



## APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE HACK E ANÁLISE DO PERFIL LONGITUDINAL DOS RIOS PARAIBA DO NORTE, GOIANA E CAPIBARIBE (PB/PE).

Kleython de Araujo Monteiro

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente,  
Maceió, AL, Brasil

[kleython.monteiro@igdema.ufal.br](mailto:kleython.monteiro@igdema.ufal.br)

Antonio Carlos de Barros Corrêa

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Ciências Geográficas, Recife, PE,  
Brasil

[dbiase2001@terra.com.br](mailto:dbiase2001@terra.com.br)

**RESUMO** – A análise quantitativa das drenagens tem sido uma prática sistematizada há pelo menos meio século. A relação destas com o relevo, entretanto, vem sendo aplicada desde os primórdios dos estudos geográficos/naturalistas. No intuito de contribuir para análises do relevo, foi aplicado o Índice de Hack (IH) nos canais principais de 3 drenagens situadas na Zona Transversal. Nos rios Paraíba do Norte, Goiana e Capibaribe foram identificadas áreas anômalas de 1ª e 2ª ordem em seus perfis longitudinais, apresentando a existência de uma ruptura de patamar principal entre as cotas de 200 e 300 metros, bem como a existência de, ao menos, duas superfícies topográficas na porção central e norte da Zona Transversal, entretanto tais rupturas não são verificadas na porção sul deste setor. Estes dados nos permitem postular um basculamento do Macrodomo da Borborema no setor supracitado. Por fim verificou-se que este método é eficaz na identificação e quantificação de anomalias e nos estudos de evolução do relevo.

Palavras chaves: Patamares de Relevo; Morfometria; Zona Transversal

### THE APPLICATION OF HACK INDEX AND THE LONGITUDINAL PROFILE ANALYSIS OF THE PARAIBA DO NORTE, GOIANA AND CAPIBARIBE RIVERS (PE/AL)

**ABSTRACT:** The quantitative analysis of drainage has been a systematized practice for, at least, half a century. The relation of these with the relief, however, has been applied since the beginnings of the geographic/naturalistic studies. In order to contribute to relief analyzes, the Hack Index (IH) was applied to the main channels of 3 drains located in the Transversal Zone. In the Paraíba do Norte, Goiana and Capibaribe rivers, anomalous areas of 1st and 2nd order were identified in their longitudinal profiles, showing the existence of a main rupture between the 200 and 300 meters, as well as the existence of, at least, two topographic surfaces in the central and northern portions of the Transversal Zone, however such ruptures are not verified in the southern portion of this sector. These data allow us to postulate a tipping of the Borborema Macrodome in the aforementioned sector. Finally, it was verified that this method is effective in the identification and quantification of anomalies and in the studies of evolution of the relief.

Keywords: Relief Surfaces; Morphometry. Transversal Zone.

## INTRODUÇÃO

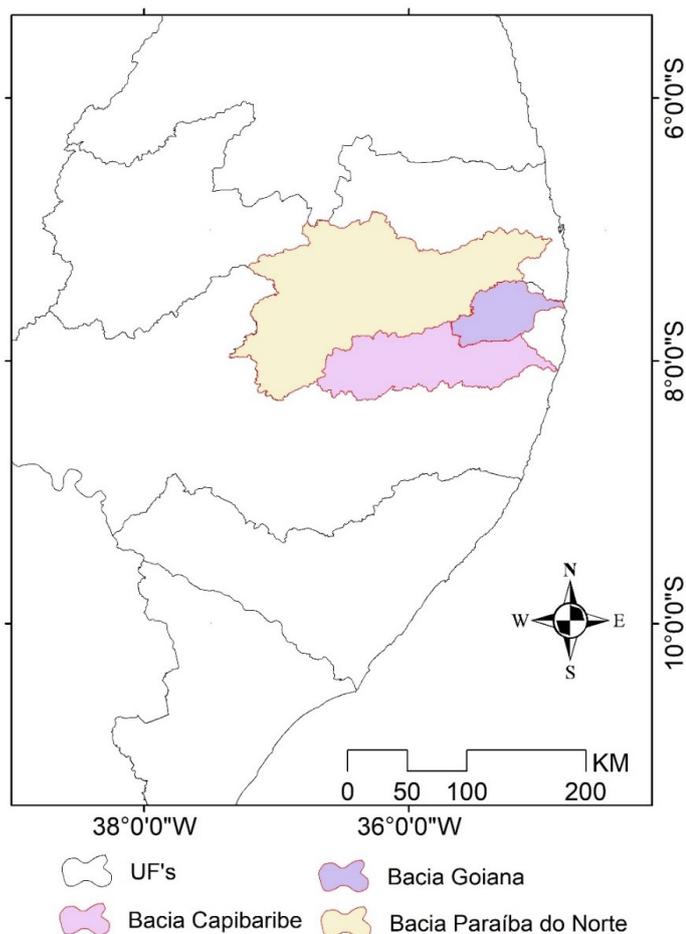
Quais os processos atuantes e elementos estruturadores da paisagem e como estes se relacionam são questões que vêm se estabelecendo como corriqueiras no entendimento da ciência geomorfológica. Dentro das perspectivas morfoestrutural e morfogenética alguns modelos foram desenvolvidos no intuito de obter uma melhor compreensão da origem e evolução das

