



## APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE HACK – OU RDE – NAS BACIAS DOS RIOS OROBÓ E SIRIJÍ – PE

**Camila de Sousa Lima**

Mestranda do Programa de Pós Graduação em Geografia da UFPE – [camila.ufpe@gmail.com](mailto:camila.ufpe@gmail.com)

**Kleython de Araújo Monteiro**

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Geografia da UFPE – [kleython\\_ufpe@hotmail.com](mailto:kleython_ufpe@hotmail.com)

### RESUMO

Por muito tempo a geomorfologia tem se utilizado da análise morfológica para o estudo da evolução e interpretação da paisagem. Métodos empíricos foram, por muito tempo, a principal fonte de entendimento dos processos morfogenéticos. Todavia, métodos físicos e matemáticos vêm sendo aplicados por muitos autores desde a década de 1950. Entre outros, um dos métodos que teve grandes avanços em suas utilizações foi o proposto por Hack (1957, 1973) o Stream Length-Gradient Index (SL Index) ou Relação Declividade-Extensão (RDE). Este método refere-se a uma relação entre o ângulo de declividade do canal e a sua extensão. No presente artigo este índice foi aplicado nas bacias dos rios Orobó e Sirijí, bacias pertencentes à drenagem litoral do Estado de Pernambuco. Foi gerado um MDT (Modelo Digital de Terreno) a partir de dados do projeto SRTM na escala 1:250.000. A seguir um método interpolador foi aplicado para gerar curvas de nível com intervalos de 50 m. Um raster de drenagem foi gerado compatível com a escala de 1:100.000. Posteriormente o RDE foi aplicado aos canais em intervalos de 50m e geraram uma planilha com dados numéricos que foram usados para construção de gráficos e quadros que demonstram a existência de zonas anômalas ao longo do perfil dos rios. Baseado na aplicação do índice foi possível identificar o *knick-point* regional das bacias. Por fim o índice foi relacionado com informações como a geologia da bacia, o que possibilitou a interpretação de que nenhum controle litológico foi responsável pela existência do *knick-point*, o que sugere que a escarpa identificada pelo índice pode ter sido gerada por outros processos morfológicos como falhamento ou flexura da borda continental.

### INTRODUÇÃO

A geomorfologia, na busca do entendimento das formas de relevo, sua gênese e evolução, incorpora a aplicação de diversos índices morfométricos, em bases automatizadas, à análise de padrões espaciais que permitem a inferência de controles estruturais, litológicos e climáticos sobre a morfogênese. Muitos desses métodos já são clássicos dentro da ciência, mas passam a ter uma aplicabilidade mais ágil a partir do seu processamento em meios digitais.



Dentre estes destacamos o índice de Hack, ou RDE, proposto inicialmente em 1957 (HACK, 1957, 1973).

A análise morfológica foi por muito tempo o método de análise e interpretação das formas de relevo mais utilizado pelos geomorfólogos. Embora tendo surgido com o desenvolvimento da teoria do Ciclo Geográfico de Davis (1899), a abordagem alcançou seu ápice em meados do século XX, quando diversas interpretações em bases dedutivas similares foram propostas. Em suma, o conjunto regional das formas ofereceria uma aproximação de quanto tempo o relevo estaria exposto às intempéries e como ele teria se desenvolvido.

Entretanto, antes mesmo de Davis, Gilbert (1877) já propunha a idéia de que a análise da paisagem deveria também se pautar na compreensão de três fatores essenciais, sendo eles o material (rocha/sedimento), os processos (endógenos/exógenos) e as formas. A interação destes fatores comporia a paisagem física da superfície terrestre.

A partir da década de 1960, com a crescente utilização da perspectiva sistêmica na geomorfologia, a concepção de evolução cíclica do relevo foi sendo substituída pela análise processual que considera a dinâmica da superfície como de suma importância no desenvolvimento das formas. Essa perspectiva aliada a uma herança positivista físico/matemática gerou uma grande quantidade de tentativas de entendimento das formas através dos processos nelas atuantes que pudessem ser visualizados e mensurados a partir do uso da linguagem matemática e embasadas em leis físicas.

Uma destas tentativas é a proposta de Hack (1973) de determinar se um rio estaria em equilíbrio geomorfológico ou não a partir de uma relação entre a declividade deste rio e sua extensão. Esta relação foi denominada por Hack (1973) de *Stream Length-Gradient Index (SL Index)*. No Brasil ela é também conhecida como Relação Declividade-Extensão (RDE) (ETCHEBEHERE *et al*, 2006).

