

## Uso do sensoriamento remoto integrado ao estudo geológico-estrutural como contribuição a hidrogeologia de terrenos cristalinos no distrito de Juá-CE

Francisco Heury Fernandes da Silva<sup>1</sup>  
Daniel Dantas Moreira Gomes<sup>2</sup>  
Claudio Cesar de Aguiar Cajazeiras<sup>3</sup>  
Leiliane Rufina Pereira de Azevedo<sup>4</sup>  
José Araujo Nogueira Neto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial/NUTEC  
Rua Prof. Rômulo Proença, s/n - Pici, Fortaleza - CE - Brasil – CEP 60.451-970  
heury@nutec.ce.gov.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Ceará – UECE  
Av. Paranjana, 1700 Fortaleza – Ceará  
dandantas.labgeo@gmail.com

<sup>3</sup> Von Roll do Brasil LTDA  
Avenida Parque Central s/n - Maracanaú – Ceara – Brazil  
claudio.Cajazeiras@vonroll.com

<sup>4</sup> Universidade Federal do Ceará-UFC  
Centro de Ciências - Campus do Pici - Bloco 912, Ceará – Brasil – CEP 60455-760  
leili\_ane@hotmail.com  
nogueiraneto@ufc.br

**Abstract.** This research was carried out in a 130 km<sup>2</sup> area, in the Juá village, south of the Irauçuba town. The Northeast of Brazil, specially the countryside, is marked by arid climate and irregular distribution of rain. The captation of groundwater is normally the only solution to provide water during dry weather. To minimize the natural errors that occur during the location of a well we made detailed analysis of the ruptile structures that affect the Precambrian terrains. Lithologically it is constituted by igneous and metamorphic rocks belonging to the Migmatitic and Pelitic-Carbonatic Units. These rocks were reworked during the Brazilian Event, which registered both ductile and ruptile structures. In these terrains the “hydrological domain of the crystalline” is represented, in which the groundwater is controlled by ruptile structures that may be interconnected to the point of acquiring enough secondary porosity to facilitate the percolation and the storing of fluids. The structural characterization of these ruptile features was made in a detailed scale by means of the “linear-meter” technique. The remote sensing study consisted on the application of digital processing techniques, as well as terrestrial geophysics by means of electromagnetic profiles. The structural trends obtained by satellite images are compatible with the results taken from fracturing data. The main fracture sets are N-S and E-W and secondarily, NE-SW and NW-SE. Geophysical studies revealed conductive zones related to the presence of subsurface fractures. Data integration led to two potentially important areas for exploration the C-01 (north of Juá) and C-04 (Juá) concentrations.

**Palavras-chave:** image processing, ruptile structures, geophysics, processamento de imagens, estruturas rúpteis, geofísica.

### 1. Introdução

Na Região Nordeste a falta de água é ligada a variações climáticas, que proporcionam condições de irregulares dos períodos chuvosos, normalmente, com continuidade de 3 a 5 meses (fevereiro a junho), em compensação a escassez deste recurso é quase por completo nos meses posteriores. O clima seco é caracterizado pela distribuição irregular da quadra chuvosa e da precipitação pluviométrica menor que 800 mm/ano. Nesta região a estiagem frequentemente prolonga-se por meses, comprometendo o abastecimento da água para



1.2 Ma. Sobrepostas ao embasamento ocorrem rochas de origem pelítica-psamíticas carbonáticas, aluminosas e granitos tardios ocasionalmente migmatizadas, sendo relacionadas com o Complexo Ceará de aproximadamente 0.8 Ma. Os diques e veios de composição ácida recortam as rochas das seqüências e preenche fraturas. Os diques básicos são as rochas ígneas mais recentes, e freqüentemente com xenólitos oriundos das unidades mais recentes. Estas unidades são recobertas por aluviões e solos coluvionares pouco extensos (Figura 2).

De acordo com as idéias de Jardim de Sá (2000), a tectônica rúptil da área possivelmente foi influenciada pelas deformações tardias brasileiras e pós-brasilianas, tendo como resultado falhas, estrias, juntas e fraturas, preferencialmente nas rochas gnáissicas e migmatíticas de idade pré-cambrianas. Este controle estrutural confere as rochas uma porosidade secundária responsável pela acumulação de água nos interstícios das fraturas.

