados **4945 metros** lineares de perfis GPR, constituindo uma expressiva quantidade tratando-se de levantamento geofísico aplicado à prospecção arqueológica.

A seguir serão discutidos os resultados obtidos, separados por área de estudo.

7.1. Igreja Santo Antônio dos Militares e área murada

Uma visão geral do local que abrange a Igreja Santo Antônio dos Militares e área murada pode ser visto na Figura 5.

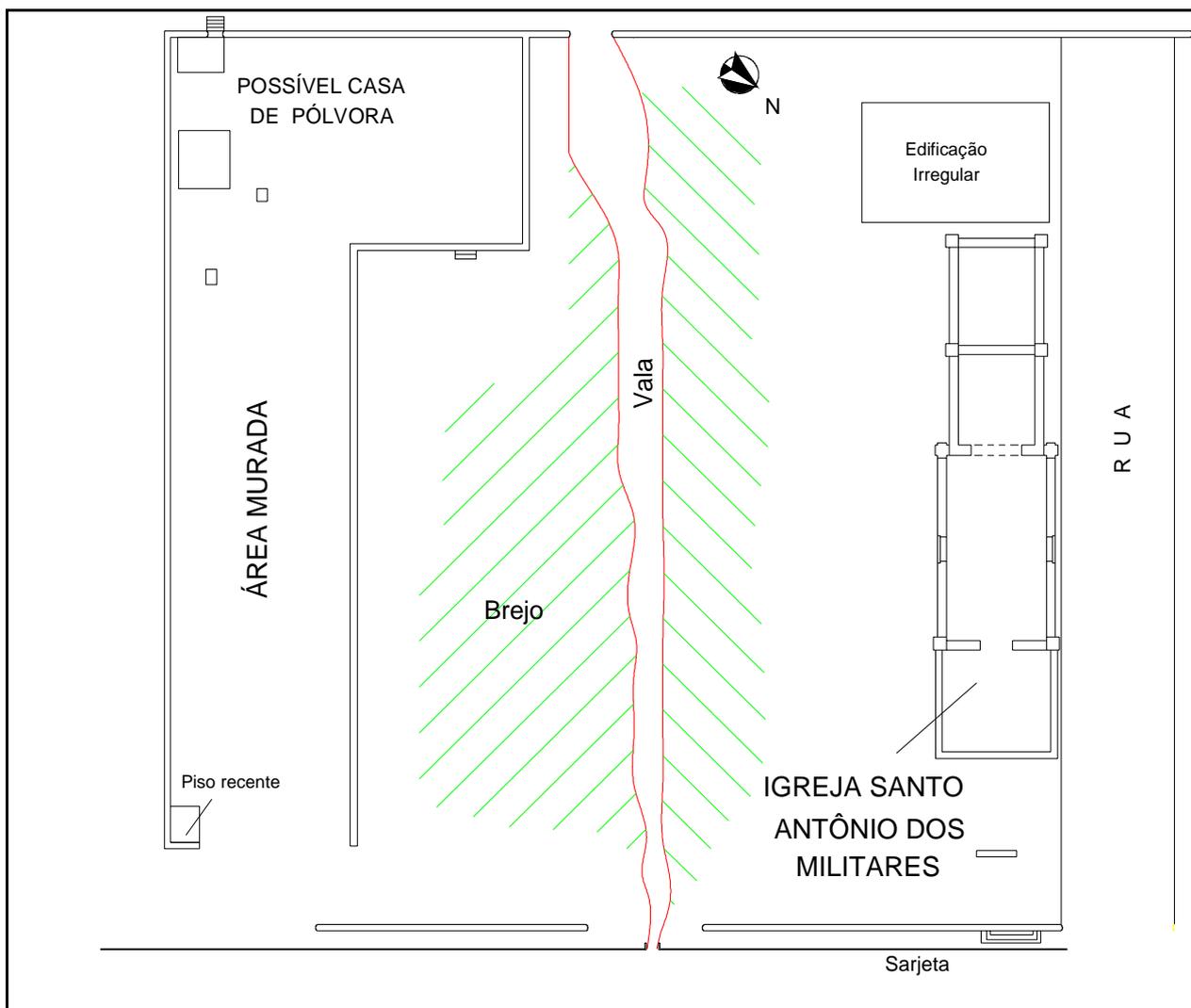


Figura 5 – Visão geral da Igreja Santo Antônio do Militares e área murada

Neste local foram realizados 69 perfis GPR, totalizando 3.381 metros lineares cobrindo uma área de aproximadamente 4.165 m² (Tabela 2). A exata localização destes perfis pode ser visualizada na Figura 6.

