

# POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO APLICADAS A POÇOS ARTESIANOS EM ROCHAS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMONTO NA BACIA DO RIO JQUIRIÇÁ, REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO ESTADO DA BAHIA.

Décio Alves Pereira<sup>1</sup>; Wellington de Souza Nobreza<sup>2</sup> & Lucas Rafael Louzeiro Marçal<sup>3</sup>

## RESUMO

Em hidrogeologia existe uma dificuldade natural na exploração de águas subterrâneas em aquíferos fissurais devido à imprevisibilidade dos sistemas de armazenamento de água, sistemas esses que são compostos principalmente por fraturas, sendo muitas vezes de difícil determinação o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e pequena extensão.

Uma ferramenta muito utilizada para contribuir com a exploração desses aquíferos é o sensoriamento remoto, este através de imagens de satélite dispõe de informações relevantes quando interpretadas de maneira adequada às necessidades de cada trabalho. A Bacia Hidrográfica do Rio Jequiriçá, localizada na região centro leste do Estado da Bahia, ocupa uma área de 6.900 km<sup>2</sup>. Para o desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados os conhecimentos de geologia estrutural e hidrogeologia aliada ao processamento digital de imagens de satélite para confirmação da existência de fraturas, que foram processadas nos *softwares Envi 4.7 e Erdas Imagine 2010* objetivando realçar estruturas de lineamento nas diversas direções, unificados com uma base de dados de poços gerados pela CERB (Companhia de Engenharia Rural da Bahia) com um total de 75 (setenta e cinco) poços. Através da análise estatística dos poços, constatou-se que os valores mínimos e máximos de vazão específica foram respectivamente 0,006 m<sup>3</sup>/h/m e 0,745 m<sup>3</sup>/h/m.

## ABSTRACT

In hydrogeology there is a natural difficulty in exploiting groundwater in fractured aquifers due to the unpredictability of water storage systems, that these systems are mostly fractures and are often

1) Décio Alves Pereira<sup>1</sup>, Rua Anibal Alves Barbosa, 175, Primavera, 47.803-090, Barreiras-BA, estudante da Universidade Federal do Oeste da Bahia-UFOB 77-99713037, decio.a@gmail.com

2) Wellington de Souza Nobreza<sup>2</sup>, Rua Maranhão, Primavera, 47.804-100, Barreiras-BA, estudante da Universidade Federal do Oeste da Bahia-UFOB 77-99713037, wnobreza@hotmail.com

3) Lucas Rafael Louzeiro Marçal<sup>3</sup>, Rua Maranhão, Primavera, 47.804-100, Barreiras-BA, estudante da Universidade Federal do Oeste da Bahia-UFOB 77-91301707, lucaszona8@hotmail.com

difficult to determine which translates by random, discontinuous reservoirs and small extension. A very useful tool to contribute to the exploitation of these aquifers is remote sensing, this via satellite images have relevant information when interpreted appropriately to the needs of each job. The Jequiriçá River Basin, located in the eastern center of the state of Bahia, occupies an area of 6,900 km<sup>2</sup>. To develop this work, knowledge of structural geology and hydrogeology combined with digital processing of satellite images to confirm the existence of fractures were used, that were processed in software Envi 4.7 and ERDAS IMAGINE 2010 aiming to highlight lineament structures in several directions, with a unified data base of wells generated by CERB (Rural Engineering Company of Bahia) with a total of 75 (seventy five) wells. Through statistical analysis of the wells, it was found that the minimum and maximum values of specific discharge were respectively 0.006 m<sup>3</sup>/h/ m and 0.745 m<sup>3</sup>/h/m.

