



## Investigação da subsuperfície rasa no cemitério municipal de Mocajuba (Pará) aplicando o Radar de Penetração no Solo (GPR)

Lucierlen da Conceição Gonçalves (Campus de Cametá e Tocantins, UFPA)\*, Pedro Chira Oliva (IECOS/UFPA)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este trabalho foi preparado para apresentação durante o 15<sup>o</sup> Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, realizado no Rio de Janeiro, Brasil, de 31 de julho a 3 de agosto de 2017.

O conteúdo deste artigo foi revisado pelo Comitê Técnico do XV Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica e não representa necessariamente nenhuma posição do SBGf, seus dirigentes ou membros. É proibida a reprodução eletrônica ou armazenamento de qualquer parte deste documento para fins comerciais sem o consentimento por escrito da Sociedade Brasileira de Geofísica.

### Abstract

The cemetery is an indispensable space for all human society, but consists of an environment of great risk of contamination, which can reach the subsurface and to contaminate the groundwater by the leachate from the corpse decomposition. The Municipality of Mocajuba (Pará) has undergone an accelerated process of urbanization, surrounding the only municipal cemetery that it has. This work aimed to investigate whether the municipal cemetery of Mocajuba (Pará) is contaminating the soil and the water table as a consequence of the presence of leachate of this cemetery, through the application of the geophysical tool Ground Penetrating Radar (GPR).

### Introdução

As principais fontes de contaminação provocadas pelo homem em meios urbanos são as redes de esgoto, fossas sépticas, os aterros sanitários, atividades industriais, postos de combustíveis e cemitérios, além de drenagens superficiais e decomposição de resíduos em lixões a céu aberto (Pacheco, 2012).

Segundo Matos (2001), até o início do século XXI os cemitérios foram excepcionalmente incluídos nas listas de fontes tradicionais de contaminação ambiental e têm sido raramente objetos de estudos geoambientais mais amplos e sistemáticos sobre as reais dimensões da contaminação do solo e água subterrânea.

Os cemitérios têm se constituído uma fonte de contaminação das águas principalmente subterrâneas, devido à inadequação dos locais onde muitos são constituídos provocando infiltração das substâncias de decomposição dos corpos no solo e também porque os cemitérios em meios urbanos são perigosos à saúde pública devido à possibilidade de consumir esta água subterrânea contaminada por microorganismos patogênicos e pegar patogenicidades (CARNEIRO, 2008).

No Brasil a situação é ainda mais preocupante, pois não há políticas públicas que considerem as questões

ambientais para construção de cemitérios (SILVA, et al.2009).

Para estudar os cemitérios e seus impactos ambientais podemos considerar os métodos geofísicos que tem sido muito eficiente na verificação e caracterização de problemas ambientais, além de estarem sendo muito utilizados no monitoramento de poluição subterrânea já que o meio físico não é alterado por tratar de método de natureza não invasiva (BORTOLIN, 2009).

De Castro (2008) realizou um estudo multidisciplinar envolvendo dados geofísicos, geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos (análise físico química da água subterrânea) para caracterização ambiental da região do cemitério Bom Jardim (em Fortaleza Ceará, Brasil). O reconhecimento do meio rochoso foi efetuado com base em inúmeras sondagens elétricas verticais (SEV's) e seções GPR e EM-34, além de furos de sondagem com análises composicionais, granulométricas e de condutividade hidráulica das amostras de solo coletadas. A caracterização hidrogeológica da região do cemitério foi baseada na assinatura geofísica do substrato rochoso, nos dados topográficos da área, medidas dos parâmetros hidrogeológicos e análises físico-químicas da água subterrânea, obtidos em poços de monitoramento. A qualidade da água subterrânea local foi avaliada através de análises físico-químicas e microbiológicas para indicadores de contaminação por necro-chorume. Altos teores de sais dissolvidos e microrganismos estão presentes em todo o aquífero livre da região, mascarando possíveis contrastes de propriedades elétricas ou eletromagnéticas entre as áreas de maior concentração de necro-chorume na necrópole e nas regiões circunvizinhas.