paisagens. Entre as principais propostas de abordagem acerca da origem e evolução da paisagem destacam-se as do Ciclo Geográfico davisiano (DAVIS, 1899), a pedimentação de King (1956) e o Equilíbrio Dinâmico das Forças de Hack (1965).

Este último autor, desenvolveu também métodos de análise de perfis de drenagem, elaborando uma relação no qual pode-se analisar se este perfil está em conformidade com um modelo matematicamente ideal. Os elementos analisados são o potencial hidráulico, ou seja, o potencial que o escoamento tem para drenar o ambiente, e o percurso efetivo que a drenagem faz. A relação entre a diferença de altitude ( $\Delta h$ ) e a projeção horizontal ( $\Delta l$ ), multiplicada pelo real percurso do canal ( $L$ ) demonstra o perfil que esta drenagem possui e identifica, quando existentes, áreas onde o mesmo não possui um setor condizente com o perfil “normal” idealizado para drenagens em equilíbrio. Chamado por Hack (1973) de Slope-Lenght Index (SL Index), foi trabalhado por Etchebehere & Saadi (1999) e Etchebehere et al (2004) na Bacia do Rio do Peixe sendo, por estes, denominado Relação Declividade Extensão (RDE). Neste artigo utilizaremos a sigla IH, correspondente ao Índice de Hack.

Os rios Paraíba, Goiana e Capibaribe (Fig. 1), localizados na chamada Zona Transversal (BRITO NEVES, et al, 2001), são drenagens que possuem suas nascentes no macrodomo da Borborema e drenam seu piemonte até a costa.

**Figura 1:** Mapa de localização das bacias dos rios Paraíba do Norte, Goiana e Capibaribe.



Estas drenagens possuem importância geomorfológica por se situarem em contexto geotectônico de borda de margem passiva e drenarem o rebordo oriental do Macrodomo da

Borborema, sendo indicadas para aplicação de índices que procuram avaliar patamares escalonados de borda continental.

