

## Análise comparativa dos lineamentos da região da jazida fósforo-uranífera de Itaitia-CE gerados através dos MDE: SRTM+, ASTER GDEM 2 e TOPODATA

Matheus de Freitas Leal Lopes <sup>1,3</sup>  
Gabrielly Ribeiro Fontenele <sup>1</sup>  
Samuel Gameiro <sup>1,3</sup>  
Mateus de Paula Miranda <sup>2,3</sup>  
Cynthia Romariz Duarte <sup>3</sup>  
Michael Vandesteen Silva Souto <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará – UFC  
Av. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici, Bloco 912 – Fortaleza – CE – 60.455-760  
{matheusfll, samuca\_182}@hotmail.com  
fontenelegb@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará – UFC  
Av. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici, Bloco 912 – Fortaleza – CE – 60.455-760  
mateuspmiranda@gmail.com

<sup>3</sup> Laboratório de Geoprocessamento – GEOCE –  
Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará – UFC  
Av. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici, Bloco 912 – Fortaleza – CE – 60.455-760  
{cynthia.duarte, michael.souto}@ufc.br

**Abstract.** The use of remote sensing in the evaluation of geological targets has important contributions in mapping studies. Because of this, image analysis, considered as pre and post-stage field, is of fundamental importance in the geological interpretations. Lineament is a mappable feature on the Earth's surface, linear, straight or slightly curved. This work aims to identify what kind of image has better result in the automatic extraction of geological lineaments, by visual evaluation of the results. The following digital elevation model (DEM) images were investigated: SRTM + (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) and TOPODATA (Brazilian Geomorphometric Database). Automatic extraction of lineament was made with the software PCI Geomatica 2016 and the generation of rosettes diagrams was made with RockWorks 2016 Software. The average population of lineaments generated using the three parameters was approximately 1500. According to the observations made in this work, the DEM more suitable for automatic lineaments extraction is the SRTM +. On a scale of efficiency for automatic lineaments extraction, SRTM + would be the best, followed by TOPODATA while ASTER GDEM 2 does not have a good effectiveness, because of its underestimation of high altitudes.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Remote Sensing, Lineamentos, Lineaments, Itaitia, SRTM, ASTER, TOPODATA.

### 1. Introdução

A utilização do sensoriamento remoto na avaliação de alvos geológicos apresenta importantes contribuições em estudos preliminares para mapeamento. Por conta disso, a análise de imagens, considerada como etapa pré e pós-campo, é de fundamental importância nas interpretações geológicas. Um mapa de lineamentos estruturais é capaz de apontar direções para a etapa de campo, acarretando em ganho de tempo e auxiliando na interpretação da cinemática ocorrente na área de estudo.

Segundo O'Leary *et al.* (1976) lineamento é uma feição mapeável na superfície terrestre, linear, retilínea ou suavemente encurvada, podendo ser tanto simples como composta e que

podem ser resultado de ações do homem, como estradas, ou ações naturais, como falhas, fraturas, drenagens, entre outros. A identificação de lineamentos morfoestruturais pode auxiliar no reconhecimento de feições que representam o contexto tectônico da área estudada, de forma que muitas zonas de mineralizações ocorrem em zona de fraturas e os lineamentos são aproveitáveis para identificar esse tipo de ambiente. Em modelos digitais de elevação (MDE) os lineamentos associados a quebras positivas, como cristas de serras, são identificados por pixels de tonalidade mais clara enquanto os lineamentos relativos às quebras negativas, como juntas, falhas, zonas de cisalhamento, drenagem, são representados por pixels de tons escuros (Abdullah *et al.*, 2009).

A jazida fósforo-uranífera de Itataia está localizada entre os municípios de Santa Quitéria e Itatira, Centro-Norte do estado do Ceará. A jazida, descoberta entre os anos 1970 e 1980, pela extinta Nuclebrás, atual INB – Indústrias Nucleares do Brasil S.A., contém uma reserva de 142.500 toneladas de urânio, associados com 18 milhões de toneladas de minério de fosfato (Mendonça *et al.*, 1985).

