

Identificação semiautomática de lineamentos morfoestruturais no norte da Bacia Paraíba, PB

Fabio Corrêa Alves¹
Márcio de Morisson Valeriano¹
Dilce de Fátima Rossetti¹
Clódís de Oliveira Andrades Filho²
Édipo Henrique Cremon³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{alves.fabioc@gmail.com, valerian@dsr.inpe.br, rossetti@dsr.inpe.br}

²Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS
Caixa Postal 90010-191 - Porto Alegre - RS, Brasil
clodis-filho@uergs.edu.br

³Instituto Federal de Goiás - IFG
Caixa Postal 74055-110 - Goiânia - GO, Brasil
edipo.cremon@ifg.edu.br

Abstract. Morphostructural lineaments are linear features in terrain surface evidenced by morphological elements such as ridges of hills and drainage lines. In our study area, at the northern Paraíba Basin, previous studies describe these features as possibly associated with geological and tectonic structures, as faults and folds. The mapping of lineaments has been eased by several techniques and remote sensing data. In the present work we evaluated the potential of TecLines, a semi-automated Matlab-based toolbox for lineament analysis from remote sensing data. This algorithm was tested on two different versions of the digital elevation model (DEM) acquired by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Results were evaluated through visual interpretation, rose diagrams and descriptive statistics. Using a 1:100.000 map of manually extracted set of lineaments as reference, the digital approach showed better performance in areas of the crystalline basement, where abundant lineaments are evident in relief. In the sedimentary areas, otherwise, the gentle topographic expression of the occasional lineaments limited their extraction from DEM. Despite the potentially useful sets of experimental results, sensitivity of the automated extraction was shown to be directly dependent of the operation parameters, indicating the convenience of trial-and-error determination of optimal levels for accuracy according to data and relief conditions. According to the prevailing nature (and so the topographic expression) of the lineament features in different types of terrain (*e.g.*, crystalline or sedimentary) of complex landscapes, we recommend a stratified application of automated lineament extraction, with parameters selected in customized developments.

Palavras-chave: morfoestrutural analysis, neotectonics, digital elevation model, remote sensing, análise morfoestrutural, neotectônica, modelo digital de elevação, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Lineamento morfoestrutural corresponde à feição linear simples ou composta, mapeável na superfície terrestre por meio de elementos morfológicos, como cristas de morros, limites de áreas elevadas, linhas de drenagem e linhas de costa (O'Leary et al., 1976). Estas feições geomórficas podem estar associadas com estruturas geológicas e/ou tectônicas, como falhas, fraturas e cristas de dobras.

A identificação de lineamentos morfoestruturais em superfície tem sido favorecida com o uso de dados de sensoriamento remoto, principalmente incluindo imagens derivadas de multissensores ópticos (Arlegui; Soriano, 1998; Andrades Filho; Fonseca, 2009; Kavak et al.,

2009). Entretanto, o uso dessas em áreas tropicais é desfavorecido pela cobertura vegetal densa e cobertura de nuvens frequente. Nos últimos anos, técnicas novas vem sendo exploradas, com auxílio de modelos digitais de elevação (MDEs), como aquele da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), adquiridos na banda C ($\lambda = \sim 5,6$ cm) por interferometria de radar de abertura sintética (InSAR) (Rabus et al., 2003). Por representarem formas de relevo independentemente da cobertura do terreno, este MDE e suas derivadas geomorfométricas permitem identificar lineamentos morfoestruturais em diversos contextos geológicos de forma mais precisa do que imagens óticas (Masoud; Koike, 2011; Andrades Filho; Rossetti, 2012a).

Dentre os métodos comumente empregados no mapeamento de lineamentos morfoestruturais, destaca-se a extração manual por interpretação visual baseada em produtos aéreos e orbitais (Arlegui; Soriano, 1998; Kavak et al., 2009; Andrades Filho; Rossetti, 2012a). Além do caráter subjetivo, este processo demanda tempo em caso de áreas extensas. Por este motivo, algoritmos semiautomáticos visando à detecção, extração e análise direcional de lineamentos morfoestruturais são de interesse crescente (Wang; Howarth, 1990; Masoud; Koike, 2011). O TecLines (*Tectonic Lineament Analysis*; Rahnama; Gloaguen, 2014) é um dos algoritmos semiautomáticos com potencial de aplicação visando este objetivo. Entretanto, faltam ainda estudos que avaliem seu potencial na extração de lineamentos morfoestruturais em contextos geológicos e tectônicos diversos.

