

# **GEOFÍSICA AMBIENTAL NA GRANDE FORTALEZA: EXPERIÊNCIAS COM A UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS NÃO INVASIVAS (“FDEM” 31 E 34) EM ESTUDOS DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.**

José Antonio Beltrão Sabadia<sup>1</sup> e Albert Casas<sup>2</sup>

## **ABSTRACT**

Geophysical methods, and in particular, the electromagnetic inductive techniques, are commonly used on groundwater ambiental studies, prevailing in the developing countries, where groundwater contamination are considered and recognised as a serious and entrenched health hazard, and large sums of money are spent. This present paper represent an appreciative synthesis of the efficiency and use of frequency domain electromagnetics – FDEM (terrain conductivimeters EM-31 and 34), in the metropolitan region of Fortaleza, in one of the poorest federative state of Northeast region of Brazil (state of Ceará), trying to diffuse the application and the results produced by this techniques, as well as to spread the works, studies and contributions carry out on this ambiental conflictive region of almost 3 millions of inhabitants.

## **RESUMO**

Os métodos geofísicos e, em particular, as técnicas eletromagnéticas indutivas são comumente utilizadas em estudos ambientais envolvendo as águas subterrâneas, de forma dominante nos países desenvolvidos, onde a contaminação subterrânea é reconhecida como um sério e perigoso problema relacionado à saúde, sendo gastos grandes somas em dinheiro. O presente trabalho representa uma síntese apreciativa da eficiência e uso do método eletromagnético no domínio das freqüências - “FDEM” (condutivímetros de terreno do tipo EM-31 e 34), na região da grande Fortaleza (RMF), em um dos estados mais pobres da região Nordeste do Brasil (Estado do Ceará), com o objetivo de difundir as aplicações e os resultados conseguidos com o uso destas técnicas, como também divulgar os trabalhos, estudos e as contribuições realizadas nesta conflitante região de mais de 3 milhões de habitantes.

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará; Fortaleza/CE; sabadia@ufc.br

<sup>2</sup> Departamento de Geoquímica., Petrología y Prospección Geológica; Universidad de Barcelona; albertc@geo.ub.es

## **INTRODUÇÃO**

As técnicas de medidas da condutividade aparente do terreno foram apresentadas a nível instrumental à comunidade científica no início da década de 1980. A partir de então, com o paulatino reconhecimento do grave risco ambiental que representa o problema da contaminação das águas subterrâneas, foi também continuadamente crescente o interesse da aplicação dos métodos eletromagnéticos nos estudos de impacto ambiental.

Operando no domínio das freqüências (“Frequency Domain Electromagnetics – FDEM”), os condutivímetros eletromagnéticos difundiram-se rapidamente no meio técnico e acadêmico dada a sua definição (precisão + exatidão), versatilidade (simplicidade + comodidade de uso) e alto rendimento (baixa relação custo/benefício), sendo amplamente utilizados nos trabalhos de detecção e definição da contaminação inorgânica aquífera pouco profunda, principalmente nos países desenvolvidos, aonde uma grande soma de recursos financeiros foram, para este fim, destinados. Por tratar-se de uma técnica indutiva, operada desde a superfície do terreno e, portanto, não destrutiva, preserva a integridade estrutural da zona a ser prospectada, proporcionando segurança durante sua utilização, além de permitir uma cobertura praticamente contínua de toda a área estudada.

Em países em vias de desenvolvimento, como no caso do Brasil, a difusão do uso das técnicas indutivas no domínio das freqüências, através dos condutivímetros eletromagnéticos, deu-se de forma bem mais lenta. Notadamente em um de seus estados mais pobres, localizado na região nordeste brasileira, o Ceará, o uso técnico/acadêmico ordinário destas técnicas sofreu um enorme atraso por questões conjunturais que não serão aqui discutidas. Desta maneira, somente a partir de 1998, praticamente duas décadas depois da publicação original de McNeill (1980), os condutivímetros eletromagnéticos começaram a ser utilizados em trabalhos de contaminação de águas subterrâneas na Região Metropolitana de Fortaleza, resultando nos primeiros trabalhos de cunho específico em geofísica ambiental aplicada, na área de contaminação das águas subterrâneas, tais como os de Sabadia, Casas & Mendes (2000); Sabadia, Casas, Maia & Himi, (2000); Sabadia, Casas, Santiago & Mendes Filho (2000); Sabadia (2001); e, mais recentemente Sabadia & Casas (2002).