Tabela 2 -
Perfis GPR realizados na Igreja Santo Antônio dos Militares e entorno

Nome do Perfil	Extensão (m)
VB001	16,85
VB002	63,75
VB003	63,48
VB004	63,53
VB005	63,10
VB006	63,63
VB007	63,50
VB008	63,38
VB009	63,53
VB010	63,60
VB011	63,65
VB012	38,70
VB013	63,33
VB014	63,75
VB015	63,68
VB016	63,40
VB017	64,00
VB018	64,63
VB062	65,93
VB063	66,88
VB064	67,60
VB065	67,65
VB066	67,48
VB067	67,05
VB068	67,73
VB069	67,23

Perfis GPR realizados na área murada

Nome do Perfil	Extensão (m)
VB019	43,20
VB020	43,18
VB021	53,13
VB022	62,73
VB023	52,98
VB024	62,60
VB025	62,83
VB026	62,03
VB027	61,70
VB028	61,58
VB029	61,75
VB030	83,50
VB031	83,10
VB032	83,28
VB033	82,43
VB034	82,40
VB035	82,25
VB036	62,98
VB037	62,40
VB038	63,53
VB039	63,50
VB040	16,90
VB041	17,10
VB042	17,05
VB043	16,95
VB044	17,30
VB045	17,20
VB046	17,20
VB047	17,18
VB048	16,98
VB049	17,05
VB050	17,10
VB051	17,08
VB052	17,23
VB053	17,35
VB054	17,50
VB055	16,68
VB056	17,83
VB057	20,05
VB058	20,05
VB059	20,28
VB060	20,30
VB061	20,63