**PALAVRAS CHAVE:** LINEAMENTOS, SENSORIAMENTO REMOTO, HIDROGEOLOGIA.

## **1-Introdução**

Em hidrogeologia existe uma dificuldade natural na exploração de águas subterrâneas em aquíferos fissurais devido à imprevisibilidade dos sistemas de armazenamento de água, sistemas esses que são compostos principalmente por fraturas, sendo essas muitas vezes de difícil determinação o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro desse contexto, em geral as vazões produzidas são pequenas, em função da falta de circulação, dos efeitos do clima semi-árido e do tipo de rocha, e a água é na maior parte das vezes salinizada. Essas condições definem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas, sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa no abastecimento no caso de pequenas comunidades, ou como reserva estratégica em períodos de seca. Um dos fatores limitantes para exploração do aquífero fissural está relacionado à sua heterogeneidade e anisotropia. Disso resulta uma enorme dificuldade para dimensionar o potencial hídrico do Domínio Cristalino.

Segundo Rebouças, 1973 (in Albuquerque, 1984) consideram que 1/3 da área total do Cristalino do Nordeste se constitui de zonas aquíferas. Siqueira (1963) estabelece que o volume que influencia a produção de água numa área fraturada é de 50% do volume total. O comportamento hidráulico das rochas cristalinas é diferente nos aquíferos granulares, nestes a vazão tende a crescer proporcionalmente com a espessura do aquífero, enquanto que no cristalino, a vazão é em função

das características de cada zona fraturada. Por isto, o parâmetro profundidade do poço não exerce influência direta na sua produção, pois não é representativo das características hidráulicas do meio aquífero. É fundamental, no entanto, a definição da entrada d'água mais profunda do poço, pois é ela que vai definir a profundidade útil do poço. Rebouças (1972) realizou um levantamento estatístico na região cristalina do Nordeste, concluindo que 94% das entradas d'água ocorrem a uma profundidade máxima de 70 metros, sendo que apenas 5% delas ocorrem entre 60 e 70 metros.

O presente trabalho tem como objetivo expor métodos que facilitem a identificação dos sistemas de fraturas, com uma relativa importância para a hidrogeologia, fazendo uso das imagens do sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT-5 e do sensor ETM+ a bordo do Landsat-7, sendo utilizadas apenas as bandas 4, 5 e 7, onde a banda 4 corresponde à faixa do NIR (*Near Infrared*), a banda 5 e 7 obedecem a faixa do SWIR (*Short Wave Infrared*) e também imagens de radar SRTM.

A bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá, localizada na região centro leste do Estado da Bahia (figura 1), ocupa uma área de 6.900 km<sup>2</sup>. Com características climáticas diversificadas. Ao longo do percurso do rio, da sua nascente até o encontro com o mar são encontradas vegetações de caatinga sucedida por florestas remanescentes da Mata Atlântica (Baixo Jiquiriçá), ambas bastante descaracterizadas pela ação antrópica (Governo do Estado da Bahia, 1995).<sup>5</sup>

Utilizou-se as imagens obtidas na passagem do satélite (01/12/2003 e 22/01/2007, sendo coberta por imagens digitais do satélite ETM+/Landsat-7 e TM/Landsat-5, órbita 216-069 e 217-069 ); imagens essas que apresentaram uma grande quantidade de cobertura de nuvens devido à localização da área de estudo que está situada na zona costeira no Recôncavo Sul do Estado da Bahia – Brasil. As imagens orbitais foram processadas com o auxílio do programa ENVI e ERDAS onde foram empregados os filtros do tipo passa-altas direcionais que têm como maior aplicação os estudos geológicos de identificação e análise de lineamentos (Mather, 1999)<sup>7</sup>. Os filtros direcionais têm como objetivo realçar as feições em direções pré-determinadas que são definidas pelos coeficientes dos filtros.

