

# Aplicação de técnicas de Processamento Digital de Imagens para a caracterização do padrão dos lineamentos frágeis na região de Santana do Acaraú – CE.

Julio Alexandre Almeida de Carvalho<sup>1</sup>  
Fernando César Alves da Silva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>UFRN/PPGG – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica  
Caixa Postal 1596 – 59078-970 – Natal – RN – Brasil  
jaalmeidacarvalho@hotmail.com

<sup>2</sup>Pesquisador do CNPq.  
fernando@geologia.ufrn.br

**Abstract:** This work focused the brittle deformation of a siliciclastic body (sandstone with conglomeration) outcropping near Santana do Acaraú city (Ceará-state, Brasil), and its basement (mainly gneissic rocks). By using Landsat images the lineaments were identified and classified according to their directions. A terrain digital model was built and stressed the information of the faults controlling the geometry of the siliciclastic body. The brittle deformation is interpreted as due to a high crustal level reactivation of a mega ductile shear zone known as Sobral-Pedro-II lineament. This area is taken as analogous of the deformation acting also in the basins of the Brazilian equatorial margin.

**Palavras-chave:** brittle deformation, remote sensing, lineaments, deformação frágil, sensoriamento remoto, lineamentos.

## 1. Introdução

A deformação em nível crustal raso tem grande influência no caráter permeoso do meio e, por conseguinte, no fluxo de fluidos. Tendo em vista as dificuldades encontradas para a caracterização da deformação frágil unicamente com dados de subsuperfície, vários estudos estão sendo direcionados ao detalhamento das porções emergentes das bacias sedimentares e de seus substratos, em busca de análogos da deformação.

Neste intuito, a região de Santana do Acaraú foi selecionada para a realização de estudos estruturais que pudessem servir de análogos da deformação frágil que atingiu as bacias da margem equatorial brasileira. Nesta região encontra-se um corpo arenítico conglomerático correlacionado a Formação Ipú do Grupo Serra Grande (Bacia do Parnaíba), controlado por falhas de bordas relacionadas ao Lineamento Sobral Pedro II, cuja reativação foi responsável pelo intenso fraturamento do corpo e do seu substrato.

Com o estudo do padrão dos lineamentos (falhas/fraturas) observados na região busca-se estabelecer analogias com a deformação existente nas bacias da margem equatorial uma vez que a deformação frágil observada é decorrente dos mesmos eventos deformacionais.

Para isso o estudo da deformação frágil na escala macroscópica foi realizado por meio da aplicação de Processamento Digital de Imagens para extração de lineamentos (falhas/fraturas), técnica bastante empregada e com a qual se obtém excelentes resultados. Onde os mapas bases de lineamentos obtidos por interpretação e análise de imagens de satélite são uma importante ferramenta para os estudos da deformação frágil.

## 2. Localização

A área estudada localiza-se no município de Santana do Acaraú no extremo noroeste do estado do Ceará, a aproximadamente 255km de Fortaleza, pela BR-216, no sentido Fortaleza-Sobral (**Figura 1**).

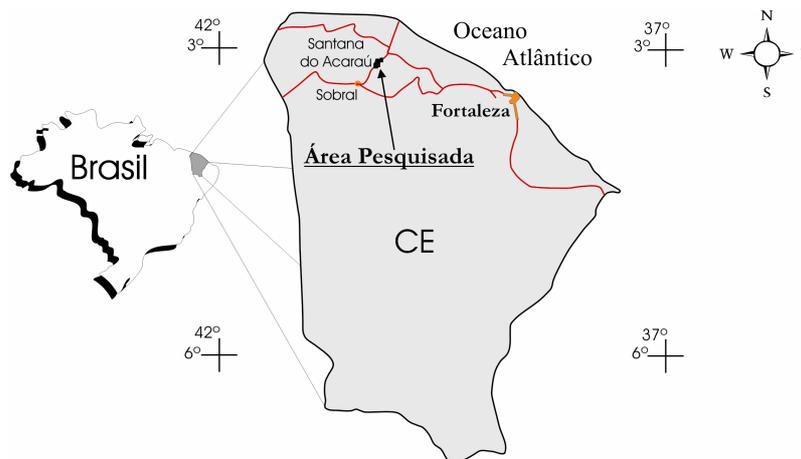


Figura 1: Mapa de localização

### 3. Geologia Regional

A região estudada encontra-se inserida no contexto da Província Borborema, mais especificamente na zona de transição do Domínio Noroeste do Ceará e o Domínio Ceará Central.

