

REVISTA DE ARQUEOLOGIA

Volume 30 No. 1 2017

ARTIGO

GEOFÍSICA ARQUEOLÓGICA NO AMBIENTE DA ARQUEOLOGIA URBANA: PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PROJETOS PÚBLICOS

Scott Joseph Allen*, Jorge Luís Porsani**, Bruno Poluha**

RESUMO

A reforma e a requalificação de centros históricos — como construção, saneamento, pavimentação, entre outras — requerem que uma pesquisa arqueológica seja realizada antes de qualquer intervenção. Nesse contexto, busca-se um equilíbrio entre o que pode sofrer impactos negativos e o que deve ser estudado e preservado arqueologicamente, sempre buscando atender à necessidade do melhoramento dos locais públicos. O Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim, Marechal Deodoro, Alagoas, ofereceu oportunidade de empregar o método geofísico GPR (*Ground Penetrating Radar* ou Georadar) para orientar escavações, identificar áreas para preservação e informar engenheiros civis sobre possíveis desafios para a execução do projeto civil. Os resultados foram interessantes, proporcionando um bom argumento para a incorporação de metodologias geofísicas em projetos de Arqueologia Urbana similares.

Palavras-chave: GPR-Ground Penetrating Radar; Geofísica arqueológica; Arqueologia Urbana.

ABSTRACT

Brazilian urban renewal projects in historic districts require that archaeological research be conducted prior to any intervention, such as excavations for sanitation, construction, pavement, among others. In such a context, a balance must be struck between what might suffer impacts and what should be studied and preserved archaeologically, while attending the need to improve these public spaces. The *Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim*, a public square dating to the early 17th century, offered the opportunity to use Ground Penetrating Radar to guide excavations, identify areas for preservation and to inform civil engineers of possible challenges for the project generally. The results were mixed, but provide a strong argument for the incorporation of geophysical methods in similar projects.

Keywords: Ground Penetrating Radar; Archaeological Geophysics; Urban Archaeology.

* Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Arqueologia, UFPE, Av. da Arquitetura, s/n, 10º andar, Cidade Universitária, Recife, PE, 50740-550, scott.allen@ufpe.br; Pós Doutorado Sênior, CNPq, IAG/USP, processo 112836/2015-1

** Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Geofísica, Rua do Matão, 1226, Butantã, 05508-090, São Paulo, Brazil.

E-mails: jorge.porsani@iag.usp.br e bruno.poluha@iag.usp.br.

APRESENTAÇÃO

O cenário atual de Arqueologia Urbana apresenta oportunidades de investigar as cidades históricas de forma inédita, pois a maioria das pesquisas se insere no contexto de projetos públicos como o PAC-Cidades Históricas do governo federal, além de outros esforços nos níveis estadual e municipal. Esses empreendimentos visam a reforma de distritos históricos e necessitam que uma pesquisa arqueológica seja realizada antes de qualquer intervenção, tais como construção, saneamento, pavimentação, entre outros. Enquadrados como atividades de Arqueologia Preventiva, esses projetos, geralmente, são orientados pelas normas do IPHAN, e realizam-se em parceria com empresas privadas de engenharia, arquitetura e assim por diante. Na prática, o contexto da maioria de projetos urbanos acarreta desafios. Apesar das grandes possibilidades proporcionadas por projetos de requalificação em termos científicos, há sempre a pressão de produzir resultados em cronogramas apertados.

Pesquisas arqueológicas no Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim (simplesmente Largo), no bairro de Taperaguá em Marechal Deodoro, Alagoas, foram realizadas como atividade preliminar e concomitante a obras de requalificação. O Termo de Referência (TR), documento que estabelece os parâmetros de projetos preventivos, foi redigido originalmente pela Superintendência do IPHAN em Alagoas, e adotado pelo município de Marechal Deodoro. Nesse caso, o TR estabelecia as condições de um estudo que permitia a realização das pesquisas arqueológicas por um período sem interferência do empreendimento, ou seja, sem a necessidade imediata de acompanhamento de obras. Apesar disso, o tempo era curto e fazia-se necessário um planejamento que pudesse aproveitar, ao máximo, a oportunidade de pesquisar esse bairro de Marechal Deodoro, já que era o possível local do primeiro povoado da cidade, nunca tendo sido alvo de uma pesquisa arqueológica. Além disso, o Largo ocupa um espaço bastante amplo que exigia uma estratégia apropriada. Assim, o plano de trabalho elaborado pelo Núcleo de Ensino e Pesquisa Arqueológico (UFAL) contemplou, desde o início, a realização de prospecção geofísica por meio do método GPR-*Ground Penetrating Radar* (Georadar ou Radar de Penetração do Solo) visando, principalmente, auxiliar no gerenciamento das escavações. Essa etapa serviu como experiência, pois não havia garantia alguma da sua utilidade para os serviços planejados.

Na maioria de textos que tratam do uso de métodos geofísicos em Arqueologia, lê-se algo muito similar à afirmação a seguir.

Com o emprego dos métodos geofísicos nos levantamentos arqueológicos, espera-se caracterizar melhor e com maior precisão os diversos materiais e estruturas, dentre outros vestígios arqueológicos, de forma rápida e sem intervenções danosas, tornando as escavações mais eficientes e com menores custos (MARQUES, 2010:119).

Apesar dessas afirmações positivas, escutam-se nos corredores arqueológicos estórias e experiências mistas quanto à eficácia de métodos geofísicos aplicados a problemas arqueológicos. Raramente lê-se sobre experiências negativas, mesmo que essas possam contribuir para a difusão das metodologias e instigar avanços para melhor utilizar a Geofísica na Arqueologia em geral. No contexto brasileiro, a reduzida utilização de metodologias geofísicas nesse campo de pesquisa resulta obviamente numa esparsa literatura sobre estudos de caso, o que contribui para um desinteresse.

O texto a seguir trata de uma apresentação dos resultados preliminares de Geofísica Arqueológica no Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim que serve, acreditamos, como bom argumento de que a Arqueologia seria bem servida pela incorporação mais frequente desses métodos em contextos urbanos. Destacamos aqui

os resultados das prospecções com o objetivo de repensar o planejamento de Arqueologia Urbana em contextos similares, por exemplo, em projetos administrativos visando intervenções em setores históricos. Detalhes metodológicos e técnicos sobre as prospecções, processamento e interpretação de dados encontram-se em elaboração.

GEOFÍSICA ARQUEOLÓGICA

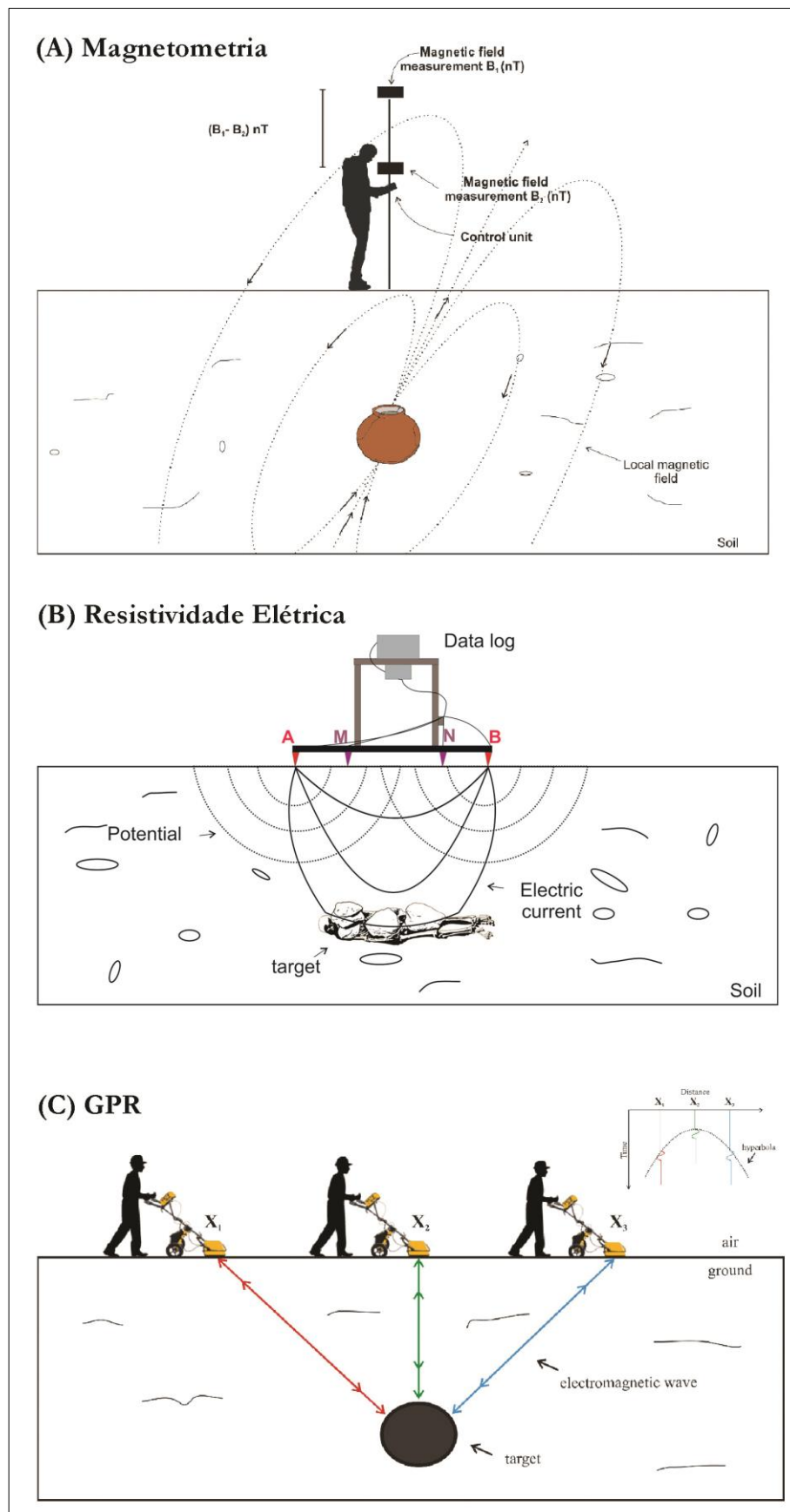
Existem vários métodos de Geofísica Rasa incluindo GPR, resistividade elétrica, magnetometria, eletromagnético indutivo (ou condutivímetro), sísmica de reflexão, microgravidade, entre outros. Na Arqueologia, as metodologias mais empregadas são: a magnetometria, resistividade elétrica e georadar (WYNN, 1986; cf. JOHNSON, 2006)(Figura 1).