A porção norte emersa da Bacia Paraíba é uma área adequada para testar o desempenho do TecLines. Isto porque, nessa área há um número crescente de publicações com registro de lineamentos associados a estruturas tectônicas, como falhas e dobras, em depósitos sedimentares neógenos e quaternários, inclusive holocênicos (p.e., Bezerra et al., 2008, 2014; Rossetti et al., 2011). Este cenário motivou o presente trabalho, que tem como objetivo testar a aplicação do algoritmo TecLines utilizando dados SRTM para a detecção de lineamentos morfoestruturais em áreas constituídas por rochas do embasamento cristalino e cobertura sedimentar neógena e quaternária deste setor da bacia, onde dominam relevos resultantes de deformação rúptil e dúctil.

2. Área de estudo

A área de estudo está localizada na porção norte emersa da Bacia Paraíba, no Estado da Paraíba, região nordeste do Brasil (Figura 1a-c). Esta bacia é limitada pela falha de Mamanguape ao norte e pelo lineamento Pernambuco ao sul (Figura 1b). A oeste na área de estudo ocorrem gnaisse e migmatitos da Província Estrutural Borborema (Brito Neves et al., 2009) (Figura 1b), enquanto que a leste ocorrem rochas sedimentares da Bacia Paraíba, representadas em superfície por depósitos quaternários tardios consistindo nos Sedimentos Pós-Barreiras (Rossetti et al., 2012) e, secundariamente, neógenos da Formação Barreiras (Barbosa et al., 2003; Rossetti et al., 2012). Além dessas unidades sedimentares, a Bacia Paraíba também contém sedimentos aluviais recentes (Holoceno Tardio) ao longo dos vales fluviais (Figura 1c).

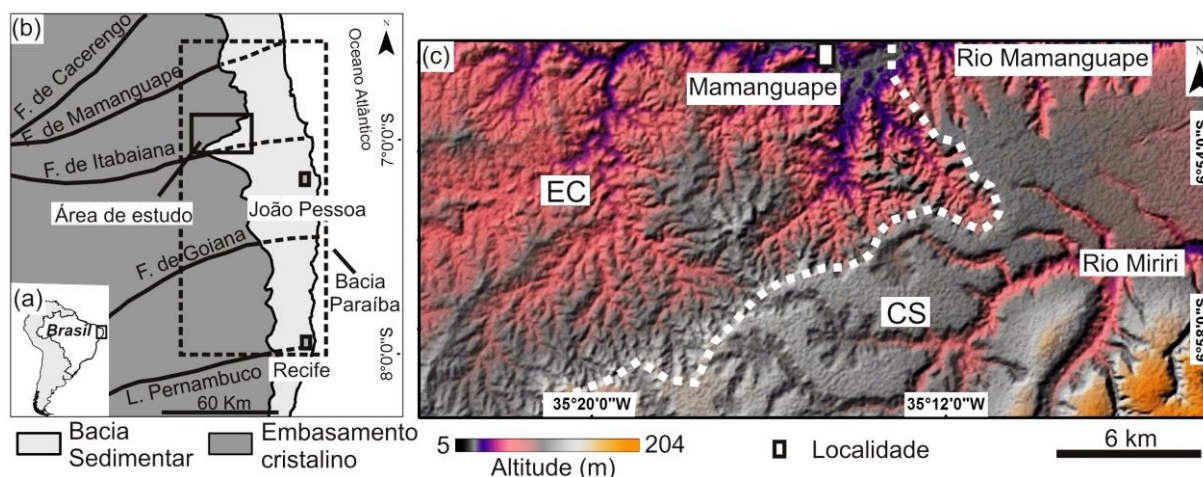


Figura 1. (a) Localização da área de estudo no nordeste brasileiro. (b) Contexto geológico e estrutural da porção emersa da Bacia Paraíba. (c) Detalhe da área de estudo no MDE-SRTM em paleta de cores personalizada e relevo sombreado (linha branca tracejada = limite entre rochas do embasamento cristalino (EC) a oeste e cobertura sedimentar (CS) a leste).