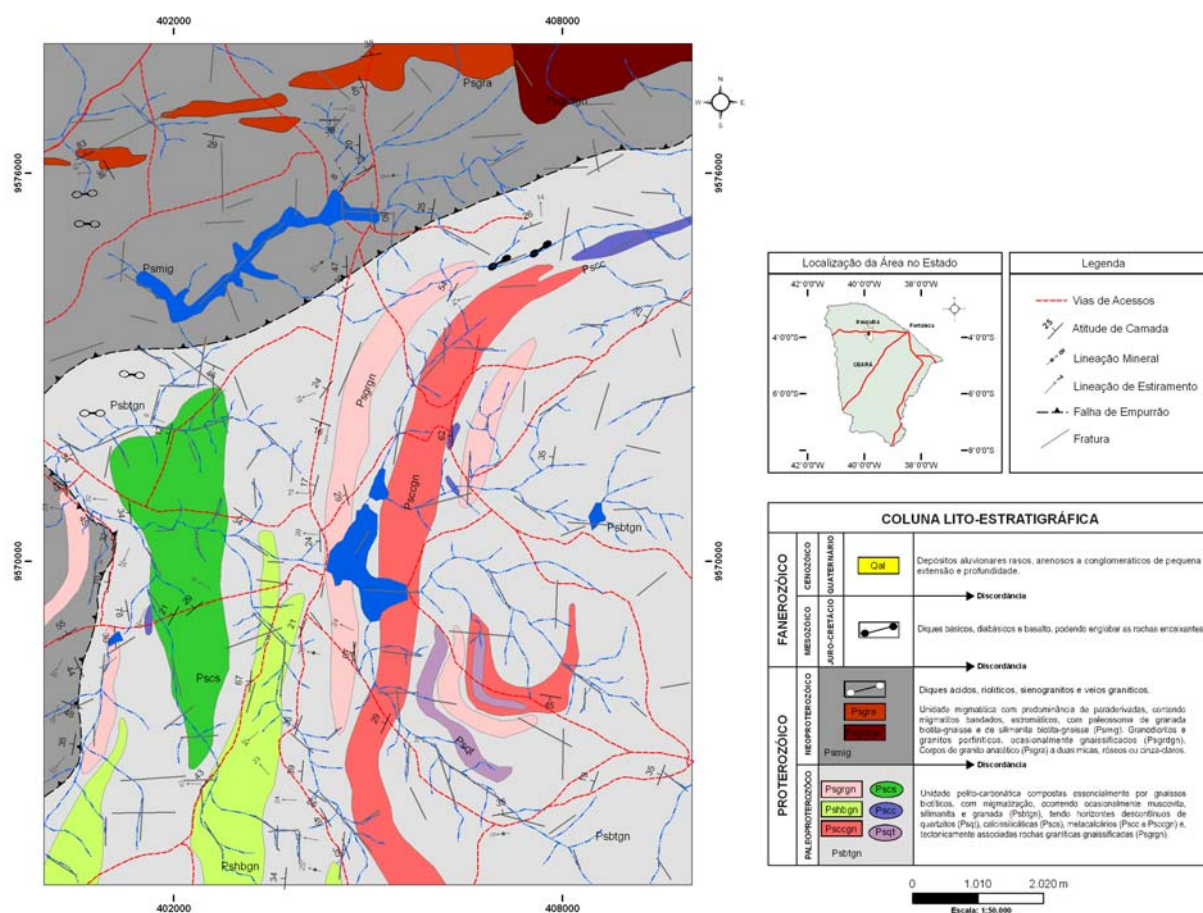


Figura 2 – Mapa geológico da área estudada, modificado de Souza Filho (1998) (coord. UTM; datun: WGS84, MC:-39WGr; Zona: 24).

## 2 Materiais e métodos

Na área em apreço os trabalhos que antecederam a este, visaram a aplicação de geofísica terrestre e aérea, sendo a geologia estrutural colocada, quase sempre, em segundo plano. Os resultados obtidos nestes trabalhos não ofereceram conclusões animadoras referente à determinação de zonas propícias a exploração de água subterrânea.

Portanto neste trabalho utilizou-se a geologia estrutural aliado ao processamento digital de imagens de satélite e a geofísica para confirmação da existência de fraturas.

A metodologia foi dividida em três etapas:

- A primeira etapa compreendeu a aquisição do material bibliográfico de suporte, mapas temáticos e das imagens de satélite.