O presente trabalho representa uma síntese apreciativa da eficácia de utilização do método “FDEM” na Região Metropolitana de Fortaleza (limitado aos condutivímetros eletromagnéticos EM-31 e 34),

procurando difundir a aplicação e os resultados produzidos por estas técnicas, buscando-se também ampliar a divulgação dos trabalhos e estudos ali realizados.

## LOCALIZAÇÃO E DADOS GERAIS

A região da grande Fortaleza (Região Metropolitana de Fortaleza) representa um complexo que reúne atualmente nove (12) municípios, incluindo-se ai a capital do estado do Ceará (Fortaleza), quinta cidade brasileira em população, localizada na região Nordeste do Brasil (Figura 1).

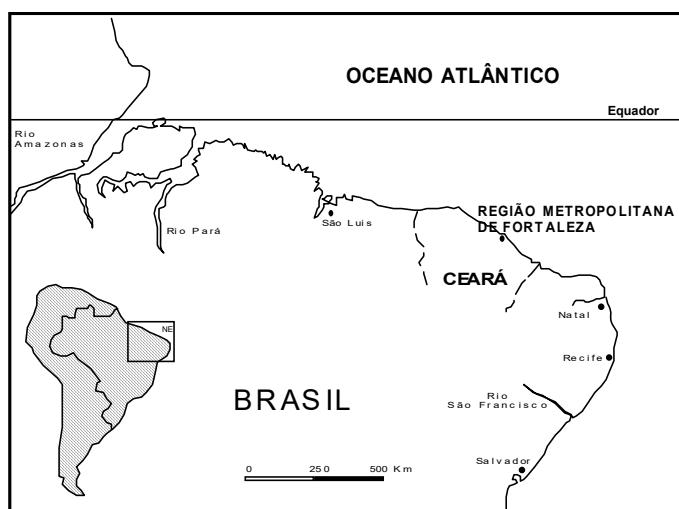


Figura 1 – Localização da Região Metropolitana de Fortaleza.

A RMF foi estabelecida com a finalidade de integrar os municípios orbitais da cidade de Fortaleza, organizando e administrando o uso de recursos comuns, para os serviços públicos de interesse metropolitano, nas áreas de saneamento básico, uso do solo, ordenação do território, transportes, educação e saúde pública, aproveitamento de recursos hídricos, proteção do meio ambiente e controle da poluição. A RMF tem uma população estimada hoje em praticamente 3 milhões de habitantes.

Como em outras regiões metropolitanas do Brasil e também do mundo, a RMF congrega um conjunto de problemas decorrentes do rápido crescimento da sua população urbana, originados a partir dos movimentos migratórios da zona rural (mais pobre e desassentada), gerando um processo de ocupação desordenado que segue sempre bem a frente da capacidade de estruturação das instalações e equipamentos mínimos dos serviços básicos urbanísticos (Sabadia, 2001).

O regime pluviométrico na RMF é bastante variável, alternando-se anos de excessivas chuvas e outros com precipitações escassas, sendo a distribuição anual das chuvas também muito irregular.

Aproximadamente 90% das precipitações ocorrem normalmente no primeiro semestre do ano, concentrando-se nos meses de março a maio (os mais chuvosos), representando cerca de 2/3 do total anual. A precipitação média anual amplamente dominante na RMF encontra-se entre 900 a 1400 mm, ocorrendo núcleos de incidências de chuvas orográficas (serras de Maranguape e Aratanha/Pacatuba), onde há um aumento significativo da média anual (entre 1400 e 1600 mm). A temperatura média anual fica entre os 26 a 28°C, com máximas mais freqüentes entre 31 e 34 °C e mínimas absolutas pouco abaixo dos 17°C nas serras.

Outras características que dominam climaticamente na RMF, a exceção das áreas topograficamente mais elevadas, são a baixa nebulosidade, a conseqüente forte insolação e os ventos alísios que sopram do leste, favorecendo a uma forte evaporação (entre 2300 a 2800 mm/ano), podendo superar os 3300 mm/ano em anos muito secos.