A magnetometria é um método passivo e consiste na medição do campo magnético (local ou global) da terra sem induzir qualquer energia no sítio (figura 1a). O princípio é que anomalias locais modificam o campo magnético da terra e as pequenas variações locais são registradas pelo equipamento. Utiliza-se um magnetômetro para a medição do campo magnético total da terra, ou um magnetômetro na configuração gradiômetro para a medição de variações percebidas entre duas sondas. Em contraste com a geologia e sedimentologia local, ações humanas modificam ou fazem modificar esse campo magnético local. Por exemplo, argilas empregadas na confecção de cerâmica têm suas propriedades magnéticas alteradas, sendo possível detectar fornos, tijolos e 'chãos' de cerâmica. Outros vestígios arqueológicos comumente detectáveis através dessa técnica incluem, obviamente, os que contêm ferro, além de locais alterados na paisagem, como trincheiras, alicerces, poços e assim por diante.

A resistividade elétrica é método ativo, pois cria um circuito no subsolo onde a corrente é introduzida por meio de dois eletrodos (de corrente) e a diferença de potencial causada pela passagem dessa corrente no subsolo é medida em outros dois eletrodos (de potencial) por meio de um equipamento chamado de eletro-resistivímetro (Figura 1b). Anomalias antrópicas e naturais impedem ou facilitam a passagem da corrente. Por exemplo, obras que tipicamente resultam em resistência maior que a matriz sedimentar do entorno incluem muros, alicerces e caminhos enquanto as que geram resistência baixa, em comparação ao entorno, incluem enterramentos, trincheiras e buracos. Obviamente, a realidade é mais complexa que isso. Existem diversas configurações de eletrodos (*arrays* ou *arranjos*) para a prospecção geofísica por resistividade elétrica em Arqueologia, cada uma oferecendo vantagens em termos dos objetivos da prospecção: Twin e Wenner aparecem mais na literatura arqueológica, mas outras incluem Polo-Polo e Dipolo-Dipolo. As diferenças residem na configuração dos eletrodos que emitem a corrente e as que medem a resistência, influenciando assim a profundidade alcançada. As respostas são processadas, filtradas e plotadas para auxiliar posterior preservação e/ou escavação.

Como todos os métodos de Geofísica, a magnetometria e a resistividade elétrica possuem algumas limitações no que se refere ao seu uso em contextos urbanos. Quanto a magnetometria, sítios urbanos e semiurbanos frequentemente são lugares com bastante interferências eletromagnéticas não controláveis, tais como redes elétricas aéreas e subterrâneas, fiação de telefonia e televisão, estruturas contendo vigas de ferro, automóveis e assim por diante. Algumas dessas interferências podem ser eliminadas ou minimizadas no tratamento dos dados, porém outras impedem até mesmo a obtenção de dados em campo, pois 'saturam' os sinais.

Figura 1 – Representações das metodologias de magnetometria (gradiômetro) (A), resistividade elétrica (arranjo Wenner) (B), e GPR-Ground Penetrating Radar (B). (Desenhos, Bruno Poluha)



Apesar de a resistividade elétrica também ser sensível a esses ‘ruídos’ urbanos, os sistemas modernos permitem configurações que possibilitam leituras nesses ambientes, por exemplo, diversas funções de ganho e o emparelhamento das frequências das redes elétricas locais. Como no caso de magnetometria, o tratamento de dados torna-se bastante importante para evitar que ruídos sejam interpretados por anomalias, ou seja, para que um sinal ‘fantasma’ não seja entendido como algo de interesse arqueológico. Problema específico dessa metodologia reside na forma da coleta de dados, necessitando da inserção física dos eletrodos no solo. Ruas, calçadas e praças pavimentadas frequentemente impedem a obtenção desses dados em contextos urbanos.

Ground penetrating radar (GPR, comumente se lê *georadar* na literatura) é o método mais empregado em sítios históricos urbanos e cresce o número de prospecções geofísicas por essa metodologia a cada ano. O seu uso em contextos urbanos deve-se principalmente ao fato de que supera as limitações das demais técnicas mencionadas acima. Em termos gerais, o princípio da prospecção por georadar envolve a transmissão de ondas eletromagnéticas (EM) por uma antena na ordem de 10 a 2600Mhz (figura 1c). Na medida em que as ondas são transmitidas para dentro do subsolo atravessando diversos materiais até os alvos, parte do sinal é refletido, dependendo do contraste das propriedades físicas (condutividade e permissividade dielétrica¹) dos materiais encontrados: maior contraste entre os materiais implica em maior amplitude do sinal refletido sendo registrado no equipamento. O tempo de “reflexão” (da onda indo e voltando à antena) é medido para obter informação quanto à profundidade do alvo. Enquanto algumas ondas são refletidas, outras continuam e são refletidas por outros materiais mais profundos e/ou de propriedades diferentes até a sua atenuação. Os dados são processados em programas específicos que fornecem plantas e representações de vestígios arqueológicos em três dimensões. Informações detalhadas sobre os princípios físicos e matemáticos envolvidos no método GPR ou Georadar podem ser encontradas na literatura, por exemplo, Porsani (1999), Daniels (2007), Jol (2009), dentre outros.

Mesmo em crescimento no Brasil, a prospecção geofísica tem relativamente pouca inserção na Arqueologia. Os avanços nas aplicações geofísicas em Arqueologia, particularmente métodos GPR, elétricos, magnéticos e eletromagnéticos indutivos iniciaram-se na Grã-Bretanha e nos EUA com amplo uso por instituições de diversos países europeus (a Itália se destaca). De acordo com Cezar *et al.* (2001), a aparência tardia da Geofísica Arqueológica, no Brasil, deve-se em parte à ideia de que “alguns métodos geofísicos não seriam eficientes quando aplicados em ambientes tropicais” (CEZAR *et al.*, 2001:229-230). Por exemplo, considere que, no Brasil, o campo magnético total da terra é o mais baixo do mundo (por volta das 21-25nT), porém as metodologias (e equipamentos, principalmente) foram desenvolvidas em locais onde o campo é consideravelmente mais alto (ca. 50nT). É significativo que o instrumento da marca *Geometrics*, modelo G-856AX, magnetômetro possui um comutador chamado de *Brazil Switch*, justamente para tentar resolver esse problema (GEOMETRICS, s/d.; GEOMETRICS, 2007).

Apesar dessa carência de estudos em Geofísica Arqueológica no Brasil em comparação com outros países também com grandes investimentos e leis rigorosas quanto à preservação do patrimônio, diversos estudos têm indicado que o campo muito tem a ganhar pelo emprego de métodos geofísicos. Por exemplo, Alves (1979) foi o

¹ Permissividade dielétrica se refere ao “constante de um material que define a velocidade da onda radar” (CONYERS, 2006:140).

primeiro pesquisador a introduzir métodos geofísicos à Arqueologia Brasileira empregando a magnetometria e resistividade elétrica nos seus estudos no sítio arqueológico, Ilha dos Bichos (Teso dos Bichos), Ilha do Marajó, no estado de Pará. Nesse estudo, Alves levantou diversas possibilidades de como a geologia e sedimentologia local teriam sido alteradas por ‘camadas de ocupação’, locais de queima, pisos de ocupação, urnas funerárias e cavidades preenchidas (ALVES, 1979:24-25). Roosevelt (1991) discutiu amplamente as prospecções geofísicas por georadar, resistividade elétrica, magnetometria e condutividade elétrica realizadas no Teso dos Bichos nos anos 80 do século passado. Mais recentemente, Aragão *et al.* (2010) realizaram um projeto de geofísica comparando os métodos de magnetometria, georadar e radiação gama em uma área destinada à mineração.