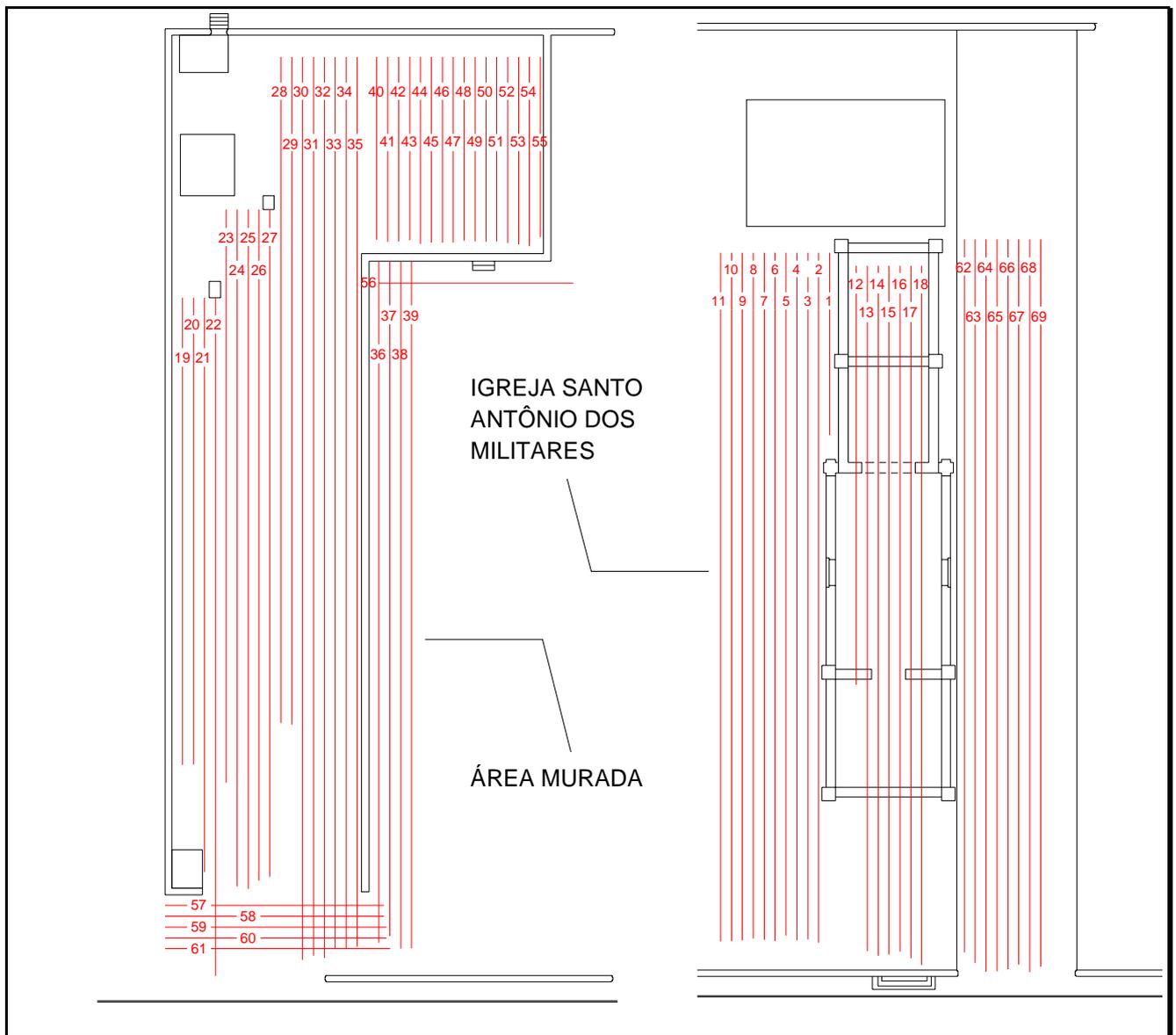


Figura 5 – Perfis GPR realizados na Igreja Santo Antônio do Militares e área murada.

Analisando diversos perfis realizados no interior das ruínas da Igreja Santo Antônio dos Militares (perfis VB 12 a 18), observou-se que o GPR foi capaz de identificar de forma bastante clara vestígios da fundação de estruturas internas (1) da construção separando a sacristia do altar (Figura 6).

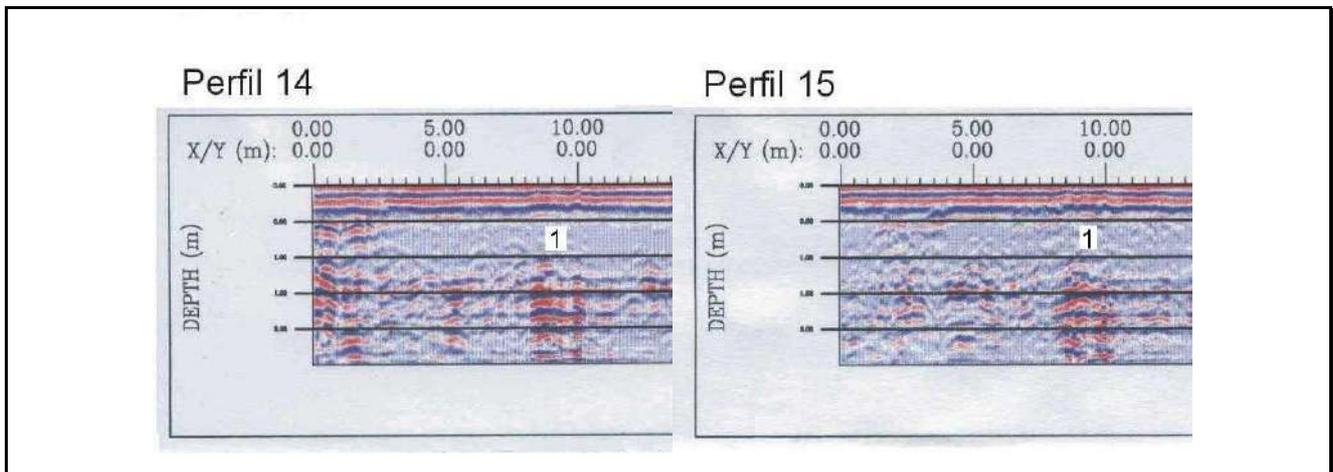


Figura 6 – Vestígios de fundação na Igreja Santo Antônio dos Militares

Na porção frontal junto ao acesso, ficou muito bem evidenciado através de alguns perfis (VB 13 a 17) a existência de uma anomalia (1) conforme ilustrado na Figura 5, sugerindo algum tipo de estrutura linear. As escavações permitiram identificar uma estrutura em pedra canga, sem qualquer relação com o restante da estrutura visível da Igreja. A anomalia (2) observada no final dos perfis revelou a existência de uma camada de cascalho, conforme evidenciado por sondagens realizadas no local.

