



Aplicação do método eletromagnético sistema EM-34 integrado a dados estruturais e de sensoriamento remoto em um estudo hidrogeológico

Marieli Machado Zago (Unipampa), Maximilian Fries (Unipampa) e Lenon Melo Ilha (Unipampa).

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

The shortage of clean fresh water is a problem that the world population faces. This is critical to the welfare of all living beings and maintenance of the ecosystems. The drinking water consumption increases every year due to environmental impacts caused by overpopulation, agricultural and industrial activities and the misuse of water resources. The application of geophysical methods is widely recognized as valuable noninvasive investigation tool for water prospection and water table detection. Consists an indirect method used to assist groundwater exploration surveys and offers an alternative rather than traditional methods of surface mapping, often limited due to the absence of outcrops or thick soil layers masking fractures and joints. The main objective of this study is detecting and identify favorable areas to water exploitation in a fissured aquifer. The study area is located in Caçapava do Sul city, Rio Grande do Sul State and its main lithology comprehends the Caçapava do Sul Granitic Suite. We integrated local electromagnetic geophysical data to lineament and structures in the region (Landsat) to identify and characterize discontinuities (faults) potential accumulators of water. The results present the presence of anomalous high conductivity anomalies (spots) along the profiles and in different levels characterizing water saturation accumulation in fractures along the investigated profiles. The study and methodology represents a low cost and affective approach in detail scale surveys and provide subsidies to improve further hydrogeological studies in the Caçapava do Sul Granitic Suite.

Introdução

Estudos realizados pela Organização das Nações Unidas (ONU) estimam que um bilhão de pessoas carecem de acesso a um abastecimento de água suficiente, definido como uma fonte que possa fornecer 20 litros por pessoa em um dia a uma distância de até mil metros. Essas fontes incluem ligações domésticas, fontes públicas, poços e nascentes protegidas e a coleta de águas pluviais. O Estado do Rio Grande do Sul tem uma população em torno de 11 milhões de habitantes, dos

quais cerca de 50% são abastecidos por água subterrânea (Freitas, 2010). Métodos geofísicos como os eletrorresistivos e eletromagnéticos constituem eficientes formas para detecção, determinação da profundidade do nível freático e locação de poços (áreas com maiores vazões). Baseadas em princípios semelhantes, as técnicas geofísicas de indução eletromagnética de correntes no terreno (EM) e de *Very Low Frequency* (VLF) têm sido utilizadas com sucesso na busca desse detalhamento, reduzindo a margem de erro nas locações dos poços e diminuindo os custos envolvidos na construção. Diversos projetos internacionais de larga escala têm sido reportados, como os da África ocidental, onde o uso dessas técnicas para locação de poços em terrenos cristalinos reduziu os custos de perfuração em cerca de 40% (Palacky *et al.*, 1981; Payne, M.I., 1995).

O condutímetro EM-34 é um equipamento que mede o campo eletromagnético e suas interações com o meio geológico na função da frequência. É denominado de FDEM (*Frequency Domain Electromagnetics*). Reconhecido na utilização e aplicação em pesquisas minerais, ambientais (contaminações) e em hidrogeologia. Estudos com o EM-34 se mostraram efetivos para descrever a estrutura aquífera e caracterizar plumas de contaminação da água subterrânea. Oferece, também, resultados satisfatórios na detecção e mapeamento de falhas, fraturas e juntas, importantes na análise e caracterização hidrogeológica de aquíferos do tipo fissural em razão do elevado contraste de condutividade apresentado (Stewart, 1982; Jardani *et al.*, 2007; Cunha e Shiraiwa, 2011).

Características da região proposta, em especial o Sistema Aquícluído Eopaleozoico de baixa porosidade, classificados como aquíferos de baixas condições de armazenamento de água subterrânea (Freitas, 2010) impõem o desafio de localizar-se áreas com melhores vazões (zonas fraturadas) e consequente melhora no fornecimento de água. Foi realizada uma investigação usando-se o método geofísico eletromagnético EM-34 com o principal objetivo de investigar a existência de descontinuidades litológicas ou estruturais de subsuperfície por meio da detecção de anomalias condutivas correlacionáveis a áreas de captação e acúmulo de água subterrânea em um aquífero fissural na cidade de Caçapava do Sul - RS. Informações geológicas e estruturais (medidas no campo e estudos prévios de sensoriamento remoto) representaram os meios auxiliares no estudo.