## SÍNTESE HIDROGEOLÓGICA

Para a caracterização hidrogeológica simplificada do contexto da RMF pode-se considerar a existencia de quatro sistemas aquíferos regionalmente livres. Estes sistemas encontram-se representados pelo conjunto das rochas que compõe o meio cristalino fraturado (englobando as litologias graníticas e gnáissicas de idade proterozóica amplamente predominantes em área e as vulcânicas alcalinas terciárias associadas), os sedimentos arenoso-argilosos, plio-pleistocênicos, da formação Barreiras, o conjunto paleodunas e dunas, considerado único levando-se em conta sua gênese e a associada semelhança litoestratigráfica e hidrodinâmica a nível regional (sistema de maior potencialidade aquífera), além dos depósitos flúvio-aluviais e de mangues recentes.

Embora de menor representatividade em área na RMF, o conjunto das coberturas sedimentares acima citado tem suportado um forte grau de interação antrópica, encontrando-se sistematicamente submetidos a alterações em suas características naturais, muitas vezes já em caráter irreversível (Sabadia, 2001). Quando comparado às áreas do complexo cristalino, o conjunto das coberturas sedimentares na RMF comporta uma densidade demográfica notavelmente maior.

## A GEOFÍSICA AMBIENTAL USADA NA GRANDE FORTALEZA (RMF)

Os estudos de cunho específico em geofísica ambiental aplicada, no âmbito da RMF, são muito restritos, mas ainda quando o objetivo é o reconhecimento da poluição das águas subterrâneas. Os poucos trabalhos até agora realizados trataram de subsidiar problemas de contaminação em área de destinação final de resíduos urbanos (aterro de lixo urbano de Jangurussu; região centro sul de

Fortaleza), como também avaliar os processos de salinização de aquíferos costeiros (praia do Pacheco; nordeste de Fortaleza), utilizando-se, em ambos casos, condutivímetros eletromagnéticos do tipo EM-31 e 34.

No primeiro caso foram realizadas leituras seqüenciais (cada 40 metros) com condutivímetro eletromagnético Geonics EM-34-XL, com bobinas espaçadas de 10 metros e com leituras em HD (7,5m) e VD (15m), ao longo dos 2500 metros de perímetro do aterro de Jangurussu (prospecção geofísica perimétrica do aterro), resultando na Figura 2 a seguir.

Os setores aonde a condutividade aparente do meio mostrou-se bem mais elevada nas leituras com dipolo vertical (VD; 15m) em relação as medidas com dipolo na horizontal (HD; 7,5m), foram consideradas com zonas hidráulicamente mais condutoras e potencialmente mais permeáveis e portanto, preferentes ao fluxo subterrâneo contaminante (infiltração de lixiviados produzidos no aterro). A prospecção perimétrica EM-34 realizada no aterro pôde sugerir um incremento de saturação por chorume no setor leste, nordeste, sudoeste e sul, em função da tendência de registros acentuados das condutividades aparentes nas leituras com dipolo vertical (VD; 15m), quando contrastadas com as leituras com dipolo horizontal (7,5m).

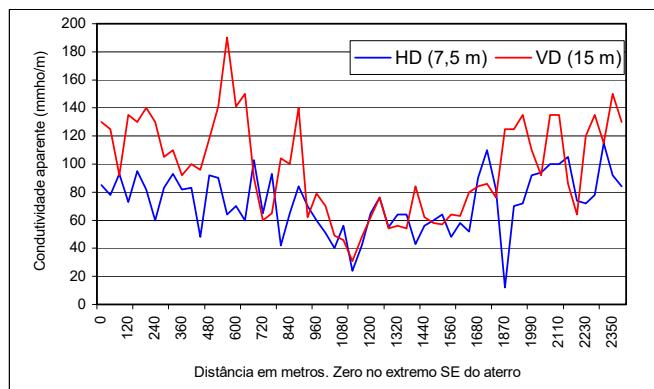


Figura 2 – Condutividades aparentes ao longo do perímetro do aterro de resíduos sólidos urbanos do Jangurussu.

Ainda no aterro de Jangurussu, mapeou-se com um condutivímetro Geonics EM-31, de 10 em 10 metros (258 estações), com leituras HD (3m) e VD (6m), cobrindo-se aproximadamente, uma área de 22,2 ha., ao norte da zona de disposição de resíduos. Buscando-se reduzir os efeitos da topografia e preservar os valores de condutividade aparente obtidos em campo, esta área foi dividida nos setores NNE, correspondendo a cotas mais homogêneas e mais baixas e N (norte), topograficamente mais elevado e também mais homogêneo. A distribuição no mapa de isocondutividades aparentes EM-31 em mS/m (VD; 6m) da área ao norte do aterro encontra-se representada na Figura 3 a seguir.