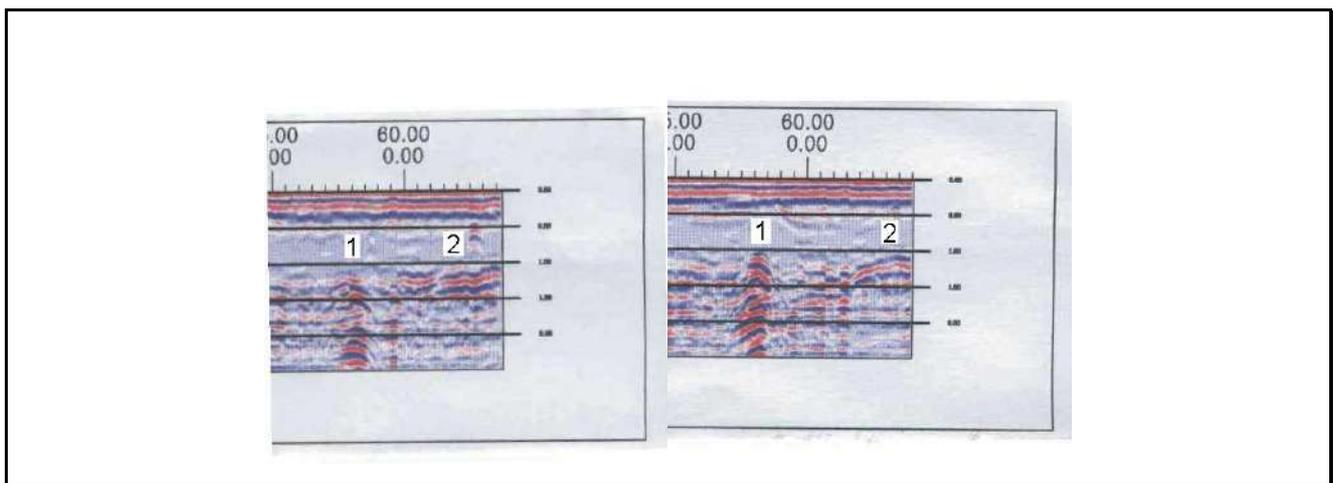


Figura 6 – Anomalias observadas nos perfis VB 16 e 17.

Os perfis realizados na Área Murada mostraram o poder do GPR em definir estratigrafia de detalhe. Uma sondagem direta realizada nas proximidades revela um perfil estratigráfico composto por uma camada superficial de aterro e solo areno-argiloso com presença de entulho. Abaixo deste horizonte encontra-se uma camada de cascalho sobreposta a uma base de argila onde se observou a presença de água brotando, segundo informações de campo. O perfil descrito pode ser observado de forma ilustrativa na Figura 7.

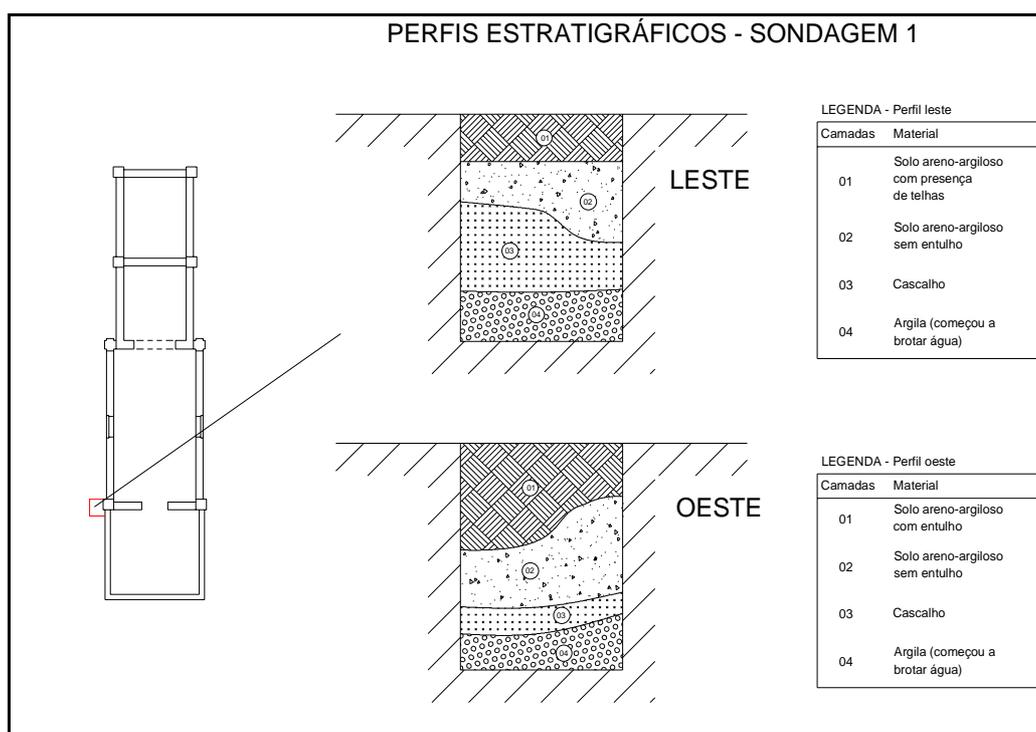


Figura 7 – Perfil estratigráfico observado na Área Murada e Igreja dos Militares.