As imagens do sensor remoto landsat 7 TM e ETM+ foram adquiridas no website da GLCF – Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>), e refere-se a passagem do satélite na órbita 216-063 nas datas de 26/07/1993 (TM) e 07/10/1999 (ETM+). Foi realizado o ajuste no sistema de coordenadas e do *datum* e objetivou a identificação das extremidades da área pelas coordenadas limitantes, e posterior corte das bandas espectrais para facilitar as etapas de processamento das imagens.

A imagem do tipo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) obtida no website da USGS – *United States Geological Survey* (<http://seamless.usgs.gov/>), serviu para o adensamento da rede de drenagem.

A manipulação das imagens foi realizada com auxílio do software ENVI, com seus produtos importados para o *software ArcGis* para serem interpretadas e extraídos os principais elementos, como: alinhamentos, características texturais, drenagem e acesso.

- A segunda etapa consistiu na aquisição dos dados em campo das fraturas registradas nas rochas e da aplicação da geofísica.

Na caracterização das estruturas rúpteis foi utilizado o Método da Frequência Linear, que possibilita a determinação das principais características das famílias fraturas.

O método consiste em traça-se uma linha de medida pré-estabelecida, que deve interceptar o conjunto de estruturas o mais perpendicular possível, constituindo assim uma família de fratura. Para cada família (F1, F2, F3, etc.) foram coletadas medidas de atitude com bússola, espaçamento, abertura entre os planos, preenchimento e demais informações relevantes.

De forma complementar, aplicou-se a geofísica por meio do caminhamento eletromagnético utilizando o equipamento EM-34-3XL, em um poço existente a SW de Juá.

- A terceira etapa consistiu na integração dos dados gerados e na confecção de mapas, gráficos, diagramas e demais produtos.

### **3 Resultados e Discussão**

#### **3.1 Estudo das imagens orbitais**

Com o objetivo de obter o máximo de informações referentes aos padrões lineares e texturais das imagens de satélite foi utilizado o processamento digital. Realizou-se a manipulação dos histogramas de contraste para cada imagem, composições coloridas falsa cor, e aplicação de filtros espectrais de alta frequência (Crosta, 1992).

A alteração de contraste utilizada foi a gaussiana, corrigindo as imperfeições das imagens ao nível do pixel para posteriores processamentos. As composições coloridas falsa cor 451\_RGB TM (Figura 3a) e 754\_RGB ETM+ (Figura 3b) mostraram bons resultados relacionados a diferenças texturais entre camadas, drenagem e acessos.

A aplicação de filtros do tipo passa-altas direcional de alta frequência foi exclusivamente utilizada para a identificação de feições lineares (Figuras 4a e b). Com a interpretação das imagens obteve-se um total de 518 vetores.