3. Material

Foram testadas duas versões de dados SRTM em MDEs de resolução espacial de 1'' (1 arco-segundo, ~30m): o MDE-SRTM v.3, produzido na resolução de 1'' desde a aquisição (acesso em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>) e o MDE do projeto Topodata (Brasil, 2008), que foi produzido por interpolação dos dados SRTM v.1 (3'') para a resolução de 1'' (acesso em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>). Como dados de referência, foram usados vetores da drenagem e de lineamentos morfoestruturais, mapeados na escala 1:100.000 por interpretação visual da orientação de vertentes e curvatura horizontal do Topodata (Alves; Rossetti, 2015). Outras informações geológicas incluídas no trabalho provêm de levantamentos previamente realizados na área de estudo (p.e., Rossetti et al., 2012).

4. Métodos

Os MDEs foram pré-processados utilizando a operação *burn streams* do aplicativo ArcGIS 10. Este processo aumenta artificialmente a profundidade dos canais de drenagem no MDE, a partir de uma imagem binária da drenagem de referência (i.e., ND = 0 e 1), o que facilita a extração de lineamentos a partir de drenagem em áreas planas.

A detecção semiautomática dos lineamentos, feita com base no algoritmo TecLines (Rahnama; Gloaguen, 2014) implementado em ambiente Matlab, envolveu quatro etapas. Primeiro fez-se uso do filtro passa-banda *Butterworth* no domínio da frequência, a fim de eliminar possíveis ruídos nos dados de entrada. Esta filtragem teve como parâmetros *cutin frequency* e *n*, que controlam, respectivamente, o limiar da frequência de corte dos dados de entrada e o número de ordem do filtro. Segundo, aplicou-se o filtro Canny (Canny, 1986) no domínio espacial. Este filtro foi escolhido por ter tido os melhores resultados na detecção de lineamentos morfoestruturais em estudo prévio (Rahnama; Gloaguen, 2014). O processo incluiu os parâmetros *sigma* e *threshold*, que correspondem ao valor de desvio padrão do filtro e ao limiar de sensibilidade na detecção de bordas. Terceiro, fez-se uso de filtragem no domínio espacial, com o uso de filtro morfológico de erosão, seguido de filtro de dilatação, visando eliminar pixels de borda (lineamentos) pequenos e isolados. Essa filtragem utilizou o parâmetro *Connected neighborhood*, que consiste no tamanho da vizinhança analisada. Quarto, usou-se a

operação *tensor voting* (Mordohai; Medioni, 2006), a fim de determinar a orientação preferencial dos pixels de borda, bem como aprimorar o processo de detecção de lineamentos ao produzir linhas contínuas e suaves a partir de cálculos realizados com base em tensores. Esse processo teve como parâmetros *length*, *width* e *connected components*, que correspondem a limiares de comprimento, largura e número de pixels vizinhos a serem conectados, respectivamente. Vários testes foram realizados a fim de definir os níveis mais adequados desses parâmetros para a detecção precisa de bordas associadas a lineamentos na área de estudo (Tabela 1), o que foi feito com testes e comparações com os dados de referência. Os mesmos parâmetros foram aplicados em ambos MDEs, embora os testes tenham sugerido a conveniência de parâmetros diferentes para as áreas de embasamento cristalino e de cobertura sedimentar, devido à expressiva diferença morfológica desses terrenos e ligeiras variações no desempenho entre estas condições. Ao fim da aplicação dessas operações, os resultados foram exportados em arquivos de imagens binárias.

Tabela 1. Resumo das etapas de operação do algoritmo TecLines e parâmetros utilizados na detecção de lineamentos morfoestruturais com base no MDE-SRTM v.3 e MDE-SRTM do Topodata.