Localização

A área esta localizada no município de Caçapava do Sul, na porção centro sul do Estado do Rio Grande do Sul. O município de Caçapava do Sul dista 259 km partindo de Porto Alegre. O acesso dá-se pela ERS 401, BR 290 e

BR 153. A área situa-se próxima a BR 392 ao fundo da Indústria de Laticínios Caçapava – INDULAC (Figura 1).

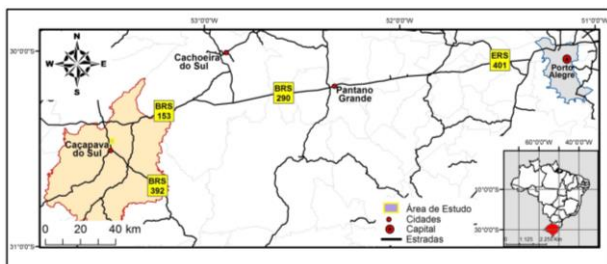


Figura 1 - Localização da área de estudo, principais cidades e rodovias de acesso (Adaptado de CPRM, 2000).

Regionalmente, a área encontra-se inserida onde predominam rochas cristalinas do Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) situado, segundo (Almeida, 1980), na porção meridional da Província da Mantiqueira.

No contexto local, a área possui como litotipo a denominada Suíte Granítica Caçapava do Sul. É composta principalmente por granodioritos, monzogranitos e sienogranitos (Nardi e Bitencourt 1989). Essas rochas apresentam variações de leucogranitos, biotitas granitos e granitos transicionais (CPRM, 2000) com camadas superficiais alteradas de pouca profundidade (< 30cm) e, camada de solo arado com espessuras médias de 50cm em média.

O Projeto Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (Machado e Freitas, 2005) dividiu os aquíferos do Estado em 21 sistemas, conforme a porosidade e potencialidade para ocorrência de água subterrânea, distribuídos em seis grupos. De acordo com Freitas (2010), o grupo correspondente à área de estudo é de potencial baixo e ocupa 26,64% do território Gaúcho.

No município de Caçapava do Sul ocorre o Sistema Aquífero Eopaleozoico composto por arenitos finos a médios, róseos a avermelhados. Sofreram intensa diagênese e metamorfismo, ocasionando uma baixa porosidade, por isso são classificados como aquíferos de baixas condições de armazenamento de água subterrânea (Freitas, 2010).

Estruturalmente a região foi definida e compartimentada por Costa *et al.* (1997) por meio de lineamentos magnéticos e estruturais do ESRG que compõem os Domínios Geofísicos. Estes domínios foram posteriormente correlacionados e caracterizados por Kazmierczak (2006) em um estudo de caráter regional por meio de imagens aéreas e satélite LandSat. Observa-se que no Domínio Geofísico Central (local do estudo), as principais concentrações de densidade dos lineamentos são paralelas e com direção preferencial NE.

Metodologia

A aquisição das medidas de condutividade foi realizada por um condutímetro de terreno, sistema EM 34-3 modelo XL, fabricado pela Geonics Ltd. – Canadá. O equipamento é portátil, possui duas bobinas (transmissora e receptora) que são conectadas entre si

por um cabo com distâncias variáveis, sendo que tanto o transmissor como o receptor são móveis.

As bobinas são operadas verticalmente e horizontalmente (dipolos vertical e horizontal). Segundo McNEILL (1980) as frequências de operação variam conforme o espaçamento entre as bobinas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Espaçamento entre bobinas, frequências e profundidades de investigação do sistema EM-34 (Adaptado de McNEILL, 1980).