Segundo a proposição original, a aplicação deste índice permite a identificação de setores processualmente “anômalos” ao longo do curso do rio, sendo o índice maior ou menor quando da passagem do rio por uma litologia ou estrutura mais ou menos resistente. No caso da ocorrência de um mesmo tipo litológico a anomalia geralmente recai sobre uma zona de movimentação tectônica pós-implantação da drenagem contemporânea.

Este método tem sido utilizado para corroborar pesquisas nas áreas de erosão diferencial, controle litológico e estrutural, além de ser uma ferramenta importante na identificação de deformações neotectônicas ao longo do curso dos rios (ETCHEBEHERE *et al*, 2006; MISSURA, 2005). Desta forma, o presente artigo busca a identificação de zonas





Morfologicamente o setor do saliente nordestino, onde se encontram as bacias estudadas, apresenta patamares escalonados de relevo desde a planície costeira até as cimeiras rochosas do Planalto da Borborema. Estes patamares foram previamente definidos como níveis sucessivamente aplainados decorrentes do modelado cíclico do relevo, sobretudo mediante a aplicação das proposições de King (1952).

## MÉTODOS E APLICAÇÕES NAS BACIAS

A presente pesquisa buscou a utilização do índice RDE, proposto por Hack (1973) e utilizado por outros autores (TROIANI & DELLA SETA 2007, ETCHEBEHERE *et al* 2004, 2006; MISSURA, 2005) voltado à identificação de anomalias ao longo do perfil dos rios estudados e sua correlação com fatores controladores como a litologia da área e a sua tectônica. As anomalias identificadas podem levar ao entendimento das principais discontinuidades morfológicas da bacia, possibilitando sua correlação com diferenças litológicas ou controle estrutural como falhas.

Foram adotados como base para este trabalho os conceitos de Perfil Longitudinal (CHRISTOFOLETTI, 1980) e Índice de Gradiente (HACK, 1973). A partir destes dois conceitos, buscou-se na literatura disponível diferentes metodologias referentes a aplicação dos mesmos como forma de melhor adaptar os estudos teóricos de morfometria fluvial às técnicas disponíveis no auxílio destes estudos, adotando-se como técnica para o presente trabalho a aplicação de Etchebehere e Saad (1999) ao vale do Rio do Peixe.

O método reside na aplicação das seguintes fórmulas (Figura 2):

Sendo  $RDE_{trecho}$  a Relação Declividade x Extensão de cada trecho,  $\Delta h$  a diferença entre a altura máxima e a mínima do trecho do canal estudado,  $\Delta l$  é a projeção horizontal do trecho a ser estudado e  $L$  é o comprimento do ponto mais a jusante do trecho estudado à cabeceira da bacia em linha reta. Seu modelo pode ser melhor visualizado no esquema abaixo:

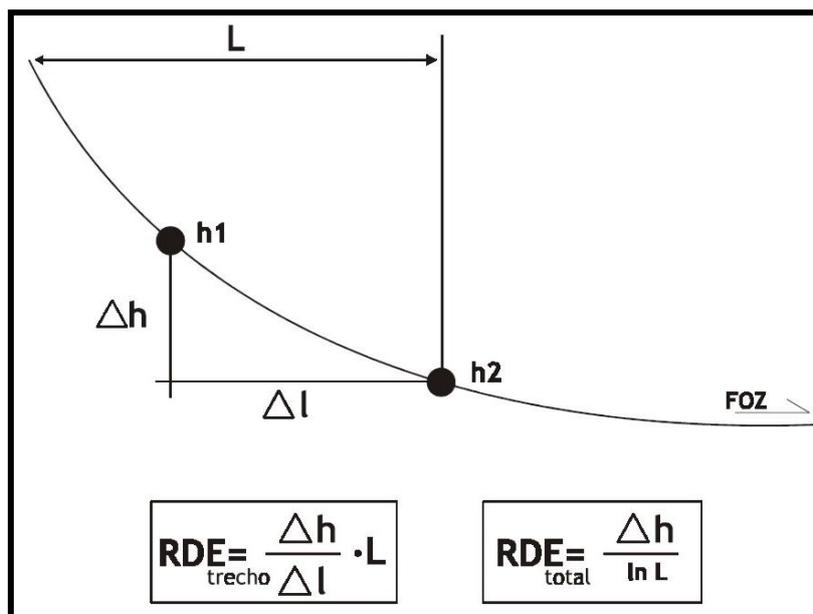


Figura 2. Esquema de Hack (1973) utilizado para o cálculo do índice RDE. Modificado por Etchebehere (2000).