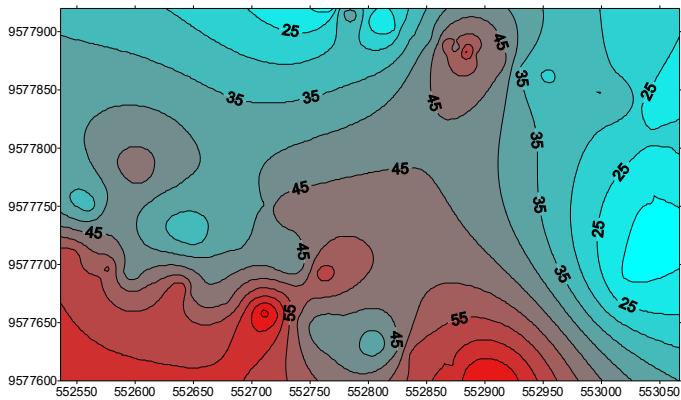


Figura 3 – Condutividades aparentes EM-31 (VD), em mS/m, ao norte do aterro de resíduos sólidos do Jangurussu.

O mapeamento EM-31 da área ao norte do aterro de Jangurussu foi interpretado como mostrando claras digitalizações com sentido NE, representando a migração seletiva da pluma contaminante.

Foram também apresentados mapas, ajustados por regressão polinomial, da tendência da distribuição regional das condutividades aparentes do terreno em ambos os setores estudados, relativas as profundidades de investigação alcançadas pelo EM-31 (Sabadia, 2001).

Os estudos de salinização na Praia do Pacheco (município de Caucaia; NE de Fortaleza), realizados com condutivímetro EM-34-3XL, contemplaram a utilização de sondagens eletromagnéticas verticais (SEV's), com leituras em posição de dipolo horizontal e vertical e com espaçamento das bobinas de 10, 20 e 40 metros, assim como um mapeamento seqüencial de toda a área, adotando-se uma separação entre bobinas de 10 metros, recobrindo, portanto, as profundidades de cerca de 7,5 e 15 metros (perfazendo 38 estações).

As SEV's foram integradas como a média das leituras em dipolo horizontal e vertical, relativas aos possíveis espaçamentos entre as bobinas (10, 20 e 40 metros), gerando um gráfico como o da Figura 4, a seguir.

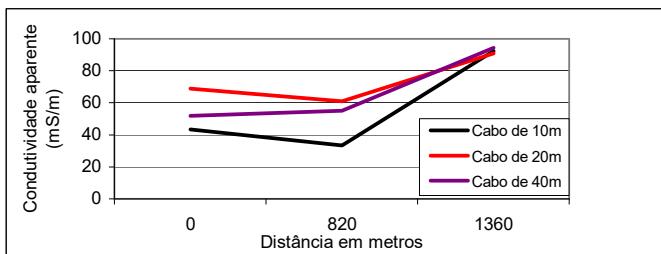


Figura 4 – Evolução da condutividade aparente do terreno na praia do Pacheco (município de Caucaia).

O resultado do trabalho do mapeamento geofísico realizado na Praia do Pacheco, apresentou mapas de distribuição das condutividades aparentes do terreno (bobinas espaçadas de 10 metros; HD e VD), preservando-se os valores registrados em campo, tal como o mapa apresentado na Figura 5.

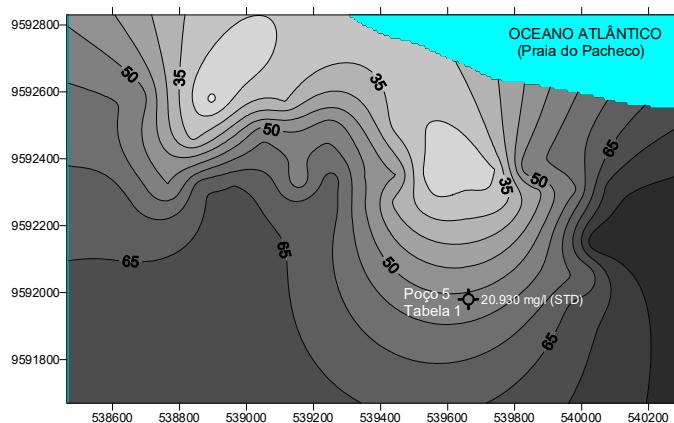


Figura 5 - Condutividades aparentes EM-34 (VD), em mS/m, praia do Pacheco.

