



## Integração de dados geofísicos para a identificação de zonas fraturadas

Aline Isabel de Pádua ([linepadua@gmail.com](mailto:linepadua@gmail.com)) - Graduanda em Geofísica do IG/UnB

Welitom Rodrigues Borges ([welitom@unb.br](mailto:welitom@unb.br)) - Docente do Instituto de Geociências /UnB

Luciano Soares da Cunha ([lucianosc@unb.br](mailto:lucianosc@unb.br)) - Docente do Instituto de Geociências /UnB

Alexandre Lisboa Lago ([alexandre.lago@cprm.gov.br](mailto:alexandre.lago@cprm.gov.br)) - Pesquisador em Geociências/CPRM

José Elói Guimarães Campos ([eloi@unb.br](mailto:eloi@unb.br)) - Docente do Instituto de Geociências/UnB

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> 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

This paper presents results from geophysical surveys carried out in the surroundings of the Petrolina Town, Pernambuco State, Brazil. The objective was to characterize geoelectric anomalies associated with fractures and shear zones in crystalline rocks. For this purpose we used two approaches, the electrical method correlated with the 3D data obtained from ground penetration radar (GPR) to the definition of soil thickness and geometric characteristics for fractured aquifers, for the detection of shear zones and fractures in crystalline rocks.

### INTRODUÇÃO

Motivado pelo constante problema de escassez de água no sertão semiárido do Brasil, este trabalho visa determinar zonas fraturadas que serão utilizadas como ponto de injeção de águas pluviais com o objetivo de melhorar a qualidade da água captada por poços tubulares. Assim meios que viabilizem este estudo são de grande interesse para a comunidade local.

A área de estudo está localizada no município de Petrolina/PE, que em conjunto com o município vizinho de Juazeiro/BA, formam o maior aglomerado urbano do semiárido. Esta escolha se deu devido a vários condicionantes favoráveis, como águas com salinidade de 80 a 13.000 mg/l de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), a alta densidade de ocupação rural e mais de 500 de poços cadastrados (CPRM, 2005). As aquisições de dados terrestres foram desenvolvidas no período de janeiro a fevereiro de 2012.

A região possui contexto geológico representado por rochas metamórficas de médio a alto grau (xistos, gnaisse e granulitos), deste modo, planeja-se armazenar água pluvial através de sua injeção ao longo das zonas de fraturadas e/ou falhadas. Apesar da pequena espessura do solo desenvolvido na região semiárida sobre as zonas de fraturas e de cisalhamento nota-se maior espessura das coberturas pedológicas dificultando, assim, o mapeamento superficial das fraturas. Deste modo, a geofísica é uma ferramenta essencial para identificação destas zonas preferenciais de fluxo de água subterrânea. Normalmente em zonas

fraturadas em rochas cristalinas, apresentam-se como regiões onde as resistividades tendem a ser mais baixas do que na mesma rocha quando não fraturada. Isto se deve ao fato de que a porosidade secundária devida ao fraturamento tende a armazenar água e conter minerais argilosos produzidos pela ação do intemperismo e consequente alteração ocasionando menor resistividade nestas regiões (GALLAS 1998).

Devido ao condicionamento geológico-estrutural peculiar as zonas aquíferas em fissuras de rochas cristalinas são limitadas lateralmente, se localizando, normalmente, em faixas estreitas, sinuosas e interconectadas, que acompanham zonas de falhas e fraturas regionais. Por isso formam reservatórios anisotrópicos, heterogêneos e de geometrias complicadas (LIMA, 2010).

### METODOLOGIA

Neste trabalho mostram-se resultados obtidos na área da Universidade Federal Vale do São Francisco (UNIVASF), na cidade de Petrolina/PE (**Figura 01**).



**Figura 01:** Mapa com a localização da área de pesquisa no município de Petrolina/PE.

Na área da Univasf utilizaram-se os métodos de eletrorresistividade e radar de penetração de solo (GPR).