Rodrigues *et al.* (2009) realizaram levantamentos geofísicos com os métodos GPR e eletromagnético indutivo em três sítios arqueológicos de sambaquis litorâneos na região de Santa Catarina, Sul do Brasil. Os resultados permitiram orientar as escavações, proporcionando encontrar uma fogueira, concentrações de materiais cerâmicos e um enterramento humano. Além disso, também foi encontrada uma raiz de árvore silicificada, sendo este um ótimo exemplo de ambiguidade na interpretação de dados geofísicos. A ambiguidade ocorre porque uma anomalia geofísica pode ter mais de uma interpretação.

Porsani *et al.* (2010) empregaram o método GPR em abrigo sob rocha no sítio arqueológico Lapa do Santo, na região cárstica de Lagoa Santa, no Estado de Minas Gerais. Averiguação de anomalias por escavação revelaram “*burned materials found in a fire hearth, a human burial, and a concentration of ceramic fragments*” (PORSANI *et al.*, 2010:1143). Por outro lado, também foi encontrada uma raiz de árvore.

A julgar por publicações em revistas científicas, é em contexto urbano e semiurbano onde se vê relativamente pouco uso de geofísica, inclusive pelo georadar, o método mais conhecido por arqueólogos no Brasil. O GPR é posto como melhor método nesses contextos, e é utilizado frequentemente anterior a intervenções urbanas para obras fora da área arqueológica. Por exemplo, obras urbanas como a construção de viadutos, instalação de redes hidráulicas e elétricas, a escavação de tuneis para veículos e metrô necessitam de estratégias para evitar estragos a construções já existentes, bem como acidentes no decorrer das obras (cf. PORSANI *et al.*, 2012). Problemas ambientais urbanos, como o vazamento de óleo em cabos elétricos subterrâneos às margens do Rio Pinheiros, zona leste de São Paulo (OLIVEIRA, 2008), podem ser detectados de forma relativamente rápida, assim orientando estratégias de conserto e evitando maiores prejuízos ao ecossistema.

Apesar dessa deficiência na aplicação de Geofísica Arqueológica em contextos urbanos e semiurbanos, há exceções que se destacam. Mesmo com objetivo de detectar vestígios pré-coloniais, Gomes & Luiz (2013) realizaram prospecções por georadar no bairro Salé em Santarém, Pará, no sítio Porto, que foi local de diversos estudos arqueológicos com evidências de contextos cerimoniais. Vale mencionar, neste momento, estudos em sítios semiurbanos, como em engenhos — a exemplo de Melo (2007), que se baseou em resultados magnéticos da prospecção da senzala do Engenho Murutucu para avaliar os resultados com o GPR. Estudos comparativos atuais de magnetometria, resistividade elétrica e GPR no Engenho Monjope em Igarassú, Pernambuco, contribuirão para o desenvolvimento do uso de Geofísica em Arqueologia Histórica.

Marques (2010) realizou estudo geofísico na área do Pelourinho, em Salvador, com o objetivo de “fornecer subsídios que auxiliassem na identificação de feições arqueológicas soterradas, tais como vestígios de edificações e estruturas arqueológicas

diversas” (MARQUES, 2010:119); realizou também a aquisição de dados GPR em 3 áreas do Pelourinho, conseguindo detectar alicerces modernos e antigos e um forno. Foi importante, nesse estudo, a geração de hipóteses e interpretações para a elaboração de estratégias de campo.

Os estudos citados acima são apenas uma amostra de algumas aplicações de prospecção geofísica no Brasil aplicadas em problemas arqueológicos, não se tratando de uma revisão completa da literatura brasileira da Geofísica Arqueológica. Salta às vistas o fato de que a maioria dos autores dos artigos publicados não são arqueólogos, mas, sim, geofísicos, o que sugere haver uma área de oportunidade e um amplo espaço para crescimento interdisciplinar.

Sabe-se que diversos outros estudos arqueológicos empregaram a Geofísica, porém a sua divulgação, até o momento, restringe-se principalmente à *chamada grey literature* (literatura ou bibliografia cinzenta), termo norte-americano que se refere principalmente a relatórios técnicos, muitas vezes de difícil acesso e pouca divulgação. Mesmo assim, essa literatura contém grande riqueza de informações sobre a Arqueologia Brasileira em geral. Por exemplo, Paulo Zanettini (ZANETTINI *et al.*, 2002; GONZÁLEZ & ZANETTINI, 2002; ZANETTINI, 2004) tem empregado o método geofísico GPR com certa frequência, alcançando bons resultados. Em um exemplo saliente para a presente discussão, Zanettini *et al.* (2002) prospectaram mais de 6.000m² no Centro Histórico de Manaus, conseguindo detectar e averiguar anomalias relacionadas a depósitos de lixo colonial e estruturas históricas (e modernas). Tão importante quanto são as prospecções, auxiliaram a “seleção e hierarquização de pontos a serem checados através de intervenções no subsolo” (ZANETTINI *et al.*, 2002:24). Essas experiências com GPR têm levado à afirmação de que,

...vale reforçar o importante papel que assume o GPR para a arqueologia urbana ao mesmo tempo em que fornece hipóteses a respeito de estruturas soterradas, contribui, sobremaneira, para a tomada de decisões em relação aos locais que não devem ser submetidos a prospecções invasivas, sobretudo, onde torna-se imperativo, em muitos casos, o emprego de maquinário pesado para a realização das perfurações iniciais (romper pavimentos, abri cavas através de capa asfáltica, etc). (ZANETTINI *et al.*, 2002.:22)

O LARGO DA IGREJA NOSSO SENHOR DO BONFIM

O Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim é o centro religioso e cultural do bairro de Taperaguá, Marechal Deodoro, Alagoas. A praça é comprida, fora do comum ao que parece, e rodeada por casas cujas datas de construção remetem, em alguns, casos, ao final do século 18. Acredita-se que o bairro foi o primeiro local povoado do que se tornaria ‘Alagoa do Sul’ no início do século 17, porém há discordâncias entre historiadores face ao registro histórico escasso (FERRARE, 2002; ALBUQUERQUE, 2000). A insalubridade do local (sujeita a inundações) e a necessidade de um melhor lugar para defender o investimento da Coroa Portuguesa foram os motivos que levaram ao abandono da parte baixa do então *Madalena de Sumaúma* (Taperaguá) (FERRARE, 2002) e à concentração do desenvolvimento da cidade numa área elevada, ainda no início do século 17.

A julgar pela historiografia, o bairro de Taperaguá foi, em grande medida, esquecido. Por exemplo, ainda em meados do século 17, a área do bairro de Taperaguá não conta com estrutura alguma ou atividade de importância (salina, porto, curral etc.) conforme o mapa *Brasília qua parte paret Belgis* (cf. BARBOSA *et al.*, 2013). Nesse mapa, apenas a igreja Nossa Senhora da Conceição (no alto) e algumas estruturas na beira da lagoa foram representadas, essas fazendo parte da nova urbe. É possível o Taperaguá

ter sido desocupado e reocupado à medida que a cidade crescia depois do domínio holandês em meados do século 17. Contrariamente, pode-se considerar que Taperaguá não fosse o foco do primeiro povoado, sendo ocupado à medida em que a cidade crescia durante o século 18.

Pedro Fonseca, em 1883, notou as péssimas e “tristes” condições das igrejas, convento e casas de Marechal Deodoro de forma geral, com exceção curiosa da Igreja do Nosso Senhor do Bonfim, escrevendo ser “regularmente cuidada com suas torres e frontispícios se destacando como perfeito contraste” (FONSECA, 1895 *apud* FERRARE, 2002:36)(veja figura 4). A Igreja atual falta de uma data precisa quanto à sua edificação, porém possui uma “fachada inspirada nas igrejas franciscanas do Nordeste” e “a sua composição plástico-formal” se aproxima à Igreja Nossa Senhora da Apresentação, Porto Calvo, Alagoas, datada de 1610 (FERRARE, 2002:81-82). Sabe-se apenas que as terras do Largo foram doadas para o patrimônio religioso no ano 1755 (FERRARE, 2002:82).

As conversas com os moradores antigos, a documentação disponível e a ‘leitura’ visual do local forneceram pistas para pensar no registro arqueológico e geofísico. O Largo foi e ainda é local usado para diversos fins, incluindo, infelizmente, a colocação de lixo dentro e fora de recipientes adequados, conserto de automóveis e caminhões, barzinhos (popularmente conhecidos como ‘risca faca’, ‘pega bebo’, e etc.), campo de futebol, um circo itinerante, festas municipais e assim por diante. Essas atividades, comuns em áreas urbanas, resultaram na distribuição de uma diversidade de materiais arqueológicos em superfície e nos depósitos e pacotes sedimentares profundos resultantes de diversas intervenções. Por exemplo, detectou-se, em profundidade, vestígios de fogueiras e manchas de postes devido à construção de barracos em frente à igreja, junto com evidências de fitinhas, jóias de plástico, bolas de gude etc. Uma questão abordada é se essas evidências poderiam informar quanto às mudanças não documentadas no Largo.

