



Utilização de Potencial Espontâneo e Caminhamento Elétrico para detecção de vazamentos em barragem

Jorge Eduardo da Silva¹, Vagner Roberto Elis², Francisco Yukio Hiodo², Edson Gomes de Oliveira³
¹ SIGEO-Soluções Integradas em Geotecnologias, ² Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas – USP, ³ Universidade Estadual Paulista – Rio Claro. E-mail : sigeo_jorge@yahoo.com.br

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Geophysical methods like dipole-dipole geoelectric profiling, and spontaneous potential measurements with non polarizable electrodes were used to identify possible zones of leakage or infiltration by water, occurring in dam structure of artificial lake in Itatiba city-SP. Electroresistivity profiling in dipole-dipole array, and spontaneous potential determinations in gradient mode allowed to identify anomalous zones with low values of resistivity and spontaneous potentials.

Resistivity data processing by an inversion software RES2Dinv provided true electrical resistivity values in five levels of investigation depth.

Keywords: dipole-dipole geoelectric profiling, spontaneous potential, zones of leakage or infiltration by water.

Introdução

A SIGEO – Soluções Integradas em Geotecnologias realizou nos dias 30 de março e 01 de abril de 2005, estudo geofísico com objetivo de identificar possíveis zonas de vazamento na estrutura de uma barragem, localizada na Fazenda São Quirino, Município de Itatiba, São Paulo. A área de estudo tem aproximadamente 200 metros lineares sendo que a barragem possui aproximadamente 120 metros de comprimento.

Para alcançar este objetivo foi utilizada a metodologia geofísica da eletrorresistividade, com a técnica de caminhamento elétrico utilizando o arranjo dipolo-dipolo, além da metodologia do potencial espontâneo, com técnica de caminhamento utilizando o arranjo gradiente.

O estudo geofísico possibilitou delinear zonas anômalas com baixos valores de potencial espontâneo e resistividade elétrica localizadas nas porções em superfície entre 45 e 55 metros, 72,5 e 90 metros, 110 e 120 metros, 122,5 e 127,5 metros e 145 e 155 metros.

Metodologia

Eletrorresistividade

A eletrorresistividade é um método geoeletrico baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, tendo sido utilizado nos mais variados campos de aplicação das geociências.

O método da eletrorresistividade baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto dos campos elétricos naturais, existentes na crosta terrestre, como dos campos artificialmente provocados. A partir de medições do potencial elétrico na superfície pode-se determinar, no subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas (Telford *et al.*, 1990).

A resistividade elétrica das rochas e minerais é uma propriedade que depende de vários fatores. Por exemplo, a resistividade elétrica das rochas cristalinas (pouco porosas) é normalmente alta. No entanto, se esta rocha estiver muito fraturada, a água que circula através das fraturas contendo sais minerais dissolvidos diminuirá bastante a resistividade da rocha.

Além da presença de água em fraturas e poros das rochas, a presença de minerais condutivos faz baixar o valor da resistividade. No entanto, esta mudança só se faz notar quando a quantidade de minerais condutivos excede 10% do volume da rocha (Fernandes, 1984). A tabela 1 mostra algumas resistividades médias de algumas rochas.

Tabela 1 - Resistividades médias de algumas rochas (Fernandes, 1984).

ROCHA OU SOLO	Resistividade (ohm.m)
Granito	de 3×10^2 a $> 10^3$
Diabásio	de 20 a 2×10^4
Sienito	de 10^2 a 10^5
Folhelho	de 10 a 10^4
Calcário	de 50 a 5×10^5
Areia	de 1 a 5×10^3
Silte	de 20 a $1,5 \times 10^3$
Argila	de 5 a $1,5 \times 10^3$

Potencial Espontâneo

Potenciais elétricos naturais ou espontâneos ocorrem na subsuperfície terrestre, e são causados por atividade eletroquímica e eletrocinética. De acordo com Telford et al (1990), o fator de controle, em todos os casos, é a água subterrânea. Esses potenciais são associados com

alteração de corpos de sulfetos, variações nas propriedades das rochas (conteúdo mineral) em contatos geológicos, atividade bioelétrica em material orgânico, corrosão, gradientes termais e de pressão em fluidos subterrâneos, e outros fenômenos de natureza similar. Existem quatro mecanismos principais que produzem esses potenciais: potencial electrocinético, potencial de difusão (junção líquida), potencial de Nernst (ou de folhelho, utilizado em perfilagens) e potencial de mineralização. O primeiro processo é mecânico, e os outros três são químicos.