No que se refere às anomalias de drenagem propriamente ditas, Seeber e Gornitz (1983) consideram como anômalos os índices de  $RDE_{trecho}$  que divididos pelo índice  $RDE_{total}$  obtiverem valores acima de 2 (dois). Tais anomalias dividem-se em duas categorias, ou seja, anomalias de 2ª ordem são as que a divisão dos índices obtenham resultados entre os limiares 2 (dois) à 10 (dez), e as anomalias de 1ª ordem são as que este resultado é igual ou superior a 10 (dez). Esta classificação é traduzida como sendo as anomalias de primeira ordem encontradas em locais muito íngremes, as anomalias de 2ª ordem encontradas em locais íngremes e quando o índice calculado é menor que 2 (dois) os trechos são pouco íngremes, configurados como gradiente ideal.

Neste trabalho o índice foi aplicado ao longo dos canais principais dos rios Orobo e Sirijí. Sendo o comprimento longitudinal das bacias inferior a 30 e 60 km respectivamente, tornou-se impraticável a aplicação do índice para um grande número de tributários, visto que são poucos os que possuem uma extensão maior do que 10 km, e os de extensão inferior a este valor também não trariam resultados satisfatórios à escala da base de dados utilizada (1:250.000).

Os dados utilizados para confecção do MDT (Modelo Digital de Terreno) da bacia derivam de um recorte da carta SB-25-Y-C do projeto SRTM na escala de 1:250.000. Posteriormente foi utilizado um método interpolador para geração das curvas de nível com intervalos de 50m, sendo este intervalo adequado à escala utilizada. Foi gerado também um *raster* da drenagem compatível com a encontrada em escalas maiores (1:100.000 e 1:25.000).



Em seguida o índice foi aplicado aos canais em trechos limitados pelas isoípsas de 50m gerando uma tabela de valores que forneceram gráficos demonstrando o perfil do canal, os valores de RDE e a identificação das zonas anômalas. Os gráficos identificando os valores anômalos, assim como os perfis longitudinais dos rios podem ser observados respectivamente nas figuras 3, 4, 5 e 6.

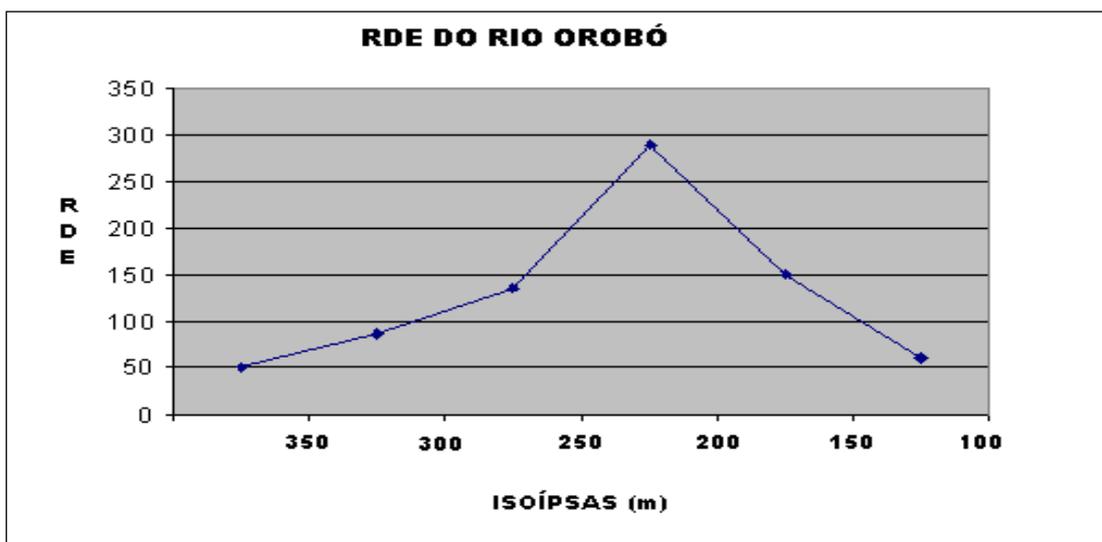


Figura 3. Índice RDE do Rio Orobó.