Etapa	Parâmetros		
Filtro passa-banda <i>Butterworth</i>	<i>Cutin frequency</i> 0,2	<i>n</i> 2	
Filtro <i>Canny</i>	<i>Sigma</i> 0,02	<i>threshold</i> 0,05	
Filtro morfológico	<i>Connected neighborhood</i> 8		
<i>Tensor Voting</i>	<i>Length</i> 5	<i>width</i> 8	<i>connected components</i> 8

Com base nos arquivos de imagens binárias, foi realizada a etapa de extração de lineamentos com base nas seguintes operações espaciais: (i) atribuição de identificador para os pixels de borda na imagem binária; (ii) conversão dos pixels representativos de lineamentos para pontos; (iii) conversão de pontos para linhas; e (iv) aplicação de fator para generalização das linhas. Todas essas operações foram automatizadas em lotes de funções do aplicativo ArcGIS 10. Os lineamentos extraídos a partir dos dois MDEs foram avaliados em diagramas de roseta segundo frequência absoluta, em intervalos de 15 graus azimutais. Esses lineamentos foram validados em relação ao número de acertos, computado com base na intersecção do lineamento extraído de forma semiautomática com o mapa de referência em escala 1:100.000 (Alves; Rossetti, 2015). Isto foi feito para quatro modas principais de ocorrência de lineamentos na porção norte da Bacia Paraíba, sendo elas: N-S (0-10°, 350-360°), NE-SW (45-65°) NW-SE (325-345°) e E-W (80-90°, 270-280°). Porém, considerando a possibilidade de deslocamento geométrico entre as duas bases de dados avaliadas, foi atribuída uma área de influência de 100 m. Ambas as análises foram computadas para as áreas de embasamento cristalino e cobertura sedimentar.

5. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos a partir do MDE-SRTM v.3 e do MDE-SRTM do Topodata mostraram-se relativamente semelhantes, representando conjuntos de lineamentos morfoestruturais evidenciados no MDE como relevo negativo (margens de vales e drenagens) e

relevo positivo (cristas de morros). Tanto nos resultados experimentais, quanto nos dados de referência, esses lineamentos não ocorrem distribuídos uniformemente na totalidade da área de estudo, com maior frequência nas áreas dominadas por rochas do embasamento cristalino (setor oeste) do que em áreas da cobertura sedimentar (setor leste) (Figura 2a-c). O conjunto de lineamentos extraídos de forma semiautomática apresentou disposição espacial similar aos lineamentos mapeados em escala 1:100.000 em grande parte de seus segmentos. O número de lineamentos extraídos do MDE-SRTM v.3 (3.792) foi maior do que aqueles extraídos do MDE-SRTM do Topodata (3.518). Em ambos os casos, entretanto, o número de lineamentos extraídos de forma semiautomática foi superior aos lineamentos do mapa de referência em escala 1:100.000 (968). Tal fato se deve principalmente ao processo manual integrar, em mesmo lineamento, segmentos que são contabilizados individualmente no processo automático.

