

ÍNDICES MORFOMÉTRICOS E INTENSIDADE TECTÔNICA NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Clódís de Oliveira Andrades Filho¹; Dilce de Fátima Rossetti²

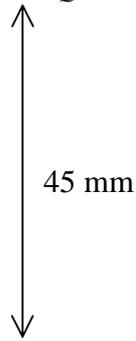
andradesfilho@usp.br

¹ - Instituto de Geociências (IGc) – Universidade de São Paulo (USP) ; ² - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Avenida dos Astronautas, 1758 – Jardim da Granja, CP – 515 – São José dos Campos – SP – Brasil, CEP 12245-970. Instituto nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Observação da Terra (OBT) – Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR)

Resumo. A Bacia Paraíba é representada em superfície principalmente pela Formação Barreiras (Mioceno) e pelos Sedimentos Pós-Barreiras (Pleistoceno-Holoceno). Este trabalho aplica índices morfométricos como forma de avaliação da intensidade de influência tectônica nestas unidades cenozóicas, bem como no embasamento cristalino adjacente. A pesquisa incluiu dados de sensoriamento remoto ativo, derivados do MDE (Modelo Digital de Elevação)-SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), além de base de drenagem digital extraída de cartas topográficas da DSG (Diretoria de Serviço Geográfico). Estes dados foram utilizados na determinação dos seguintes índices morfométricos: relação declividade-extensão (SL), fator assimétrico (Af), integral hipsométrica (Hi) e sinuosidade de frente de montanha (Smf). Os resultados revelaram que o MDE-SRTM foi eficiente para o cálculo dos índices morfométricos e que estes, analisados em conjunto, possibilitaram interpretar a intensidade de deformações tectônicas na parte central emersa da Bacia Paraíba. Os valores sugerem diferentes intensidades de influência tectônica na área de estudo. A porção nordeste, com domínio de cobertura sedimentar, e o setor norte, com domínio do embasamento cristalino, são apontados como os que sofreram atividade tectônica mais intensa em períodos geológicos recentes (i.e. Neógeno e Quaternário).

Palavras-chave: morfometria, neotectônica, deformações tectônicas, Formação Barreiras



1. INTRODUÇÃO

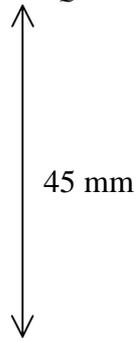
Dados de sensoriamento remoto tem contribuído significativamente para o avanço de estudos geológicos e geomorfológicos em escalas regionais. Imagens adquiridas por sensores ópticos tem larga aplicação em áreas áridas e semi-áridas, porém seu uso é limitado em regiões tropicais úmidas, onde a cobertura vegetal e de nuvens é frequente. Este é o caso do território brasileiro, onde radar de abertura sintética (SAR), e em particular, modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de radar interferométrico de abertura sintética – InSAR, são de maior potencial na geração de informações geológicas e na caracterização do relevo. A ampla distribuição de modelos interferométricos derivados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Rabus et al., 2003) favorece estudos dessa natureza. Como exemplo pode-se citar publicação recente com foco na identificação de deformação tectônica com aplicação de índices geomorfométricas extraídos de MDE's (p.e., El Hamdouni et al., 2008; Jordan et al., 2005).

O objetivo deste trabalho é aplicar índices geomorfométricos na determinação da intensidade de influência tectônica de unidades sedimentares na porção central emersa da Bacia Paraíba, nordeste brasileiro (Figura 1a), que inclui principalmente a Formação Barreiras (Mioceno) e os Sedimentos Pós-Barreiras (Pleistoceno-Holoceno), bem como do embasamento precambriano adjacente. Essa área está inserida no contexto de bacia de margem passiva, porém com registro de atividade tectônica após o estabelecimento do *rift* intercontinental no Juro-Cretáceo (p.e., Barreto et al., 2002; Bezerra et al., 2008; Brito Neves et al., 2004; Morais Neto e Alkmin, 2001; Nogueira et al., 2006). Além disto, abalos sísmicos, provavelmente relacionados à reativação de falhas, têm sido cada vez mais frequentes na região (Ferreira et al., 1998). Tectônica ativa até os dias atuais faz desta área uma excelente oportunidade para se testar métodos de extração de índices geomorfométricos com base em MDE-SRTM no território brasileiro, visando registrar a influência de eventos tectônicos no desenvolvimento das formas de relevo.