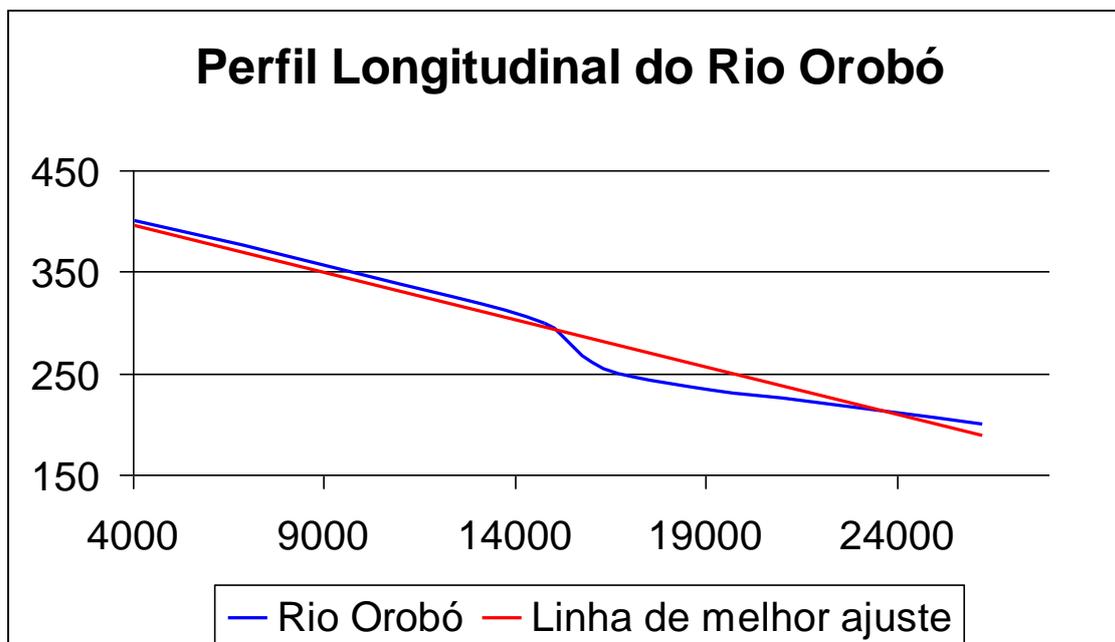


Figura 4. Perfil Longitudinal do Rio Orobó e sua linha de tendência demonstrando o setor do rio onde predominam os processos erosivos.