O Domínio Noroeste do Ceará situa-se entre a margem retrabalhada do Cráton São Luís, a Bacia do Parnaíba e o megalineamento brasileiro Sobral Pedro II (LSP-II), que corresponde a um seguimento do Lineamento Transbrasiliano. A atuação deste megalineamento em conjunto com outras zonas de cisalhamento de direção NE deforma intensamente esta região.

O LSP-II, que atravessa a área de estudo, representa uma importante exposição de uma mega zona milonítica que se estende desde o Paraguai, passando pelo SW brasileiro e estendendo-se para o NE alcançando a África Ocidental.

Geologicamente a área de estudo é constituída por rochas gnáissicas (para e ortoderivadas), por rochas do Grupo Jaibas (conglomerados polimíticos, filitos, xistos e seqüências vulcânicas) e por conglomerados, arenitos conglomeráticos e arenitos médios a grossos (correlatos a Formação Ipú do Grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba) além de uma cobertura Terciária/Quaternária.

O corpo siliciclástico se apresenta como uma estrutura sinformal alongada na direção NE-SW, sendo controlado por falhas de *trend* geral NE. Essas falhas são interpretadas como decorrentes da reativação do LSP-II, durante um evento transpressional, que promoveu o intenso basculamento das camadas e a deformação frágil observada (Alves da Silva *et al.* 2004).

### 4. Metodologia

A caracterização do padrão dos lineamentos relacionados a deformação frágil atuante na região foi realizada através do processamento de imagens de satélites do sistema TM/Landsat - 5, correspondendo a cena 218-062, data de passagem 23/08/1992 e georeferenciadas segundo as cartas do SGB folhas Bela Cruz (SA.24-Y-I) e Itapipoca (SA.24-Y-II), utilizando-se os programas Er-Mapper 6.1 e ArcView 3.2.

As imagens TM/Landsat - 5 realçam as formas de relevo e também os contrastes tonais entre unidades distintas (Queiroz *et al.* 2000). Os produtos utilizados para o processamento e determinação dos lineamentos foram às bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7 do sensor

TM; composições coloridas de diferentes bandas no sistema R (vermelho) G (verde) B (azul); imagens geradas por Transformação por Principal Componente (PCs); imagens geradas por técnicas de razão de bandas; e imagens filtradas com filtros de convolução.

O processamento iniciou-se com a análise estatística das imagens para a determinação das composições que fornecessem o maior número de informações espectrais da área. Posteriormente foram criadas composições no sistema RGB que serviram como referência para a extração dos lineamentos frágeis.

Para a determinação dos lineamentos foram empregadas técnicas de filtragem direcional, utilizando-se diferentes filtros direcionais (Sobel, Prewitt e Kirsch, com diferentes configurações) sobre a PC 2 das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

O programa utilizado para o processamento das imagens orbitais foi o ErMapper 6.1 e a análise digital para a extração dos lineamentos foi realizada visualmente através do programa ArcView 3.2, onde as principais feições lineares de relevo e feições lineares de drenagens, que são indícios da ocorrência de falhas e fraturas foram digitalizadas, para a geração de mapas de lineamentos.

Para a seleção dos melhores métodos de filtragem no realce dos lineamentos para análise estrutural, foi considerada a eficiência dos filtros no destaque dos lineamentos orientados em direções diferentes daquela do realce preferencial.

Nas técnicas de realce digital por filtragem direcional são assinaladas as altas frequências espaciais das imagens expressas pelas transições de níveis de cinza associadas aos lineamentos.

Os principais critérios de identificação dos lineamentos são as descontinuidades estruturais, os alinhamentos de escarpas e vales, traçados retilíneo da drenagem superficial, variações bruscas de litologias e de densidade de drenagem associadas e padrões de vegetação orientadas segundo direções preferenciais.

Estas feições foram analisadas segundo sua posição espacial, direção, comprimento, sendo geradas rosetas para a caracterização das principais direções do macrofraturamento da região.