De acordo com moradores antigos, a praça ficava numa cota altimétrica abaixo do atual, sendo comum escutar que “a praça não era assim tão alta”. Para o observador casual, fica evidente que o Largo recebeu amplo aterro de areia, exposto no campo de futebol, além de servir como colchão para a colocação de paralelepípedo, encanamento, postes e outras intervenções. A Geofísica, aliada a sondagens, proporcionou detalhes desses aterros, bem como implicações para a preservação do registro arqueológico (discutido mais adiante).

AQUISIÇÃO DOS DADOS GPR

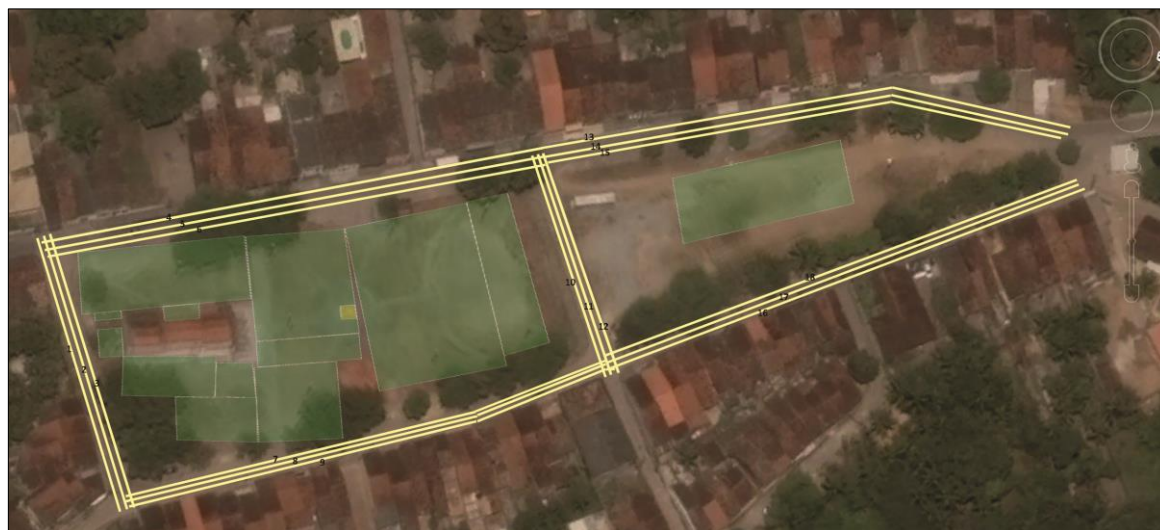
No momento da prospecção geofísica, o Largo se encontrava livre de eventos públicos, sendo a maior parte da sua superfície acessível para a pesquisa. Pretende-se, nas páginas a seguir, caracterizar o trabalho geofísico realizado e resumir os resultados mais relevantes para o presente argumento quanto à incorporação mais frequente da Geofísica na Arqueologia Urbana Brasileira. Uma discussão detalhada das metodologias de análise e processamento dos dados foge do escopo do presente texto.

A prospecção geofísica no Largo objetivou obter informações que poderiam nortear as escavações arqueológicas, indicar a presença de infraestrutura subterrânea existente (fiação, drenagem etc.) e propor estratégias para as obras pretendidas. Em contexto ideal, realiza-se mais de uma varredura geofísica em contextos arqueológicos. Após análise dos dados da primeira prospecção, e caso necessário, adota-se modificações na configuração dos parâmetros no equipamento GPR como, por exemplo, optar pelo uso de uma antena de frequência mais alta ou baixa, ou até a mudança por um método diferente. Assim identificadas as configurações/metodologias

otimizadas para o contexto e objetivos, retorna-se ao campo para mais varreduras. Em contextos acadêmicos, esse processo pode se repetir inúmeras vezes, pois seria seguido pela averiguação em campo através de escavações (*ground-truthing*) no decorrer do tempo necessário para a pesquisa. Em estudo como esse, que reúne os contextos de pesquisa científica (normalmente demorada, ou com cronograma flexível) com a Arqueologia Preventiva Empresarial (onde o cronograma é apertado), a prospecção geofísica se realiza normalmente em um só campo, em consonância com uma equipe experiente para aumentar a qualidade dos dados obtidos. Assim foi a etapa de análise geofísica no Largo, com uma cobertura praticamente total da área, bem como perfis individuais nas vias ao redor da mesma. A etapa de prospecção geofísica incluiu o estabelecimento de uma malha topográfica detalhada, assegurando a localização precisa de anomalias detectadas pelo GPR, processamento de dados e a interpretação dos resultados.

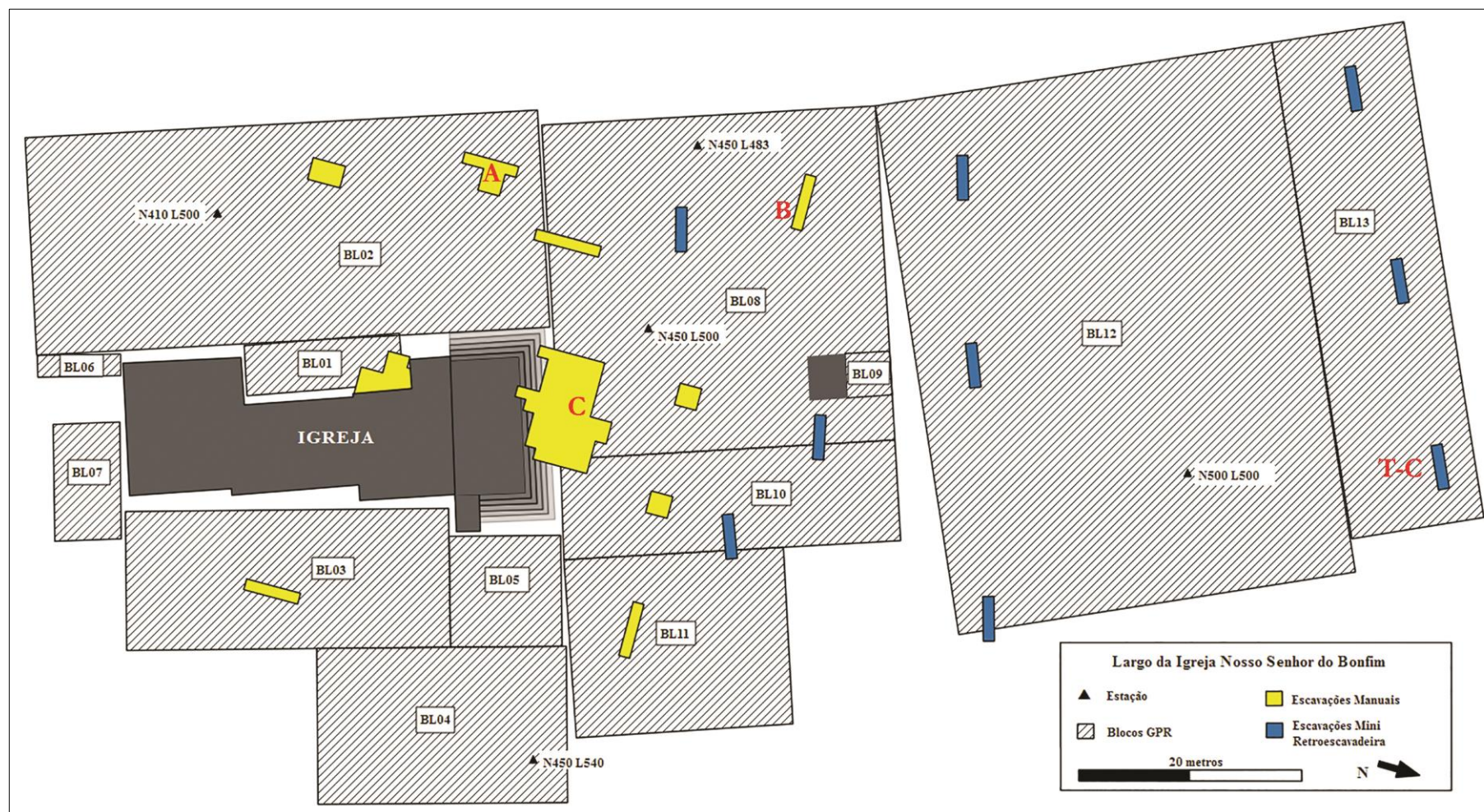
Utilizou-se o equipamento GPR da marca GSSI, modelo SIR-3000, e antenas de 270Mhz e 400Mhz para a varredura de 14 'blocos' (BL) e 18 perfis individuais nas vias de acesso rodeando o Largo (Figuras 2 e 3)². Um bloco se trata de uma área onde se obtém grande quantidade de amostras em linhas retas, proporcionando assim perfis (2D) individuais ou perfis interpolados para análise 3D. O uso de antenas de frequências diferentes na maioria dos blocos visava detectar anomalias profundas (270Mhz) e detalhar as anomalias mais rasas (400Mhz). Em termos gerais, blocos prospectados com as duas antenas revelavam informações até uma profundidade máxima de aproximadamente quatro (4) metros. O espaçamento transversal dos perfis variava de 0,25 a 1 metro dependendo do bloco investigado e um traço (*scan*) a cada 2 cm ao longo de cada perfil para todos os perfis.