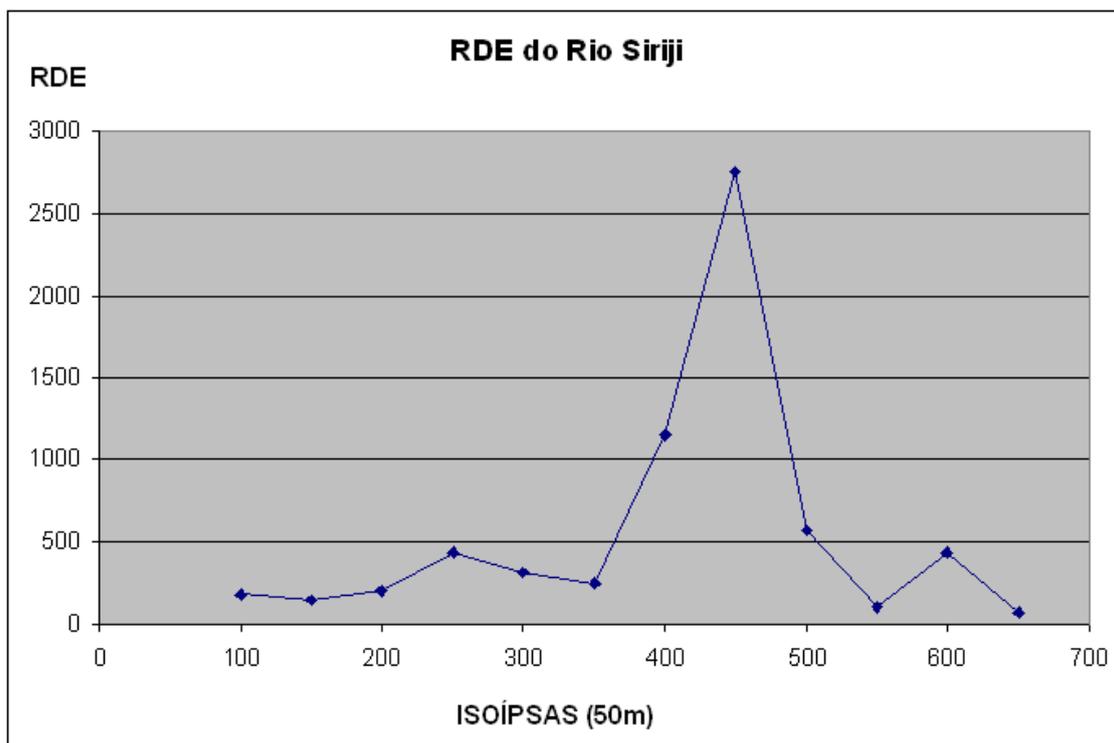


Figura 5. Índice RDE do Rio Siriji.

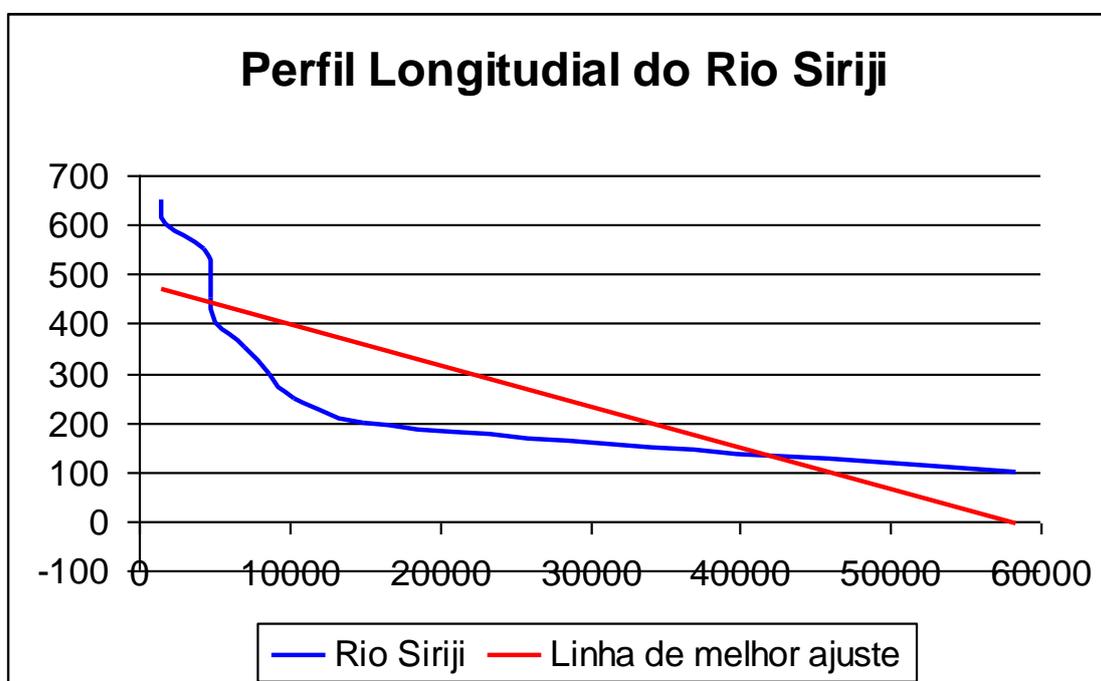


Figura 6. Perfil Longitudinal do Rio Siriji.

A partir da aplicação da metodologia proposta foram obtidos os índices de RDE para os canais principais dos rios. Com a geração da tabela de valores e dos gráficos que se seguiram foi



possível identificar dados anômalos. Esses dados demonstram que existe uma área ao longo do canal que pôde ser identificada como o *knickpoint* regional, a jusante do qual os processos predominantes passam a ser os de deposição.

Outra informação relevante apontada pelo uso do índice RDE indica que na área de ocorrência das anomalias encontra-se uma escarpa. Sobrepondo-se a espacialização do índice aos mapas litológicos das bacias (Fig. 7 e 8), verificou-se que não existe uma variação litológica que justifique um controle por parte da rocha sobre a escarpa (zona de concentração de anomalias), o que leva a crer que a escarpa pode ter sido gerada por falhamento ou até mesmo por flexura da borda continental, processo este defendido por muitos autores (BRITO NEVES, 2001) para a zona sub-litorânea do rebordo oriental do Nordeste. Nota-se que as anomalias mais expressivas encontram-se em tipo litológicos homogêneos e não em limites litológicos, onde se esperaria encontrar caso a erosão diferencial fosse o principal fator responsável pelo índice.