Espaçamento entre Bobinas (Metros)	Profundidade de Exploração (Metros)	
	Dipolos Horizontais	Dipolos Verticais
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60

Foram realizadas três seções ortogonais as descontinuidades observadas no campo (perfis) denominados de 1, 2 e 3. Cada um possui 180, 320 e 210 metros de comprimento respectivamente. Os espaçamentos entre bobinas são de 10, 20 e 40 metros e as medidas foram realizadas nos Dipolos Verticais e Dipolos Horizontais (DV e DH).

Simultaneamente a realização dos perfis, um levantamento plani-altimétrico planimétrico foi realizado usando-se um receptor GPS diferencial (DGPS) modelo Pro XR da Trimble Inc. Para a correção diferencial (dados Estação Base versus Estação Móvel) foi utilizado o software de processamento Pathfinder Office 3.10. A fim de se ter a melhor precisão das estações levantadas e obter-se maior acuracidade no modelo digital de elevação de terreno (MDE) gerado, procurou-se manter um índice de diluição PDOP (Position Dilution of Precision) máximo de 3. O valor máximo recomendado para que o DGPS funcione com precisão aceitável, segundo Pathfinder (2001) é um PDOP de no mínimo 6,0.

Resultados

Os perfis 1, 2 e 3 são apresentados na forma de seções em profundidade (10, 20 e 40 metros) para o Dipolo Horizontal adquirido por meio do arranjo com as bobinas dispostas na vertical e seções para o Dipolo Vertical com as bobinas dispostas na horizontal (Figuras 2 e 3). Valores de condutividade apresentados nas seções em profundidade foram gerados em visualizações 3D (voxel) com as respectivas profundidades e perfis visualizáveis em uma direção escolhida, a fim de possibilitar melhor análise e interpretação (Figura 4). Estas interpolações em 3D foram geradas por meio de um grid composto por células de 10X10 metros (¼ do valor amostrado).

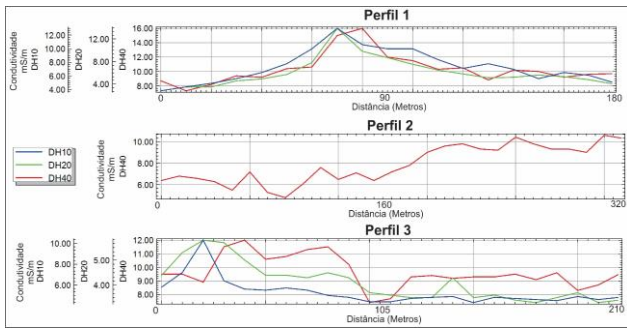


Figura 2 - Perfis 1, 2 e 3 de 180, 320 e 210 metros de distância representando os valores de condutividade (mS/m) para o Dipolo Horizontal de 10, 20 e 40 metros (azul, verde e vermelho).

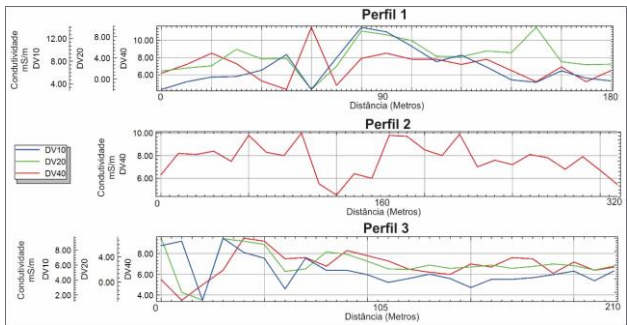


Figura 3 - Perfis 1, 2 e 3 de 180, 320 e 210 metros de distância representando os valores de condutividade (mS/m) para o Dipolo Vertical de 10, 20 e 40 metros (azul, verde e vermelho).