• Potencial Electrocinético (eletrofiltração)

É observado quando uma solução é forçada através de um meio poroso ou capilar. Consiste fundamentalmente, então, na produção de um campo elétrico pelo movimento de eletrólitos (águas subterrâneas) no subsolo. Quando um eletrólito passa através de uma membrana porosa, é produzida entre os dois lados desta uma diferença de potencial. As rochas podem ser consideradas como tais membranas quando possuem, devido a sua porosidade, uma rede de capilares através da qual a água subterrânea pode ser filtrada. As paredes dos capilares podem adsorver os ânions, os quais atraem cátions, formando-se uma camada elétrica dupla. Os ânions permanecem fixos, mas os cátions são arrastados pela marcha do eletrólito através do capilar, concentrando-se junto a saída, e aparece uma diferença de potencial entre seus extremos. Essa diferença de potencial é dada por:

$$\Delta V = \frac{\xi \varepsilon P}{\eta \sigma}$$

onde ξ é diferença de potencial na

camada dupla, ε é constante dielétrica do eletrólito, η é a viscosidade do eletrólito, σ a condutividade do eletrólito e P a diferença de pressão hidrostática entre os extremos do capilar, ao qual se deve o movimento do eletrólito. De acordo com Orellana (1972), o fenômeno de eletrofiltração é produzido em todos os tipos de terreno, porém o potencial gerado é muito fraco, e não é normalmente usado em estudos hidrológicos. Em alguns casos particulares, como zonas de fratura e rochas muito permeáveis (areias, arenitos alterados), fluxo intenso de águas subterrâneas em terrenos acidentados, ocorrem potenciais mais intensos, de algumas centenas de mV/Km.

São descritos dois tipos de eletrofiltração: *per descensum* e *per ascensum*. O primeiro caso corresponde a infiltração de águas de chuva através de terrenos permeáveis ou ao longo de falhas. Como a água carrega os cátions, aparecem centros negativos nas partes do aquífero mais elevadas topograficamente. Lasfargues (1957; in Orellana, 1972) chegou a observar potenciais de -3V em um morro de uma formação arenosa, valor considerado excepcional. A Figura 1 procura mostrar esse fenômeno. Os potenciais de eletrofiltração *per ascensum* podem ser grandes, dependendo da pressão da água ascendente. Ocorrem, normalmente, potenciais dessa classe, da

ordem de algumas dezenas de mV, em jazidas lavradas recentemente, devido a ascensão da umidade por capilaridade.

A eletrofiltração pode ser utilizada, em alguns casos, para estudar o fluxo subterrâneo (zonas fraturadas, regiões cársticas), e para localizar e estimar fuga d'água em barragens. Uma aplicação é no estudo da interação entre resíduos e o meio natural, pois a infiltração de chorume (rico em íons) em solos permeáveis certamente será acompanhada de grandes variações no potencial natural (Hyoung-Soo & Yeonghwa, 1997).

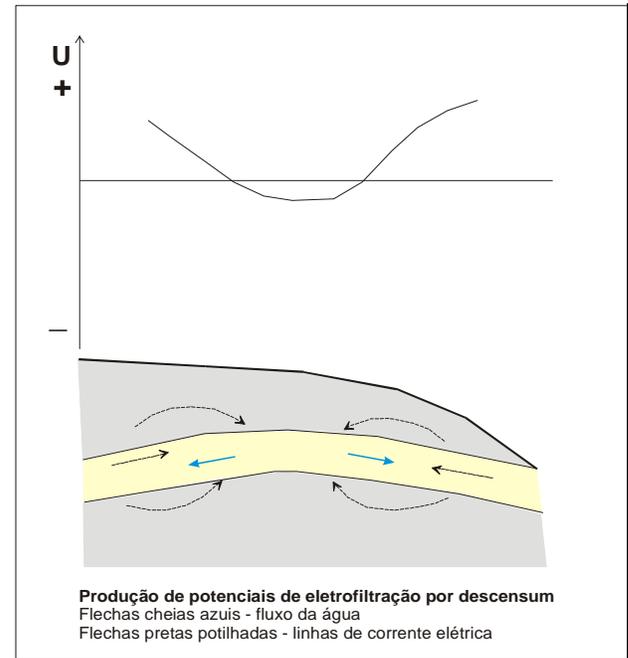


Figura 1 - Produção de potencial de eletrofiltração *per descensum*. O fluxo de água carrega os cátions, fazendo com que apareçam centros negativos nas zonas mais elevadas do aquífero.

Técnica de Aquisição de Dados: Eletrorresistividade

No arranjo dipolo-dipolo (Figura 2), os eletrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre os eletrodos $X=AB=MN$. A profundidade de investigação cresce com a distância entre os eletrodos de potencial e os de corrente (R) e, teoricamente, corresponde a $R/2$. As medidas são efetuadas em várias profundidades de investigação (n), isto é, $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ é o ponto de intersecção entre uma linha que parte do centro do arranjo de eletrodos AB e outra que parte de centro do arranjo MN, com ângulos de 45° .