Este trabalho teve como objetivo identificar qual modelo digital de elevação possui melhor resultado na extração automática de lineamentos geológicos, através da avaliação visual dos resultados. Foram investigadas as imagens provenientes dos sistemas SRTM+ (*Shuttle Radar Topography Mission*), ASTER GDEM e TOPODATA. A extração automática dos lineamentos foi feita com o *Software* PCI Geomatica 2016.

## 2. Área de Estudo

Para este trabalho, foi escolhida uma área-piloto de aproximadamente 1000km<sup>2</sup>, localizada na porção Leste do município de Santa Quitéria e Oeste dos municípios de Itatira e Canindé (Figura 1), localizada, geologicamente, na região tradicionalmente conhecida como Domínio Ceará Central (Caby & Arthaud, 1986), pertencente à porção setentrional da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977).

Segundo Castro (2004), o Domínio Ceará Central é constituído por quatro Unidades Litotectônicas: Núcleo Arqueano de Tróia-Pedra Branca-Mombaça; Embasamento Gnáissico Paleoproterozóico; Rochas Supracrustais Neoproterozóicas e Complexos Granito-Migmatíticos e Granitóides Neoproterozóicos.

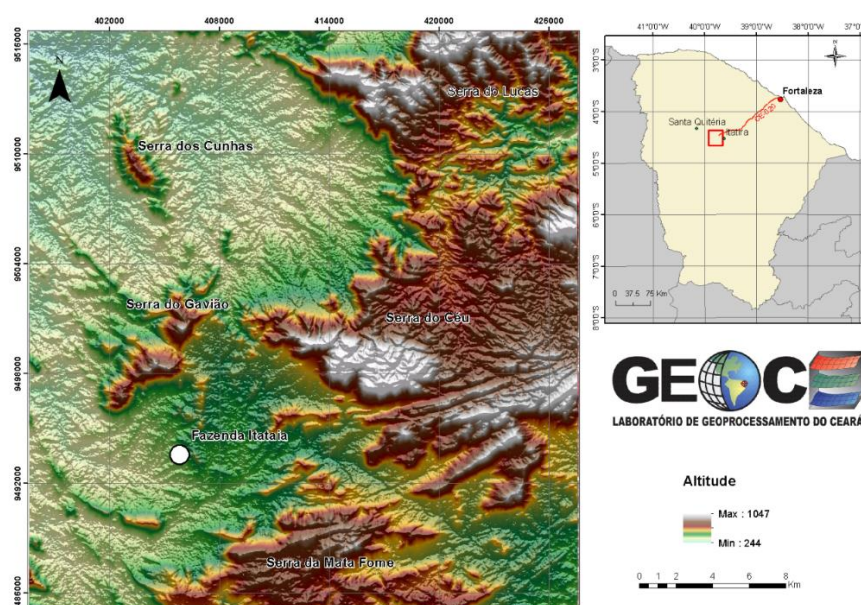


Figura 1 - Mapa de localização da área com indicação de altitudes das serras inclusas na área com destaque para a Fazenda Itataia, onde está localizada a sede da INB.

### 3. Materiais e Métodos

Neste trabalho, foram utilizados os modelos digitais de elevação gerados pela missão SRTM+, ASTER GDEM 2 e TOPODATA. As imagens SRTM e ASTER estão em formato geocover (ortoretificada) enquanto os dados do Projeto TOPODATA necessitavam ser georreferenciados. Ambas imagens SRTM+ e ASTER GDEM 2 foram adquiridas no portal *Earth Explorer*, enquanto os dados do Projeto TOPODATA foram adquiridos no portal do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>).

