

## **Análise geomorfométrica da região da folha Capão Bonito (SG-22-X-B-III), SE do estado de São Paulo: Implicações neotectônicas na porção sul da Serra de Paranapiacaba e Gráben de Sete Barras**

Renato dos Santos Neves Kahwage<sup>1</sup>  
Carlos Henrique Grohmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo  
Rua do Lago, 562, Cidade Universitária – São Paulo - SP, Brasil  
renato.kahwage@usp.br  
guano@usp.br

**Abstract.** The Southeastern region of Brazil, at the Atlantic border, is known for the existence of a regional scale range named Serra do Mar. This geomorphological feature extends for approximately 1000 km at NE-SW direction, from the state of Rio de Janeiro to the state of Santa Catarina. It divides two very distinct geological and geomorphological environments – at East, the coastal plains, covered by quaternary shallow marine sediments – and at West, the higher grounds of the Planalto Atlântico, composed by the metamorphic rocks of the Ribeira fold belt and its granitic intrusions. At the study area the segment of the Serra do Mar is known as Serra de Paranapiacaba. It is a very steep scarp with heights reaching 850 m and is the northern border of a small rift basin known as the Guapiara Graben, dimensioning about 20x5 km. Evidences of neotectonic events related to the uplift of Serra do Mar Range and to the tafrogeny of the Continental Rift of the Southeastern Brazil are being studied at this work through the application of geomorphometry, mainly concerning the isobase method, interpreted along with other DEM treatment methods. The results suggests that the neotectonic movements at the area occur due to reactivation of ancient structures during the late paleogene, *i.e.*: the regional foliation of the metamorphic rocks from the Proterozoic (NE-SW) and a perpendicular series of structures NW-SE called the Guapiara Lineament, dated from the late Jurassic.

**Palavras-chave:** Morphometry, geomorphology, neotectonics, Southeastern Brazil, morfometria, geomorfologia, neotectonica, Sudeste do Brasil.

### **1. Introdução**

Uma das feições morfológicas mais marcantes do sudeste brasileiro é a escarpa da Serra do Mar. Tem em média 700 metros de elevação por cerca de 1.000 km de extensão na direção NE-SW e separa dois ambientes geomorfológicos e geológicos distintos: as planícies costeiras a Leste – preenchidas por cordões litorâneos antigos – e o Planalto Atlântico a Oeste – formado pelas rochas metamórficas do cinturão Ribeira e suas intrusivas graníticas.

Na região da área de estudo, porção Sul do estado de São Paulo, a Serra do Mar é conhecida por Serra de Paranapiacaba. Localmente, apresenta altitudes com torno dos 850 m e é o limite norte de uma depressão alongada de cerca de 20 km de extensão por até 7 km de largura conhecida como Gráben de Sete Barras, próximo à cidade homônima.

Evidências de eventos neotectônicos relacionadas ao soerguimento da Serra do Mar e à tafrogenia do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil serão abordadas neste trabalho através da aplicação da geomorfometria, principalmente com a utilização do método das isobases interpretado juntamente com outros produtos obtidos através do modelo digital de terreno (MDT).

Os resultados sugerem que o principal mecanismo de movimentação neotectônica seja a reativação das estruturas pretéritas presentes na área, principalmente a foliação regional NE-SW (meso-neoproterozóica), e as estruturas perpendiculares NW-SE, do alinhamento de Guapiara, de idade jurássica.