Os mais valores altos da condutividade aparente do terreno são provenientes do SW e do E da área, sendo interpretados como uma possível frente de contaminação por sais, oriundos das zonas correspondentes as antigas salinas, por lixiviação e fluxo natural em direção a linha de costa. Ao norte da área (região mais próxima da costa), distribuem-se os mais baixos valores de isocondutividade aparente do terreno, sendo relacionadas a zona de recarga das pequenas dunas existentes.

De igual tratamento metodológico dado no caso do aterro do Jangurussu (anteriormente citado), foram também apresentados mapas, ajustados por regressão polinomial, da tendência da distribuição regional das condutividades aparentes do terreno na área correspondente a da Figura 5, relativas as profundidades de investigação alcançadas pelo EM-34, com bobinas espaçadas de 10 metros com HD e VD (Sabadia; Casas; Maia & Himi, 2000).

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

As experiências de aplicação das técnicas de prospecção geofísica na Região Metropolitana de Fortaleza, utilizando-se condutivímetros eletromagnéticos operando no domínio das freqüências (“FDEM-31/34”), têm demonstrado uma grande versatilidade, precisão, simplicidade e comodidade de uso na determinação da contaminação aquífera inorgânica pouco profunda.

Como consequência, a utilização sistemática desta técnica pode contribuir para um controle eficaz da evolução espacial e temporal dos mais distintos processos envolvendo contaminantes de origem inorgânica (polarizantes), com alto rendimento em função da baixa relação custo/benefício.

O contraste de condutividade proporcionado pelo aporte do fluido contaminante inorgânico delineará os caminhos preferentes do fluxo subterrâneo, permitindo seu seguimento desde a zona vadosa (fluxo gravitacional descendente) até a sua incorporação ao meio saturado. Desta maneira, pode-se determinar os locais e as profundidades aonde se deve perfurar com maior segurança para as amostragens diversas requeridas.

Evidentemente, não se pretende dizer que os métodos de prospecção geofísica sejam suficientes para sintetizar a complexa problemática ambiental que encerra a contaminação das águas subterrâneas mas, sim, destacar que esta metodologia é absolutamente necessária para avaliar e possibilitar um planejamento mais preciso, eficiente e seguro nas seguintes fases de estudo e controle com conseqüente saneamento ambiental desejado.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- McNEILL, J.D. (1980). Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers; TN-6 Geonics Ltd.. Mississauga, Ontario (Canada).
- SABADIA, J.A.B. (2001). Impacto del Vertedero de Jangurussu en los Recursos Hídricos de la Ciudad de Fortaleza (Estado de Ceará, Brasil). Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. Memoria de tesis doctoral. 317 pp..
- SABADIA, J.A.B. & CASAS, A. (2002). Geofísica Ambiental “FDEM-31/34”: Estudos de contaminação das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) – Ceará. XLI Congresso Brasileiro de Geologia. A Geologia e o Homem. Sociedade Brasileira de Geologia (SBG – Núcleo Nordeste). João Pessoa de 15 a 20 de setembro.

SABADIA, J.A.B.; CASAS, A.; MAIA L.P. & HIMI, M. (2000). Salinização dos Aqüíferos da Praia do Pacheco - Município de Caucaia - Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará. 1º Congresso Mundial Integrado de Água Subterrâneas. 11º ABAS. 5º ALHSUD. IAH. 37º Sessão, 18 pp. (em CD-ROM). 31/07 a 04/08. Fortaleza, Ceará.

SABADIA, J.A.B.; CASAS, A. & MENDES, J.M.B. (2000). Caracterização da poluição produzida pelo aterro do Jangurussu através de métodos eletromagnéticos (Fortaleza-Ceará-Brasil). “Jangurussu landfill pollution characterization by electromagnetic methods (Fortaleza-Ceará-Brazil)”. 2ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica/2ª Asemblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Lagos (Algarve, Portugal). 8 a 12/02. p. 257-258.

SABADIA, J.A.B.; CASAS, A; SANTIAGO, M.M.F. & MENDES FILHO, J. (2000). A Problemática da Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos: O Aterro do Jangurussu e os Recursos Hídricos Subterrâneos da Cidade de Fortaleza – Ceará. 1º Congresso Mundial Integrado de Água Subterrâneas. 11º ABAS. 5º ALHSUD. IAH. 40º Sessão, 18 pp. (em CD-ROM). 31/07 a 04/08. Fortaleza, Ceará.