O GPR é um método eletromagnético de alta frequência que registra as ondas de rádio artificialmente irradiadas para o meio, possibilitando assim o imageamento de estruturas geológicas e geotécnicas rasas. Neste projeto este método foi usado com o objetivo de estimar a profundidade do solo, e tentar definir zonas de cisalhamento e de fraturas. A identificação de zonas fraturadas com o GPR é comum em áreas de pouco ou nenhuma cobertura pedológica (THEUNE *et al.*, 2006).

A eletrorresistividade é o método elétrico que registra a dificuldade/facilidade da passagem da corrente elétrica no meio. Dentre os fatores mais importantes para determinar a resistividade de uma rocha estão a quantidade de água e sua salinidade. Os aumentos do teor de umidade e da quantidade de sais dissolvidos levam a uma diminuição nos valores de resistividade. Essa condição permite a imensa possibilidade de aplicação do método em estudos hidrogeológicos (TELFORD *et al*, 1990; RUBIN e HUBBART, 2005).

Neste contexto, foram obtidas 10 seções de eletrorresistividade, cada uma com 145 metros de comprimento, espaçadas a cada 5 metros (**Figura 02**). Os caminhamentos elétricos foram executados com os arranjos dipolo-dipolo (DD) e Wenner Schlumberger (WS). Na aquisição de dados foi usado um sistema elétrico multieletródico (Syscal PRO), com 30 eletrodos (**Figura 03**). Os dados foram adquiridos paralelos e equiespaçados, sendo posteriormente concatenados como dados 3D (Quase-3D).



**Figura 02:** Croqui de localização e direção das linhas de levantamento.



**Figura 03:** Foto evidência a aquisição de dados de eletrorresistividade na área da Univasf, Petrolina/PE, com o equipamento SYSCAL PRO.

O conjunto de dados do arranjo DD correspondeu a um bloco com 2678 pontos de investigação, ao passo que no arranjo WS foram investigados 1542 pontos. A inversão dos dados de elétrica Quase-3D foi realizada no software Res3dinv até a quinta iteração. Os erros RMS foram de 18% (DD) e 7,5% (WS).

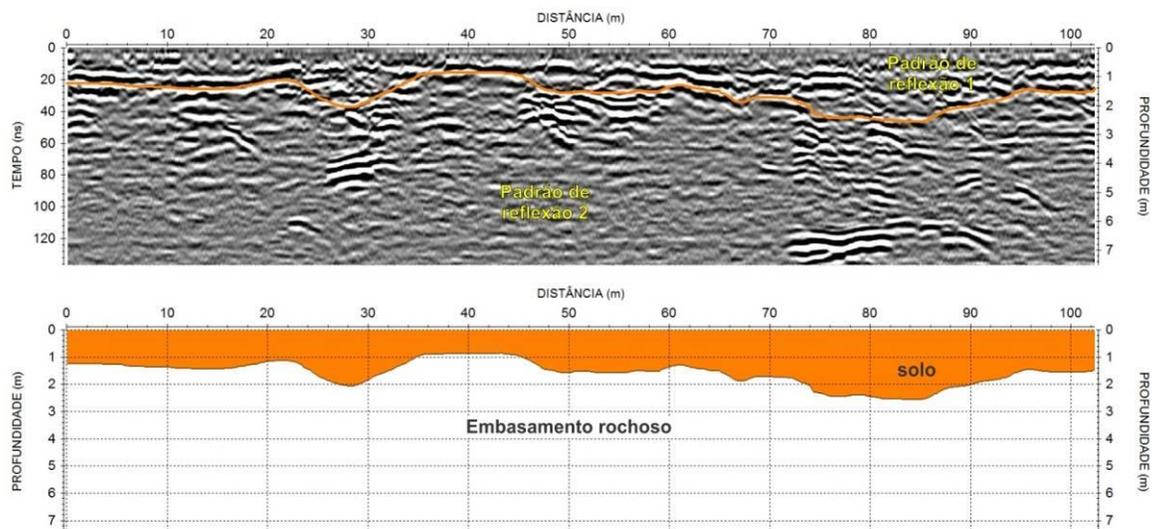
Nas aquisições de GPR foi utilizado o sistema SIR3000 acoplado a uma antena blindada de 200 MHz (**Figura 04**). Os dados foram processados no Módulo 2D do software REFLEXW@ versão 5.5 (SANDMEIER, 2010), e o principal objetivo do processamento foi realçar as camadas de solo. Durante o processamento foi determinada a chegada da primeira onda (ajuste do tempo zero); aplicação de ganho do tipo decaimento de energia, filtragens 1D e 2D, e migração de difrações (*diffraction stack*). A velocidade do meio foi obtida através de ajuste hiperbólico de pequenas difrações encontradas nos perfis de GPR (0,11 m/ns).