Posteriormente para melhor compreensão dos efeitos da deformação frágil na região foi confeccionado um modelo digital do terreno utilizando-se os programas ArcView 3.2 e Surf 8, onde as cartas topográficas (escala 1:50000) foram digitalizadas e suas cotas topográficas vetorizadas. Após esta etapa foi realizada a gridagem da área e por último a interpolação dos dados altimétricos através do método de triangulação, gerando o modelo digital do terreno.

## 5. Resultados

Através do processamento das imagens de satélites algumas composições se destacaram como base de comparação para a extração dos lineamentos, dentre as quais se destacou a composição RGB – PC 1, PC 2, PC 3 (**Figura 2**). Esta composição apresentou boa resposta na individualização dos diferentes litotipos e na visualização de estruturas, permitindo a diferenciação das unidades de paisagens bem como dos lineamentos dúcteis e frágeis.

A PC 2 foi a imagem que mais se destacou no reconhecimento das formas e padrões de relevo, e dos principais lineamentos estruturais ocorrentes na área de estudo (**Figura 3**). A análise estatística da imagem mostra que a PC 2 possui uma maior contribuição da banda 4, que é a banda que melhor se aplica no reconhecimento das formas e padrões do relevo, além das informações espectrais das outras bandas do sistema Landsat TM utilizadas, destacando-se no reconhecimento das feições lineares.

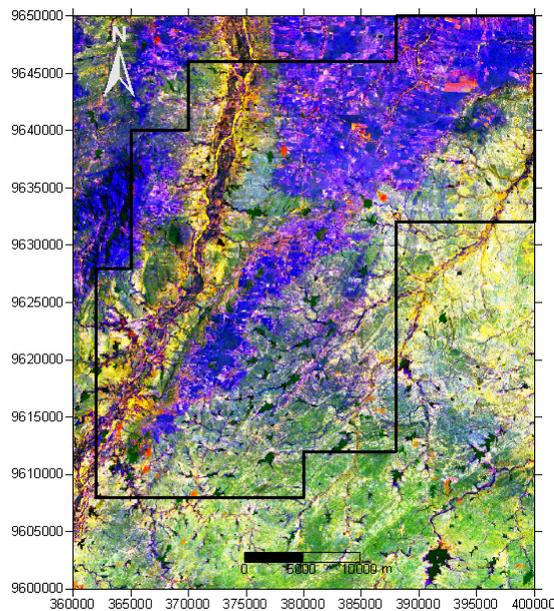


Figura 2: Imagem RGB-PC1PC2PC3, com delimitação da área de estudo.

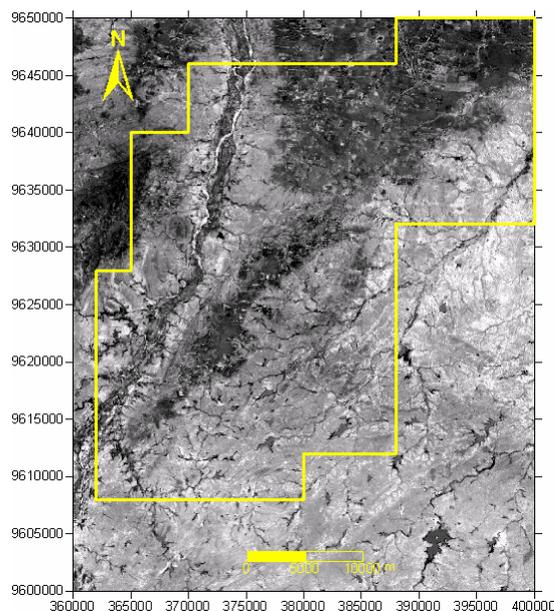


Figura 3: PC2 gerada a partir das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sistema TM/LANDSAT-5, com delimitação da área de estudo

Sobre a PC 2 foram aplicadas técnicas de realce digital por filtragem direcional onde são assinaladas as altas frequências espaciais das imagens expressas pelas fortes transições de níveis de cinza associadas aos lineamentos. Os filtros passa-altas realçam as altas frequências da imagem, aumentando as variações entre os níveis de cinza, realçando as bordas em direções pré-determinadas, sendo muito empregados para realçar feições lineares de relevo, tais como falhas, fraturas, contatos geológicos além de outras feições lineares (Klein *et al*, 1999).

Os filtros passa-altas direcionais possuem seus pesos distribuídos assimetricamente ao redor de um eixo hipotético. Assim direções a serem realçadas são perpendiculares a esse eixo

hipotético, sendo que o realce se dá num intervalo de 45° para ambos os lados em relação à direção de realce (Crosta, 1993).