Figura 2 - Blocos e perfis geofísicos georreferenciados no Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim (Imagem adaptada do *Google Earth*, 2016)



² O BL14 e os perfis obtidos nas vias não serão discutidos no presente texto, pois o projeto básico da requalificação se modificou durante a pesquisa, sendo suspensas as obras nesses locais até momento futuro.

Figura 3 - O Largo com os blocos geofísicos indicados, anomalias A, B, C e trincheira T-C discutidos no texto.



Os blocos ao redor da igreja foram prospectados objetivando detalhar, desde logo, possíveis anomalias antrópicas, já que se realizaria uma só etapa de campo. Ainda mais, foi nesses blocos que se pensava detectar reformas históricas à igreja e possíveis enterramentos humanos. Aumentou o espaçamento transversal à medida que se afastava da igreja na direção norte, particularmente quando a equipe foi informada sobre os diversos momentos de aterros em tempos modernos. Segundo moradores, existem três praças abaixo do atual e a mais antiga não tem mais de 35-40 anos de idade. Confirmamos duas dessas praças através do GPR e escavações. Os aterros efetivamente criaram uma ‘superfície’ que aumenta em espessura, fato confirmado através de análises geofísicas e averiguação por escavação, o que será discutido mais adiante.

Figura 4 - Levantamentos geofísicos no Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim. (Imagens do acervo NEPA/UFAL)



DISCUSSÃO DE RESULTADOS

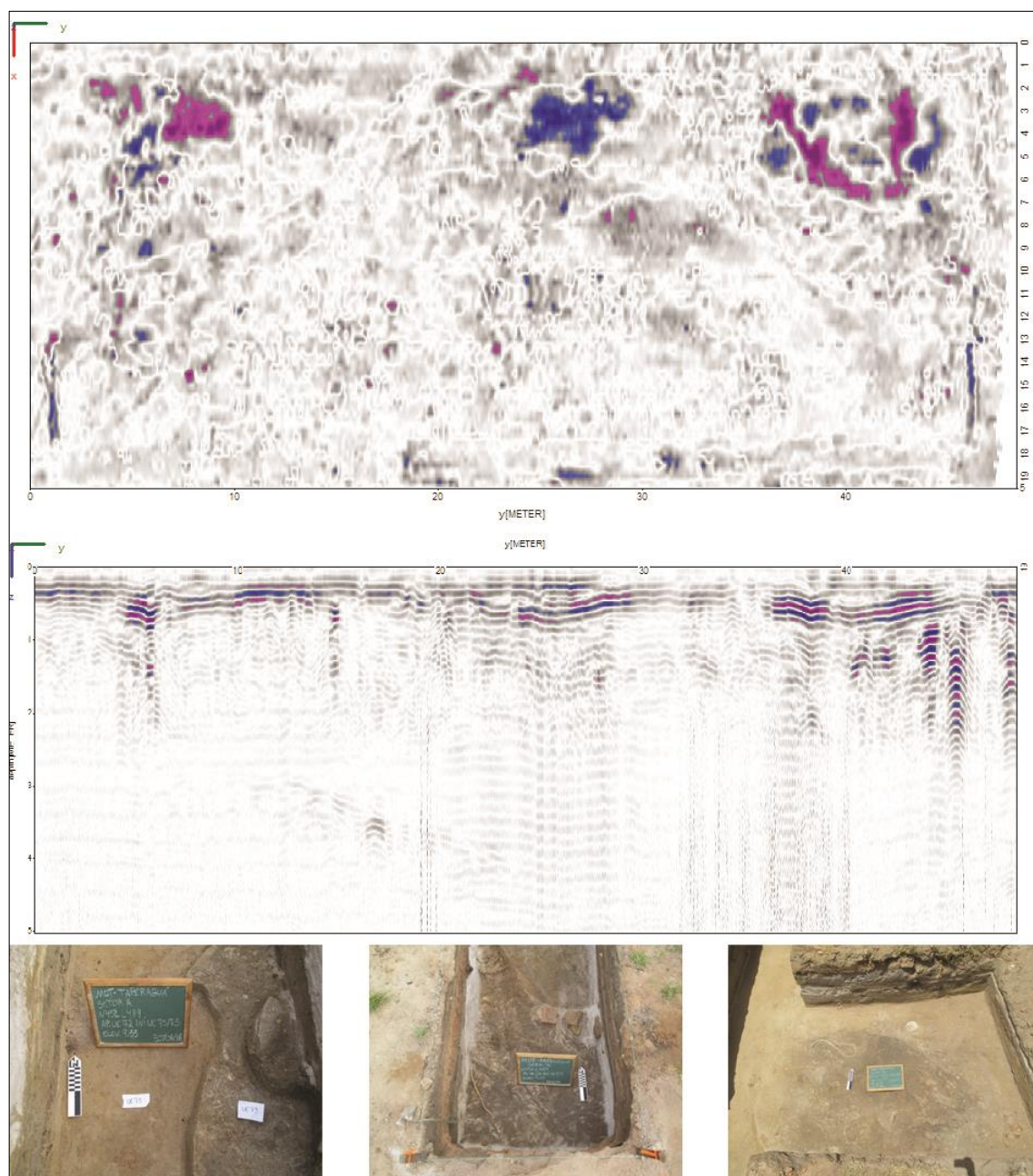
Os radargramas fornecem a visualização da subsuperfície em 2D, sendo uma linha ou perfil, e em 3D após a interpolação dos perfis 2D. Em termos gerais, procura-se, nessas imagens, hipérboles (2D), refletores horizontais (2D) e formas geométricas, linhas e demais padrões (3D) podendo indicar a presença de diversas obras antrópicas, como alicerces, muros, caminhos, covas, pisos, depósitos de lixo e até artefatos individuais. Mesmo assim, as anomalias, fora as obviamente antrópicas visualizadas em 3D, podem representar fenômenos naturais, como bioturbações, rochas e assim por diante. Apesar do ambiente natural incluir o antrópico, é importante, nesse momento, que não se perca o foco do estudo arqueológico e o universo de anomalias plausíveis e esperadas em cada contexto; fazer ao contrário pode resultar numa verdadeira atividade de ‘caça anomalias’ onde cada refletor é embutido com alguma importância independente do contexto ou objetivos do estudo.

Não é de se surpreender que, com 6.581,50m² prospectados com a antena de 270Mhz, e 3.853,50m² com a antena de 400Mhz, havia uma quantidade considerável de refletores em 2D. Assim sendo, quais escavar? Procurava-se, no primeiro momento, priorizar a averiguação de anomalias perto da igreja para depois examinar os blocos mais afastados. Era importante obter dados para direcionar as escavações e demais

intervenções ainda em campo. Faz-se necessário ressaltar que a equipe foi dividida em dois grupos: um para averiguar as anomalias e demais questões levantadas pela geofísica e outro para iniciar as escavações em locais já considerados prioritários diante o contexto do sítio e exigências postas pelo IPHAN. O raciocínio adotado foi simples: não se sabia o que esperar dos resultados geofísicos e a divisão objetivou não prejudicar as escavações diante o cronograma limitado.

Três anomalias circulares foram detectadas no BL02, estando elas alinhadas à margem oeste do Largo. A figura 5 mostra o *time slice* que corresponde a 57 cm de profundidade, seguido pelo perfil 4,5 m indicando o posicionamento e aspecto das três anomalias.

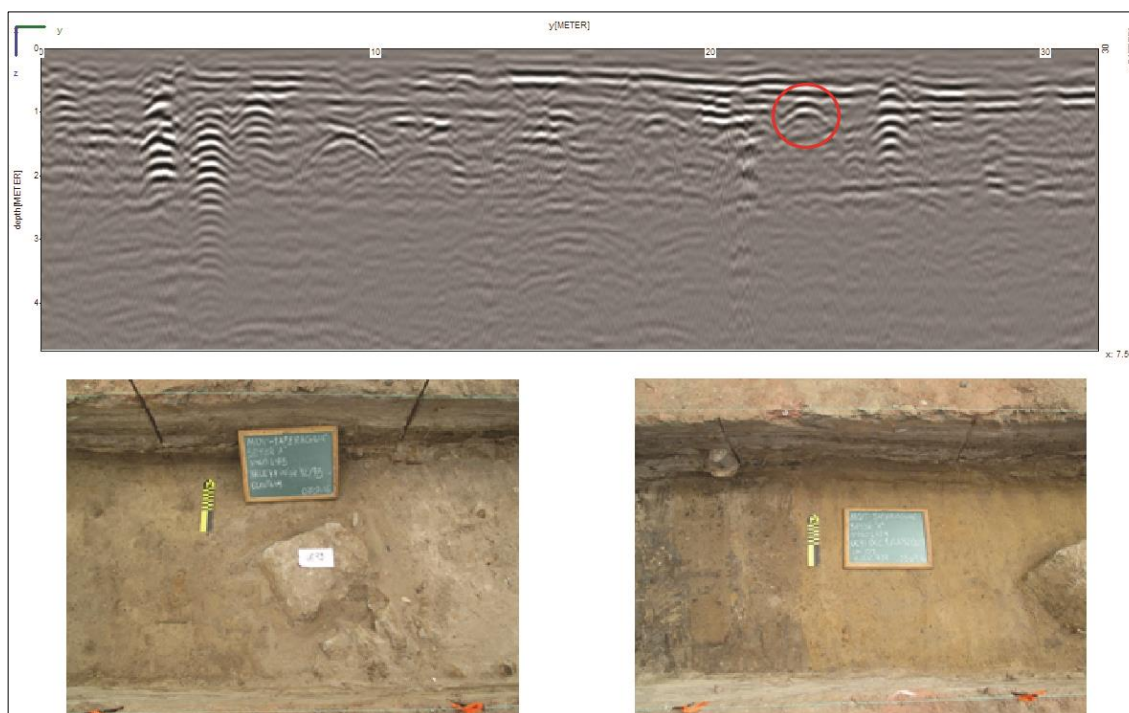
Figura 5 - As três anomalias circulares e perfil correspondente. A anomalia à direita (norte) foi averiguada através de escavações. (Imagens do acervo NEPA/UFAL).