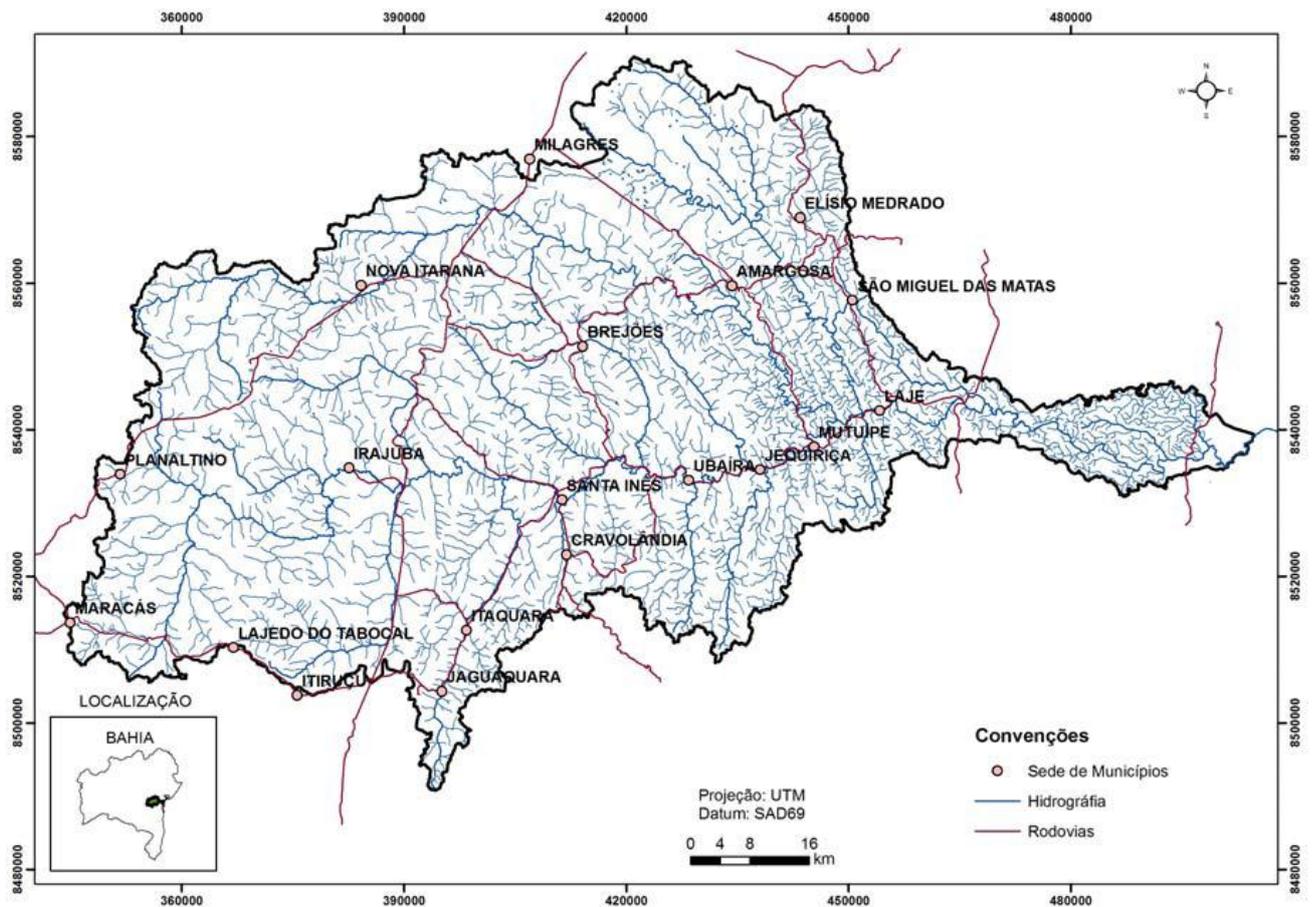


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Barbosa, 2009.<sup>3</sup>

## 2. Reologia Regional

A evolução do Cráton São Francisco ocorreu segundo uma complexa história deformacional que envolveu o encurtamento e a colisão de blocos crustais, associado com o desenvolvimento de mega cavalgamentos e imbricações tectônicas (Barbosa & Sabaté, 2004). Separando os blocos por zonas de cisalhamento regionais pela aglutinação. O Bloco Jequié (Barbosa & Sabaté, 2000) é constituído por rochas metamórficas de fácies granulito composto por ortognaisses, migmatitos e rochas de composição charnockitos-enderbitos todas datadas de 2,7-2,6 Ga. O Bloco Jequié foi interpretado como estando superposto e em contato tectônico com as rochas do Bloco gavião através do Lineamento Jacobina-Contendas-Mirante (Andrade Filho et al., 1999; Barbosa & Sabaté, 2004).