**Figura 04:** Foto evidência a aquisição de dados de GPR na área da UNIVASF, Petrolina/PE.

## Resultados

Os resultados de GPR possibilitaram investigar o subsolo até a profundidade máxima de 6,5 metros com uma janela temporal de 130 ns. Os perfis de GPR mostram dois padrões distintos de reflexão. O primeiro mostra refletores de alta amplitude, retilíneos e contínuos, que ocorrem até a profundidade máxima de 2,5 metros, relacionado ao solo superficial. O segundo padrão de reflexão mostra um comportamento caótico, descontínuo e de baixa amplitude, interpretado como o embasamento rochoso (**Figura 05**).



**Figura 05:** Seção de GPR da L5 e correlação entre os padrões de reflexão e as interfaces geológicas/geofísicas.

A partir da estimativa da espessura máxima do solo na região, determinaram-se os melhores cortes nos blocos Quase-3D de eletrorresistividade que melhor pudessem indicar as zonas de cisalhamento e de fraturas. Optou-se pelas profundidades mais rasas imediatamente após a camada de solo, uma vez que as zonas de cisalhamento e as fraturas mostram-se mais abertas quando mais próximas à superfície (**Figura 06**).



**Figura 06:** Imagem em pedra próxima a UNIVASF, Petrolina/PE, que mostra a maior espessura do solo sobre fratura aberta.

No bloco de resistividade elétrica, elaborado com os dados do arranjo WS, escolheram-se as profundidades do bloco de 2,5 a 5,38 metros, e do bloco de 5,38 a 8,68 metros. Já para o volume de resistividade elétrica DD optou-se pelos blocos entre as profundidades de 1,75 a 6,08 metros (**Figura 07**).

Em ambas as profundidades e arranjos notam-se regiões com altas e baixas resistividades elétricas. Estas áreas possuem as formas alongadas na direção NE/SW. As anomalias de alta resistividade são interpretadas como rochas do embasamento cristalino, ao passo que as anomalias de baixa resistividade são relacionadas a possíveis zonas de percolação de água (fraturas abertas).

Observando os resultados dos dois arranjos nota-se que o arranjo WS indica menores quantidades de zonas condutivas, relacionadas a fraturas, do que os resultados do arranjo DD (**Figura 07**). Em função do melhor imageamento das fraturas, escolheu-se os resultados do arranjo DD para definir a direção principal do fraturamento na região, bem como do melhor ponto para a instalação de um sistema de infiltração de águas captadas da cobertura de dois prédios da UNIVASF e construção de um poço de bombeamento de água.

O corte em profundidade do arranjo DD foi georreferenciado e os ângulos das anomalias condutivas indicam atitude preferencial das zonas fraturadas com direção N20-30E e mergulhos verticalizados (**Figura 08**).

Nas **figuras 07 e 08** podem ser identificadas quatro zonas condutivas de direção N20-30E que são interpretadas como um padrão de fraturamento paralelo. Na **Figura 07** pode-se perceber que as zonas condutivas são persistentes até 8 metros com tendência de continuidade em maiores profundidades.

O valor de resistividade obtido nas zonas de solos, mais espessos, variam entre 200 a 500 Ohm.m são coerentes com materiais areno-argilosos secos (como os observados durante o período de aquisição dos dados). Caso o estudo seja realizado em época de chuvas em

que os solos estejam mais úmidos, na maior parte de seu perfil, estima-se que os valores de resistividade sejam menores e o contraste com a porção de rocha inalterada/pouco alterada seja ainda maior.