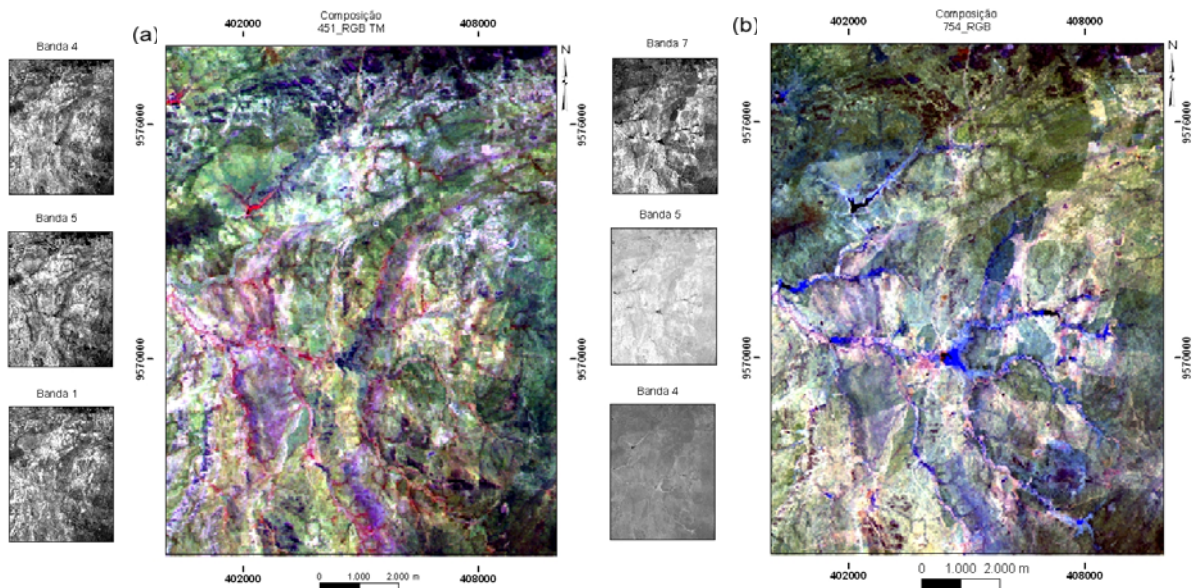


Figura 3 - Composições coloridas falsa-cor entre as bandas 451\_RGB (a) e 734\_RGB (b).

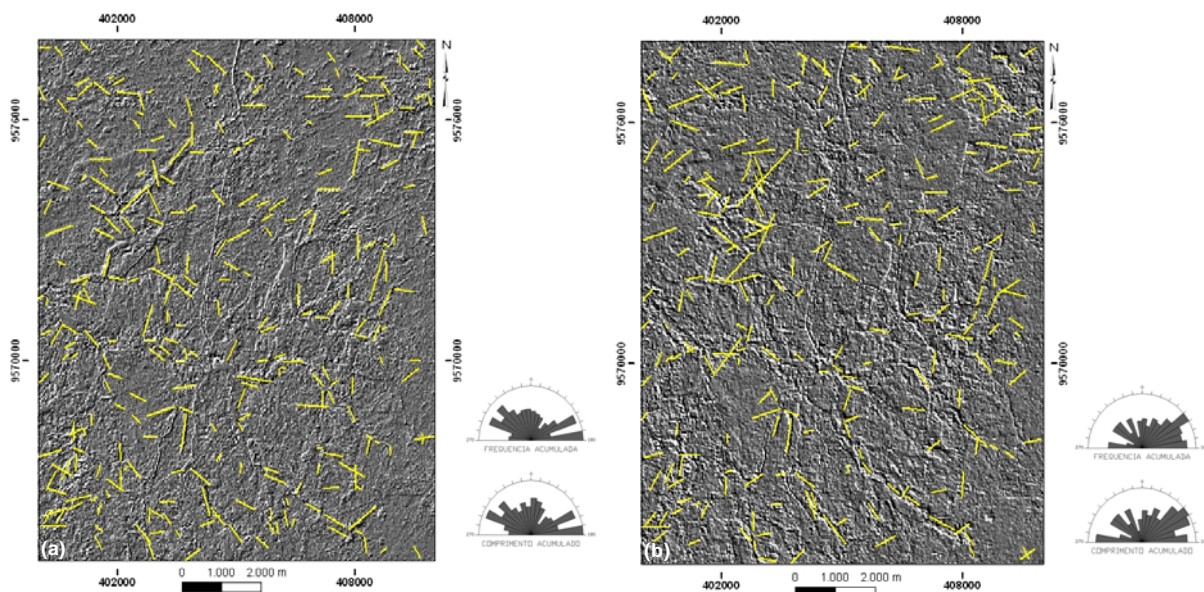


Figura 4 – Aplicação do filtro passa-altas direcional, em imagem pan-cromática do sensor ETM+, do tipo Prewitt (a) e Sobel (b).

### 3.2 Estudo do fraturamento

O estudo das fraturas em campo consistiu na identificação das fraturas e na aplicação do Método da Frequência Linear em todas as exposições rochosas encontradas durante o mapeamento (Figura 5a). Este método consiste na coleta das atitudes de cada feição rúptil que interceptam o mais perpendicular possível uma linha traçada de medida pré-determinada (Figura 5b).

A medida dos traços foi normalizada em 1 metro, obtendo-se assim frequência linear (F). Também foram anotadas outras características, como: O espaçamento (e) que é dado pela distância entre dois planos; abertura (a) que é a distância medida entre os planos que definem uma fratura e a presença de preenchimento, verificado nas aberturas (Figura 5b).