Uma seção GPR representativa do local pode ser observada na Figura 8.

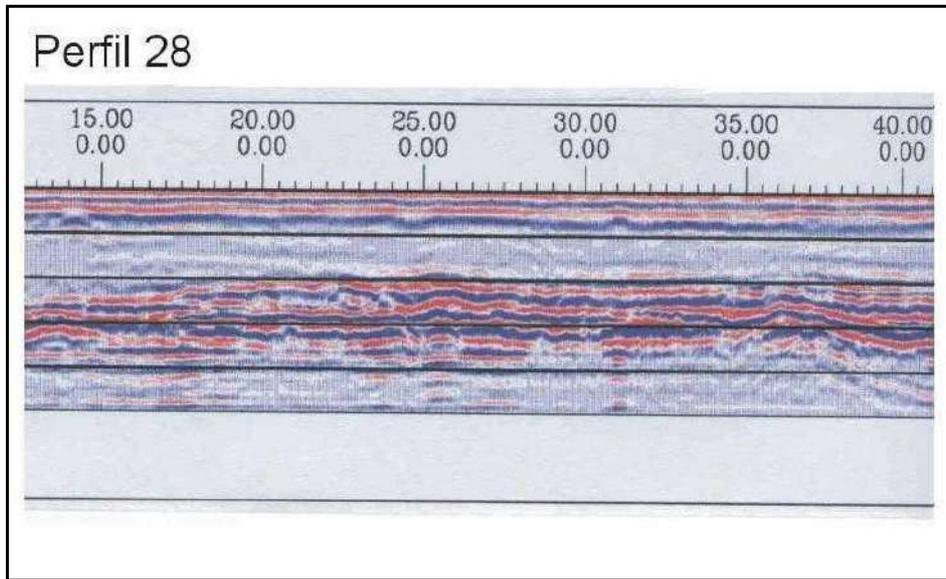


Figura 8 – Detalhe de seção GPR (VB 28) realizado na Área Murada exibindo o refletor contínuo correspondente à camada de cascalho.

O refletor contínuo que aparece na totalidade da seção corresponde à camada de cascalho. A forte reflexão das ondas eletromagnéticas observadas está relacionada à presença da água acumulada nesta camada de cascalho sobreposta à base argilosa e impermeável.

No final dos perfis realizados na Área Murada observou-se a interrupção do refletor supra citado em uma série de perfis paralelos (ex. perfis VB 25 a 29). Esta anomalia foi interpretada como a presença de uma material “seco” (1), contrastando com a camada saturada do cascalho, e pode estar relacionada à estruturas de fundações em subsuperfície (Figura 9).

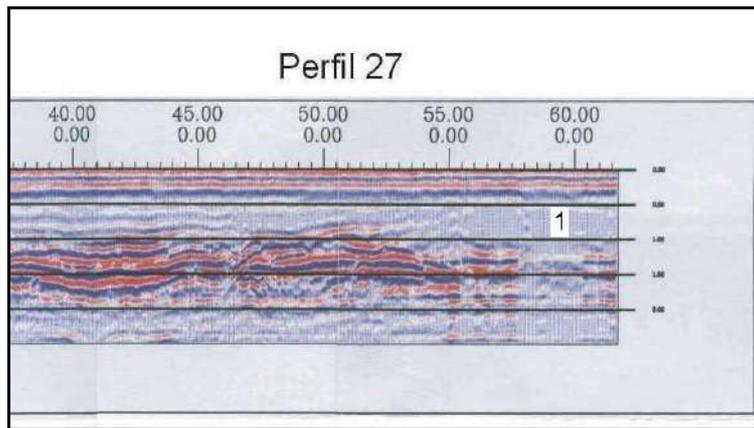


Figura 10 – Anomalia observada (1) no perfil VB 27 mostrando a “interrupção do refletor contínuo” que corresponde à camada de cascalho.