Os softwares utilizados foram o módulo Focus do PCI/Geomatica 2016, utilizado para extração automática de lineamentos; o ArcGIS® 10.2, empregado para gerar imagens de relevo sombreado (*Hillshade*) e confecção dos mapas com os resultados e RockWorks 16 para confecção do diagrama de roseta. O primeiro passo foi recortar a imagem usando o polígono da área de estudo como referência. A avaliação dos modelos digitais de superfície foi feita por meio das imagens de relevo sombreado geradas a partir da configuração de uma determinada geometria de iluminação solar. Considerando que o *trend* estrutural da área de estudo é, em geral, E-W avaliou-se a imagem de relevo sombreado gerada com ângulo de iluminação 0°, mantendo-se o ângulo de elevação solar em 45°. Com a imagem de relevo sombreado gerada, utilizou-se o *software* Geomatica 2016 para a geração dos lineamentos de forma automática (Figura 2). Foram testadas três combinações de parâmetros (Conceição & Silva, 2013 e Abdullah *et al.*, 2009) e a padrão do Algoritmo LINE do *software* PCI Geomatica 2016 (Tabela 1). Com os lineamentos gerados, exportou-se para o formato DWG, pois o *software* RockWorks 16 condiciona o uso deste formato e assim foi gerado o diagrama de roseta para a comparação final dos resultados.

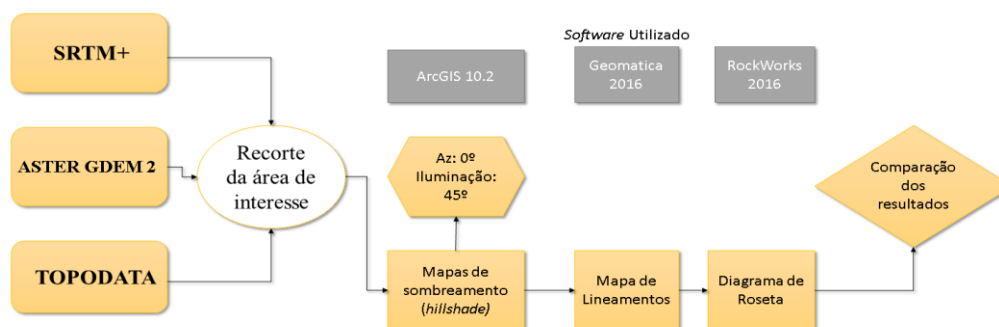


Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada.

Tabela 1 - Parâmetros de entrada (Input) utilizados através do algoritmo LINE

Parâmetros	Abdullah <i>et al.</i> (2009)	Conceição e Silva (2013)	Padrão algoritmo LINE
Filter Radius (Pixel)	12	15	10
Edge Gradient Threshold	90	60	100
Curve Length Threshold	30	10	30
Line Fitting Error Threshold	10	5	3
Angular Difference Threshold	30	15	30
Linking Distance Threshold	20	30	20

### 4. Resultados e Discussão

#### 4.1 SRTM+

O MDE SRTM+ apresenta precisão vertical absoluta de  $\pm 16m$ , e relativa de  $\pm 10m$  (Rabus *et al.*, 2003), com resolução espacial de 1 arco-segundo, aproximadamente cerca de 30m de

resolução espacial. Estes dados possuem considerável continuidade de informações nos resultados, de forma que não houveram brancos topográficos no resultado. Foram gerados 485 lineamentos usando os parâmetros de Abdullah *et al.* (2009), 2.545 nos parâmetros de Conceição e Silva (2013) e 1.806 nos parâmetros padrões do Algoritmo LINE do *software* PCI Geomatica 2016 (Figura 3). Portanto os valores propostos por Abdullah *et al.* (2009) e Conceição e Silva (2013) não foram satisfatórios para a área estudada, pois geraram números extremos, enquanto os valores padrões do algoritmo LINE geraram números intermediários, sem perda de informação.