Braz et al. (2000) realizaram um estudo integrado para investigar a contaminação da água subterrânea no cemitério São José, popularmente conhecido como do Benguí (Belém Pará). Eles identificaram a contaminação das águas pela infiltração do necrochorume, através de análises bacteriológicas com o auxílio da geofísica para detecção da direção e do sentido de fluxo das águas subterrâneas, ou seja, do caminho disponível para pluma de necrochorume percorrer.

Amorim (2013) avaliou o impacto ambiental dos cemitérios Campos Santo São José e São Francisco de Assis na cidade de Capanema (Pará) com a aplicação do método geofísico Radar de Penetração no Solo (GPR) para investigação de plumas contaminantes na subsuperfície e para analisar o estado das águas subterrâneas coletadas na subsuperfície dos cemitérios. Ambos os cemitérios apresentaram indícios de contaminação.

Raiol (2015) realizou um estudo geoambiental predomina no cemitério Santa Ana localizada na Vila de São Joaquim de Ituquara (Baião, Pará) com a identificação de possíveis plumas de contaminação próximas às superfícies segundo os resultados dos levantamentos de dados geofísicos tipo GPR (Ground Penetrating Radar).

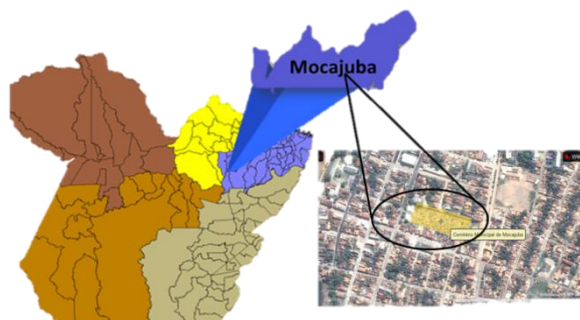
Neste trabalho foi avaliada a subsuperfície rasa no cemitério Nossa Senhora da Conceição (Mocajuba, Pará) através da aplicação do método indireto, a saber, o método geofísico do tipo eletromagnético conhecido como Radar de Penetração no Solo (GPR) para verificar se o mesmo está contaminando a subsuperfície rasa.

**Material e métodos**

*Área de estudo*

O presente estudo foi realizado no cemitério Nossa Senhora da Conceição, localizado no município de Mocajuba-Pará, segundo as coordenadas 2°35'0.28"S e 49°30'28.52"W (Figura 1). O referido cemitério possui uma área de 10.556m<sup>2</sup>, é o único no município, localizado em uma área de intensa urbanização, em seu entorno.

Entretanto, com a expansão das áreas urbanas o cemitério de Mocajuba, acabou sendo absorvidopela malha urbana (Stippet al., 2011). O cemitério municipal de Mocajuba é do tipo tradicional, com a presença de árvores com raízes profundas.



**Figura 1.** Localização do cemitério de Mocajuba (Pará). Fonte: Modificado do IDESP-2014, Google maps.

*Metodologia*

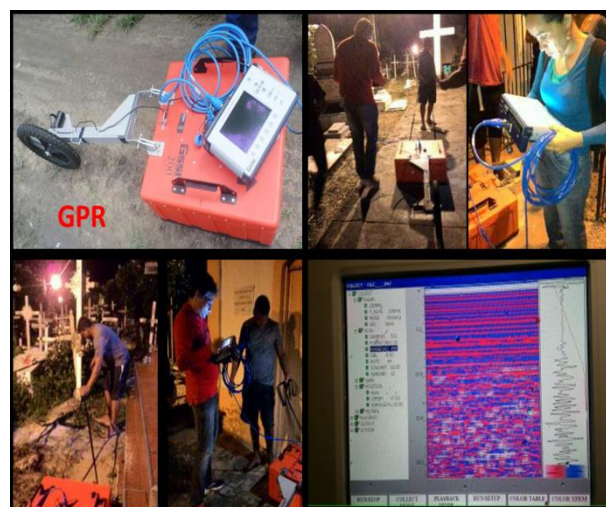
O método de investigação indireta considerado para este trabalho foi o Radar de Penetração no Solo (GPR) que se baseia na emissão de energia eletromagnética, empregando ondas de rádio em frequências (normalmente entre 10 e 2500 Mhz) muito altas na sondagem do solo, para determinar a espessura de horizontes do solo, localizar estruturas e feições geológicas de subsuperfície, avaliar profundidade do lençol freático, identificar plumas de contaminação ou localizar objetos enterrados e permite obter imagens de alta resolução (Annan, 1992).