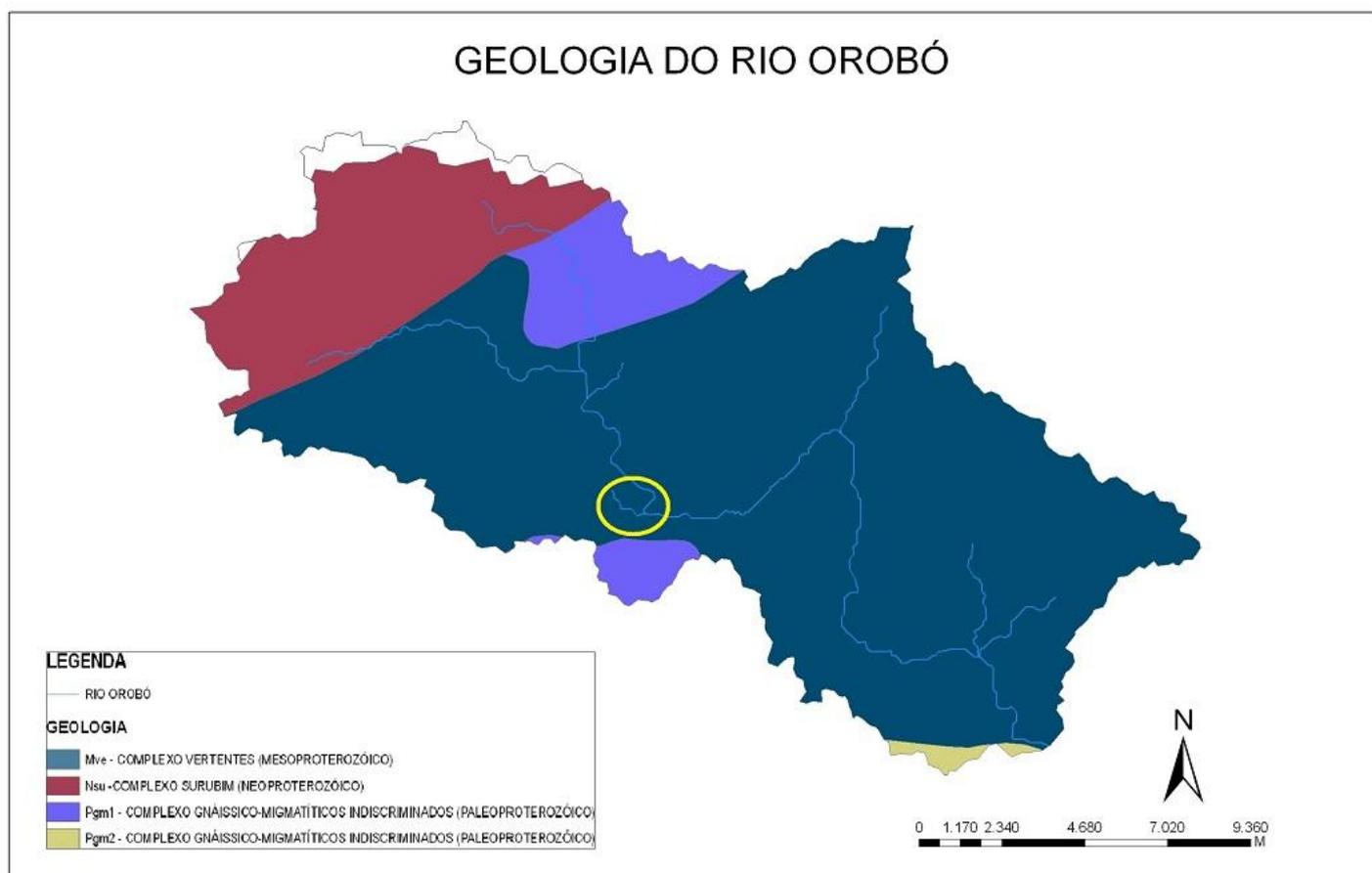


Figura 7. Mapa geológico da bacia. **Mve** - complexo vertentes (mesoproterozóico): biotita xisto, paragnaisses, incluindo leucognaisses finos e quartzitos, metadacitos, metamáficas, metavulcânicas intermediárias, metavulcanocáticas, calcissilicáticas e mais raramente metaultramáficas. **Pgm1** - complexo gnáissico-migmatíticos indiscriminados (paleoproterozóico): embasamento dom terreno rio capibaribe- unidade mais homogênea. ortognaisse granítico a tonalítico, com monzonitos, monzodioritos, e dioritos. **Pgm2** - complexo gnáissico-migmatíticos indiscriminados (paleoproterozóico): embasamento dom terreno rio capibaribe- unidade mais migmatizada. ortognaisse granítico a tonalítico, com monzonitos, monzodioritos, e dioritos (região de salgadinho). **Nsu** -complexo surubim (neoproterozóico): biotita gnaisses, granada biotita gnaisses, com intercalação de muscovita quartzito, calcário/mármore e rochas calcissilicáticas. **Anomalia expressiva indicada pelo círculo amarelo (25,8)**