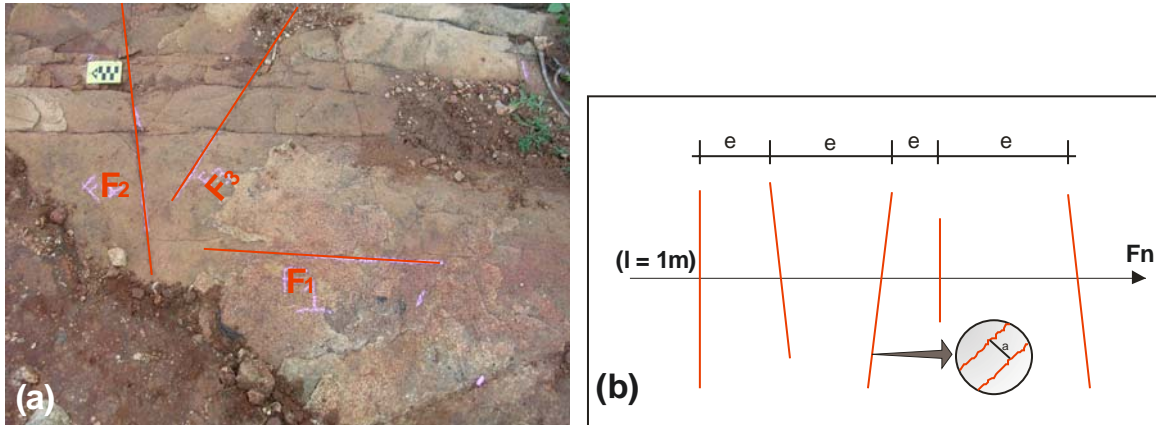


Figura 5 – Principais famílias de fraturas identificadas em rocha (a), e o método de análise das estruturas rúpteis em campo (b).

Coletou-se um total de 764 atitudes de fraturas que por meio do digrama de rosetas revelaram duas direções principais N-S e E-W (Figura 6).

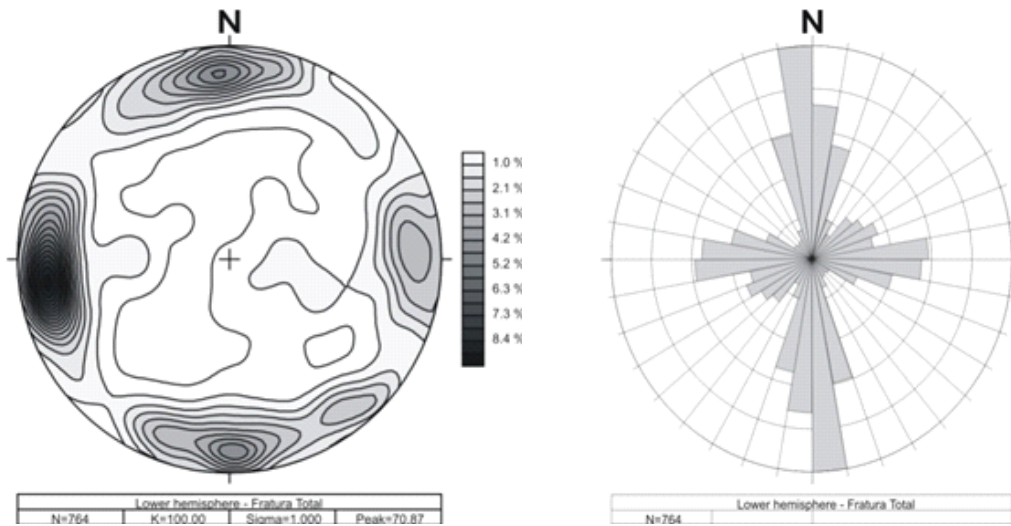


Figura 6 – Diagramas de isolinhas e de roseta obtidos com a o tratamento dos dados obtidos em campo, no total de 764 atitudes de planos de fratura.

Durante o estudo do controle das fraturas nas imediações de cada poço identificou-se a presença de mais duas direções, NE-SW e NW-SE. O raio de influência utilizado abrangeu uma área dependente da existência de poços e de dados interpretáveis. É importante salientar a presença de fraturas subhorizontais em algumas concentrações (Figura 7).