## 2. Metodologia de trabalho

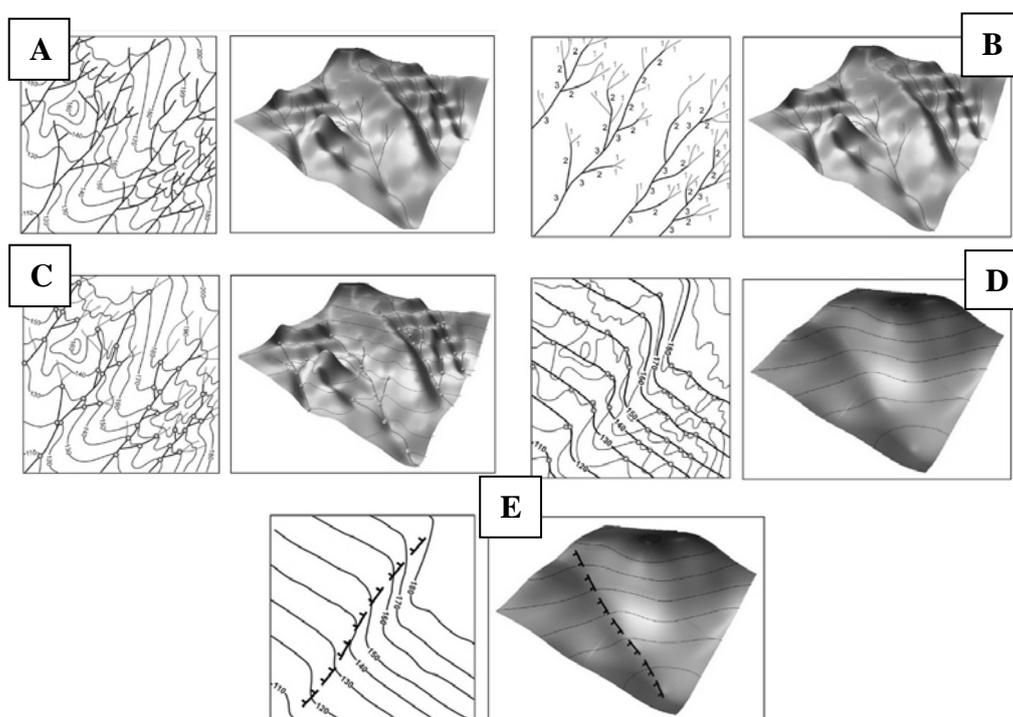
Os métodos de pesquisa aplicados a este trabalho visaram a utilização de dados de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) como ferramenta para a análise digital de terreno e a geomorfologia. As técnicas aplicadas a este conjunto de dados englobam:

- a) Extração de lineamentos através da geração de relevos sombreados com diferentes posições de azimute solar.
- b) Elaboração de perfis de altitude direção NW-SE
- c) Aplicação do método de isobases (Filosofov, 1960).

Por ser um método pouco convencional, mas com aplicações importantes na área da neotectônica, o método das isobases será detalhado a seguir. Consiste em uma técnica utilizada para relacionar a topografia com as diferentes ordens de drenagem. Segundo Powell (1875) um nível de base é caracterizado como o nível a partir do qual as terras secas não podem ser erodidas. Certamente, o nível de base global é o mar, mas local e regionalmente, ocorrem níveis de base referentes às bacias hidrográficas atualmente instaladas. A análise destes níveis pode evidenciar anomalias de drenagem muitas vezes associadas às movimentações tectônicas recentes.

O tratamento consiste em interpolar os valores de altitude dos pontos de intersecção das drenagens previamente hierarquizadas, com as linhas de cota. Os resultados evidenciam lineamentos que fornecem controle estrutural para a instalação das drenagens, geralmente associados a movimentações recentes ao longo destes planos de falhas.