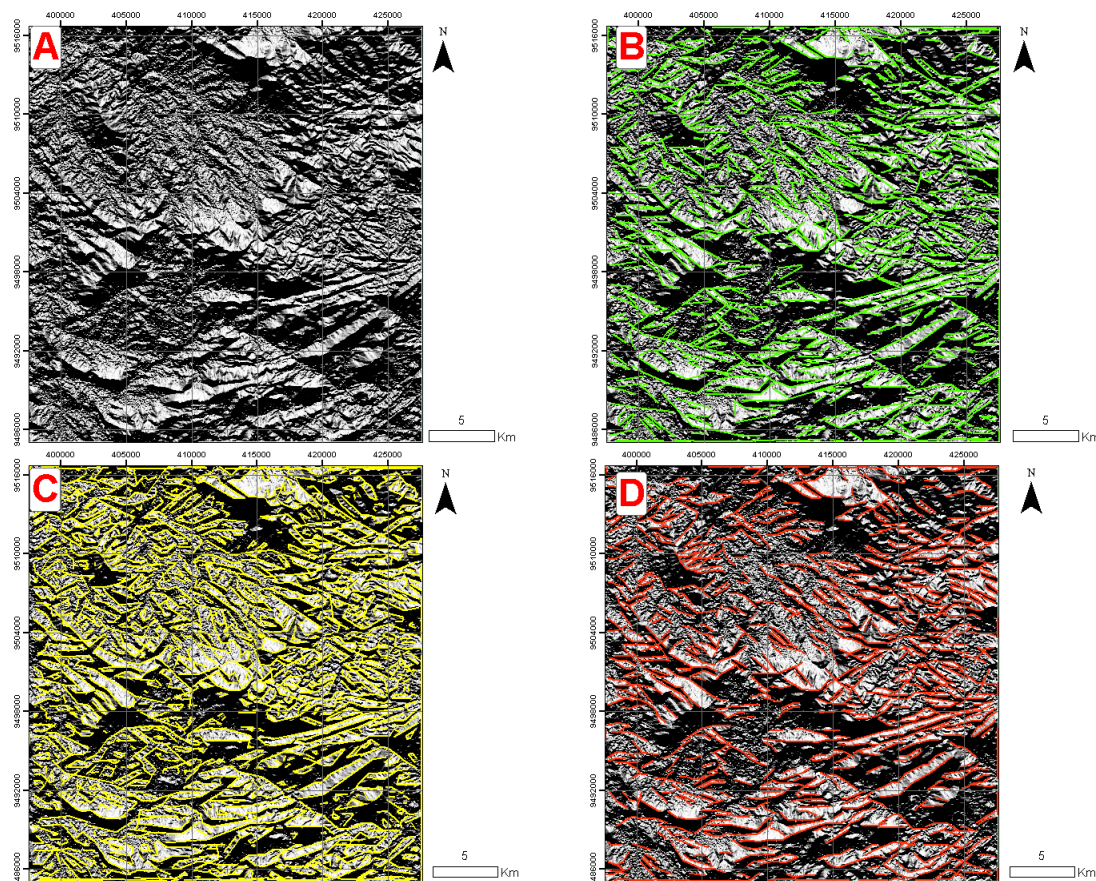


Figura 3 – A) Imagem sombreada derivada do MDE SRTM+. B, C e D correspondem aos lineamentos extraídos automaticamente sobre imagem sombreada derivadas do MDE SRTM, onde B) corresponde aos valores utilizados por Abdullah *et al.* (2009), C) valores utilizados por Conceição & Silva (2013), D) Valores padrões algoritmo LINE.

A figura 4 apresenta os diagramas de roseta obtidos para o tratamento da imagem SRTM e nota-se que os valores utilizados por Abdullah *et al.* (2009) geraram lineamentos mais longos, devido ao alto valor do *Line Fitting Error Threshold* (LFET), que especifica, em pixels, o erro máximo permitido ao sobrepôr uma linha sobre uma curva. Valores mais baixos proporcionam melhor ajuste, mas também segmentos mais curtos na linha. O resultado utilizando os valores de Conceição e Silva (2013) gerou um alto número de lineamentos devido ao baixo valor do *Curve Length Threshold* (CLT), de forma que o parâmetro controla o comprimento mínimo de curva em pixels para ser considerado como lineamento, no caso o valor utilizado foi 10. Então, toda linha que conter mais que 10 pixels de curvatura, será marcada como lineamento.