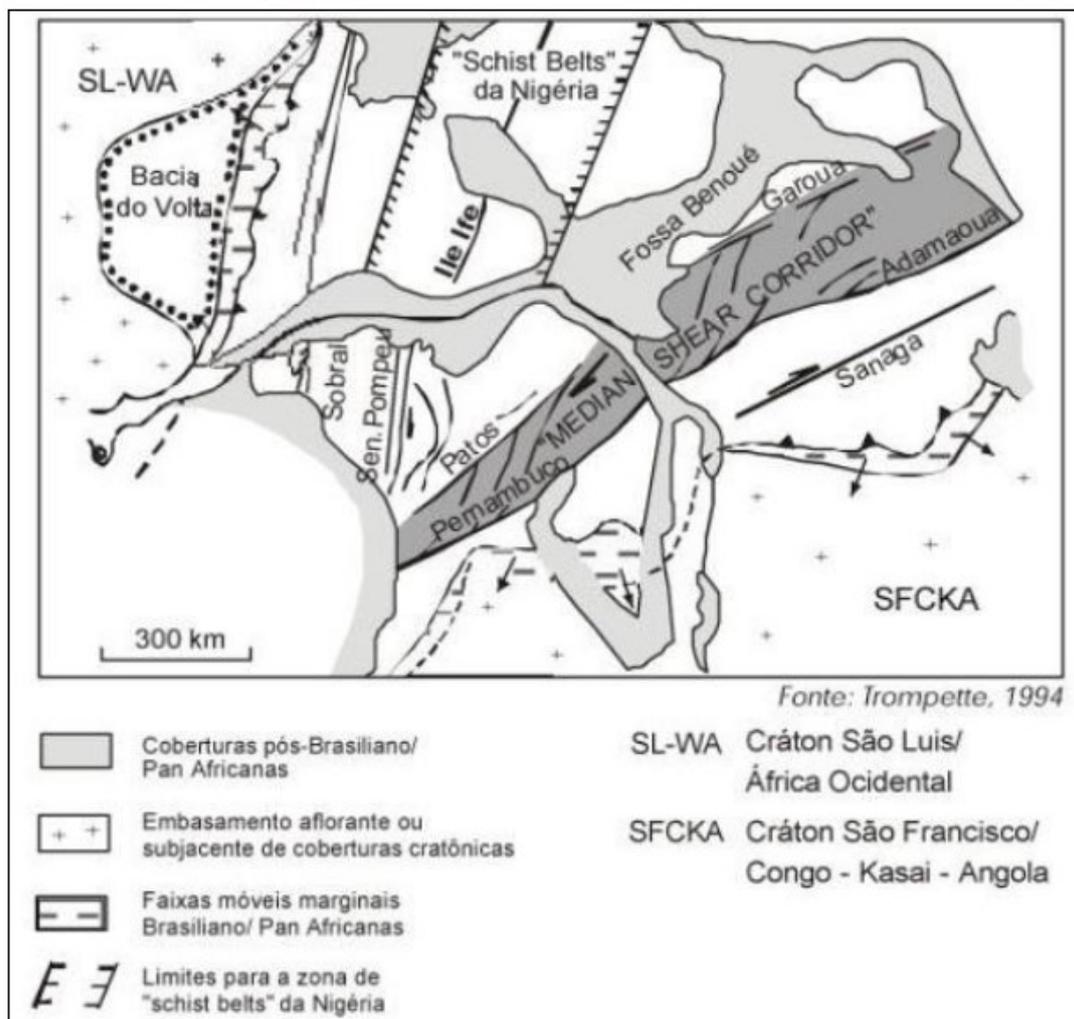
O presente trabalho foi elaborado no intuito de traçar uma análise comparativa entre o perfil longitudinal e IH destas três drenagens vizinhas e que se encontram em um contexto geotectônico relativamente semelhante.

## MATERIAL E MÉTODOS

### A Zona Transversal

Como mencionado, as drenagens encontram-se em um contexto geotectônico denominado de Zona Transversal (Fig 2), definido por Trompette (1994, *apud* BRITO NEVES *et al*, 2001) como limitada a sul pela Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE) e a norte pela Zona de Cisalhamento Patos (ZCPA).

**Figura 2** - Contexto estrutural do Nordeste Oriental. Destaque para o Median Shear Corridor, estrutura da qual faz parte a Zona Transversal. Retirado de Brito Neves et al (2001).



Estas estruturas possuem correspondentes no lado africano (Zonas de Cisalhamento Garoua e Adamoua) constituindo uma estrutura maior denominada de *Median Shear Corridor* (BRITO NEVES *et al*, 2001).

Caracteriza-se como área de movimento transcorrente composta por um complexo esquema de zonas de cisalhamentos onde ocorrem muito comumente falhas de direção NNE-SSW que acomodam deslocamentos das falhas mestras paralelas E-W (BRITO BEVES, *et al* 2001). Alguns autores atribuem a esta zona o último elo entre América do Sul e África, mais conhecida como *Land Bridge* (RAND 1976; 1985; RAND & MABESSONE, 1982).

Quando da ocorrência de reologia rúptil, ao romper definitivamente com o continente africano a borda se quebra, formando diversos patamares, que variam com o grau de soerguimento flexural. Este tipo de estruturação gera uma deposição proximal de escarpa de falha com sedimentologia diferente de depósitos de escarpa erosiva (CORRÊA, 2001). Desta forma, as drenagens que se encontram nesta região se adaptam a estes diversos patamares, erodindo-os quando competente, ou ajustando seu perfil a estes, quando não possui competência.

### Perfil Longitudinal e Índice de Hack

A análise dos perfis longitudinais e a elaboração do IH foram possíveis através da construção de uma tabela que indica os valores de cada trecho da drenagem, separados pelos limites das isoípsas estabelecidas em 25 m de diferença altimétrica. Estas medidas foram obtidas através da interpolação de dados do projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). Para aplicação dos cálculos do IH utilizou-se como objeto de análise o curso principal da drenagem dos rios Goiana, Capibaribe e Paraíba do Norte, sendo levados em consideração valores de IH para cada trecho separado pelas isoípsas previamente definidas e para a extensão total da drenagem.