2. ÍNDICES GEOMORFOMÉTRICOS DE ATIVIDADE TECTÔNICA

Vários índices morfométricos auxiliam na investigação morfotectônica, sendo que estes exploram principalmente a rede de drenagem e as feições de relevo (El Hamdouni et al., 2008). Dentre os índices mais utilizados estão: relação declividade-extensão (RDE), fator assimétrico (*Af*), integral hipsométrica (*Hi*), e sinuosidade de faces de montanha (*Smf*). Estes índices podem auxiliar na identificação de terrenos com efeito tectônico, quando excluída a possibilidade de interferência de fatores litológicos. Dada a possibilidade de interpretações variadas, é importante que estes índices sejam utilizados individualmente e de forma combinada, a fim de se proceder com análises morfoestruturais detalhadas visando sua utilização em relação ao conjunto de características geológico/geomorfológicas do terreno.

O índice RDE (relação Declividade-Extensão) (Etchebehere et al., 2006) é utilizado na detecção de possíveis deformações tectônicas por parâmetros quantitativos obtidos a partir do perfil longitudinal do canal. Este índice é um indicador sensível de mudanças na declividade



do canal fluvial. O índice *Af* é capaz de sugerir a existência de basculamentos tectônicos em escala de bacia hidrográfica, sendo aplicado em áreas relativamente extensas. Já o índice *Hi* descreve a curva de distribuição de elevação do terreno de uma determinada bacia hidrográfica através da frequência acumulada das altitudes. A integral hipsométrica é representada graficamente pela área sob uma dada curva hipsométrica. A partir desta informação o índice *Hi* pode representar determinada área da bacia que ainda não esteve sujeita a processos erosivos, configurando-se como indicador de diferentes estágios evolutivos do relevo. Por fim, o índice *Smf* representa o grau de equilíbrio entre processos erosivos e o desgaste de uma face de relevo acentuado. A atividade tectônica vertical tende a produzir faces de relevo acentuadamente retilíneas, que coincidem com falhas ou fraturas ativas.

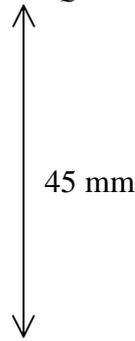
Além dos índices morfométricos individuais acima descritos, a discriminação de áreas com diferentes graus de influência de atividade tectônica pode ser avaliada quantitativamente pela combinação desses índices. Uma dessas combinações, que inclui a média dos índices anteriores, traduzidos em categorias de intensidade tectônica (*Cit*) (1=alta; 2=média; 3=baixa), resultou na proposição do índice de atividade tectônica relativa (*Iat*) (El Hamdouni et al., 2008). A resultante desta razão é atribuída a classes de atividade tectônica relativa.

3. METODOLOGIA

A análise quantitativa foi baseada em quatro índices morfométricos (*RDE*, *Af*, *Hi* e *Smf*) e um índice combinatório (*Cit*), calculados com base em informações derivadas do MDE-SRTM-3" e da análise da rede de drenagem de 22 bacias hidrográficas, definidas de forma semi-automática. Os índices morfométricos foram aplicados a partir dos programas ArcView-GIS, ArcGIS, SPRING, e Global Mapper. Além destes, também foi utilizado o recurso de manipulação de dados em planilha eletrônica. Por fim foram combinadas as informações dos índices morfométricos. Através dos valores de categorias de intensidade tectônica obtidos (*Cit*) em cada índice, foi auferida a média do valor de *Cit* para cada sub-bacia hidrográfica. Aos valores de média de *Cit* foram atribuídas classes. Cada classe foi enquadrada na proposição de El Hamdouni et al. (2008), ou seja, cada classe enquadra-se em quatro níveis de atividade tectônica relativa (*Iat*). A análise desses índices foi feita com base em sua integração com mapa geológico apresentado em Rossetti et al. (2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada índice apresentou sensibilidade distinta. Esta constatação pode ser atrelada à própria natureza deformacional da área e à forma que o índice responde a determinada deformação. O índice *RDE* revelou indícios de anomalias de drenagem em todas as sub-bacias hidrográficas analisadas. As anomalias ocorrem tanto em segmentos do alto curso dos rios, quanto de seus cursos médios e baixos, compreendendo aproximadamente 67% do total de trechos de rio analisados. Quanto ao índice *Af* foram reconhecidas bacias hidrográficas com baixa, média e alta assimetria. Assim como a assimetria, a integral hipsométrica também revelou diferentes



graus de arrasamento do terreno, destacando o setor norte-nordeste como a área de menor dissecação, portanto com feições de terreno mais jovem. De acordo com o índice *Smf*, a maior parte das sub-bacias hidrográficas, i.e., 77%, recebeu a categoria de intensidade tectônica (Cit) moderada.