Na aquisição dos dados de GPR foi utilizado o equipamento GSSI 3000, com antenas de 200 e 400 MHz de frequência (Figura 1).

A coleta dos dados GPR (Figura 2) foi realizada no cemitério Nossa Senhora da Conceição (Figura 3), nos períodos seco e chuvoso.

No período chuvoso (fevereiro 2016) foram levantados 04 (quatro) perfis localizados interna e externamente ao cemitério.

No período seco (julho 2016), foram levantados 12 (doze) perfis localizados na parte externa e interna ao cemitério.



**Figura 2.** Procedimento realizado nas coletas de dados com o aparelho GPR.



**Figura 3.** Croqui do Cemitério de Mocajuba (Pará), mostrando os perfis GPR levantados.

**Resultados e discussões**

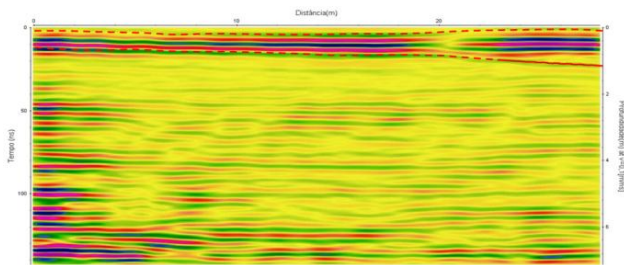
A seguir são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta geofísica Radar de Penetração no Solo (GPR) nos períodos chuvoso e seco de 2016.

*Período chuvoso de 2016*

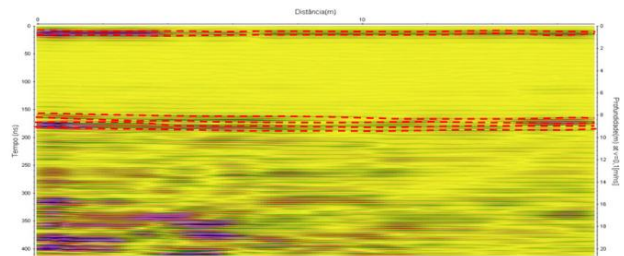
Este levantamento foi realizado em fevereiro de 2016. Foram consideradas uma frequência de 200 MHz e duas janelas de tempo de 150 e 450 ns para tentar ver os detalhes da subsuperfície e menor profundidade. A janela de tempo de 150 ns somente conseguiu atingir até uma

profundidade aproximada de 7 m. Já no caso da janela de 450 ns, a máxima profundidade atingida foi de aproximadamente 20,4 m.

Os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta geofísica Radar de Penetração no Solo (GPR) são apresentados nas Figuras 4 e 5. Estes resultados não permitiram identificar nenhum indicio de contaminação da subsuperfície como consequência do terreno ser muito argiloso. Apenas conseguimos detectar refletores rasos a profundidade compreendidos entre 0 e 0,8m e a profundidades compreendidas aproximadamente entre 8 e 10 m (linhas tracejadas de cor vermelha).