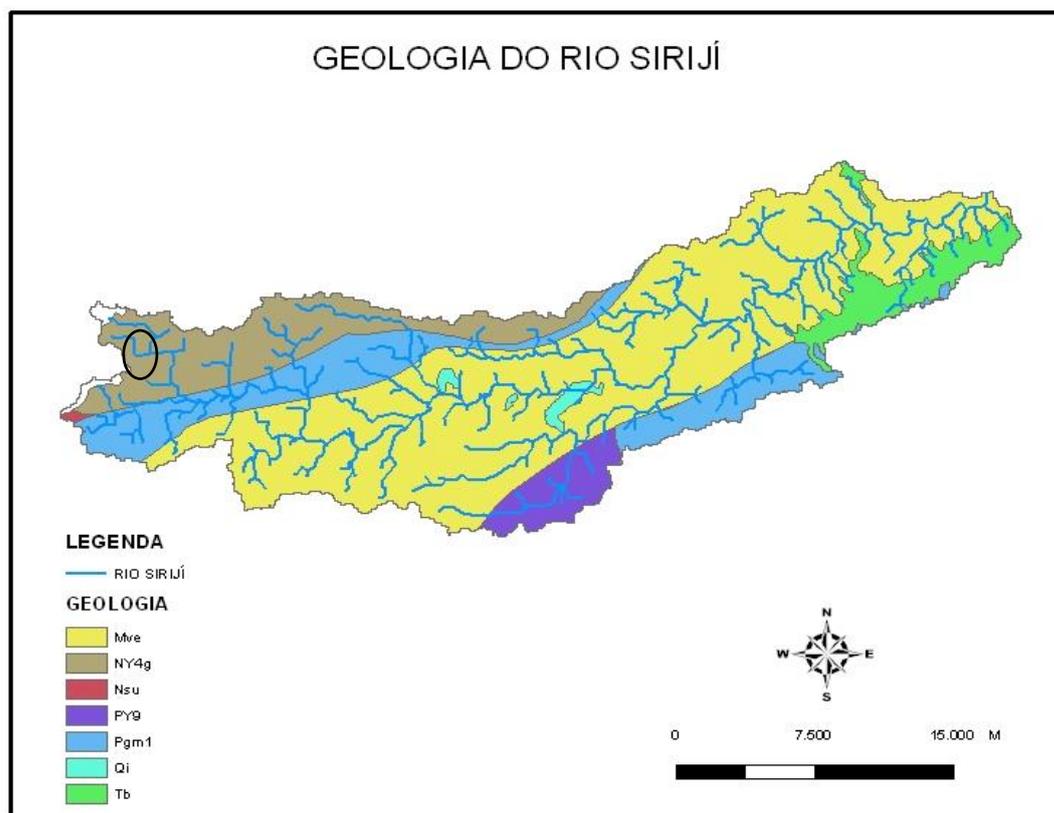


Figura 8. Mapa Geológico do Rio Sirijí. **PY9** - metagranitóides intrusivos - ortognaisses de limoeiro e buenos aires (paleoproterozóico): ortognaisses tonalíticos com tendências dioríticas em buenos aires e rochas dioríticas com porções migmatíticas ao sul de limoeiro. **Mve** - complexo vertentes (mesoproterozóico): biotita xisto, paragnaisses, incluindo leucognaisses finos e quartzitos, metadacitos, metamáficas, metavulcânicas intermediárias, metavulcanocáticas, calcissilicáticas e mais raramente metaultramáficas. **Qi** - (cenozóico - quaternário): areias, siltes, argilas, vasas diatomáceas, sedimentos turfáceos de ambiente flúvio lacustre, areias de cordões litorâneos, subatuais e atuais, sedimentos silte-argilosos, de mangue e cobertura eluvial arenosa. **NY4g** -suíte magmática (neoproterozóico): granitos finos, róseos, com porções sieníticas e thronjemíticas. **Tb** - grupo barreiras (cenozóico - terciário): arenitos pouco consolidados, às vezes conglomeráticos, com níveis de argilas variegadas, siltitos e lateríticos. **Nsu** -complexo surubim (neoproterozóico): biotita gnaisses, granada biotita gnaisses, com intercalação de muscovita quartzito, calcário/mármore e rochas calcissilicáticas. **Pgm1** - complexo gnáissico-migmatíticos indiscriminados (paleoproterozóico): embasamento dom terreno rio capibaribe- unidade mais homogênea. ortognaisse granítico a tonalítico, com monzonitos, monzodioritos, e dioritos. **Anomalia expressiva indicada com o círculo preto (55,2).**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No caso da área analisada neste trabalho as discontinuidades verificadas nas quebras de patamares foram classicamente interpretadas como derivadas dos ciclos erosivos e não da ação de tectonismo rúptil. A diferenciação entre processos erosivos de recuo de escarpa e erosão em escarpa de falha torna-se difícil por métodos empíricos de observação no campo sendo, portanto, necessário a utilização de modelos como o aplicado no presente trabalho e a correlação com outras fontes de dados como geológicos e geofísicos, além das recentes utilizações da geocronologia como parâmetro auxiliar na compreensão da morfogênese regional.



Neste sentido, trabalhos como o de Lima (2008) trazem, dentre outras conclusões, a não identificação de relação entre cotas topográficas e idade dos perfis de intemperismo na Província Borborema, o que atesta a dificuldade de associar diretamente as formas escalonadas com os modelos clássicos de regressão cíclica das escarpas.