Os filtros passa-altas aplicados sobre a PC 2 foram os filtros conhecidos como Sobel, Prewitt e Kirsch, sendo enfatizada as quatro direções principais (N-S, NE-SW, E-W e SE-NW). Para a extração dos lineamentos foram testadas diferentes configurações para os três tipos de filtros direcionais utilizados buscando os que produzissem imagens com maior destaque das feições estruturais. Como exemplo, serão mostradas imagens resultantes da aplicação de filtros Sobel 5x5:

a) -3 -2 -2 -1 0	b) 1 1 0 -1 -1	c) 0 -1 -2 -2 -3	d) -1 -2 -3 -2 -1
-2 -4 -3 0 1	2 3 0 -3 -2	1 0 -3 -4 -2	-1 -3 -4 -3 -1
-2 -3 0 3 2	3 4 0 -4 -3	2 3 0 -3 -2	0 0 0 0 0
-1 0 3 4 2	2 3 0 -3 -2	2 4 3 0 -1	1 3 4 3 1
0 1 2 2 3	1 1 0 1 1	3 2 2 1 0	1 2 3 2 1

que enfatizam as quatro direções principais (**Figura 4**).

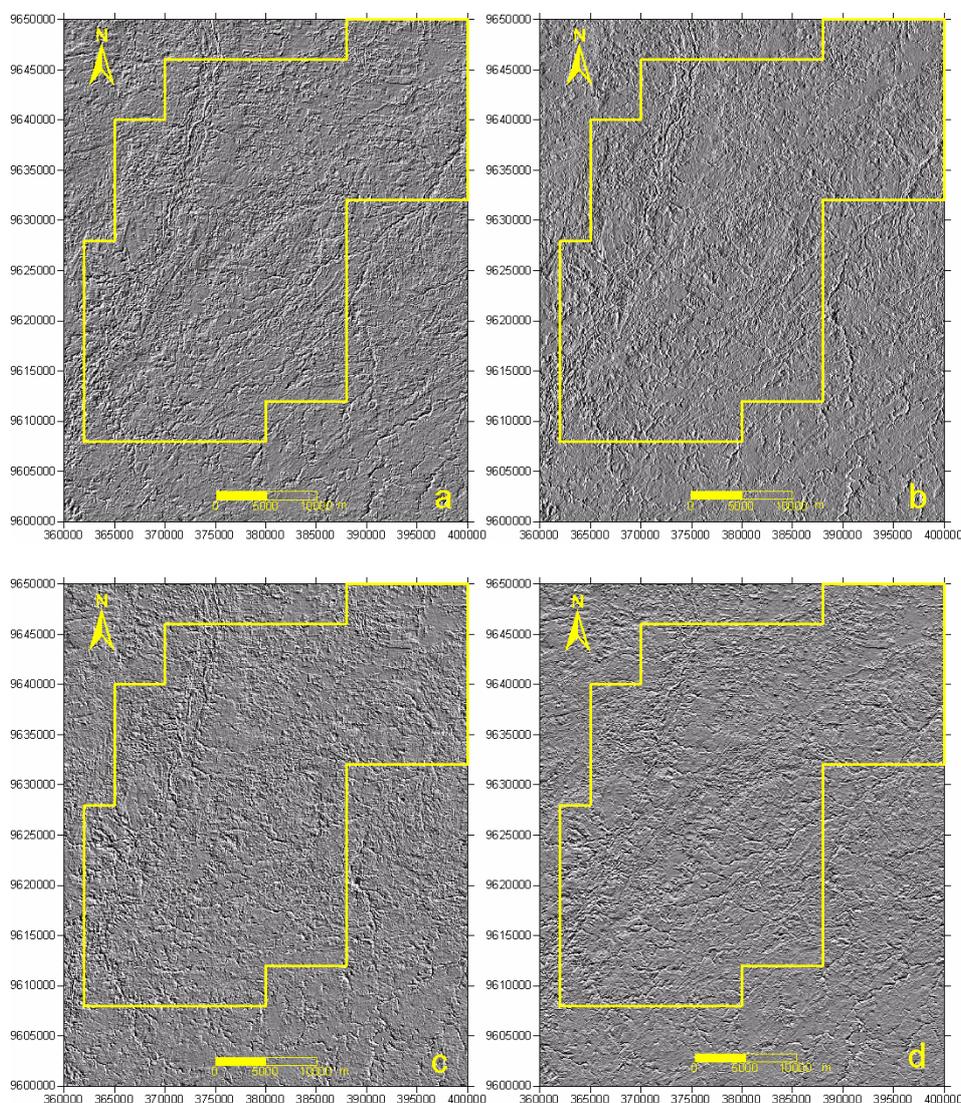


Figura 4: PC2 realçada por filtros Sobel: a) NE-SW; b) N-S; c) NW-SE e d) E-W. O polígono em amarelo representa a área estudada.

A aplicação de diferentes filtros, como o ilustrado na **Figura 4**, realçam todas as

feições lineares existentes na imagem, inclusive as de origem antrópicas, tais como estradas, ferrovias, cercas, linhas de alta tensão, etc. Para que essas feições lineares não fossem extraídas das imagens filtradas, utilizou-se diferentes composição no sistema RGB (exemplo **Figura 2**) para a distinção entre lineamentos antrópicos e lineamentos naturais.