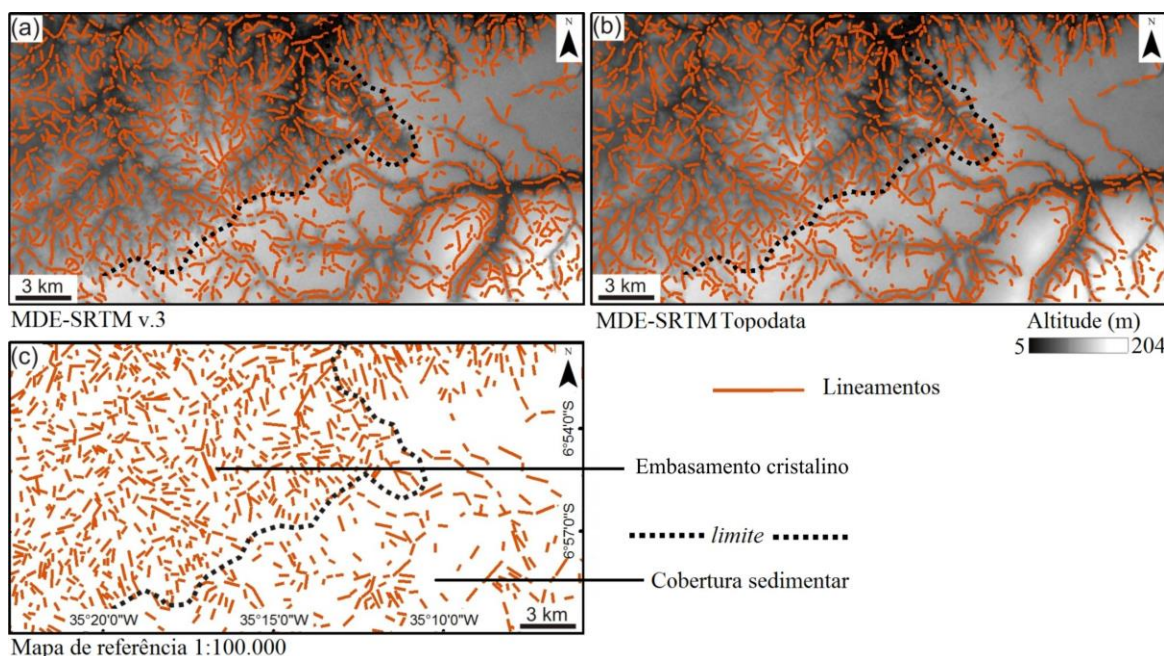


Figura 2. Lineamentos morfoestruturais extraídos com base no MDE-SRTM v.3 (a) e MDE-SRTM do Topodata (b). (c) Mapa de referência.

Os diagramas de roseta resultantes das informações estatísticas dos lineamentos morfoestruturais extraídos de forma semiautomática indicam correspondências e divergências quanto às modas dos lineamentos do mapa de referência (Figura 3a-c).

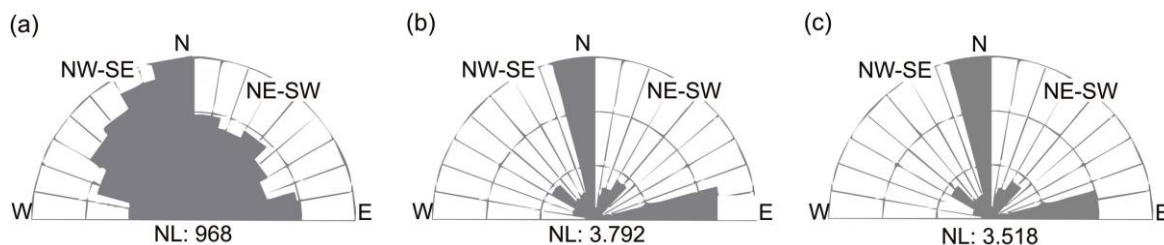


Figura 3. Diagramas de roseta dos lineamentos do mapa de referência (a) e daqueles extraídos a partir do MDE-SRTM v.3 (b) e do MDE-SRTM do Topodata (c). NL = Número total de lineamentos.

No mapa de referência ocorrem lineamentos com modas principais de direções N-S, NW-SE e, secundariamente, E-W e NE-SW (Figura 3a). Dessas modas, a N-S e E-W apresentaram maior expressão nas rosetas dos lineamentos extraídos de forma semiautomática, seguidas das modas secundárias NW-SE e NE-SW (Figura 3b-c). Lineamentos extraídos automaticamente apresentaram modas principais e secundárias similares (Figura 3b-c). Porém, as modas reveladas pelos lineamentos extraídos de forma semiautomática não ocorreram na mesma proporção que as modas dos lineamentos de referência, provavelmente devido ao processo de detecção e extração semiautomática. Isto é justificado pelo fato desse processo segmentar um mesmo lineamento em várias feições menores e de mesma orientação no terreno (comparar Figura 2a-c). Por isso, houve maior participação das modas N-S e E-W na análise direcional dos resultados experimentais.

Em relação ao número de acertos, o MDE-SRTM do Topodata apresentou-se levemente mais eficiente (40%) do que o MDE-SRTM v.3 (38%) para a extração de lineamentos em superfície (Tabela 2). Em todas as quatro direções avaliadas, a porcentagem de acertos foi maior na direção E-W no MDE-SRTM v.3 (47%), enquanto que no MDE-SRTM do Topodata, a direção com maior porcentagem de acertos foi a N-S (51%) (Tabela 2). Embora preliminares, os resultados alcançados na presente análise mostraram desempenho compatível com aquele obtido por Rahnema e Gloaguen (2014), que observaram uma exatidão global de 52 % na detecção de lineamentos com o uso de MDE na região nordeste do Afeganistão. O número de lineamentos obtidos em áreas de embasamento cristalino foi maior do que aqueles obtidos na área de cobertura sedimentar, independentemente da direção considerada (Tabela 2).