A Bacia Hidrográfica do Rio Jiquiriçá encontra-se localizado na região semi-árida do Estado da Bahia, geologicamente está sobre o domínio das rochas cristalinas do Complexo Jequié e associadas as coberturas Terciária-Quartenárias. A hidrogeologia apresenta duas unidades aquíferas litoestratigráficas que corresponde às áreas do embasamento cristalino, sendo denominado domínio

fissural, sobre o embasamento cristalino podem ser encontradas coberturas de material detrítico Terciário-Quaternário, sendo denominado domínio granular/fissural.

### **3. Metodologia**

Para o desenvolvimento desse alho, foram utilizados os conhecimentos de geologia estrutural e hidrogeologia aliados ao processamento digital de imagens de satélite para confirmação da existência de fraturas, que foram processadas no programa ENVI e no ERDAS objetivando realçar estruturas de lineamento nas diversas direções; unificados com uma base de dados de poços gerados pela CRBE (Companhia de Engenharia Rural da Bahia) com um total de 75 (setenta e cinco) poços. A princípio utilizando o ArcGIS gerou-se um arquivo shapefile com os dados de poços os quais foram divididos em seis categorias através da vazão específica, sendo a mesma um bom indicador dos padrões hidrodinâmicos do poço. Posteriormente, com o objetivo de identificar os possíveis lineamentos estruturais nas imagens TM e ETM+, foram utilizadas técnicas de: Composição Colorida, Registro, Recorte, Mosaico e Filtragem. Na técnica de composição colorida que tem como função sintetizar numa única imagem a informação contida em três bandas na qual foram escolhidas as bandas 4, 5 e 7, onde foi gerada uma nova imagem e através dessa composição nos possibilitou uma melhor interpretação visual da imagem. No registro, foi utilizada a ferramenta AUTO SYNC que é uma das ferramentas do Erdas. Empregou-se como referencia uma cena Geocover Landsat ortorretificada disponibilizada gratuitamente pela NASA. Para a realização do mosaico das cenas que compõem a área de estudo, usou-se a ferramenta Mosaic-Pro também do ERDAS que forneceu bons resultados mesmo as imagens sendo de datas e sensores diferentes, como mostra na figura 02. É pertinente salientar que a linha demonstrada na referida imagem é um ruído o qual não conseguimos reparar com auxílio de filtros devido a, devido à grande quantidade de pixels sem valor.