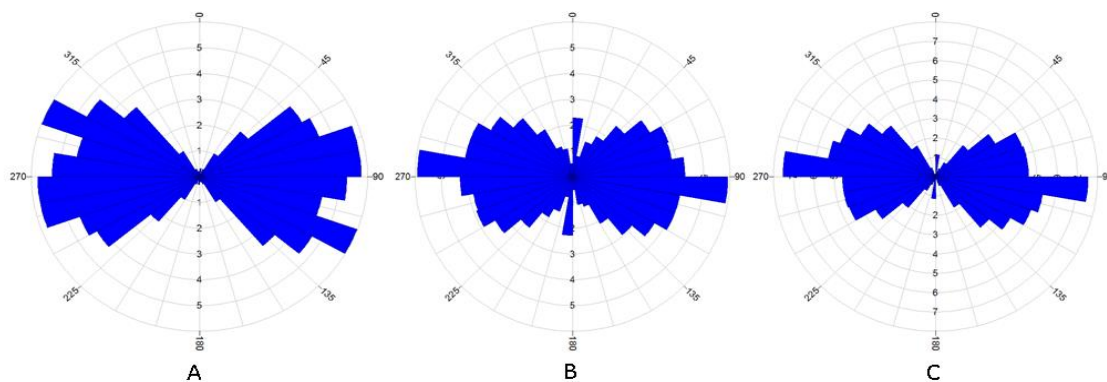


Figura 4 - Diagramas de roseta gerados a partir dos lineamentos oriundos do MDE SRTM+. A) valores de Abdullah *et al.* (2009), B) valores de Conceição e Silva (2013), C) Valores padrões algoritmo LINE.

#### 4.2 ASTER GDEM 2

A imagem GDEM 2 apresenta resolução espacial de 75m e precisão de 17m com 95% de confiabilidade, esses dados estão colocados em uma grade de 1 arco-segundo (aproximadamente 30m na Linha do Equador) (Ersdac, 2011). Esses dados apresentaram certa descontinuidade em algumas áreas, além de subestimar altitudes de locais mais elevados, comprometendo o resultado dos lineamentos, visto que na marcação automática dos lineamentos é utilizado a diferença entre *digital number* (DN) de um local para outro. De modo que um local mais elevado possui um DN maior, o que é retratado em um tom de cinza mais claro, e um local mais baixo possui DN menor, sendo retratado em um tom de cinza mais escuro. O parâmetro do algoritmo LINE que controla isso é o *Filter Radius* (FR) e o *Edge Gradient Threshold* (EGT). O FR especifica o raio do filtro de detecção de borda, em pixels. Este parâmetro determina o nível até o qual o algoritmo detecta a informação como um lineamento, já o EGT por sua vez, especifica o limite do nível de gradiente mínimo de um pixel de borda para obter uma imagem binária.

A figura 5 apresenta os lineamentos traçados e seus respectivos valores utilizados. Utilizando os valores de Abdullah *et al.* (2009), obteve-se 1136 lineamentos, enquanto os valores de Conceição e Silva (2013) geraram 2695 lineamentos e os parâmetros padrões do Algoritmo LINE resultaram em 1457 lineamentos. A relação da quantidade de lineamentos e os valores utilizados se repetiu no MDE ASTER GDEM 2 da mesma forma que o SRTM+, com valores de Abdullah *et al.* Gerando poucos lineamentos, Conceição e Silva (2013) gerando quantidade excessiva e os valores padrões do algoritmo gerando valores intermediários e sem perda de informação. O comportamento dos diagramas de roseta (Figura 6) no que se refere aos parâmetros utilizados foi bastante semelhante, de modo não haver nenhuma discrepância aparente entre os métodos utilizados em relação ao tamanho e/ou frequência dos lineamentos.