**Figura 4.** Perfil 41 com uma janela de tempo de 150 ns e uma antena de 200 MHz.

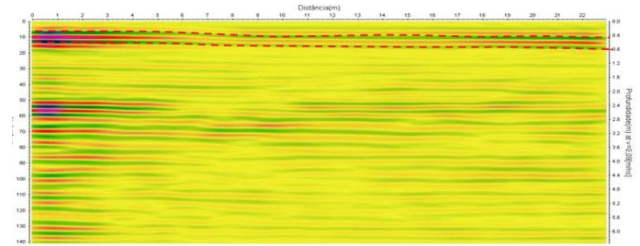


**Figura 5.** Perfil 44 com uma janela de tempo de 450 ns e uma antena de 200 MHz.

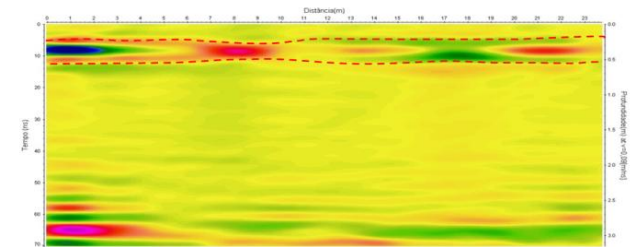
#### Período seco de 2016

Este levantamento foi realizado no final do mês de julho de 2016. Consideraram-se duas frequências (200 e 400 MHz) e duas janelas de tempo: 150 e 450 ns para ver os detalhes da parte mais rasa do terreno e a parte mais profunda. A janela de tempo de 150 ns para a antena de 200 MHz somente conseguiu atingir até uma profundidade aproximada de 6,5 m. Já no caso da janela de 450 ns com a mesma antena, a máxima profundidade atingida foi de aproximadamente 19 m. No caso da antena de 400 MHz e uma janela de tempo de 150 ns, a máxima profundidade atingida pelo GPR foi de aproximadamente 3,6 m.

Foram identificados um forte refletor raso e vários refletores a profundidades maiores que 4 m. O refletor raso (linha tracejada de cor azul claro) foi identificado a uma profundidade compreendida entre 0 e 0,8 m (Perfis 22 e 23, Figuras 6 a 9).



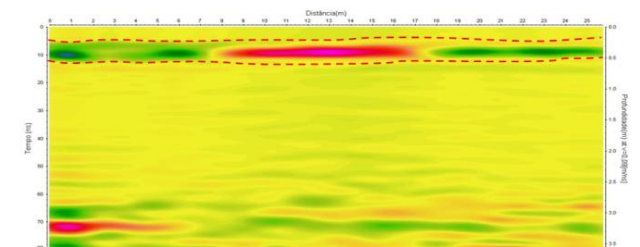
**Figura 6.** Perfil 22 com uma janela de tempo de 150 ns e antena de 200 MHz.



**Figura 7.** Perfil 22 com uma janela de tempo de 150 ns e antena de 400 MHz.



**Figura 8.** Perfil 23 com uma janela de tempo de 450 ns e antena de 200 MHz.



**Figura 9.** Perfil 23 com uma janela de tempo de 150 ns e antena de 400 MHz.

O solo do cemitério é representado por intercalações de níveis arenosos e argilosos, com diferentes teores e colorações variando de cinza amarelada a avermelhada, composto por duas camadas de solo com altos teores de argila e areia (Figura. 10). No geral, as áreas mais elevadas são cobertas por uma camada de areia argilosa fina a média de coloração ao cinza amareladas avermelhada, sobreposta a uma camada de argila arenosa de coloração cinza avermelhada a amarelada. Segundo Borges e Porsani (2002) quando se trata de solos argilosos o GPR tem suas limitações pois atenuam-se as ondas eletromagnéticas irradiadas pelo

equipamento dificultando a identificação de possíveis estruturas e contaminações.



**Figura 10.** Solo do cemitério arenoso e argiloso.

Se levamos em consideração que a infiltração do necrochorume no solo está relacionada ao tipo de solo do local, o tipo de solo arenoso, possibilita uma permeabilidade maior, assim favorece a passagem de bactérias do solo e dos túmulos para as águas subterrâneas como é apontado por Oliveira et al. (2010). O solo arenoso é inapropriado para a construção de cemitérios, uma vez que em cemitérios com solos com essa textura, o necrochorume pode misturar-se com o lençol freático, constituindo um veículo de doenças pela ação de vetores químicos e microbiológicos que percolam com as chuvas, ou até mesmo em locais onde ocorre a inundação de sepulturas. O solo de textura argilosa é considerado o mais adequado para a construção de cemitérios, pois pesquisas comprovam que as menores contaminações ocorrem em solos mais argilosos (BARROS et al., 2008).