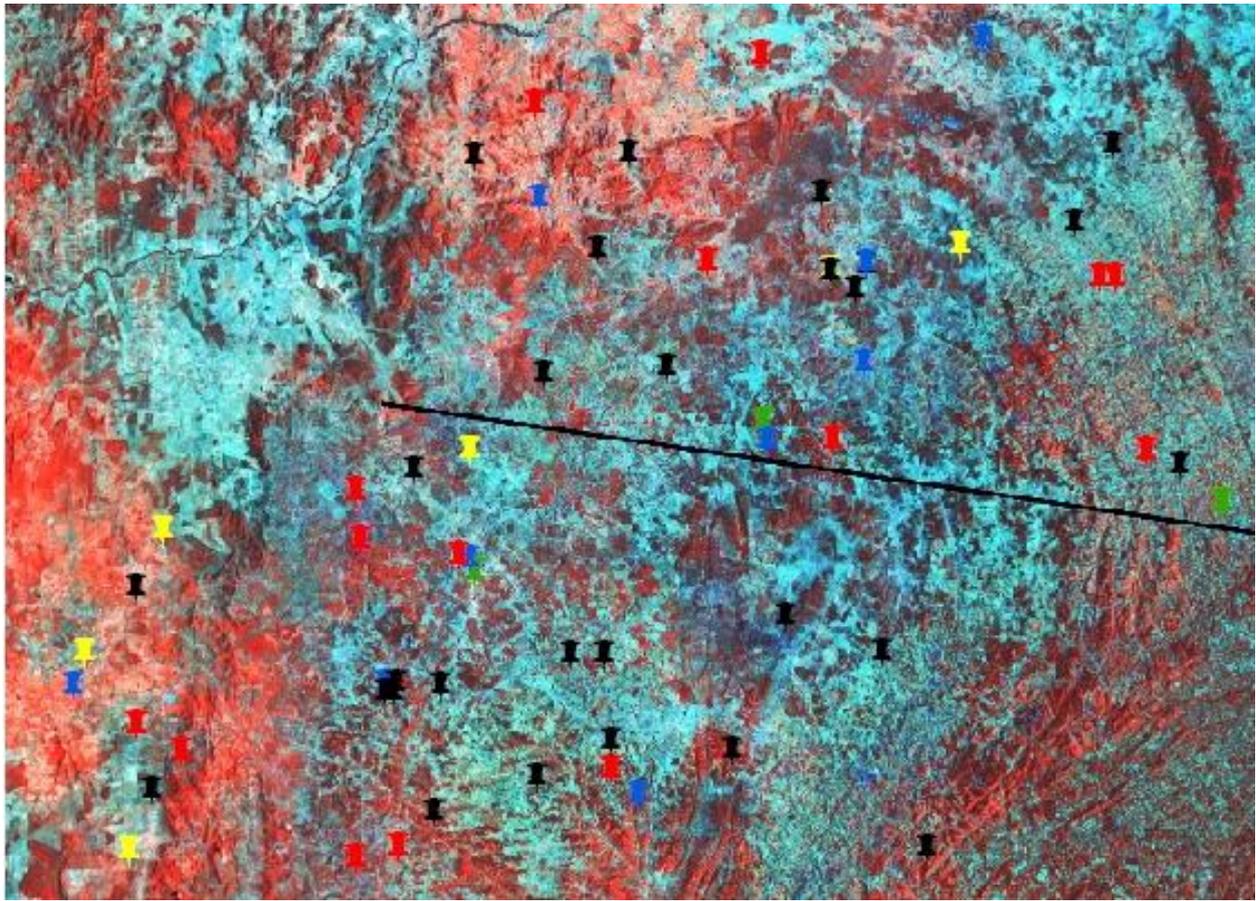


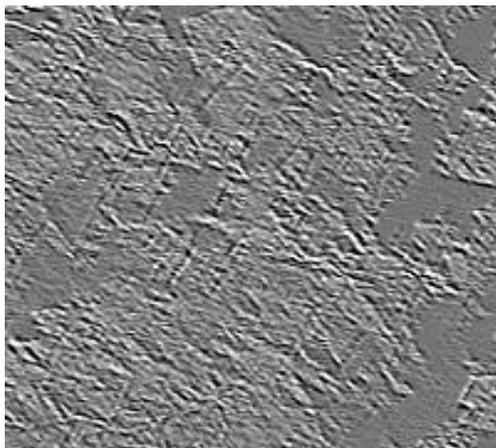
Figura 02. Mosaico da área de estudo com os poços.

Quatro filtros em diferentes direções (Figura 3) foram utilizados, gerando assim quatro imagens filtradas. As siglas N, S, NW, NE, SE, SW denotam as direções norte, sul, noroeste, nordeste, sudeste, e sudoeste (Figura 4). O processo de filtragem foi aplicado somente na banda 5, visto que esta apresenta uma melhor definição das feições de interesse.

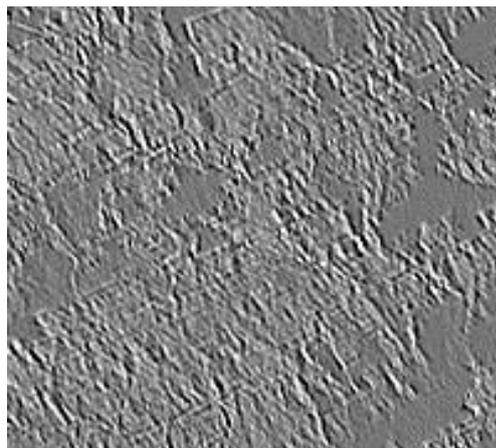
W NW - E SE			N NW - S SE			NW - SE			NE - SW		
1	-2	-2	1	1	-2	2	-1	-2	-2	-1	2
1	4	1	-2	4	-2	-1	4	-1	-1	4	-1
-2	-2	1	-2	1	1	-2	-1	2	2	-1	-2