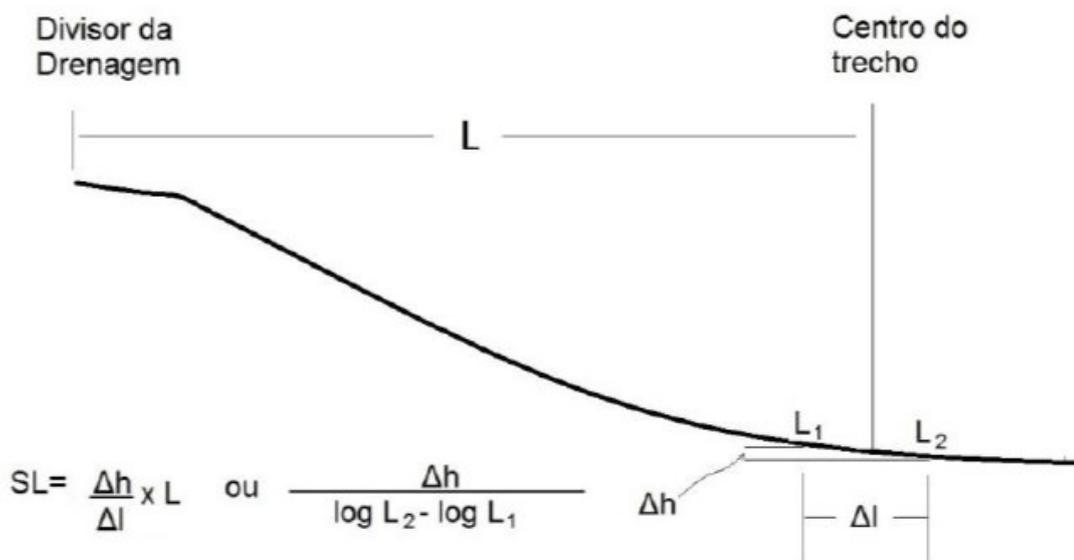
Os dados foram obtidos utilizando-se a fórmula (Fig. 3) proposta por Hack (1973) que consiste em

$\Delta h/\Delta l * L$ , onde:

$\Delta h$  é a diferença altimétrica entre as curvas de nível,  $\Delta l$  é a projeção horizontal entre as curvas e  $L$  é a extensão total do canal, desde a nascente até o trecho analisado.

A partir da obtenção dos valores de IH podem-se identificar setores anômalos utilizando-se a proposição de Seeber e Gornitz (1983), onde se considera que a análise do IH-trecho possui suas particularidades e que, se avaliadas em conjunto com o IH-total, permitem uma visualização integrada do curso podendo assim estabelecer uma relação de equilíbrio ou não dentro do perfil. Os valores do IHtotal são obtidos a partir da aplicação da seguinte fórmula ( $IH_{total} = \Delta H/\ln L$ ), sendo  $\Delta H$  a relação entre a diferença total de altitude e o logaritmo natural do comprimento da drenagem.

**Figura 3** – Esquema, modificado de Hack (1973), utilizado para cálculo do IH.



De posse destes valores divide-se cada  $IH_{\text{trecho}}$  pelo  $IH_{\text{total}}$  com o intuito de estabelecer, a partir dos resultados numéricos, os trechos que podem ser considerados fora do seu estado ideal, com o propósito de reconhecer no canal estudado valores considerados anômalos ou não dentro desta perspectiva de análise. Valores entre 0 e 2 não apresentam anomalias, valores entre 2 e 10 apresentam anomalias de segunda ordem e valores acima de 10 representam anomalias de primeira ordem.

Este índice permite a quantificação dos valores padrões no perfil longitudinal do rio, identificando desvios neste padrão. Esta análise identifica, no perfil longitudinal de drenagem, alterações em seu curso, relacionando a declividade do canal fluvial com a extensão do referido trecho, fornecendo um índice para comparação de trechos em um mesmo curso d'água com diferentes gradientes e extensão.