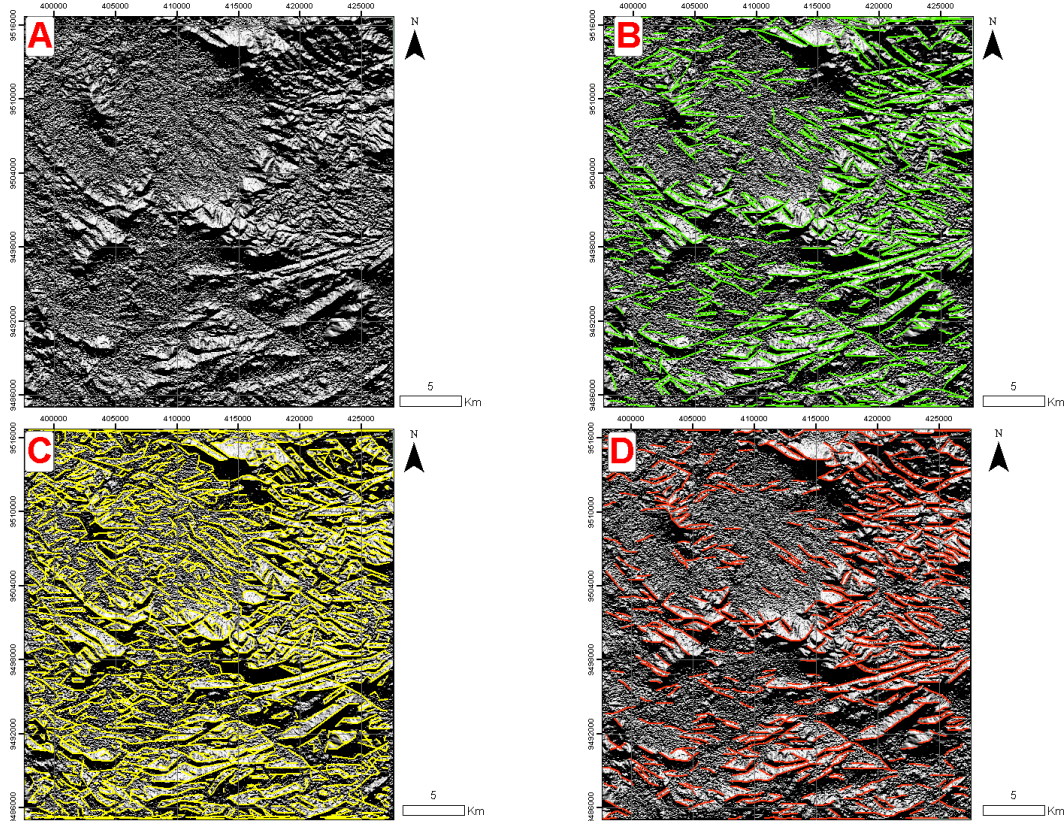


Figura 5 - A) Imagem sombreada derivada do MDE ASTER GDEM 2. B, C e D correspondem aos lineamentos extraídos automaticamente sobre imagem sombreada derivadas do MDE ASTER GDEM 2, onde B) corresponde aos valores utilizados por Abdullah *et al.* (2009), C) valores utilizados por Conceição & Silva (2013), D) Valores padrões algoritmo LINE.

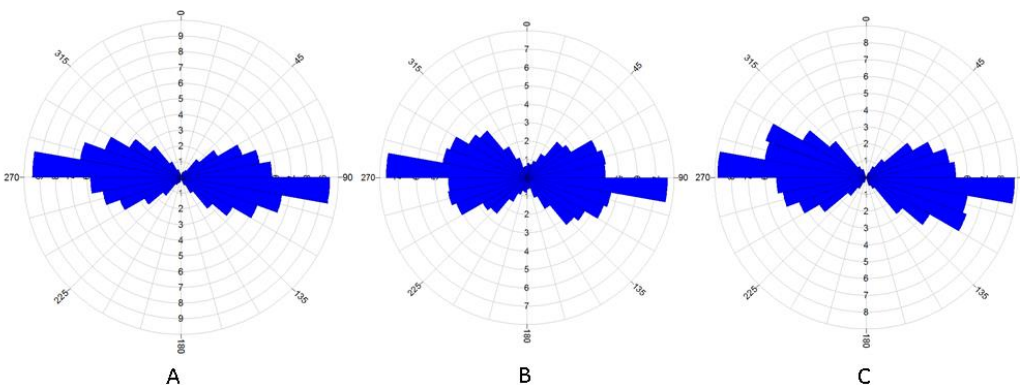


Figura 6 - Diagramas de roseta gerados a partir dos lineamentos oriundos do MDE ASTER GDEM 2. A) valores de Abdullah *et al.* (2009), B) valores de Conceição e Silva (2013), C) Valores padrões algoritmo LINE.