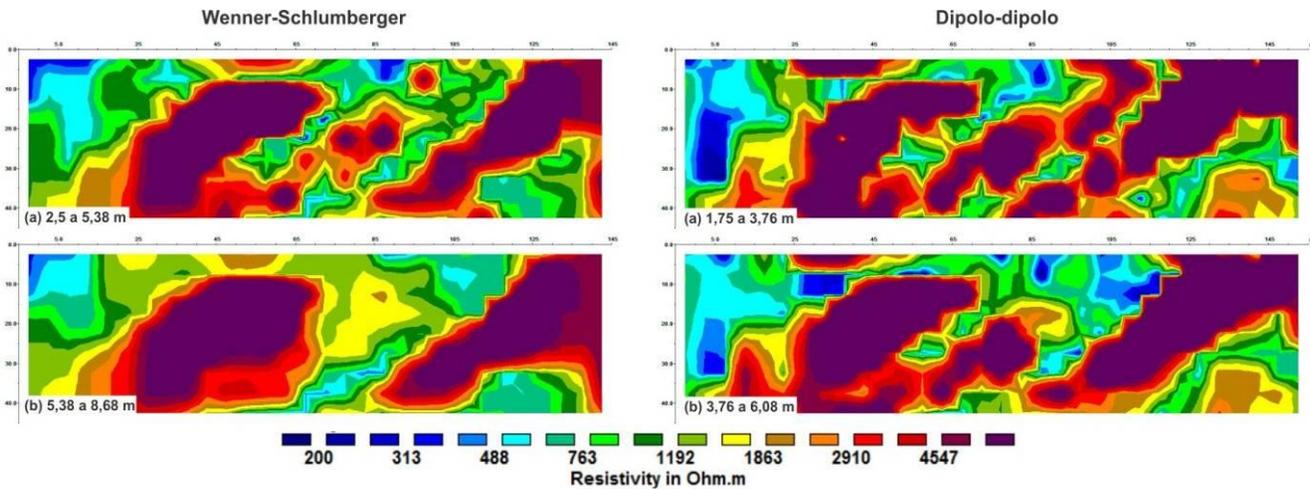


Figura 07: Cortes nos blocos de resistividade elétrica obtidos com os arranjos WS e DD, na área da Univasf, Petrolina/PE.