Ao propor o índice de gradiente (IH), Hack (1973) contribuiu com um elemento bastante prático na determinação de anomalias na curva “ideal” do perfil longitudinal, permitindo um comparativo entre trechos de diferentes magnitudes ao longo do canal.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos dados pode-se perceber que as variações encontradas nos cálculos condizem com áreas que estão dispostas nas cotas altimétricas entre 200m e 300m. Foram encontradas anomalias de 1º ordem para rios Paraíba e Goiana, sendo os maiores índices localizados no rio Paraíba do Norte (Tabela 1), onde os maiores valores de IH são 5624m e 2195m nas isoípsas de 300m e 275m respectivamente. Para o rio Goiana (Tabela 2) os valores de IH foram 2209m e 1037m nas isoípsas de 250m e 225m respectivamente. O rio Capibaribe (Tabela 3) apresentou várias anomalias de 2º ordem, onde se destacou a localizada na curva de 200m com o valor de IH de 1068m. Estas anomalias, além dos usos já mencionados por Etchebehere et al (2004) Etchebehere e Saadi (1999), Meira (2011) entre outros, indicam também quebras de patamares ao longo do perfil da encosta, quando a drenagem se encontra estruturada na escarpa de algum maciço, como o da Borborema, no caso aqui estudado (MONTEIRO, 2010).

Tabela 1 – Rio Paraíba do Norte. Valores em metros.

Isoípsa	$\Delta h$	$\Delta l$	L	$IH = (\Delta h/\Delta l).L$	Anomalia
300	25	904	203.376	5624,336	Primeira Ordem
275	25	2.345	205.939	2195,512	Primeira Ordem

Tabela 2 – Rio Goiana. Valores em metros.

Isoípsa	$\Delta h$	$\Delta l$	L	$IH = (\Delta h/\Delta l).L$	Anomalia
250	25	251	22.181	2209,263	Primeira Ordem
225	25	548	22.748	1037,774	Primeira Ordem

Tabela 3 – Rio Capibaribe. Valores em metros.

Isoípsa	$\Delta h$	$\Delta l$	L	$IH = (\Delta h/\Delta l).L$	Anomalia
200	25	3.555	151.961	1068,643	Segunda Ordem

Identificação de patamares tem sido um dos principais objetos de estudo de pesquisas geomorfológicas ao longo do último século. A ocorrência ou não destes patamares pode indicar diferentes processos atuantes na origem e evolução do modelado elevado. Estes maciços podem ser estruturados em patamares ou estruturas dômicas, indicando quebra ou um abaulamento no processo de soerguimento. A existência de escalonamento pode sugerir duas interpretações que se diferenciam morfogeneticamente. A primeira perspectiva indicaria um soerguimento por pulsos, separados por períodos de calma, onde os agentes erosivos atuam de forma a elaborar níveis de aplainamento como previsto por Davis (1899), Bigarella e Andrade (1964) entre outros. Entretanto este escalonamento também pode ser interpretado a partir de uma conjuntura onde a estrutura tectônica se estabelece como uma área tafrogênica, onde há a ocorrência de inúmeras falhas estruturando conjuntos de grábens e hemi-grabens como entendido por Brito Neves et al (2001) Fortes (1986) entre outros.

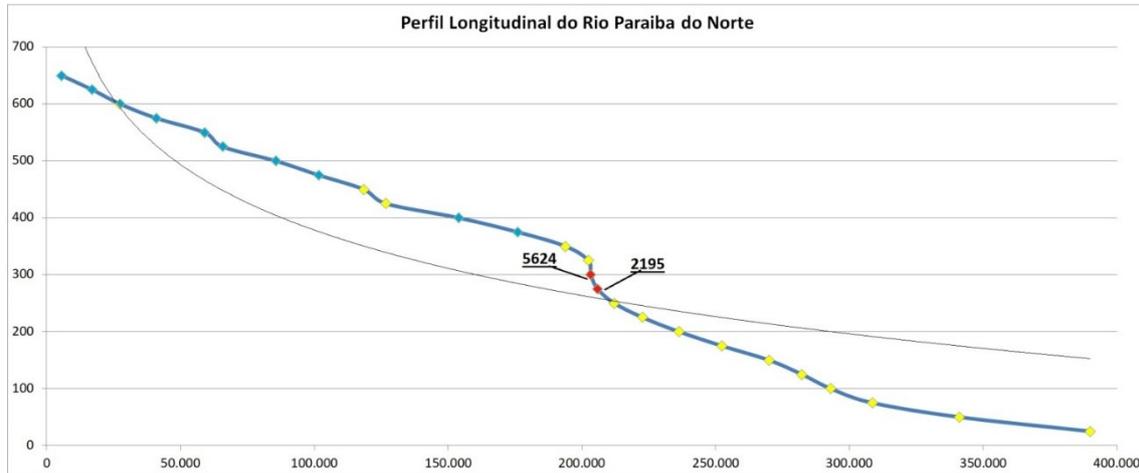
Este arcabouço tectônico teria se estabelecido a partir da separação América do Sul – África, havendo tanto a quebra escalonada da borda continental quanto a reativação de falhas antigas que condicionam o relevo às suas propriedades (BRITO NEVES, et al 2001). Já a inexistência de rupturas delimitadoras de patamares aplainados indicaria um soerguimento do tipo dômico, entendido como resultado da flexura da borda continental. Esta flexura foi melhor relatada por Czajka (1958) e corroborada recentemente por Saadi & Torquato (1992) e Saadi (1993). Czajka (1958) identificou um comportamento diferenciado do relevo do setor oriental de Pernambuco e Paraíba em função deste arqueamento. Esta porção diferenciada é onde encontram-se justamente as drenagens aqui estudadas, a Zona Transversal. Esta estrutura seria mais resistente que as adjacentes e possuiria maior dificuldade de apresentar quebras ou rupturas.