Estas anomalias, assim como aquelas observadas no início dos perfis VB 45 a 50, podem estar relacionadas a possíveis estruturas de fechamento no interior da Área Murada.

Na Figura 11 apresenta-se o mapa com os perfis realizados na Igreja Santo Antônio dos Militares e Área Murada, sobre os quais foram assinaladas as principais anomalias geofísicas identificadas pelo GPR.



Figura 11 - Anomalias geofísicas identificadas pelo GPR na Igreja Santo Antônio dos Militares e Área Murada.

A Figura 12 apresenta a localização das duas áreas apresentadas a seguir: Quartel (Quadra 604) e Quadra 505 (Casa de sua Majestade, Catedral e Cemitério) localizadas próxima à praça.

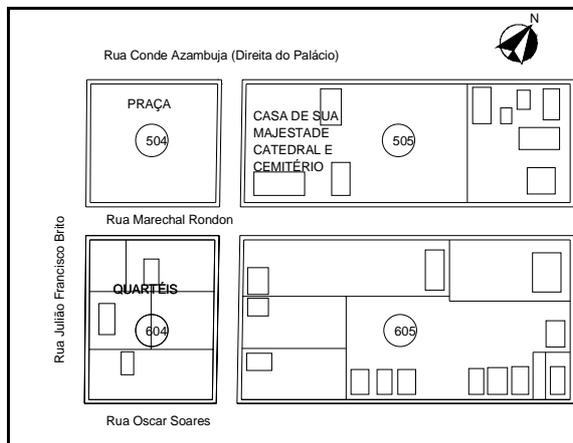


Figura 12 – Visão geral da Quadra 604 (Quartel) e Quadra 505 próxima à praça.

7.2. Quartel

A Figura 13 apresenta a localização dos perfis GPR realizados na área do Quartel.

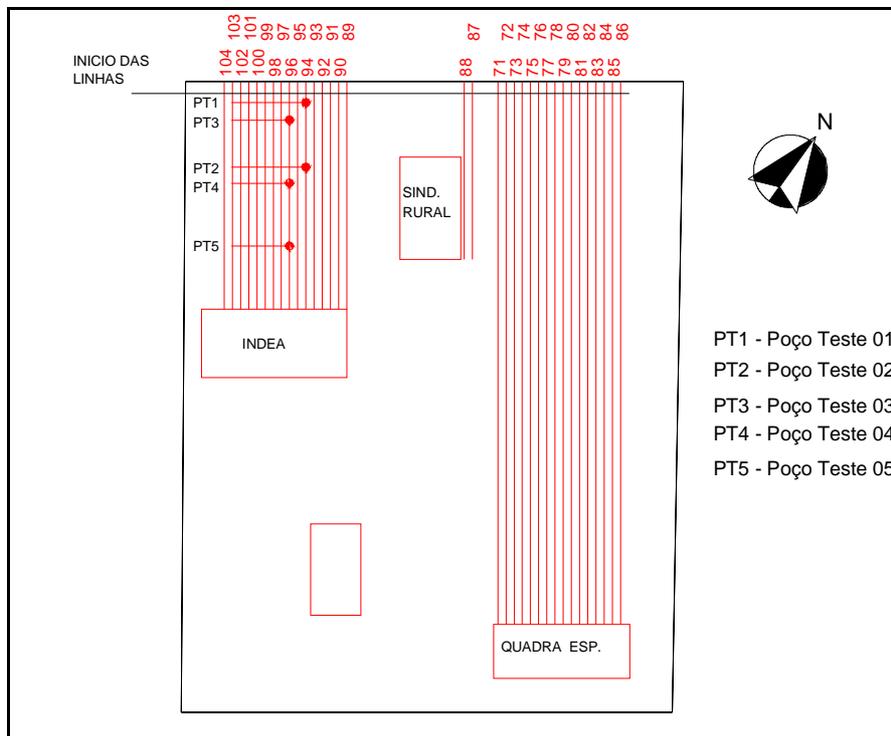


Figura 13 – Perfis GPR realizados na Quadra 604 (Quartel).

Foram realizados 33 perfis GPR totalizando 1392 metros de levantamento. A Tabela 3 apresenta a relação dos perfis executados.