Alguns moradores antigos relataram que existia um chafariz nessa área, portanto julgou-se ser um bom ponto para iniciar as averiguações. Delimitou-se cinco quadriculas de 1x1 metro, assim formando uma trincheira que interceptasse o local da anomalia ao norte ('A', na figura 3), que acabou por ser ampliada. Os sedimentos, em algumas camadas em profundidade, eram contaminados por petróleo, o que pode ter alterado as propriedades dos sedimentos, resultando na resposta detectada (cf. ABDELGWAD & SAID, 2016). É comum a prática de consertar caminhões e carros na praça e, de fato, a equipe de Arqueologia necessitou solicitar a retirada de um trator e uma caçamba do local no início da pesquisa. Mesmo assim, essa contaminação não era evidente na superfície. Moradores também confirmaram que as margens do Largo foram, por muitos anos (e ainda são), locais de diversas atividades, desde os consertos veiculares até a colocação de barracas temporárias. Encontrou-se um piso fino de cimento pintado e outros materiais construtivos recentes em profundidade nessa trincheira, e as escavações terminaram em 1,85 metros.

Uma anomalia foi detectada no BL08 correspondente às quadriculas N460 L484/5, aproximadamente ('B', na figura 3). A anomalia de interesse se apresentou como uma hipérbole aos 60-70cm de profundidade (figura 6) e foi escolhida por estar numa área que forneceria informações sobre a estratigrafia do Largo, assim mitigando qualquer resultado negativo da averiguação da anomalia. Delimitou-se uma trincheira formada por cinco (5) quadriculas, similar à trincheira anterior. Em profundidade relativamente rasa (~40 cm), encontrou-se dois blocos rochosos que aparentavam formar a quina de uma estrutura, porém estavam soltos. Dois metros ao oeste na mesma trincheira e no mesmo pacote estratigráfico, observou-se área de queima e manchas de petróleo, o que sugere seu contexto moderno, similar ao contexto discutido acima. As escavações continuaram até a profundidade média de 1,57 metro na trincheira e os vestígios foram retirados, não havendo continuação de qualquer estrutura.

Figura 6 - Anomalia investigada nas quadriculas N460 L484-485.
(Imagens do acervo NEPA/UFAL)



Uma anomalia em BL10 ('C', na figura 3) foi investigada com a expectativa de que se tratava de uma cova e enterramento humano, pois a escavação de quadrículas nas proximidades revelou um enterramento logo abaixo do primeiro degrau da escadaria da igreja³. Como o indivíduo se encontrava entre o cruzeiro e a portada da igreja, procurou-se delimitar, à medida do possível, a extensão dos enterramentos através de alvos GPR. Num pacote sedimentar quase homogêneo, as escavações revelaram apenas o que parece ser uma velha bioturbação.

As averiguações de anomalias continuaram no decorrer do projeto, norteadas as estratégias de campo. Entretanto, revelaram informações 'óbvias' e sem muita utilidade para a pesquisa, como, por exemplo, vestígios pouco profundos de praças recentes, locais de conserto de carro, encanamento de PVC, tubulações com cabos elétricos e etc. Consequentemente, percebeu-se que o Largo não guardava, no seu subsolo, o que esperávamos em termos de estruturas históricas (alicerces, sistemas hidráulicos antigos, enterramentos, depósitos de lixo doméstico e etc.). Mesmo assim, esses resultados 'negativos' estão fornecendo dados para a análise dos alvos diante as evidências escavadas. Assim, os detalhes das unidades estratigráficas⁴ de cada quadrícula (ex., sedimento, conteúdos, bioturbações, profundidades e etc.) serão comparados aos resultados GPR para analisar como se comportou o sinal.

Um tema de interesse particular se refere aos enterramentos descobertos no Largo. Apesar de o georadar fornecer importantes resultados na área de Antropologia Forense e na busca de covas históricas, ao ponto de levar Doolittle & Bellatoni (2009) a afirmar o método não ter rival nesses contextos, a experiência não teve êxito no caso do Largo. Escavações subsequentes detectaram três indivíduos em locais prospectados, aparecendo no radargrama como alvos não tão 'visíveis'. A distribuição aleatória dos enterramentos certamente se torna a identificação e discernimento desses alvos um desafio, diferente de cemitérios com ordenamento comprovado através de plantas baixas e legendas mortuárias/fúnebres ou esperado pela tradição. Outros fatores certamente contribuíram para dificultar a detecção dos enterramentos, como a falta de caixões (e ferragens associadas) e acompanhamento fúnebre, como objetos pessoais fabricados em materiais que refletiriam a onda EM. Os dados geofísicos desses enterramentos serão analisados profundamente visando o ajuste de parâmetros e métodos de processamento.

Enquanto as averiguações de anomalias pontuais não suscitaram ainda os resultados almejados, as informações estratigráficas foram de grande importância para o andamento das pesquisas. Algumas quadrículas escavadas anteriormente, como as de BL08 ('B', na figura 3) discutida acima, revelaram, em diversas unidades estratigráficas, a mistura de material moderno (plástico, borracha, alumínio, etc.) com pequenas quantidades de material histórico (louças do século 19 a 20, principalmente) em profundidade chegando aos 1,5 metro em alguns casos. Aparentemente, o processo de alisar e nivelar esse Largo resultou, no decorrer do tempo, na colocação de sedimentos tanto limpos trazidos de fora (principalmente da praia e da beira lagoa) quanto sedimentos oriundos do próprio bairro, contendo 'lixo' doméstico e industrial.

Os blocos 12 e 13 (veja figura 3) ficam no meio do Largo, antes da via que o divide. Caracteriza-se como área de aterro de areia e sedimento argiloso, onde se realizam atividades esportivas (futebol, particularmente). A superfície plana, que não segue a topografia original do Largo, termina nos lados norte e leste em um muro de contenção

³ Estudos históricos, bioarqueológicos e geofísicos sobre os enterramentos continuam em laboratório.

⁴ Empregou-se nessa pesquisa o registro de pacotes sedimentares, estruturas e assim como Unidades Estratigráficas (UE) (cf., ROSKAMS, 2003).