A pouca ocorrência de anomalias nos perfis longitudinais identificadas nas drenagens indica que existe um patamar de relevo situado entre as cotas de 200 e 300 metros. Esta quebra se constitui como sendo a primeira e principal ruptura de relevo a partir da costa em direção ao maciço. Entretanto, também pode ser verificado um decréscimo de altitude da localização das anomalias em direção N-S (rio Paraíba do Norte > rio Goiana > rio Capibaribe) e também um decréscimo no valor das anomalias, o que pode indicar um basculamento estrutural N-S ou NW-SE gerador de uma maior diferença altimétrica nesta primeira ruptura no Rio Paraíba do Norte, uma diferença menor no Rio Capibaribe e uma posição intermediária do Rio Goiana que se encontra entre estas duas drenagens.

Estas variações podem ser verificadas nos perfis longitudinais dos rios. Os rios Paraíba do Norte e Goiana possuem uma única ruptura de patamar pronunciada em seus perfis, no rio Paraíba do

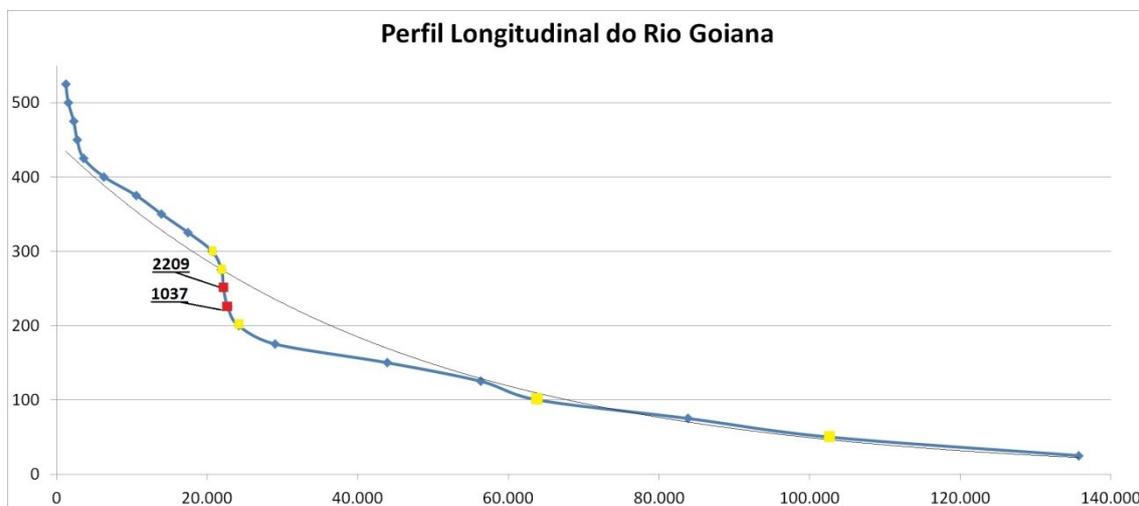
Norte (Figura 4) a ruptura se dá entre as isoípsas de 325m e 275m, sendo a isoípsa de 300m a que possui maior valor. Esta única ruptura de patamar forma duas grandes superfícies na bacia, ao longo do canal principal, uma acima de 325m e uma abaixo de 250m.

**Figura 4** – Perfil longitudinal do rio Paraíba do Norte e curva de melhor ajuste. Pontos em azul identificam isoípsas sem anomalias. Pontos em amarelo identificam isoípsas com anomalias de segunda ordem. Pontos em vermelho identificam isoípsas com anomalias de primeira ordem.