Tabela 3 - Perfis GPR realizados no Quartel

Nome do Perfil	Extensão (m)	Nome do Perfil	Extensão (m)
VB071	57,13	VB088	19,90
VB072	56,38	VB089	30,18
VB073	56,60	VB090	30,68
VB074	56,73	VB091	28,93
VB075	56,68	VB092	30,88
VB076	33,58	VB093	30,78
VB077	56,73	VB094	30,85
VB078	56,85	VB096	30,88
VB079	56,65	VB097	30,83
VB080	56,70	VB098	30,90
VB081	56,93	VB099	30,93
VB082	57,20	VB100	30,88
VB083	57,18	VB101	30,95
VB084	56,78	VB102	30,93
VB085	56,98	VB103	30,93
VB086	56,73	VB104	30,90
VB087	26,38		

Nos perfis realizados próximos à quadra esportiva puderam ser identificadas pequenas anomalias relacionadas a objetos enterrados (1) e reverberações do sinal eletromagnético (2) devido a presença de possível estrutura metálica (Figura 14).

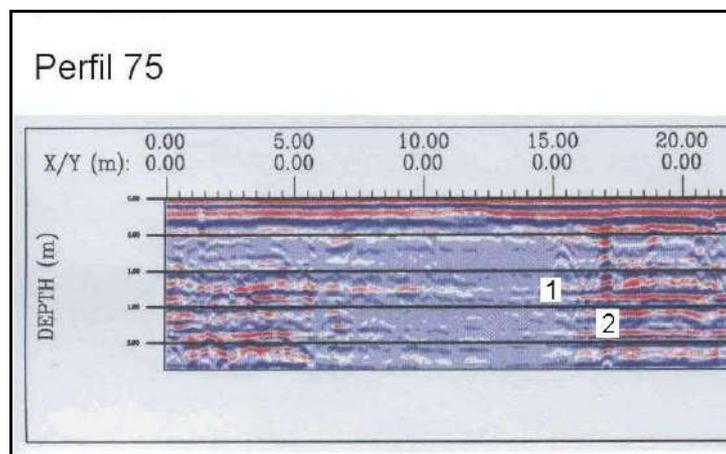


Figura 14 - Anomalias observadas no perfil VB75.

É notável ainda nestes perfis (VB75 a VB81) a ocorrência de uma forte atenuação verificada nas porção inicial das seções correspondentes, exibindo forte correlação entre perfis adjacentes.

Em alguns perfis, após esta “região de sombra” (1), pode ainda ser observado “reflexões perturbadas” (2), indicativas de material/solo revolvido (Figura 15).

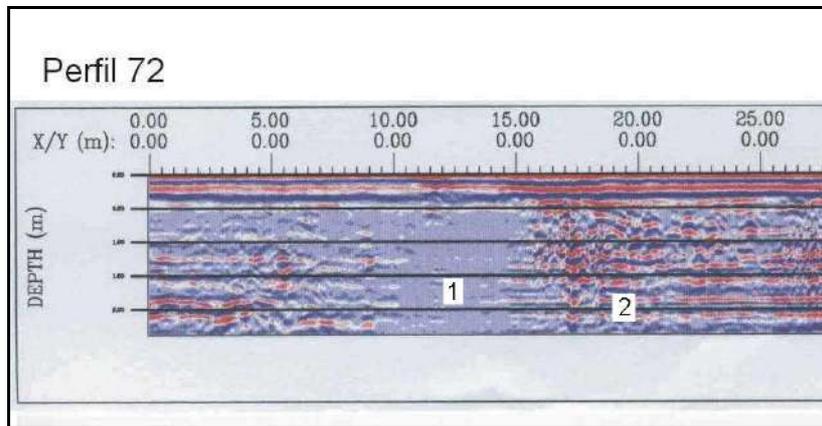


Figura 15 – Anomalias observadas no perfil VB72.

Nos perfis realizados defronte ao INDEA (VB 89 a VB104), é marcante novamente a presença do refletor contínuo em praticamente todas as seções, podendo estar relacionado com a camada de cascalho. A Figura 16 mostra um exemplo de uma seção realizada no local onde, além do refletor anteriormente citado (1), observa-se horizontes superiores (2), definindo-se de forma clara a estratigrafia local.