Figura 3. Filtros direcionais utilizados. Fonte: Andrades, 2009.<sup>4</sup>

W NW – E SE



N NW – S SE



NW – SE



NE - SW

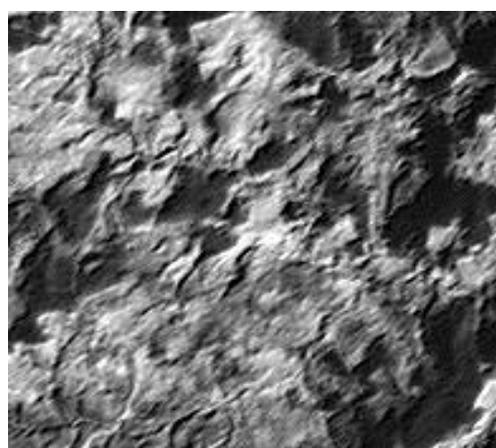


Figura 04. Filtros direcionais

### 3- Resultados e Discussão

Na área em apreço os trabalhos que antecederam a esse, visaram à aplicação da geologia estrutural e da hidrogeologia, sendo a geologia estrutural colocada, sempre, em primeiro plano. Os resultados obtidos nestes trabalhos ofereceram conclusões animadoras referentes à determinação de zonas propícias a exploração de água subterrânea.

Onde através das análises estatísticas de 75 (setenta e cinco) poços, nos quais os valores mínimos e máximos de vazão específica são respectivamente, 0,006 m<sup>3</sup>/h/m e 0,745 m<sup>3</sup>/h/m e foram apresentados poços com vazão específica zero, pois os mesmo não estavam localizados em zonas com fraturas saturadas. Notou-se, por meio do processamento de imagens, que produtividade dos poços estudados está fortemente associada às fraturas que ocorrem naquela área.

Diante dos resultados das análises estatísticas realizadas com base na diferença entre as vazões dos poços, foi elaborado um mapa de localização dos mesmos, que estão situados nas zonas de fraturas

onde foi possível dividi-los em cinco classes por vazão específica, como demonstrado na figura 2. A primeira classe vai de 0 – 0,04 m<sup>3</sup>/h/m e se encontra assinalada no mapa em vermelho, a segunda classe vai de 0,04 - 0,095 m<sup>3</sup>/h/m está marcada no mapa em laranja, a terceira categoria na cor amarela contem poços com vazão que vão de 0,095 – 0,25 m<sup>3</sup>/h/m, a quarta categoria apresenta vazões que variam entre 0,25 e 0,4 m<sup>3</sup>/h/m e esta representada no mapa pela cor verde e por fim a quinta classe que está representada pela cor azul com vazões específicas que vão de 0,4 - 0,8 m<sup>3</sup>/h/m. Neste trabalho, subprodutos SRTM-30 m do projeto TOPODATA (Valeriano, 2005) são utilizados. Em particular, utilizou-se imagens derivadas de uma representação numérica da orientação de vertentes, definida como ângulo azimutal de maior inclinação do terreno. Este produto proporciona uma percepção tridimensional coerente com a estrutura do terreno, que é eficiente na análise tectônica (Andrades, 2009). Após as análises das imagens, foi constatado que os poços com menores vazões não estão associados a zonas de fraturas ou estão associados a fraturas de pequeno porte enquanto que os poços com maior vazão estão em áreas com maior densidade de fraturas, como mostra a figura 05.