Este trabalho contribuiu no âmbito da identificação de quebras no relevo em bacias próximas, trazendo dados que podem ser utilizados posteriormente para uma localização mais precisa da escarpa da Borborema Oriental, e contribui também para uma revisão das teorias até então vigentes e amplamente aplicadas na região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brito Neves, B. B. ; Schmus, W. R. V. ; Fetter, A. 2001 . **Noroeste África-Nordeste do Brasil (Província Borborema)**. Ensaio comparativo e Problemas de Correlação. Revista do Instituto de Geociências Usp, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 59-78.

Christofoletti, A. 1980. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 188 p.

Davis, W. M. 1899 – **The geographical cycle**. Geographical Journal, 15(5):481-504.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R. **Relação Declividade / Extensão de Curso (RDE) aplicada à detecção de deformações neotectônicas regionais na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, SP**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6., 1999. São Pedro. Boletim de Resumos... Rio Claro: SBG-SP/RJ-ES/UNESP, p. 93.

Etchebehere, M. L. C. ; Saad, A. R. ; Perinotto, J. A. J. ; Fulfaro, V. J. . Aplicação do Índice "Relação Declividade-Extensão - RDE" na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. Revista do Instituto de Geociências - USP - Série Científica, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.

Etchebehere, M. L. C. ; Saad, A. R. ; Santoni, G. C. ; Casado, F. C. ; Fulfaro, V. J. . 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. Geociências (São Paulo), v. 25, p. 271-289, 2006.

Gilbert, G. K. 1877 - Report on the geology of the Henry Mountains (Utha – US). Geog. and Geol. Survey of the Rocky Mtn. Region (Powell) 160 p.

Hack, 1957. J.T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.* 294- (1957), pp. 45–97.

Hack, 1973. J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index: U. S. Geol. Survey Jour. Research, v. 1, n° 4, p. 421-429.

King, L.C. Morphology of the Earth. Edinburgh: Oliver, 1967.

Lima, M. G. 2008 – A História do Intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: Implicações Paleoclimáticas e Tectônicas. Tese de Doutorado. UFRN, Natal, 461 p.



Missura, R. 2005 – Análise morfoestratigráfica da Bacia do Ribeirão dos Poncianos/MG. UNESP, Rio Claro. Dissertação de Mestrado, 136 p.

Seeber, L.; Gornitz, V. *River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics*. *Tectonophysics*, v. 92, p. 335-367, 1983.

Troiani, F., Della Seta, M. 2007 – The Use of the Stream Length-Gradient Index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy, *Geomorphology* (2008), doi: 10.1016/j.geomorph.2007.06.020.