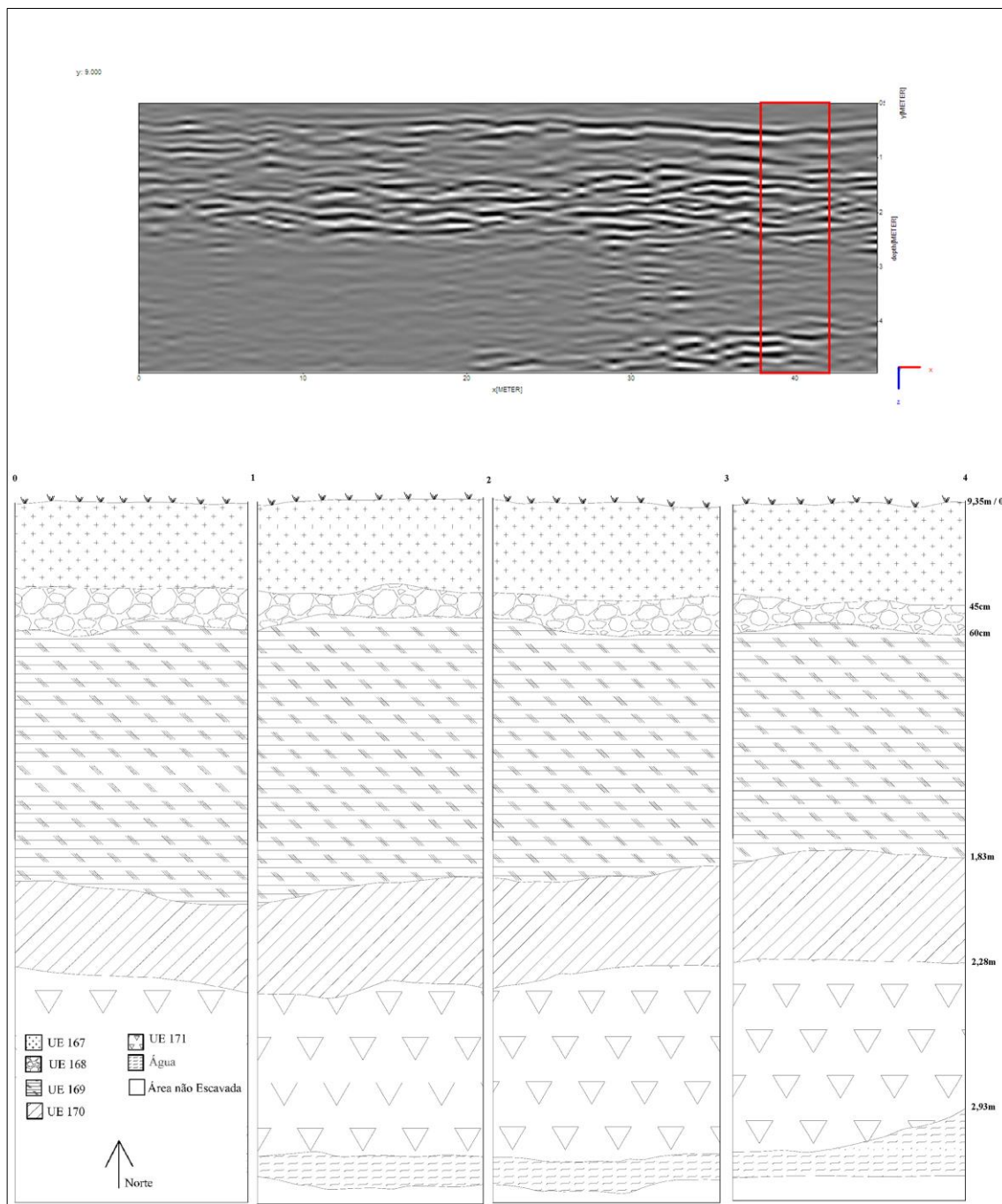
que, por sua vez, aumenta em altura, gradativamente, de oeste a leste. Ampliou-se o espaçamento transversal para 1,00 m no BL13 e resolveu-se empregar apenas a antena de 270MHz no BL12, pois, além de ser um bloco grande, não era necessário esse grau de detalhamento diante os resultados já obtidos. Consequentemente, o alcance da antena de 400 MHz teria sido raso demais para fornecer dados úteis.

Os radargramas dos BL12 e BL13 foram semelhantes aos dos BL08, 09, 10 e 11. A partir da análise dos perfis 2D nesses blocos e as informações obtidas das sondagens escavadas, optamos por fazer trincheiras com uma mini retroescavadeira. A Figura 7 mostra o radargrama do *x-scan* em 9,0 metros do BL13, que passa de leste ao oeste na trincheira C (T-C), escavada com a mini retroescavadeira. Percebe-se que os refletores horizontais correspondem também a diferenças de sedimentos registrados pelas escavações com a retroescavadeira e, nesse caso, alcançando um nível freático. Realizou-se a escavação de nove trincheiras por mini retroescavadeira, cada uma fornecendo resultados similares. A escavação, análise e desenho dos perfis se concluiu em poucos dias.

Dados geofísicos e escavações realizadas por mini retroescavadeira, bem como sondagens e trincheiras manuais, indicam que o subsolo do Largo, especificamente as áreas alvo das obras de requalificação, trata-se de uma sequência de aterros estratificados, alcançando de 1 a 1,5 metro em pacotes associados com material arqueológico moderno. Algumas anomalias pontuais observadas em profundidade, sem formato ou padrão de estruturas ou outros alvos de interesse, podem, de fato, ser antrópicas. Por outro lado, podem ser formações geológicas ou uma miríade de bioturbações. Nesse contexto, a profundidade dos aterros traz benefícios quanto ao registro arqueológico, pois as obras de requalificação não iriam atingir esses níveis e, sejam quais forem as anomalias, elas seriam preservadas.

Em resumo, as prospecções no Largo permitem tirar algumas conclusões que têm implicações reais para os serviços realizados e obras/pesquisas futuras. Percebe-se uma ausência de anomalias que remetem a possíveis estruturas nos blocos ao lado da igreja e depois do cruzeiro (blocos 12 e 13, especificamente). Essa informação sugere que o Largo mantinha a sua morfologia no decorrer dos séculos e que a igreja ocupava o mesmo local, com seu volume máximo atual. Alternativamente, as construções de moradias, caso existissem, poderiam ter sido construídas em materiais perecíveis e sedimento (taipa), o que poderá não fornecer contraste suficiente para refletir a onda EM. Pela surpresa da equipe, não foi detectado um registro oriundo dos primeiros momentos da povoação do local, até mesmo material arqueológico do início do século 17 em quantidade que indica uma ocupação. Acredita-se que, caso exista, esse registro se encontrará em áreas pontuais por baixo dos aterros modernos (>1,5 metros) ou afastado das áreas sujeitas às inundações históricas, atualmente abaixo das casas existentes.

Figura 7 - X-scan e croqui da estratigrafia da T-C.
Retângulo destacado em vermelho se refere aos 4 metros desenhados da trincheira C.
(Figura adaptada de croquis elaborados por Jade Paiva de Lima).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do crescimento de metodologias geofísicas na Arqueologia Brasileira em geral, ainda há grandes desafios para ampliar o uso dessas metodologias e torná-las mais usuais entre os arqueólogos. Espera-se que esse estudo de caso contribua, mesmo de forma modesta, para que pesquisadores e administradores considerarem a inclusão da Geofísica com mais frequência, particularmente na esfera de Arqueologia Preventiva. Apesar da maioria de arqueólogos admitirem que a Geofísica é um campo interessante e com potencial, ainda há certa desconfiança entre pesquisadores que parece resumir a experiências negativas, o custo das prospecções geofísicas em geral e

certo desconhecimento do que a Geofísica pode, e não pode proporcionar. Diversos colegas têm comentado sobre as suas experiências negativas com a Geofísica e ficam duvidosos quanto ao seu potencial diante das metodologias tradicionais. Uma prospecção geofísica resulta no ‘mapeamento’ de anomalias no subsolo, porém caso as anomalias não tenham morfologias reconhecíveis, por exemplo um muro contínuo, podem representar inúmeras de coisas. A escavação de troncos de árvore, rochas e demais perturbações é frustrante; mesmo assim, discutivelmente, não há resultados negativos, pois pode-se empregar dados obtidos de alvos conhecidos para melhorar o processamento, por exemplo, experimentando com métodos para precisar a profundidade de alvos em estratigrafia complexa (POLUHA *et al.*, 2017), situação que se aplica aos contextos urbanos.

O custo para realizar prospecção geofísica varia bastante, em função de vários fatores como, por exemplo, se a instituição possui ou necessita alugar e transportar equipamentos, se disponibiliza de equipe experiente de campo, processamento, análise e assim por diante. Uma resposta curta seria, “sim, é dispendioso”! Mesmo assim, considera-se o que se ganha potencialmente. No caso discutido, as trincheiras de averiguação da estratigrafia no Largo foram escavadas em apenas dois dias, com as descrições e registro visual concluído logo em seguida. A concentração das escavações amplas em determinados pontos do sítio, sem nenhum prejuízo à preservação das demais áreas, proporcionou excelentes resultados, particularmente no que se refere à vida e morte de residentes no período colonial.

Mergulhar em Geofísica pode ser tarefa formidável, particularmente para arqueólogos formados nas ciências sociais ou humanas. Enquanto os princípios dos métodos são relativamente fáceis de entender, as teorias por trás dos princípios é outra questão. Mesmo assim, para o arqueólogo poder articular as suas expectativas com o geofísico, é importante ter uma bagagem conceitual, sendo ainda mais proveitoso se possuir experiência com o processamento, análise e interpretação de dados, algo que se constrói no decorrer de tempo. Ainda desejável é a colaboração com geofísicos que entendem a linguagem e métodos da arqueologia. Zanettini *et al.* (2002), por exemplo, reuniram bem esses olhares de Arqueologia e Geofísica nos estudos em Manaus.

O aperfeiçoamento de normas sobre a proteção do patrimônio arqueológico em geral, aliado aos programas públicos como o antigo Monumenta e o atual PAC-Cidades Históricas, contribuíram para o ritmo acelerado de projetos de cunho preventivo. Apesar de alguns projetos terem produzido grandes e importantes resultados científicos e acadêmicos nas urbes brasileiras, são realizados em contexto das exigências de obras de engenharia. O *tempo* é problemático, pois não é sempre que se possui cronogramas amplos para analisar todos os dados de forma minuciosa (antes das escavações e obras de engenharia); e, mais saliente, raramente há condições de retornar para averiguações mais detalhadas caso necessário. Esse problema geralmente não se aplica aos projetos arqueológicos puramente científicos.