Os índices geomorfométricos extraídos do MDE-SRTM levaram à obtenção do índice de atividade tectônica (*Iat*) para a área de estudo (Figura 1). Em geral, este índice revelou terrenos com fortes indicativos de influência tectônica.

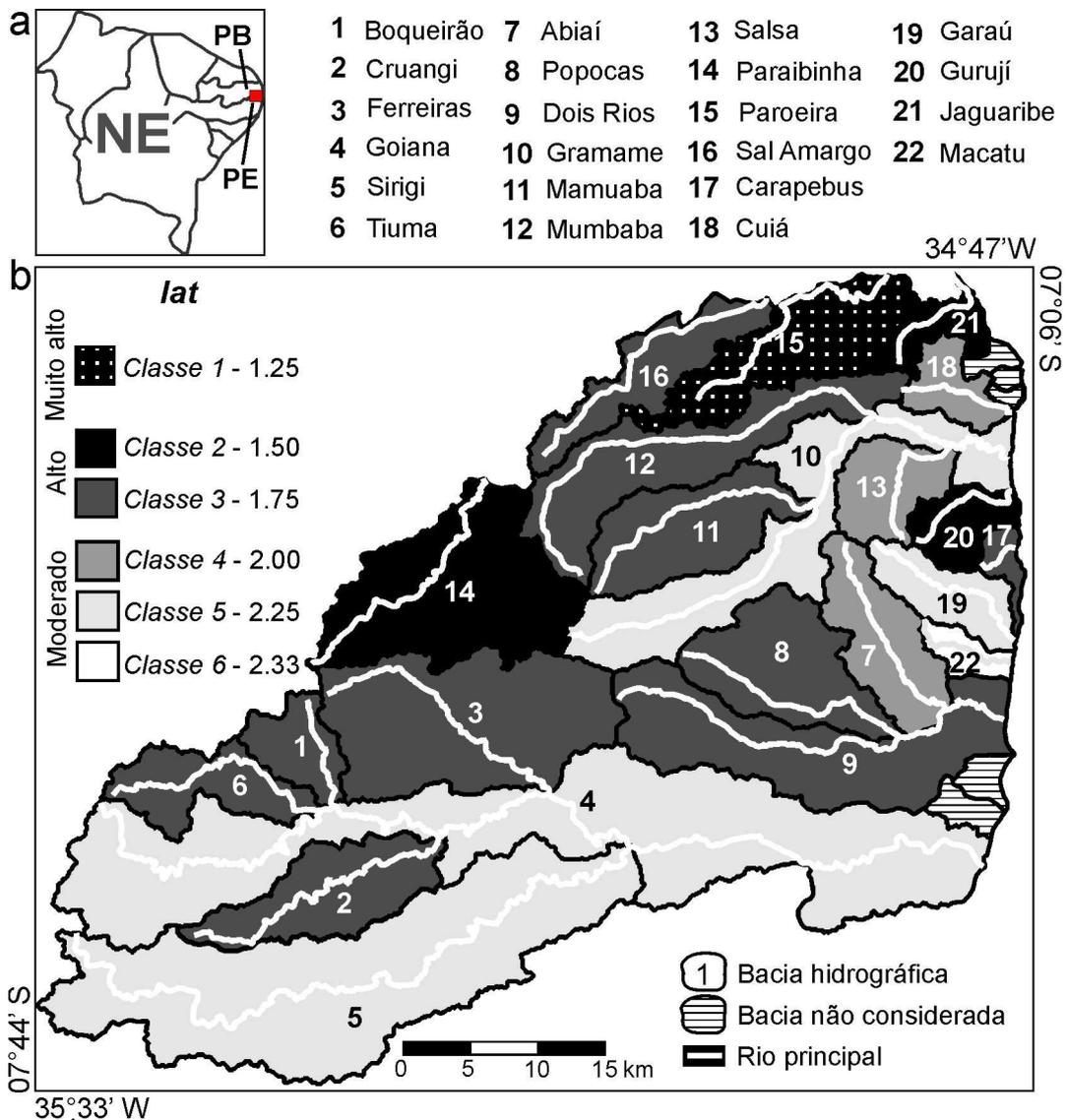
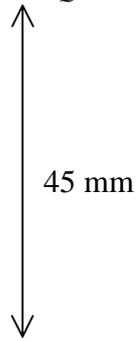


Figura 1. Área de estudo (a) e bacias hidrográficas classificadas segundo o índice *Iat* (b).