### 4.3 TOPODATA

O Projeto TOPODATA foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e visou melhorar a resolução espacial de 3 arcos-segundo para 1 arco-segundo os dados SRTM da NASA, através do método de krigagem, corrigindo as imperfeições e preenchimento de falhas (Valeriano & Rossetti, 2012). Por isso, a extração automática dos lineamentos gerou resultados semelhantes aos do SRTM+, com exceção dos valores propostos por Abdullah *et al.* (2009) (Figura 7). No MDE SRTM+ obteve-se uma população de lineamentos de 485, enquanto

no TOPODATA obteve-se 1153, ambos sob o parâmetro de Abdullah *et al.* (2009). Essa diferença de lineamentos gerou uma maior distribuição das direções no diagrama de roseta, evidenciando a diferença entre os dois MDE. A diferença na população de lineamentos foi ocasionada devido ao alto valor do LFET, assim como na Figura 3, e também ao fato do MDE TOPODATA ser um produto derivado do antigo MDE SRTM, ainda com resolução espacial de 90m, por meio da krigagem. Foram gerados 1153 lineamentos usando os parâmetros de Abdullah *et al.* (2009), 2478 nos parâmetros de Conceição e Silva (2013) e 1.831 nos parâmetros padrões do Algoritmo LINE do software PCI Geomatica 2016 (Figura 8).

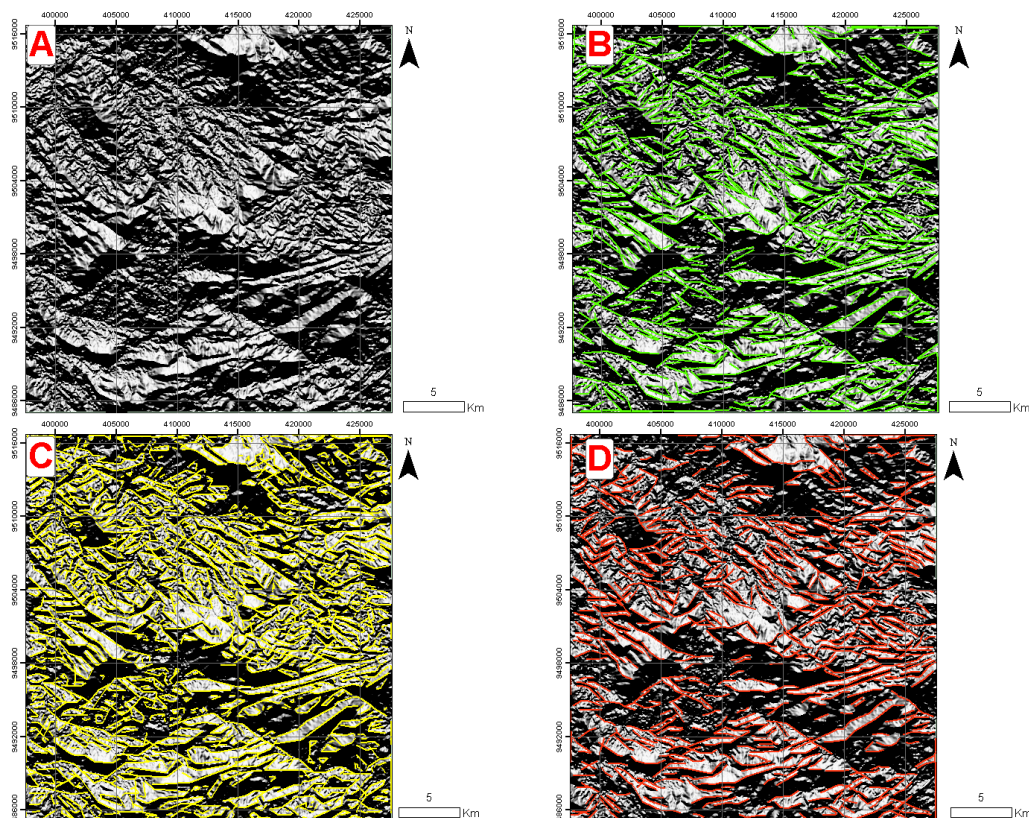


Figura 7 - A) Imagem sombreada derivada do MDE TOPODATA. B, C e D correspondem aos lineamentos extraídos automaticamente sobre imagem sombreada derivadas do MDE TOPODATA, onde B) corresponde aos valores utilizados por Abdullah (2009), C) valores utilizados por Conceição & Silva (2013), D) Valores padrões algoritmo LINE.