Julgamos que o presente contexto da Arqueologia Urbana no país mais que justifica o investimento em metodologias geofísicas de forma mais presente, e que esse avanço pode ser alcançado desde a elaboração de projetos públicos. Projetos de requalificação e outras intervenções em cidades históricas são orientados pelo IPHAN nos seus diversos componentes (arquitetura, engenharia e etc.). A avaliação de incorporar, ou não, a Geofísica Arqueológica em projetos intervencionistas nos centros históricos pode ser contemplada já na fase de planejamento pelo IPHAN ou outros órgãos patrimoniais. Por exemplo, no caso do Largo da Igreja Nosso Senhor do Bonfim, houve um ano ou mais de estudos arquitetônicos, históricos, socioeconômicos e assim por diante para elaborar o projeto básico de requalificação. Será que um estudo não

invasivo geofísico caberia nesse momento? Alternativamente, os Termos de Referência (TR) elaborados pelas Superintendências Estaduais do IPHAN, voltados especificamente às atividades arqueológicas, seria outra forma de integrar a Geofísica. Em Alagoas, e supõe-se em outras Superintendências, aparece normalmente um parágrafo nos TR encorajando o uso de tecnologias avançadas, porém não como exigência, e muito menos com objetivos claros quanto à expectativa dessas metodologias.

Esse projeto, que se iniciou com uma ampla prospecção do Largo, gerando perfis 2D e imagens 3D da subsuperfície, influenciou o planejamento e estratégia subsequente das escavações arqueológicas. A estratigrafia profunda e extensa em frente à igreja sugeriu, junto com informações orais e documentos históricos, que essa área era composta por sedimentos trazidos para altear o Largo. Sem essas informações geofísicas, teríamos concentrado o tempo escavando manualmente diversas trincheiras (que alcançaram 1,5 metro com material moderno) que gastaria desmaiado tempo do período disponível para as escavações. Assim, viabilizou a concentração das escavações em contextos que forneceram dados científicos para diversos estudos nos próximos anos. A Geofísica nem garante resultados nem suplanta os métodos tradicionais da Arqueologia em contextos urbanos. Não se trata de usar a Geofísica como uma atividade de ‘caça alvos’, mas sim ajudar a localizar alvos de interesse com potencial para as escavações arqueológicas, minimizando o tempo e custos com as escavações. O intuito de empregar a Geofísica como parte dos estudos preliminares em projetos de Arqueologia Urbana é de informar estratégias de escavação e preservação, assim enriquecendo e ampliando, potencialmente, as informações obtidas das cidades históricas brasileiras.

AGRADECIMENTOS

O estudo aqui apresentado não teria sido possível sem o apoio de uma bolsa PDS (CNPq, processo 112836/2015-1). Scott J Allen agradece o Prof. Jorge Porsani (IAG/USP) pela supervisão do pós-doutorado e Bruno Poluha (mestrando em Geofísica pelo IAG/USP) pelas conversas enriquecedoras quanto ao processamento e análise dos dados GPR. O IAG/USP é reconhecido pelo apoio e infraestrutura para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradecemos também Marcelo Stangari do Laboratório de Geofísica Rasa (IAG/USP) e a equipe do NEPA/UFAL pela ajuda na aquisição dos dados geofísicos e subseqüentes escavações arqueológicas. Reconhecemos também o Município de Marechal Deodoro, EcoArq Ltda, IPHAN-Alagoas e A4 Engenharia pelo apoio proporcionado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELGWAD, T. & T. SAID 2016 Measured Dielectric Permittivity of Contaminated Sandy Soil at Microwave Frequency. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, São Caetano do Sul. 15(2):115-122
- ALBUQUERQUE, I, de 2000 *História de Alagoas*. Sergasa: Maceió, Alagoas. 311pp.
- ALVES, J. 1979 *Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará*. Tese de Mestrado. Belém, Programa de Ciências Geofísicas e Geológicas, UFPA. 55pp.
- ARAGÃO, R., GOUVÊA, J. & LOPES, P. 2010 Metodologia Geofísica Aplicada ao Estudo Arqueológico dos Sítios Bittencourt e Jambuaçu, Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geofísica*. Rio de Janeiro. 28(2):249-263
- BARBOSA, B., RUIZ-PEINADO, J. PIQUERAS, R & ALLEN, S. 2013 *Afroindigenous Spaces on the Map Brasília qua parte paret Belgis*. Barcelona: Vanguard Gràfic. 31pp.

- CEZAR, G., ROCHA, P., BUARQUE, A. & DA COSTA, A. (2001) Two Brazilian archaeological sites investigated by GPR Serrano and Morro Grande. *Journal of Applied Geophysics*. Amsterdam. 47:227–240
- CONYERS, L. 2006 Ground Penetrating Radar. IN: JOHNSON, J. (Org.) *Remote Sensing in Archaeology: An Explicit North American Perspective*. Tuscaloosa: University of Alabama Press, pp.131-159
- DANIELS, D.J., 2007. *Ground Penetrating Radar. IET Radar, Sonar, Navigation and Avionics*. Series 15, 2nd Edition. Stevenage, UK, The Institution of Engineering and Technology. 726pp.
- DOOLITTLE, J. & BELLANTINI, N. 2010 The Search for Graves with Ground-Penetrating Radar in Connecticut. *Journal of Archaeological Science*. Amsterdam, 37:941-949
- FERRARE, J. 2002 *Marechal Deodoro: um itinerário de referências culturais*. Maceió: Edições Catavento. 178pp.
- GOMES, D. & LUIZ, J. 2013 Contextos domésticos no sítio arqueológico do Porto, Santarém, Brasil, identificados com o auxílio da geofísica por meio do método GPR. *Boletim Museu Paraense. Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, Belém, 8(3):639-656.
- GONZÁLEZ, É & ZANETTINI, P. 2002 *Projeto Fronteira Ocidental: Escavações Virtuais no Complexo de Santo Antônio dos Militares, Quartel e Primeira Matriz com o Auxílio de GPR (Ground Penetrating Radar)*. Projeto Fronteira Ocidental Relatório Final, Fase 1. Zanettini Arqueologia, São Paulo, 24pp.
- JOHNSON, J. K. (Org.) 2006 *Remote Sensing in Archaeology: An Explicit North American Perspective*. Tuscaloosa: University of Alabama Press. 322pp.
- JOL, H.M., 2009. *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*. Amsterdam, Elsevier. 544pp.
- MARQUES, R. 2010 O método geofísico (GPR) e a arqueologia. IN: NAJJAR, R. (Org.) *Arqueologia no Pelourinho*. Brasília: IPHAN/Programa Monumenta, pp.118-128
- MELO, M. 2007 *Geofísica Aplicada à Arqueologia: Investigação no Sítio Histórico Engenho Murucutu, em Belém, Pará*. Dissertação de Mestrado. Belém, Programa de Pósgraduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará. 99pp.
- OLIVEIRA, M. de 2008 *O uso do método GPR para mapear interferências no subsolo urbano e diagnosticar a contaminação ambiental de vazamentos de óleo em cabos elétricos subterrâneos*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP. 84pp.
- POLUHA, B., PORSANI, J., ALMEIDA, E., dos SANTOS, V. & ALLEN, S. (no prelo, 2017) Depth Estimates of Buried Utility Systems Using the GPR Method: Studies at the IAG/USP Geophysics Test Site. *International Journal of Geosciences*, Wuhan, CHN
- PORSANI, J.L., 1999. *Ground penetrating radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado-SP*. Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, 148pp.
- PORSANI, J., RUY, Y., RAMOS, F. & YAMANOUTH, G. 2012 GPR applied to mapping utilities along the route of the Line 4 (yellow) subway tunnel construction in São Paulo City, Brazil. *Journal of Applied Geophysics*, Amsterdam, 80:25–31
- PORSANI, J.L., JANGELME, G.M., & KIPNIS, R., 2010. GPR Survey at Lapa do Santo Archaeological Site, Lagoa Santa Karstic Region, Minas Gerais State, Brazil. *Journal of Archaeological Science*, Amsterdam, 37:1141 – 1148.
- RODRIGUES, S.I., PORSANI, J.L., SANTOS, V.R.N., De BLASIS, P.A.D. & GIANNINI, P.C.F., 2009. GPR and Inductive Electromagnetic Surveys Applied in Three Coastal Sambaqui (Shell Mounds) Archaeological Sites in Santa Catarina State, South Brazil. *Journal of Archaeological Science*, Amsterdam, 36:2081 – 2088.
- ROOSEVELT, A. 1991 *Moundbuilders of the Amazon: Geophysical Archaeology on Marajo Island, Brazil*. San Diego, Academic Press. 480pp.
- ROSKAMS, S. 2003 *Teoría y Práctica de la Escavación*. Barcelona, Crítica. 352pp.
- ZANETTINI, P., NEVES, E. & GONZÁLEZ, É 2002 *Projeto Arqueourbs (Fase I) Arqueologia Urbana no Centro Histórico de Manaus - Forte São José da Barra do Rio Negro e Adjacências*. Caderno Técnico. Relatório de Pesquisa, Zanettini Arqueologia, São Paulo. 54pp.
- ZANETTINI, P. 2004 *Prospecções e Resgate Arqueológico do Sítio Petybon, São Paulo*. Relatório Final, Zanettini Arqueologia, São Paulo. 105pp., anexos

WYNN, J. 1986 A Review of Geophysical Methods Used in Archaeology. *Geoarchaeology: An International Journal*. Hoboken, 1(3):245-257