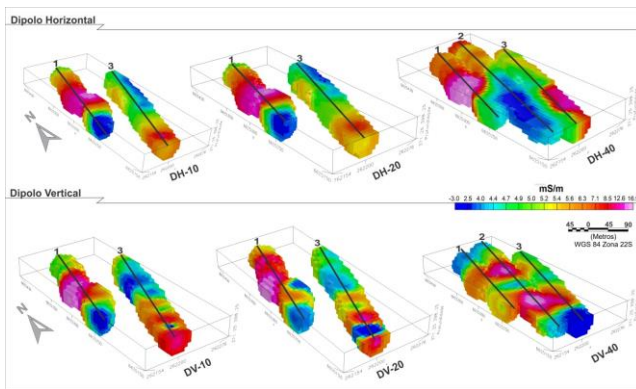


Figura 4 - Visualização 3D dos perfis 1, 2 e 3 realizados com Dipolo Horizontal de 10, 20 e 40 metros, respectivamente e Dipolo Vertical com 10, 20 e 40 metros, respectivamente.

Os resultados tanto dos Dipolos Horizontais (DH) como dos Dipolos Verticais (DV) a fim de melhor análise e interpretação foram integrados em um único modelo conforme apresentado na Figura 5.

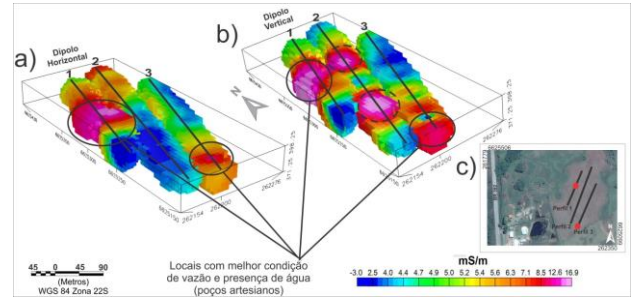


Figura 5 - Visualização 3D dos perfis 1, 2 e 3 integrados e as variações de condutividade medidas a) e b). Em c) a localização dos perfis na área. As significantes anomalias condutivas foram delimitadas pelos círculos pretos. Anomalias condutivas detectadas tanto em superfície como em profundidade, foram delimitadas pelos círculos tracejados em preto.

Discussão

Considerando que as anomalias de condutividade são correlacionáveis com a presença de água em subsuperfície, no dipolo horizontal com profundidades teóricas investigadas de 7.5, 15 e 30 metros ocorrem significantes anomalias condutivas no Perfil 1 e no Perfil 3. No Perfil 1 com Dipolo Vertical têm-se altos anomálos identificados nas profundidades teóricas de 15 e 30 metros e no Perfil 2 observa-se altos anomálos chegando a 60 metros de profundidades. Estas anomalias encontram-se em profundidades muito elevadas e carecem de um estudo mais detalhado considerando as características do aquífero.

No Perfil 3 os altos anomálos são identificados nas profundidades teóricas de 15, 30 e 60 metros. Estas anomalias, presentes na área com maior abrangência, situam-se a profundidades de 7.5, 15 e 30 metros.

Análise e interpretação dos resultados possibilitou determinar áreas (pontos) com as melhores condições de vazão e presença de água, servindo, portanto, como subsídio na determinação da melhor área para locação de um poço artesiano, constituindo a principal justificativa na realização deste estudo.

Ao correlacionar-se as anomalias condutivas com as características do terreno, o alto anomálo de condutividade localizado a uma profundidade de 7.5, 15 e 30 metros no Perfil 1 possui uma variação de 388 a 394 metros sendo topograficamente pouco acentuado. Desta forma, ocorre pouca influência no aumento ou diminuição da vazão, excetuando-se o fluxo de água superficial em períodos de alta pluviosidade. O alto anomálo do Perfil 3 identificado com mais intensidade nas profundidades de 7.5, 15 e 30 metros está localizado em um alto topográfico (400 metros) podendo ser caracterizado como uma área de recarga e, em períodos de estiagem, apresentar variação significativa da vazão sendo, desta forma, pouco indicado a locação de um poço.

Estas duas anomalias estão a uma distância de 200 metros e são correlacionáveis considerando as profundidades de investigação, declividade do terreno (variação topográfica de NW para SE e as falhas e

fraturas apresentadas tanto regionalmente como localmente para o local.