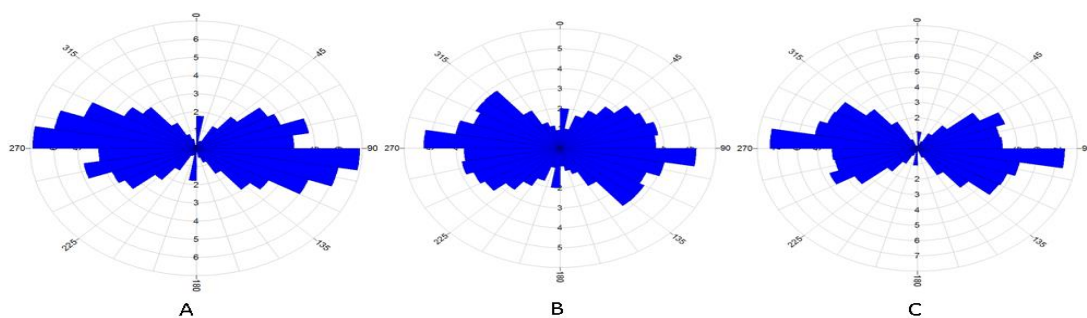


Figura 8 – Diagramas de roseta gerados a partir dos lineamentos oriundos do MDE TOPODATA. A) valores de Abdullah *et al.* (2009), B) valores de Conceição e Silva (2013), C) Valores padrões algoritmo LINE.

## 5. Conclusões

De acordo com as observações feitas no presente trabalho, o MDE mais indicado para a extração automática de lineamentos é o SRTM+, pois o mesmo não ignora altitudes, como o ASTER GDEM 2. Em relação ao TOPODATA, ele não é o mais indicado, mas ainda assim pode ser usado, pois não possui tantos problemas estatísticos com altitudes, somente em territórios onde a variação de altitude é baixa, não caracterizando ambiente possível de geração de lineamentos estruturais, uma vez que já se trata de um modelo gerado por interpolação matemática. Numa escala de eficiência para a extração automática de lineamentos, o SRTM+ seria o melhor, seguido do TOPODATA, enquanto o ASTER GDEM 2 não possui uma boa efetividade para tal.

O fato dos parâmetros de Abdullah *et al.* (2009) e Conceição e Silva (2013) não mostrarem resultados razoáveis e a boa funcionalidade dos parâmetros padrão do *software*, sugere que diferentes regiões respondem de formas diferentes em respeito a extração automática de lineamentos e que a escolha dos valores dos parâmetros do algoritmo LINE deve ser sempre ajustada às características geológicas da área de estudo.

## Referências Bibliográficas

- Abdullah, A.; Akhir, J.M.; Abdullah, I. A Comparison of Landsat TM and SPOT Data for Lineament Mapping in Hulu Lepar Area, Pahang, Malaysia. **European Journal of Scientific Research**. Vol.34 No.3, p.406-415, 2009.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.; Províncias estruturais brasileiras. **VIII Simpósio de Geologia do Nordeste**, 1977, Campina Grande, p. 363-391.
- Caby, R.; Arthaud, M.H. Major precambrian nappes of the Brazilian Belts, Ceará. Northeast Brazil. **Geology**, v. 14, p. 871-874, 1986.
- Conceição, R. A. C.; Silva, A. Q. Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM, Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Nobres, MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 3688-3695. DVD, Internet. ISBN978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD).
- Castro, N.A. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. 2004. Tese (Doutoramento) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Ersdac, Lp Daac. **Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): Global digital elevation model (GDEM) Version**. ASTER GDEM 2 Readme, 2011.
- Mendonça, J.C.J.S., Campos, M., Braga, A.P.G., Souza, E.M., Favali, J.C., Leal, J.R.L.V., 1985. Jazida de urânio de Itataia-Ceará. **Principais Depósitos Minerais Do Brasil, I. DNPM/CVRD**, pp. 121e131.
- O’Leary, D. W.; Friedman, J. D.; Pohn, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **GSA Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57 p. 241-262, 2003.
- Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, p. 300-309, 2012.