Assim a extração dos lineamentos sobre as imagens filtradas foi feito de modo interativo com as imagens TM brutas e composições do sistema RGB. Os lineamentos também foram extraídos diretamente sobre as imagens originais e sobre as composições geradas no sistema RGB, resultando no mapa base de lineamentos extraídos das imagens mostrada na **Figura 5**.

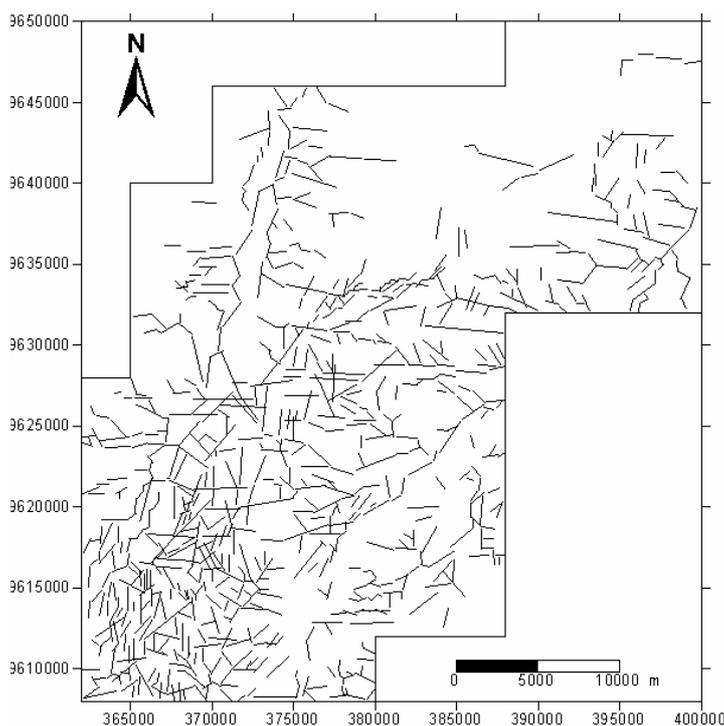


Figura 5: Mapa base de lineamentos geo-estruturais obtido a partir da extração de feições lineares em imagens TM brutas e filtradas

A utilização dos filtros digitais foi portanto, muito úteis para a visualização dos lineamentos principais, pois esses são marcados por mudanças bruscas na variação de níveis de cinza na imagem TM.

Para representara, classificar as variações na orientação dos lineamentos estruturais, foi confeccionado diagrama da roseta das direções dos lineamentos. Esse diagrama mostra as variações das orientações agrupadas em classes, segundo a frequência de ocorrência em determinadas direções (**Figura 6**).

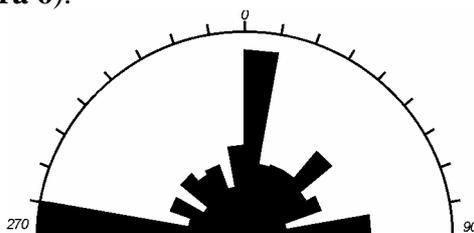


Figura 6: Diagrama de rosetas mostrando as direções principais de falhas/fraturas para o total de lineamentos extraídos das imagens TM

A partir desta análise, identificou-se que o macrofraturamento apresenta uma distribuição basicamente bimodal onde as principais direções de faturamento são N-S e E-W.