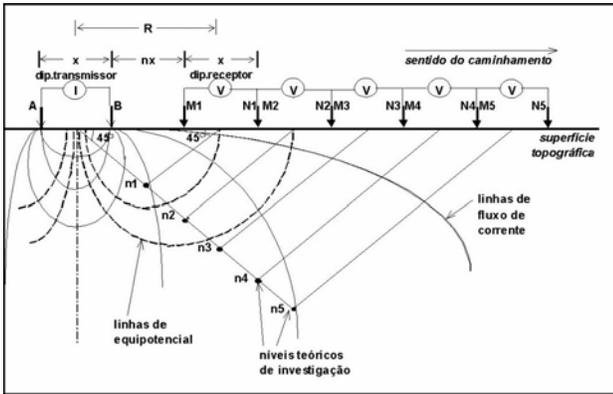


Figura 2 – Esquema de arranjo dipolo-dipolo (adaptada de Elis, 1998).

Potencial Espontâneo

O equipamento utilizado para o ensaios é um milivoltímetro (um módulo receptor para ensaios de resistividade). Os ensaios de campo exigem a utilização de eletrodos não-polarizáveis, pois o uso de eletrodos de metal convencionais poderia gerar uma ação eletroquímica no contato com o solo, o que resultaria em potenciais da mesma magnitude daqueles que estão sendo medidos. Esses eletrodos não polarizáveis, que são mostrados na Figura 3, consistem de um metal imerso em solução saturada de seu próprio sal, no caso o cobre (Cu) em sulfato de cobre (CuSO4), dentro de um recipiente poroso que permite que a solução vazze lentamente e faça contato com o solo.

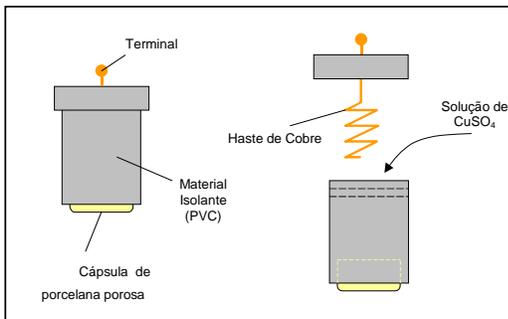


Figura 3 - Eletrodos não polarizáveis

Existem duas arranjos de aplicação dos ensaios em campo (Orellana, 1972). São usados sempre dois eletrodos, sendo medido o potencial entre eles.

Um arranjo, denominado de método de potenciais, consiste em se manter fixo um eletrodo e deslocar o outro pelos pontos de medida. São necessários dois tipos de correção: a correção da polarização de eletrodos, que não é nula apesar do nome destes, que consiste em colocar-se os dois eletrodos a poucos centímetros de distância e medir o potencial entre eles, que deve ser descontado de todas as leituras do perfil. A outra correção deve ser feita entre os perfis, medindo-se o potencial entre o início de cada perfil ou em uma linha base. Os valores lidos em todos os perfis são então corrigidos em relação ao perfil inicial.

O outro arranjo, denominado de método de gradientes, consiste em deslocar os dois eletrodos simultaneamente, mantendo uma distância fixa entre eles. Devem ser feitas as mesmas correções descritas para o método de potenciais, além de tomar o cuidado de não inverter a ordem dos eletrodos para não inverter o sinal do potencial.

Os resultados obtidos são apresentados em perfis e mapas de contorno de equipotenciais. A interpretação é basicamente qualitativa, procurando associar as zonas anômalas a corpos ou estruturas de interesse.

Levantamento Geofísico

No dia 30 de março de 2005, foi realizado uma linha de caminamento elétrico dipolo-dipolo de 195 metros, com cinco níveis de investigação e profundidade de investigação teórica máxima de 15 metros. O levantamento do potencial espontâneo foi realizado no dia 01 de abril de 2005 sobre o mesmo perfil do caminamento elétrico, utilizando-se a técnica do caminamento com arranjo gradiente .

O local de estudo compreende uma barragem com 120 metros de comprimento, 3 metros de largura de crista e altura máxima de 4 metros. Os ensaios tiveram como objetivo identificar possíveis zonas de vazamento ou infiltração de água na barragem.

Processamento dos Dados

Os dados de potencial espontâneo foram plotados em um gráfico de mV x distância, mostrado Figura 4. A seção de resistividade foi processada com o auxílio de um software de inversão RES2Dinv (Loke, 1998), fornecendo assim seção de resistividade elétrica e profundidade mostrada na Figura 5.