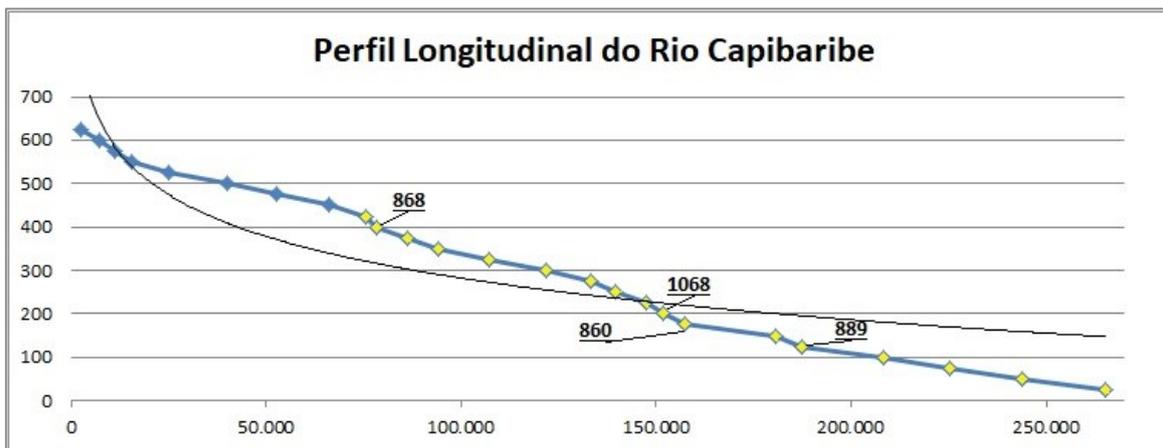
De modo semelhante ao rio Paraíba do Norte, o rio Goiana (figura 5) possui uma única ruptura de patamar mais pronunciada, localizada entre as isoípsas de 300m e 200m. Entretanto, diferente do vizinho do norte, o canal principal do rio Goiana possui uma região bastante declivosa, localizada acima da isoípsa de 400m, indicando que esta região seria o *front* mais pronunciado da Borborema. Segue-se uma superfície entre 400m e 300m com inclinação moderada e, após a quebra de patamar, uma superfície suave que segue desde os 200m até a foz, predominantemente sem anomalias.

**Figura 5** – Perfil longitudinal do rio Goiana e curva de melhor ajuste. Pontos em azul identificam isoípsas sem anomalias. Pontos em amarelo identificam isoípsas com anomalias de segunda ordem. Pontos em vermelho identificam isoípsas com anomalias de primeira ordem.



Já no rio Capibaribe (Figura 6), mais ao sul da Zona Transversal, não foram identificadas anomalias de primeira ordem e conseqüentemente não se observam no perfil longitudinal nenhuma grande ruptura de patamar, apenas pequenas rupturas cujo maior valor de IH é de 1068m, encontrado na isoípsa de 200m. Nota-se no perfil uma longa superfície inclinada, com cabeceiras em altitudes mais elevadas que no rio Goiana, mas sem declividades elevadas. Neste setor onde se encontra o rio Capibaribe não podem ser definidas superfícies diferenciadas.

**Figura 6** – Perfil longitudinal do rio Capibaribe e curva de melhor ajuste. Pontos em azul identificam isoípsas sem anomalias. Pontos em amarelo identificam isoípsas com anomalias de segunda ordem. Pontos em vermelho identificam isoípsas com anomalias de primeira ordem.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse método de análise permite uma avaliação do perfil longitudinal dos rios, possibilitando avaliar aspectos singulares nas formações dos cursos fluviais a partir da análise das rupturas encontradas. Mas o principal mérito deste método seria a identificação de anomalias e a quantificação das mesmas, possibilitando a localização de setores onde a drenagem possui uma incisão considerável em pouca extensão quando comparado com o total do canal. Esta identificação permite uma melhor correlação com os elementos que condicionam a ruptura, pois ao obter-se o setor das principais rupturas quantificadas, pode-se verificar a existência ou não de relação com elementos estruturais como falhas e zonas de cisalhamento, ou geológicos como resistência da rocha e erosão diferencial, ao interpolar os mesmos com dados geológicos, estruturais e morfotectônicos.

Pode-se também postular a existência de um basculamento no setor da Zona Transversal, com maior protuberância ao norte (mais próximo da ZCPA) e redução à sul (próximo à ZCPE). Tais processos podem elucidar o comportamento das drenagens e suas competências em modelar as estruturas ao longo do *front* do macrodomo da Borborema.