Os traços dos lineamentos obtidos foram sobrepostos ao modelo digital do terreno gerado, onde se observa quatro altos topográficos alinhados com direção NE, correspondentes ao corpo arenítico conglomerático (CAC) da região de Santana do Acaraú. Através da sobreposição dos lineamentos ao modelo digital (**Figura 7**) constata-se que os altos topográficos apresentam-se controlados por lineamentos correspondentes à falhas de bordas com *trends* NE-SW e por lineamentos de direção E-W as quais podem ser os responsáveis pelo basculamento dos altos topográficos com movimento aparente dextral.

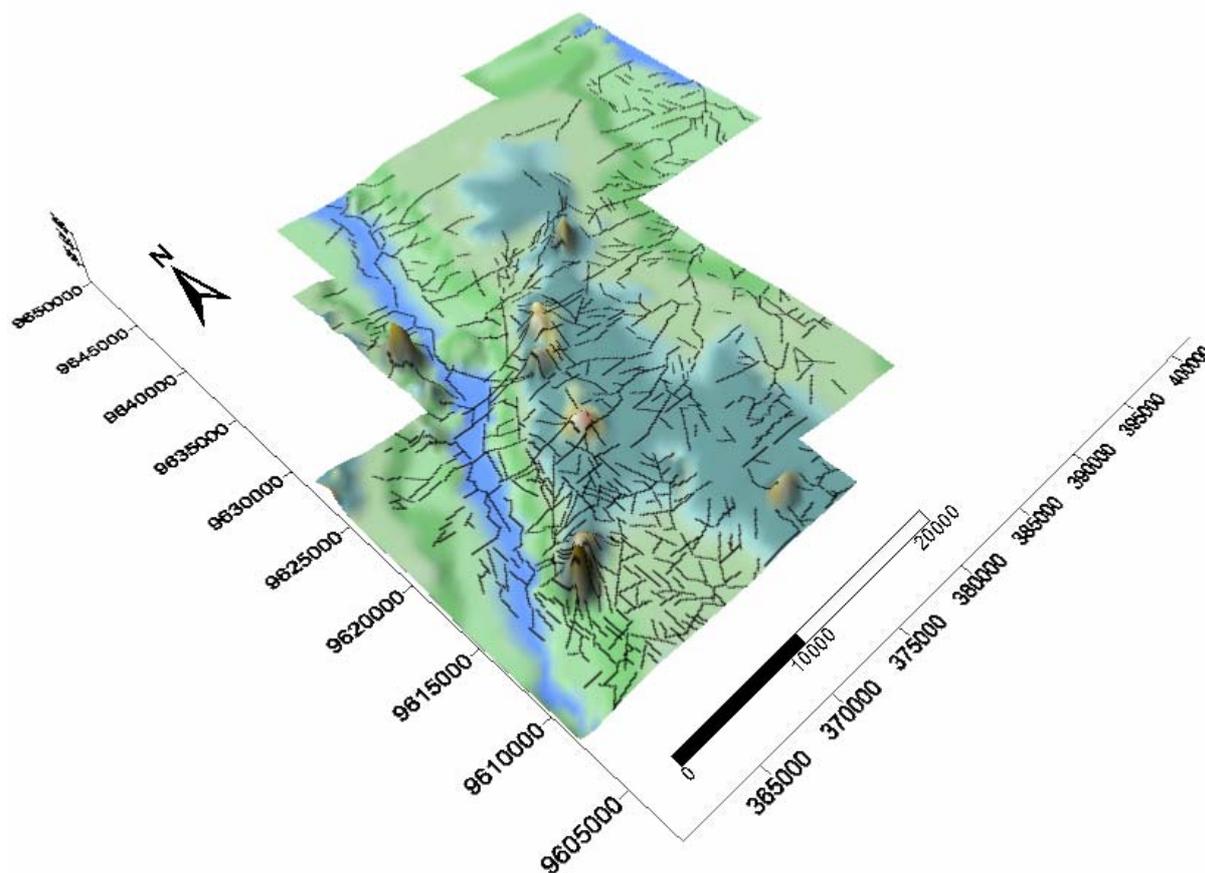


Figura 7: Modelo digital do Terreno da área estudada. Os lineamentos foram adicionados mostrando o controle estrutural dos blocos por falhas NE-SW e E-W.