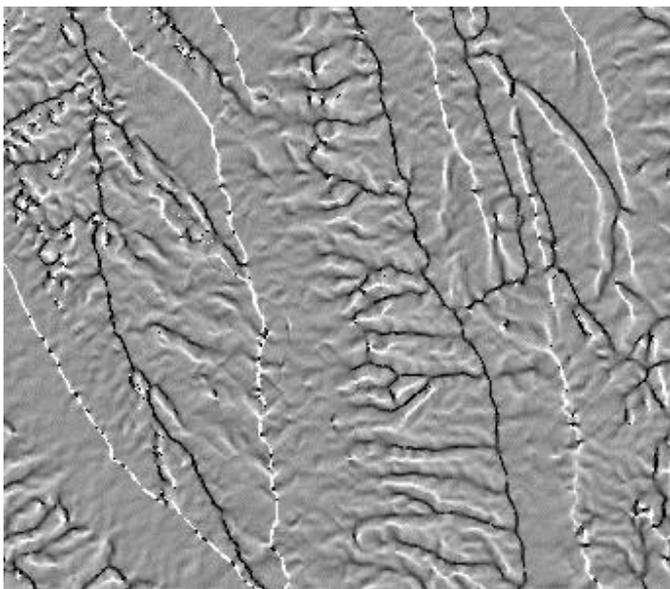


Figura 05 Imagem SRTM usada para as inferências de produtividade com base nos lineamento

#### **4- Conclusão**

Através dos dados gerados pelas plataformas orbitais Landsat 5 e 7 e também de dados SRTM é possível a elaboração de mapas que facilitem na interpretação de lineamentos e integrando com os dados hidrodinâmicos de 75 (setenta e cinco) poços cadastrados pela CERB, onde ficou evidente que as diferenças entre as vazões específicas se devem ao contexto geológico estrutural da área.

É importante ressaltar que em hidrogeologia existem outros critérios a serem analisados e levados em conta para alocação de poço, como por exemplo, declividade do terreno, litologia, padrões de

drenagem além de visitas em campo. É respeitável ainda considerar que as imagens usadas têm resolução espacial de 30m por isso sempre que possível é pertinente aplicar imagens com melhor resolução ou fotografias aéreas permitindo uma melhor localização das fraturas.

## 5- Agradecimentos

Os autores agradecem aos professores da UFBA-ICADS (Camila Anjos, José Claudio Viegas, Elane Borges e Joana Luz), pelo apoio e colaboração.

## 6-Referencias bibliográficas

<sup>1</sup>Alvarenga, R. S.; Saldanha, D. L.; Sommer, C. A.; Sommer, J. A. P.; Lima, E. F.; Pierosan, R. Aplicação Comparativa dos Produtos dos Sensores TM-LANDSAT 5, CCD - CBERS2 e ASTER - TERRA no Mapeamento Geológico na Região do Platô da Ramada, RS. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia.

<sup>2</sup>Anais. São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p 1-8. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em:<[http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers\\_XIIbsr/225\\_INIC\\_simpbrasil2005\\_2pdf](http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIIbsr/225_INIC_simpbrasil2005_2pdf)>. Acesso em: 14 ago. 2008 Crosta, A. P.

<sup>3</sup>Barbosa F. N. Capacidade de uso das terras na bacia hidrográfica do Jequiçá, recôncavo sul da Bahia1, CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line. <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> ISSN 1678-6343

<sup>4</sup>Crosta, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Campinas, SP: IG/UNICAMP,Ed. rev., 1992. 170p.

<sup>5</sup>GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, Secretaria de Recursos Hídricos e Superintendência de Recursos Hídricos: Plano Diretor de Recursos Hídricos – Bacia do Recôncavo Sul, Vol. 1 a 8. Salvador, 1995.

<sup>6</sup>Joselisa M. C, Washington J. S. Geotecnologias: Trilhando Novos Caminhos nas Geociências,Salvador:SGB, 2006.222;il.

<sup>7</sup>Mather, P. M. Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction. 2 ed., Chichester, John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

<sup>8</sup>(NASA oferece gratuitamente as imagens de 2000, satélite Landsat 5 e 7, de todo globo: <http://zulu.ssc.nasa.gov./mrsid>.

<sup>9</sup>Valeriano, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1-8. CD-ROM, On-line.

ISBN85-17-00018-8.

Disponível

em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2008