Tabela 2. Número de acertos de lineamentos extraídos no MDE-SRTM v.3 e MDE-SRTM do Topodata para quatro conjuntos de direcionamentos em áreas de embasamento cristalino e cobertura sedimentar.

Fonte	Direção				Total	Compartimento geológico	
	N-S	NE-SW	NW-SE	E-W		EC	CS
MDE-SRTM v.3	65	8	58	46	177	135	42
MDE-SRTM do Topodata	72	16	47	49	184	137	47
Referência	141	75	152	97	465	355	110

EC = Embasamento cristalino; CS = Cobertura sedimentar

À parte das possíveis diferenças de desempenho entre os MDEs utilizados neste estudo, a análise de lineamentos morfoestruturais extraídos de forma automatizada permitiu reunir evidências de influência tectônica na evolução do relevo da área de estudo. O fato das áreas da porção oeste, onde há rochas do embasamento cristalino, terem revelado maior concentração de lineamentos em relação às áreas de cobertura sedimentar a leste deve-se à sua idade mais antiga, com maior probabilidade de exposição a atividades tectônicas. Além disso, o fato das áreas de cobertura sedimentar não preservarem lineamentos morfoestruturais com maior expressividade em superfície deve-se à natureza das rochas e constante retrabalhamento de sedimentos. A análise direcional dos lineamentos extraídos revelou modas em direções compatíveis com a orientação de falhas regionais do nordeste brasileiro. Lineamentos de orientação principal E-W são compatíveis com a orientação similar de zonas de cisalhamento pré-cambrianas, que incluem falhas de direções predominantemente E-W a ENE-WSW (Brito Neves et al., 2004; Bezerra et al., 2014).

Lineamentos de direções principais NNW-SSE podem estar associados com reativações de estruturas pré-existentes do embasamento cristalino, onde tais orientações foram também observadas (Brito Neves et al., 2009; Bezerra et al., 2008, 2014). Lineamentos de orientação N-S, como aqueles registrados na porção sul da Bacia Paraíba (Lima et al., 2016), podem estar associados a falhas, ou a um conjunto de novas estruturas tectônicas nessa bacia (Andrades Filho; Rossetti, 2012b).

6. Conclusões

As técnicas de processamento digital de imagem utilizadas na presente análise foram úteis na extração semiautomática de lineamentos morfoestruturais na porção norte da Bacia Paraíba. Os resultados experimentais tiveram correspondência de 39 % com os dados de referência na escala 1:100.000, mostrando-se potenciais indicadores regionais da densidade relativa de lineamentos entre ambientes de relevo distintos, como as áreas de embasamento cristalino e de cobertura sedimentar da área de estudo. No entanto, diferenças funcionais entre o processo digital e o desenho manual de lineamentos, sobretudo de escalas de leitura, resultam em ampla superestimativa do número absoluto de lineamentos pelo primeiro, assim como diferenças na distribuição relativa entre setores de direção. O desempenho foi melhor em áreas do embasamento cristalino do que nas áreas de cobertura sedimentar. Porém, a detecção de lineamentos variou em função direta dos parâmetros de entrada do algoritmo. Estes resultados indicam que o melhor desempenho global do método em paisagens complexas pode ser atingido com sua aplicação estratificada por tipos de terreno, com seleção de limiares localmente adaptados à natureza e decorrente expressão topográfica dos lineamentos prevalecentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor, e ao bolsista Carlos Alberto Sampaio de Araújo pela ajuda com a manipulação de dados no Matlab.

Referências bibliográficas

Alves, F.C.; Rossetti, D.F. Análise morfoestrutural e neotectônica na porção norte da Bacia Paraíba (PB). **Revista brasileira de geomorfologia**, v.16, p. 559-578, 2015.