## 6. Conclusões

A análise e interpretação das imagens de satélite permitiram a elaboração do mapa de lineamentos estruturais da região de Santana do Acaraú e Morrinhos, com base nos critérios de identificação e traçado das feições lineares de relevo que refletem o comportamento geoestrutural das rochas locais.

Através dos resultados obtidos constata-se que para a deformação frágil na região de Santana do Acaraú as macrofraturas apresentam duas direções principais sendo elas aproximadamente N-S e E-W. Estudos gravimétricos realizados na região (Carvalho, 2003), mostraram evidências de um movimento de blocos do CAC relacionado às falhas E-W dextrais e N-S sinistrais.

Estes movimentos de blocos também foram observados através do modelo digital do terreno onde os altos topográficos apresentam-se controlados por falhas E-W dextrais, as quais também são observadas em escala de afloramento. Os trabalhos de campo mostram que embora a cinemática dextral seja mais evidente (Dextro et al. 1994, Galvão, 2002, Alves da Silva et al. 2004) nas falhas de *trend* NE, recorrências sinistras também ocorrem (Almeida de Carvalho, 2004)

Os dados obtidos na escala macroscópica com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto são corroborados por dados obtidos em escala de afloramento, que sugerem uma deformação relacionada à formação da bacia em um regime transpressional dextral associado a uma movimentação do LSP-II, com direção de encurtamento estimada como sendo WNW-ESSE, concordante com a movimentação de falhas dextrais NE-SW e E-W que controlam os altos topográficos observados no MDT.

Através dos dados obtidos constata-se que a região apresenta-se intensamente deformada decorrente da reativação do LSP-II. Com isso pode-se assumir que as zonas das bacias marginais influenciadas por esse lineamento podem apresentar um padrão de fraturamento semelhante ao observado na região.

Este trabalho demonstra que a elaboração de mapa base de lineamentos associado como trabalhos de campo pode ser de grande importância na caracterização da deformação em nível crustal raso. Interpreta-se que pelo menos parte da deformação do CAC seja cretácea (e mais recente), o que leva a supor que as bacias da margem equatorial sofreram também essas deformações, sendo válido o estudo do CAC como análogo da deformação das referidas bacias.

## Referências:

Almeida de Carvalho, J. A. **Análise da deformação frágil do corpo arenítico conglomerático de Santana do Acaraú (CE) e seu embasamento**. 2004, 13 p (PPGG). Qualificação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

Alves da Silva, F. C.; Galvão, C. C.; Almeida de Carvalho, J. A. Carvalho, M. J. Lins, F. A. P. L. Brittle deformation in the siliciclastic body of Santana do Acaraú (Ceará state, NE, Brasil): A multidisciplinary and multiscale approach. In: International Geological Congress, 32<sup>nd</sup>, 2004, Florence. **Anais...**

Carvalho, M. J. **Estruturação do Grupo Serra Grande na região de Santana do Acaraú (CE) e a reativação do Lineamento Sobral Pedro II: Integração com dados geofísicos**. 2003. 61p. (PPGG). Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

Costa, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. Ver. Campinas, SP. IG/UNICAMP. 1993.170 p.

Destro, N.; Szatmari, P.; Ladeira, E. A. Post-Devonian transpressional reactivation of a Proterozoic ductile shear zone in Ceará, NE Brazil. **Journal of Structural Geology**, v. 16, n. 1, p. 35-45, 1994.

Galvão, C. C. **Mapeamento geológico estrutural da região Nordeste de Santana do Acaraú (CE), com ênfase a deformação frágil**. 2002. 60p. (IG/UFRN). Relatório de Graduação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2002.

Klein, M. A.; Lahm, R. A.; Naime, R. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na região de Unistalda/RS visando subsídios à prospecção hidrogeológica. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 14., 1999. **Anais...** Disponível em: <www.cartografia.org.br> acessado em 21 jun 2003.

Queiroz, C. L.; Meneses, P. R.; Jost, H. Lineamentos em imagens de sensores remotos e seu significado estrutural nos terrenos granito-greenstone belt de Orixás (GO). **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 30(4), dezembro, p. 655-662, 2000.