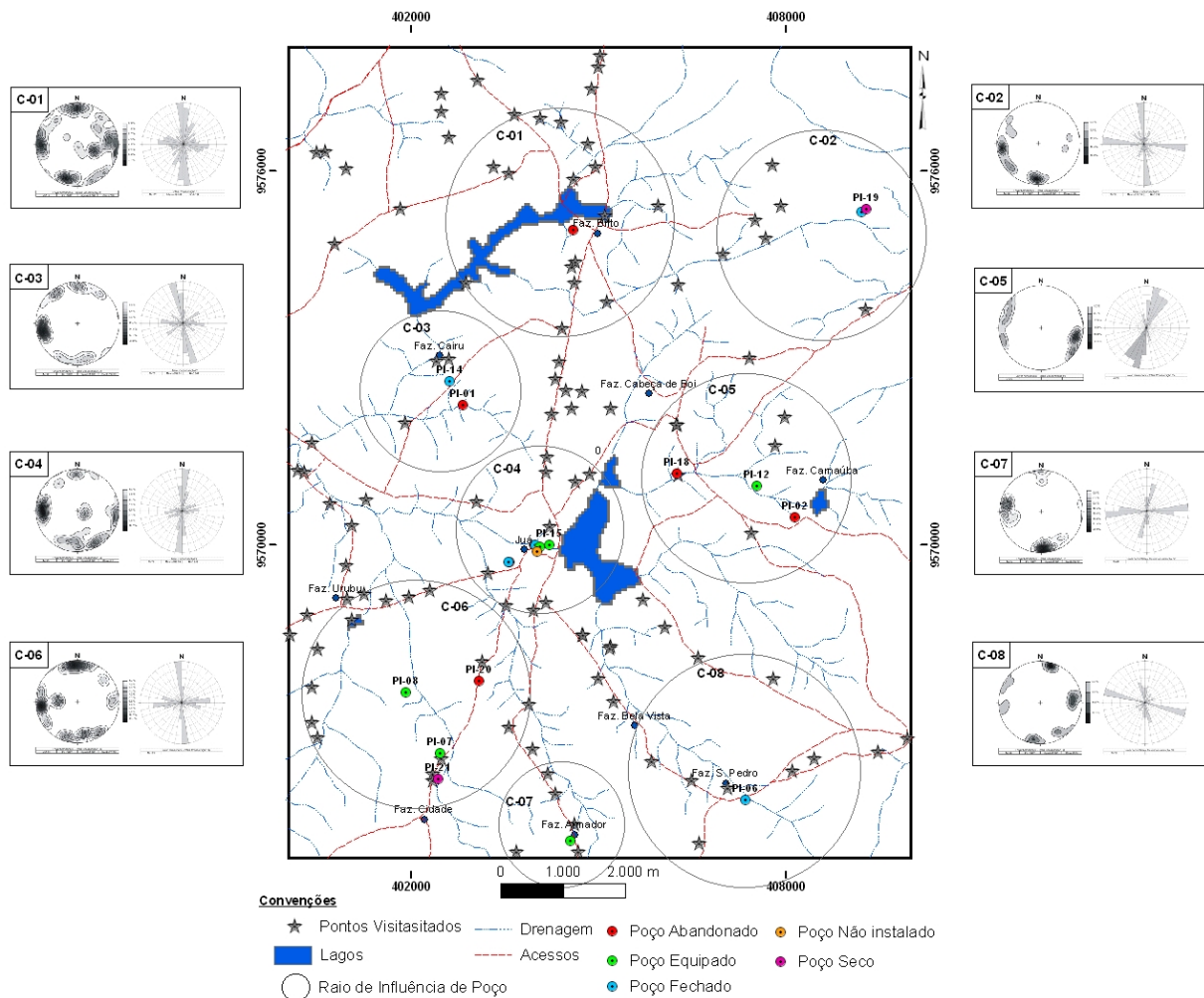


Figura 7 – Mapa da área com pontos visitados e poços locados, mostrando os raios de influências e os diagramas obtidos em cada concentração.

### 3.2 Estudo geofísico

O estudo de Pinéo (2005) identificou por meio da aplicação das técnicas geofísicas, diversas zonas anômalas, com probabilidade de constituírem regiões produtivas. Portanto neste trabalho se utilizou o equipamento EM 34-3XL da Geonics Ltda. para a investigação do subsolo através do caminhamento eletromagnético, no modo dipolo-vertical e horizontal, para confirmar a existência de fratura em profundidade que fora identificada em fases anteriores ao levantamento. Foi revelada uma zona anômala de interesse, correspondente ao *trend* de fratura de direção N-S (Figura 8).