Devido a constituição do solo ser muito argiloso na cidade de Mocajuba (Pará) o sinal eletromagnético sofreu bastante com esta interferência de argila nos dois períodos de coletas e portanto não foi possível identificar algum indício de contaminação durante este levantamento.

### Conclusão

Neste estudo verificamos que os resultados do Radar de Penetração no Solo (GPR) não apresentaram indícios de contaminação no subsolo como consequência do solo ser muito argiloso, o que impediu a penetração de sinal na subsuperfície devido à constituição do solo.

Este estudo não só contribuiu para pesquisas científicas, mas torna-se pioneiro devido sua relevância para contribuir com a saúde pública do município, desta forma revelou-se a necessidade por parte das autoridades municipais em enquadrar os cemitérios de acordo com a legislação para gestão de necrópoles, a fim de evitar riscos para a saúde pública e para o meio ambiente.

### Referências

AMORIM, T. R., 2013, Estudo geoambiental dos cemitérios da cidade de Capanema - Pará utilizando ferramenta geofísica (GPR) e análise físico-química de águas coletadas. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Licenciatura Plena em Ciências Naturais. Universidade Federal do Pará.

ANNAN, A.P., 1992, Ground Penetrating Radar – Workshop Notes. Sensors e Software, Inc., Internal Report.

BARROS, Y. J.; MELO, V. de F. T.; Z. S.; ROMANÓ, E. N. de L.; LUCIANO, P. R., 2008, Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 32, n. 4.

Borges, W.R.; PORSANI, J. L., 2002, Investigações Geofísicas na Borda da Bacia Sedimentar de São Paulo.. Revista Brasileira de Geofísica (Impresso), Rio de Janeiro, v. 20, n.3, p. 187-192..

BORTOLIN, J.R.M., 2009, Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos.

BRAZ, V.; BECKMANN, L.; COSTA E SILVA, L., 2000, Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. 1st Joint World Congress on Groundwater.

CARNEIRO, V. S., 2008, Impactos causados por necrochorume de cemitérios: Meio ambiente e saúde pública. Águas Subterrâneas, v. 1.

DE CASTRO, D. L., 2008, Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza – CE. Rev. Bras. Geof., 26(3): 251-271.

MATOS, B. A., 2001, Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. Tese de Doutorado. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS.

PACHECO, A., 2012, Meio ambiente & cemitérios. São Paulo: Editora Senac.

PACHECO, A.; MARTINS, M. T.; PELLIZARI, V. H.; MYAKI, D. M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N. R. S.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S., 1991, Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. Revista Saúde pública, v. 25, p. 47-52.

OLIVEIRA, L. R.; GONTIJO, E. L.; ALVES, M. J.; FRADE, P. R.; CUNHA, H. de P., 2010, Indicadores de qualidade química, física e biológica de solos como Critérios de escolha para a localização de cemitérios. In: XIX CONGRESSO DE PÓSGRADUAÇÃO DA UFLA, Lavras. Anais.

RAIOL, P. D., 2015, Estudo ambiental do cemitério da Vila de São Joaquim de Itaquara (Baião – Pará). Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Licenciatura Plena em Ciências Naturais. Universidade Federal do Pará.

SILVA, R. W. da C.; MALAGUTTI FILHO, W., 2009, Cemitérios: fontes potenciais de contaminação. Ciência Hoje, v. 44, n. 263, p. 24-29.

STIPP, M. E. F.; SILVA, M. A.; BERTACHI, M. H., 2011, Caracterização de impactos ambientais visuais causados por cemitérios em cidades de grande porte. Estudo de caso do cemitério São Pedro na cidade de Londrina-PR. Geografia e Pesquisa, v. 5, n. 2.