Andrades Filho, C.O.; Fonseca, L.M.G. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 3151-3158. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.05.16.26/doc/3151-3158.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2016

Andrades Filho, C.O.; Rossetti, D.F. Effectiveness of SRTM and ALOS-PALSAR data for identifying morphostructural lineaments in northeastern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 4, p. 1058-1077, 2012a.

Andrades Filho, C.O.; Rossetti, D.F. Caracterização morfoestrutural da parte central emersa da Bacia Paraíba (PB). **Revista brasileira de geociências**, v. 31, n. 1, p. 13-29, 2012b.

Arlegui, L.E.; Soriano, M.A. Characterizing lineaments from satellite images and field studies in the central Ebro basin (NE Spain). **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 16, p. 3169-3185, 1998.

Barbosa, J.A.; Souza, E.M.; Lima Filho, M.; Neumann, V.H. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 89-108, 2003.



Bezerra, F.H.R.; Neves, B.B.B.; Correa, A.C.B.; Barreto, A.M.F.; Suguio, K. Late Pleistocene tectonic geomorphological development within a passive margin - The Cariatá trough, northeastern Brazil. **Geomorphology**, v. 97, n. 3-4, p. 555-582, 2008.

Bezerra, F.H.R.; Rossetti, D.F.; Oliveira, R.G.; Medeiros, W.E.; Brito Neves, B.B.; Balsamo, F.; Nogueira, F.C.C.; Dantas, E.L.; Andrades Filho, C.; Góes, A.M. Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. **Tectonophysics**, v. 614, p. 78-90, 2014.

Brasil, 2008. **Topodata**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. INPE, São José dos Campos, Brazil.

Brito Neves, B.B.; Riccomini, C.; Fernandes, T.M.G.; Sant'anna, L.G. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado Proterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 1, n. 34, p. 127-134, 2004.

Brito Neves, B.B.; Albuquerque, J.P.T.; Coutinho, J.M.V.; Bezerra, F.H.R. Novos dados geológicos e geofísicos para caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-Bacia de Alhandra (sudeste da Paraíba). **Geologia USP-Série Científica**, v. 9, n. 2, p. 63-87, 2009.

Canny, J. A computational approach to edge detection. **IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.** v.8, p.679-698, 1986.

Kavak, K.S.; Tatar, O.; Piper, J.; Kocbulut, F.; Mesci, L. Determination of neotectonic features of the Karasu Basin (SE Turkey) and their relationship with Quaternary volcanic activity using Landsat ETM+ imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, p. 4507-4524, 2009.

Lima, J.C.F.; Bezerra, F.H.R.; Rossetti, D.F.; Barbosa, J.A.; Medeiros, W.E., Castro, D.L.; Vasconcelos, D.L. Neogene-Quaternary fault reactivation influences coastal basin sedimentation and landform in the continental margin of NE Brazil. **Quaternary International**, p.1-16, 2016.

Masoud, A.A.; Koike, K. Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 66, p. 818-832, 2011.

Mordohai, P.; Medioni, G. Tensor voting: A perceptual organization approach to computer vision and machine learning. **Synth. Lect. Image Video Multimed. Process**, v. 2, p. 1-136, 2006.

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. 1.463-1.469, 1976.

Rabus, B.; Eineder, M.; Roty, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.

Rahnama, M.; Gloaguen, R. TecLines: A MATLAB-Based Toolbox for Tectonic Lineament Analysis from Satellite Images and DEMs, Part 1: Line Segment Detection and Extraction. **Remote Sensing**, v. 6, p. 5938-5958, 2014.

Rossetti, D.F.; Bezerra, F.H.R.; Góes, A.M.; Valeriano, M.M.; Andrades Filho, C.O.; Mittani, J.C.R.; Tatum, S.H.; Brito Neves, B.B. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 300, p. 191-204, 2011.

Rossetti, D.F.; Góes, A.M.; Bezerra, F.H.; Valeriano, M.M.; Brito Neves, B.B.; Ochoa, F.L. Contribution to the stratigraphy of the onshore Paraíba Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 2, p. 313-334, 2012.

Wang, J.; Howarth, P.J. Use of the hough transform in automated lineament. **Geosci. Remote Sens. IEEE Trans.** v.28, p.561-567, 1990.