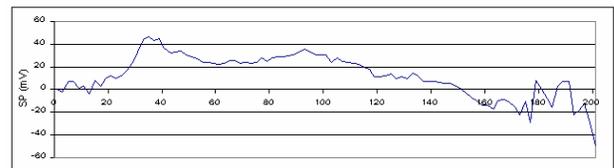


Figura 4 – Gráfico de Potencial Espontâneo x Distância

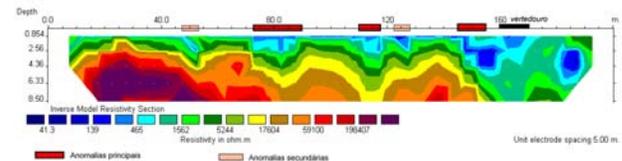


Figura 5 – Seção de resistividade elétrica

Resultados

Foi ensaiada 01 linha de caminamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo com 5 metros de espaçamento e 5 níveis de investigação, alcançando profundidades teóricas de 5, 7.5, 10 , 12.5 e 15 metros. A extensão do

perfil foi de 195 metros, sendo que o início da linha foi localizado na estrada a 40 metros da margem da represa e o final está a 35 metros do início do vertedouro.

Foi levantada 01 linha de caminhamento de potencial espontâneo com arranjo gradiente e separação entre eletrodos de 2 metros. Para sua realização foi utilizado um sistema de auto-zeramento do potencial espontâneo para medida do potencial elétrico. A extensão do perfil foi de aproximadamente 200 metros. O ponto zero foi o mesmo do perfil de caminhamento elétrico e o final está a 42 metros do início do vertedouro. A Figura 4 mostra o gráfico de Potencial Espontâneo x Distância, onde é possível observar zonas anômalas que são caracterizadas pela diminuição do potencial elétrico causado pelo fluxo *per descensum*. Os pontos anômalos encontram-se entre as posições 45 e 90 metros e entre 100 e 155 metros.

Na Figura 5 é apresentada a seção de resistividade após a modelagem com o software de inversão dos dados. Esta representa os valores reais de resistividade e profundidade. Podemos observar várias zonas anômalas de menor resistividade que são indicadas na figura. As anomalias mais proeminentes (principais) são indicadas com um retângulo vermelho e as menos proeminentes (secundárias) são indicadas com um retângulo laranja. Na figura 5 são destacados 5 pontos de resistividade anômala:

- O primeiro localiza-se na posição em superfície entre os pontos 47,5 e 52,5 metros, sendo esta uma anomalia menos intensa (secundária)
- O segundo localiza-se na posição em superfície entre os pontos 72,5 e 90 metros, sendo esta uma anomalia mais intensa (primária)
- O terceiro localiza-se na posição em superfície entre os pontos 110 e 117,5 metros, sendo esta uma anomalia mais intensa (primária)
- O quarto localiza-se na posição em superfície entre os pontos 122,5 e 127,5 metros, sendo esta uma anomalia menos intensa (secundária)
- O quinto localiza-se na posição em superfície entre os pontos 145 e 155 metros, sendo esta uma anomalia mais intensa (primária)

As anomalias indicadas pela diminuição dos valores de potencial espontâneo e da resistividade elétrica são indicativo da existência de um possível fluxo ou infiltração de água na barragem.

Conclusões

A integração dos métodos geofísicos do potencial espontâneo e de resistividade elétrica possibilitaram avaliar as propriedades físicas do meio e assim delinear zonas anômalas que são indicativo de possível vazamento e/ou infiltração na barragem. Estes pontos estão associados a zonas de baixas resistividades e anomalias de baixos valores de SP. As zonas com estas características (principalmente em relação à resistividade) estão localizadas nas posições entre 47,5 e 52,5 metros, 72,5 e 90 metros, 110 e 117,5 metros, 122,5 e 127,5 metros e 145 e 155 metros.

References

Beck, A. E., 1991. Physical Principles of Exploration Methods (Second Edition)

ELIS, V. R., 1998. *Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro – SP, 264p.

ELIS, V. R., 2000. Geofísica Aplicada ao estudo da poluição de solos e águas subterrâneas. Apostila de curso da II Escola de Verão de Geofísica, Janeiro/Fevereiro de 2000, IAG/USP, São Paulo, SP.

FERNANDES, C. E. de, 1984. Fundamentos de Prospecção Geofísica. Ed. Interciência, Rio de Janeiro – RJ, 190p.

ORELLANA, E., 1972. Prospeccion geoelectrica en corriente continua. Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Tecnica Philips, 523p.

STROBINO, E. de F., 2001. Teste de arranjos de eletrodos não convencionais para investigação geolétrica na borda da Bacia de São Paulo. Trabalho de Conclusão de Curso em Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG/USP, São Paulo – SP, 36p.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P. & SHERIFF, R. E. (1990) Applied Geophysics. Second Edition, Cambridge University Press, United Kingdom, 770p.