A partir do índice *Iat*, é possível sugerir que todas as bacias hidrográficas da área de estudo revelam indícios expressivos de deformação tectônica, visto que nenhuma bacia recebeu atribuição de baixa intensidade tectônica. Apesar da não identificação de um padrão uniforme na espacialização da intensidade tectônica, este índice aponta a porção leste, em especial, o setor nordeste da área, onde há predomínio das unidades sedimentares, como tendo maior intensidade tectônica. Neste setor, os maiores valores de *Iat* correspondem a sedimentos pleistocênicos e holocênicos, confirmando que a bacia continuou tectonicamente até tempos relativamente recentes. Juntamente com este setor, a porção norte da área, onde aflora o embasamento cristalino, forma uma faixa de sub-bacias hidrográficas com potencial influência de deformações tectônicas.

5. CONCLUSÕES

As porções nordeste e norte da área, com domínio de cobertura sedimentar e embasamento cristalino, respectivamente, são apontadas como as que sofreram influência mais intensa de atividade tectônica em períodos geológicos relativamente recentes (i.e. Neógeno e Quaternário).

Os dados do MDE-SRTM permitiram a aplicação de índices morfométricos (i.e., RDE, *Af*, *Hi*, *Smf* e *Iat*) de forma dinâmica, sendo ferramenta efetiva na análise quantitativa do relevo em assentamentos geológicos precambrianos a quaternários.

A sensibilidade dos índices indica influência de atividade tectônica recente na evolução do relevo da Bacia Paraíba. Não se descarta que investigação mais aprofundada aplicando-se testes em diferentes terrenos, possa indicar limiares de classes de intensidade tectônica (*Cit*) mais apropriados, favorecendo a análise mais precisa da evolução tectônica da Bacia Paraíba.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pelo auxílio à pesquisa (Projeto # FAPESP#06/04687-7) e pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor, e ao CNPq, pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa à segunda autora.

REFERÊNCIAS

- Barreto, A. M. F., Bezerra, F. H. R., Suguio, K., Tatumi, S. H., Momose, E. F., Paiva, R. P., Munita, C. S., 2002. Late Pleistocene marine terrace sequences in northeastern Brazil: sea-level changes and tectonic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, n. 179, pp. 57 – 69.
- Bezerra, F. H. R., Neves, B. B. B., Correa, A. C. B., Barreto, A. M. F. & Suguio, K., 2008. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - The Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology*, v. 01, pp. 555-582.



45 mm

- Brito Neves, B. B., Riccomini, C., Fernandes, T. M. G. & Sant'Anna, L. G., 2004. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado Proterozóico. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 34, v. 1, pp. 127-134.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. & Keller, E., 2008. A. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, v. 96, n. 1-2, pp. 150-173.
- Etchebehere, M. L. C., Saad, A. R.; Santoni, G. C., Casado, F. C., Fulfaro, V. J., 2006. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. *Revista de Geociências USP*, v. 25, pp. 271-289.
- Ferreira, J. M., Oliveira, R. T., Takeya, M. K. & Assumpção, M., 1998. Superposition of local and regional stresses in NE Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. *Geophysical Journal International*, v. 134, pp. 341-355.
- Jordan, G., Meijninger, B. M. L., Van Hinsbergen, D. J. J., Meulenkamp, J. E. & Van Dijk, P. M., 2005. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and application for study areas in Hungary and Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, n. 7, pp. 163-182.
- Morais Neto, J. M. & Alkmin, F. F., 2001. A deformação das coberturas terciárias do Planalto da Borborema (PB-RN) e seu significado tectônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, pp. 95-106.
- Nogueira, F. C. C., Bezerra, F. H. R. & Castro, D. L., 2006. Deformação rúptil em depósitos da Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. *Geologia USP-Série Científica*, v. 6, pp. 51-59.
- Rabus, B., Eineder, M., Roty, A. & Bamler, R., 2003. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 57, pp. 241-262.
- Rossetti, D. F., Bezerra, F. H., Góes, A. M., Valeriano, M. M., Andrades Filho, C. O., Mittani, J. C. R., Tatumi, S. H. & Brito Neves, B. B., 2011. 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, pp. 191-204.