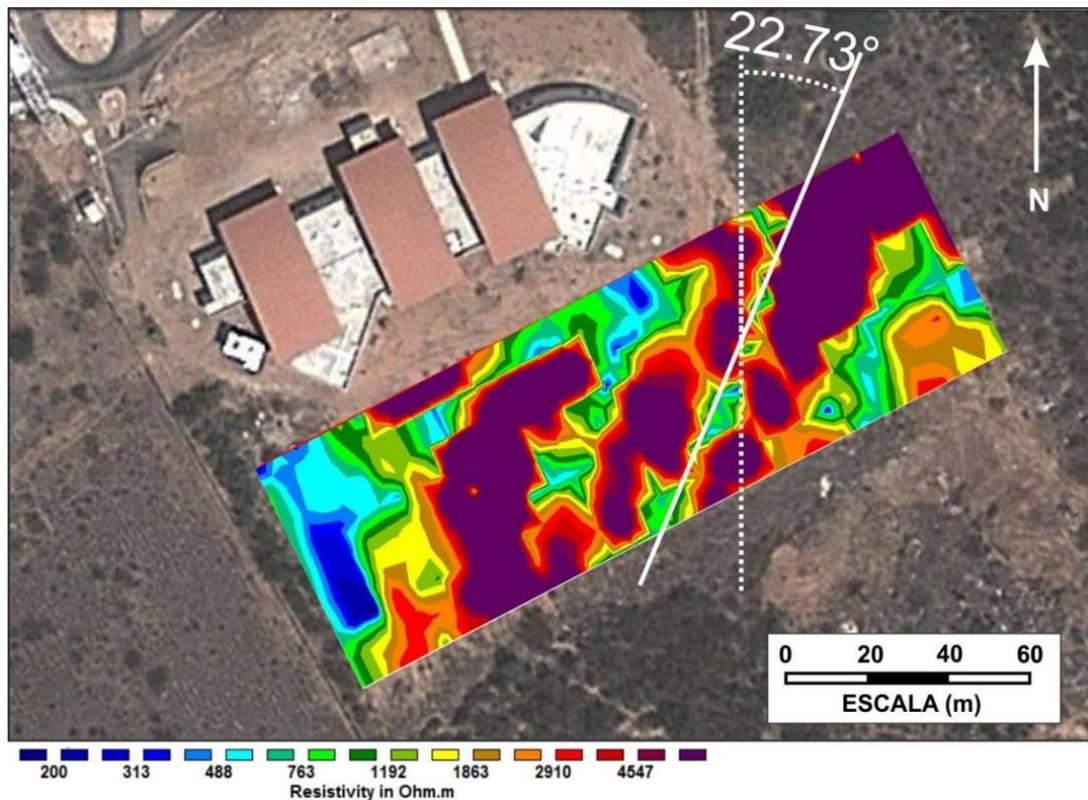


Figura 08: Corte no bloco de resistividade elétrica obtido com o arranjo DD a uma profundidade de 1,75 a 3,76 metros, sobreposto à imagem da área, indicando a direção principal das fraturas (N23E).

## CONCLUSÕES

A integração dos dados geofísicos possibilitou identificar anomalias relacionadas a zonas de fraturas. Os resultados de GPR e de eletrorresistividade evidenciam o limite entre a cobertura pedológica e o topo do embasamento rochoso. Sugere-se a presença de fraturas através da baixa resistividade elétrica registrada, bem como da geometria do embasamento rochoso, ou seja, nos locais onde existem pequenos vales interpreta-se como possíveis zonas de fratura ou de cisalhamento. Esta interpretação é fundamentada em dois princípios: de que nas zonas fraturadas, mesmo na zona vadosa do aquífero há maior condutividade elétrica e de que o intemperismo atua com maior atividade, resultando em maiores espessuras dos solos sobre as zonas fraturadas.

Os resultados do tipo de abordagem desenvolvida nesta pesquisa podem ser úteis, não apenas para a locação de poços tubulares para a exploração dos aquíferos fraturados, mas também para a locação de açudes, que devem ser localizados fora de zonas condutivas (para o armazenamento de água), locação de zonas aquíferas com menor salinidade ou para a gestão dos mananciais subterrâneos em condições de climas semiáridos.]

## AGRADECIMENTOS

A FINEP pelo financiamento do projeto de pesquisa Hidrofrat, Subprojeto Recarfrat, através do Edital CT-HIDRO 1/2010.

Ao Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA/IG/UnB) pela disponibilização dos equipamentos geofísicos.

## REFERÊNCIAS

CPRM. 2005. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do Município de Petrolina. Relatório Final. 47p.

GALLAS, JDF. 1998. Eletrorresistividade aplicada à prospecção de água subterrânea em áreas de rochas cristalinas. In. WORKSHOP DE GEOFÍSICA APLICADA, II, 1998, Rio Claro. Anais..., Rio Claro 1998, CDROM, Arquivo Wga09.RTF.

LIMA, O.A.L.; 2010. Estruturas geoeletrica e hidroquímica do sistema aquífero cristalino da bacia do alto rio Curaçá, semi-árido da Bahia. In. Revista Brasileira de Geofísica (2010) 28(3). São Paulo Julho/Setembro 2010, 445-461.

RUBIN, Y. e HUBBARD, S.S. 2005. Hidrogeophysics. Water Science and Technology Library, Volume 50, Springer, Netherlands, 527p.

SANDMEIER, K.J., 2010. REFLEXW Version 5.5, Windows 9x/2000/NT/XP/VISTA/7. Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Manual do Software, Karlsruhe, Germany, 209p.

TELFORD WM, GELDART LP e SHERIFF RE. 1990. Applied geophysics. Segunda Edição. Cambridge: Cambridge University Press, 770 p.

THEUNE, U; ROKOSH, D; SACCHI, MD; SCHMITT, DR. 2006. Mapping fractures with GPR: A case study from Turtle Mountain. Geophysics, 7(5):B139-B150.