Ademais, a aplicação de parâmetros morfométricos, em especial o índice de Hack e a análise do perfil longitudinal vem se mostrando como eficazes quando necessária a obtenção de produtos matematizados em bases geoprocessadas e em SIG. O baixo custo deste método também contribui para uma ampla aplicação do mesmo em diversas drenagens ao longo do rebordo oriental da Borborema, no intuito de construir uma base de dados regional que permita comparação dos modelos elaborados, bem como expandir a aplicação em drenagens que não sejam o canal principal, visto que Hack propôs que o índice também fosse aplicado em afluentes de grande expressão espacial.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pela bolsa concedida ao primeiro autor em seu doutorado, fator primordial para realização da pesquisa em tela

## REFERÊNCIAS

- BIGARELLA, J. J. & ANDRADE, G. O. - **Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras)**. Universidade do Recife. Arquivos Inst. Cien. Terra, 2:2-14. 1964
- BRITO NEVES, B. B.; SCHMUS, W. R. V.; FETTER, A. - **Noroeste da África - Nordeste do Brasil (Província Borborema) ensaio comparativo e problemas de correlação**. Revista do Instituto de Geociências - USP (SP), v. 1, n. 1, p. 59-78. 2001
- CHRISTOFOLETTI, A. - **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Edgar Blücher. 2ª edição, 188p. 1980
- CORRÊA, A.C.B. - **Dinâmica Geomorfológica dos Sistemas Ambientais dos Compartimentos Elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita, UNESP, Brasil, 2001.
- CZAJKA W.. **Estudos geomorfológicos no Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Geografia, 20(2): 135-180. 1958.
- DAVIS, W. M. - **The Geographical cycle**. Geographical journal. v. 14, p. 481-504. 1899
- ETCHEBEHERE, M. L.; SAADI, A. R. - **Relação Declividade/Extensão de curso (RDE) aplicada à detecção de deformações neotectônicas regionais na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, SP**. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6. São Pedro. Boletim de resumos. Rio Claro: SBG-SP/RJ-ES/UNESP, p. 93. 1999
- ETCHEBEHERE, M. L.; SAADI, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. 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, v. 4, n. 2, p. 43-56. 2004
- FORTES, F. P. 1986 - **A tectônica de teclas da Bacia Potiguar**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia. Anais. SBG, v. 3, p. 1145-1159. 1986
- HACK, J. T. - **Dinamic Equilibrium and Landscape Evolution**. In Melhorn. Ed. Theories of Landform Development. Boston: Allen and Unwin. p. 87-102. 1965
- HACK, J. T. - **Stream-profile analysis and stream-gradient index**. Journal of Research of the United States Geological Survey. v. 1. n4. p. 421-429. 1973
- HORTON, R. E. - **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin. v. 56, p. 275-370. 1945
- KING, L. C. - **A geomorfologia do Brasil Oriental**. Revista Brasileira de Geografia. p. 147-265. 1956
- MEIRA, D. A. - **Aplicação de Parâmetros Morfométricos de Drenagem na Bacia Riacho do Pioré - Ibimirim (PE)**. Monografia. Departamento de Ciências Geográficas. UFPE. Recife. 2011
- MONTEIRO, K.A. - **Superfícies de Aplainamento e Morfogênese da Bacia do Rio Tracunhaem, Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Recife, UFPE. 124pg. 2010
- RAND, H. M. - **Estudos geofísicos na faixa litorânea ao sul de Recife**. Tese de Livre Docência. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 112p. 1976.
- RAND, H. M.. **Ligação "Landbridge" (ponte intercontinental) entre Pernambuco Paraíba e Nigéria-Camarões**. In: Fanerozóico Nordestino. Recife, UFPE/DGEO, Text. Did. Série D, v. 1, p. 44. 1985.
- RAND, H. M. & MABESSONE, J. M. - **Northeastern Brazil and the final separation of South America and Africa**. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology, 38: 163- 183. 1982.
- SAADI, A. **Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares**. Geonomos. v.1 n.1. 1993. p.1-15.
- SAADI, A. & TORQUATO, J.R. **Contribuição à neotectônica do Ceará**. Revista de Geologia. DEGEO/UFC. 5. 1992. p.5-38.

SEEBER, L. GORNITZ, V. - **River Profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics.** Tectonophysics, v. 92, p. 335-367. 1983