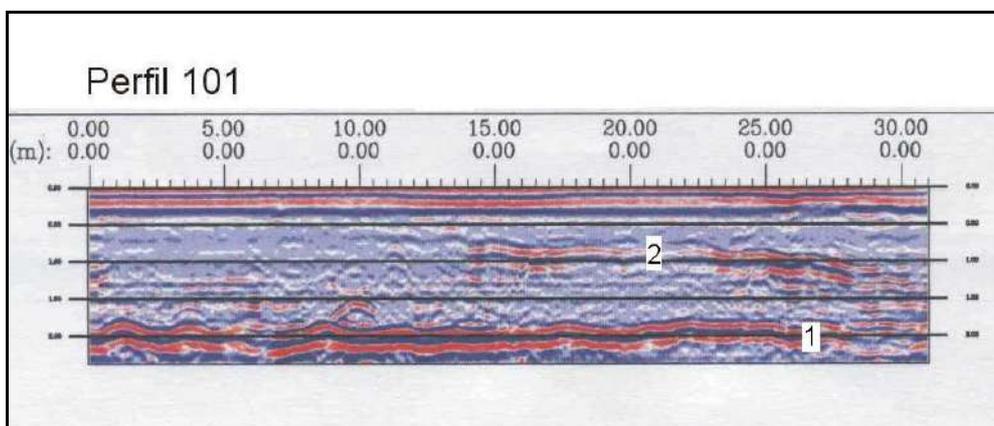


Figura 16 – Horizontes estratigráficos bem definidos no perfil VB101.

7.3. Quadra 505

No local denominado “Quadra 505” foram realizados 6 perfis GPR, totalizando 172 metros de perfis levantados (Tabela 3).

Tabela 3 - Perfis GPR realizados na Quadra 505

Nome do Perfil	Extensão (m)
VB105	28,40
VB106	28,50
VB107	28,45
VB108	28,38
VB109	29,23
VB110	29,18

Na Figura 17 é apresentada a localização dos perfis GPR realizados

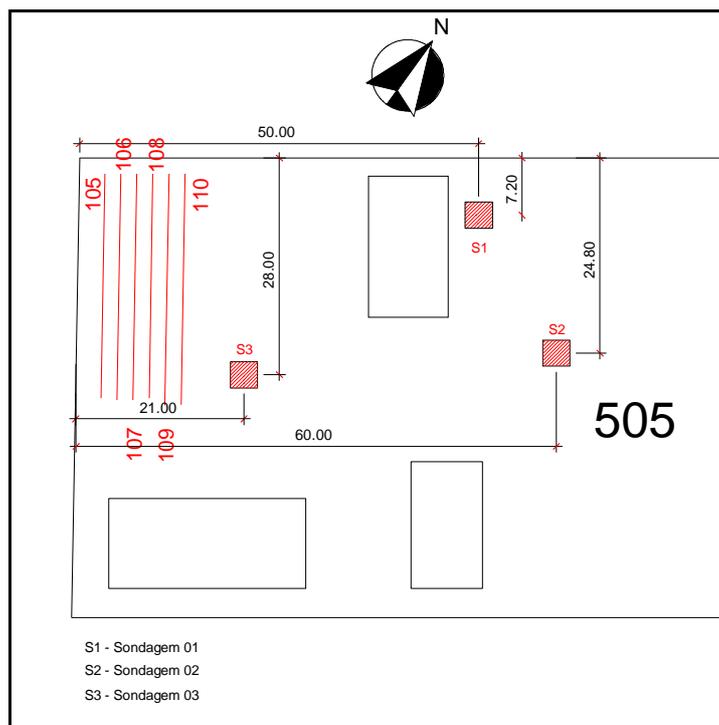


Figura 17 – Perfis GPR realizados na Quadra 505.

As seções adquiridas nesta área não apresentaram nenhuma anomalia de interesse significativa, salvo um forte refletor observado no meio do perfil VB109, indicando a possível presença de objeto metálico enterrado.

8. Referências Bibliográficas

- Conyers, L. B., Goodman, D. 1997. **Ground-Penetrating Radar. An Introduction for Archeologists**. Altamira Press, E.U.A., 232p.
- Davis, J. L., Annan, A. P. 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, v.37, n.5, p.531-551.
- Goodman, D. 1994. Ground-penetrating radar simulation in engineering and archaeology. **Geophysics**, v.59, n.2, p. 224-232.
- Griffiths D. H., Barker R. D. 1994. Electrical Imaging in Archaeology. **Journal of Archeological Science**, 21, p. 153-158.
- INTERPEX Ltda. 1996. **GRADIX Software Manual**, v.1.11, 222p.
- Vaughan C. J. 1886. Ground-penetrating radar surveys used in archaeological investigations. **Geophysics**, v.51, n.3, p. 595-604.
- Weymouth, J. W. 1996. Digs Without digging: Exploring Archeological Sites with Geophysical Techniques. **Geotimes**, p. 16-19.
- Wynn, J. C. 1886. Archaeological prospection: An Introduction to the Special Issue. **Geophysics**, v.51, n.3, p. 533-537.