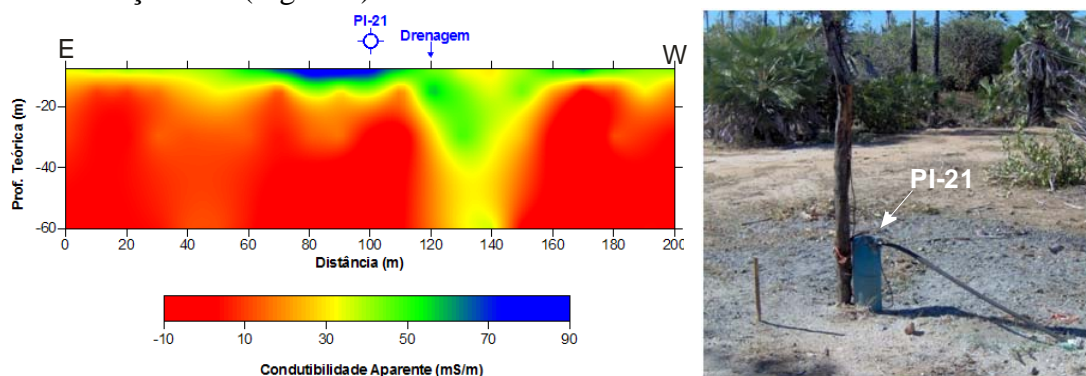


Figura 8 – Pseudo-Seção Transversal do perfil eletromagnético no modo DH, com fotografia mostrando o poço estudado.

#### 4 Conclusões

Os resultados obtidos com a interpretação dos produtos do processamento digital de imagens revelaram, por meio de composições coloridas falsa-cor, principalmente o reconhecimento das diferenças texturais, que representam os contatos geológicos, enquanto a aplicação de filtros de alta frequência e a fusão entre bandas auxiliaram na identificação das feições lineares e a rede de drenagem. Os alinhamentos mais importantes ocorrem com direções E-W, N-S, NW-SE e NE-SW, semelhantes com o estudo em campo.

O Estudo Geológico-Estrutural foi realizado a partir das 764 atitudes de planos de fraturas, onde se identificou direções principais N-S e L-W e secundárias NW-SE e NE-SW.

As fraturas são abertas (1 a 5 cm, em média), em geral, são sub-verticalizadas com mergulhos superiores a 75°, também ocorrendo horizontalizadas, inferiores a 15°. Estas estruturas são normalmente sem preenchimento, podendo estar preenchidas por material pegmatítico ou de alteração superficial.

O estudo das imediações dos poços reforçou a predominância das direções N-S e E-W, e possibilitou a determinação de duas áreas potenciais para exploração hidrogeológica, levando em consideração possíveis fontes de recarga e a presença das fraturas sub-horizontalizadas. A primeira área corresponde a concentração C-01 a norte de Juá e a segunda na C-04 em Juá, com maior possibilidade de sucesso (Figura 7).

A aplicação de geofísica por meio do caminhamento eletromagnético no poço a sul do distrito Juá (PI-21) auxiliou na identificação da fratura em subsuperfície, com o poço de vazão de 2 m<sup>3</sup>/h. Para a configuração do maior alcance, em profundidade, do equipamento, a zona anômala de interesse correspondente ao trend de fraturas de direção N-S.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, por meio do Fundo Setorial de Recursos Hídricos – CT\_Hidro do Ministério de Ciência e Tecnologia, processo 134508/2004-1.

Ao projeto Prodoc/CAPES/UFC - Prospecção de Águas Subterrâneas em Terrenos Cristalinos no Estado do Ceará.

A FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) através da parceria e ações conjuntas com o Programa de Pós-Graduação em Geologia – UFC.

A Fundação Núcleo da Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC.

#### Referencias bibliográficas

Crosta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, Ed. rev., 1992. 170p.

Feitosa, F. A. C.; Souza Filho, O.A. de; Vieira, A.T.; Vasconcelos, S.M.S.. **Caracterização hidrogeológica da Região de Irauçuba-CE**. Recife, Anais.. III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, p.35-46. 1998.

Pinéo, T. R. G. **Integração de Dados Geofísicos, Geológicos e de Sensores Remotos Aplicados à Prospecção de Água Subterrânea em meio Fissural (distrito de Juá, Irauçuba/Ce)**. 2005. 126p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geologia - UFC. Ceará. 2005.

Souza Filho, O. A. de. **Geologia e Mapa de Previsão de Ocorrência de Água Subterrânea Folha SA. 24-Y-D-V – Irauçuba, Ceará**. 1998. 99 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de geologia, escola de Minas – UFOP. Minas Gerais. 1998.