Conclusões

Considerando a escassa presença de falhas e fraturas e de afloramentos, a análise das descontinuidades condicionantes a vazão e ocorrência de água por meio de dados de sensoriamento remoto prévios (LandSat) ofereceu satisfatórios resultados e condizentes com as medidas de juntas e fraturas realizadas no local em rocha aflorante.

A detecção de áreas favoráveis a prospecção de água e locação de um poço tendo como a método eletromagnético indutivo (FDEM) apresentou zonas condutivas anômalas correlacionáveis ao contexto e arcabouço estrutural. A metodologia se apresentou eficaz, rápida e de baixo custo em estudos de água subterrânea nas características apresentadas (aquífero fissural, baixa vazão e cobertura de solo sobre a rocha). Ofereceu resultados satisfatórios, caracterizando o local como não recomendável para locação de um poço (no caso da demanda apresentada pela cooperativa das oliveiras do município. Fornece, também, resultados secundários de geologia estrutural em uma área totalmente recoberta por solo e subsídios para futuras análises e estudos em áreas correlatas ou similares.

Referências

ALMEIDA, F.F.M. 1980. Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. Relatório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo: PAULIPETRO, n. 14091, 187 p.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2000. Folha Cachoeira do Sul SH-22-Y-A. Escala 1:250.000. Brasília: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

COSTA, A. F. U.; FERNANDES, L. A. D.; SHUKOWSKY, W.; NARDI, L. V. S. M.; BITENCOURT, M. F. 1995. Teste dos Modelos Tectônicos e de Posicionamento do Complexo Granítico de Caçapava do Sul através de Estudos de Modelagem Gravimétrico 3D. Revista Brasileira de Geofísica, v.13, n. 2, 91-101 p.

CUNHA, L. F. J. & SHIRAIWA, S. 2011. Aplicação do método eletromagnético indutivo na investigação da pluma de contaminação da água subterrânea por resíduos de cromo de curtume. Revista Brasileira de Geofísica, n. 29, v. 1, 127-134 p.

FREITAS, M. A. 2010. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul: Programa Geologia do Brasil, levantamento da Geodiversidade. Em: Recursos Hídricos Subterrâneos. Porto Alegre: CPRM. v.1. 71-86 p.

JARDANI, A.; REVIL, A.; SANTOS, F.; FAUCHARD, C.; DUPONT, J. P. 2007. *Detection of preferential infiltration pathways in sinkholes using joint inversion of self-potential and EM-34 conductivity data.* *Geophysical Prospecting*, 749-760p, DOI: 10.1111/j.1365-2478.2007.00638.x.

KAZMIERCZAK, T.S. 2006. Mapeamento da Bacia do Camaquã com a utilização de dados geofísicos, geologia

e sensoriamento remoto. Tese (Mestrado). Porto Alegre: Instituto de Geociências – UFRGS.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. 2005. Projeto mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final. Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM.

McNEILL, J.D. 1980. *Electrical Conductivity of Soils and Rocks. Technical Note TN- 5.* Acesso em 14 de abril de 2016, <
<http://www.geonics.com./pdfs/technicalnotes/tn5.pdf>>.

NARDI, L. V. S. & BITENCOURT, M. F. A. S. 1989. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, 19: 153-169.

PALACKY, G. I.; RITSEMA, R. L.; JONG S. J. 1981. *Electromagnetic Prospection for Groundwater in Precambrian Terrains in the Republic of Upper Volta. Geophysical Prospecting*, 29, 932-955 p.

PAYNE, M.I. 1995. *The Electromagnetic Traversing Method of Groundwater Exploration in Crystalline Rock Terrain.* *Thurber Environmental Consultants Ltd.*, Victoria, Canada. 863-875 p.

Pathfinder. 2001. GPS Pathfinder Systems- Receiver Manual.

STEWART, M.T. 1982. *Evaluation of Eletromagnetic Methods for Rapid Mapping of Salt-Water Interfaces in Coastal Aquifers.* *Ground Water*, 538-545, DOI: 10.1111/j.1745-6584.1982.tb01367.x.