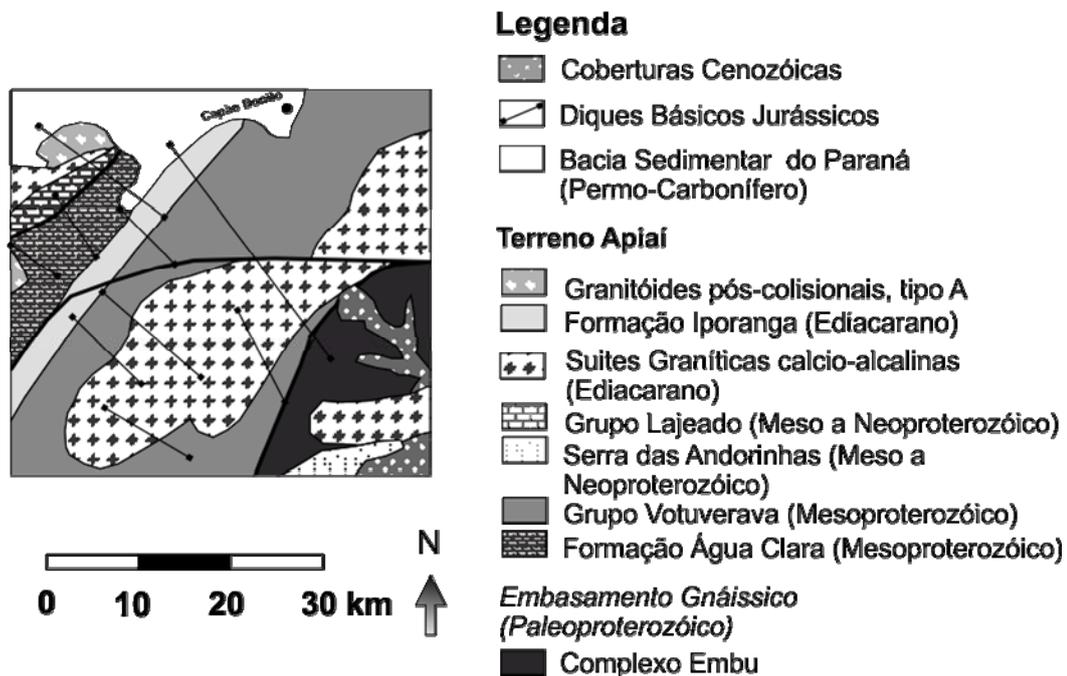
Os passos para a realização desta técnica a partir de um MDT podem ser conferidos na figura 1:



**Figura 1.** Passos para a realização do método das isobases, modificado de Grohmann *et al.* 2011. A) Obtenção do Modelo Digital de Terreno e drenagens. B) Classificação das drenagens (Strahler, 1952). C) Extração dos pontos de intersecção das drenagens com as linhas de cota. D) Interpolação dos valores de altitude dos pontos obtidos em C. E). Interpretação dos resultados.

### 3. Resultados e Discussões

Primeiramente será abordada, de maneira sucinta, a geologia da folha Capão Bonito – Figura 2. Em sua porção norte, ocorrem os sedimentos permo-carboníferos da Fm. Itararé da Bacia do Paraná, em contato com as rochas metassedimentares do Grupo Açungui (meso a neoproterozóico). Estas predominam em toda a porção leste e central da folha. Ainda na porção central destaca-se o Batólito de Agudos Grandes, que intrude os metassedimentos e sustenta a Serra de Paranapiacaba na região. A escarpa gera um desnível de cerca de 800 m até a região do Baixo Ribeira, próxima à cidade de Eldorado. Nesta localidade, afloram rochas pertencentes ao Complexo Embu (paleoproterozóico) e capeadas, localmente, por rochas sedimentares recentes, associadas ao Gráben de Sete Barras e Formação Pariquera-Açu, de idade supostamente terciária. Todas as unidades exceto as terciárias são entrecortadas por diques de rochas básicas de direção NW-SE, associados ao magmatismo toleítico jurássico da Bacia do Paraná, feição conhecida como Alinhamento de Guapiara.



**Figura 2.** Esboço geológico da Folha Capão Bonito: escalas e desenhos das unidades aproximados, para simples conferência.

Esta grande heterogeneidade geológica, aliada à tectônica recente perfizeram as condições para o desenvolvimento das diferentes formas de relevo que existem na área: O Planalto Atlântico, a Depressão Periférica Paulista (DPP) e a Depressão Baixo Ribeira.

A porção de relevo mais íngreme é a do Planalto Atlântico, caracterizado por seu escarpamento abrupto (serra de Paranapiacaba) e, a partir desta, por suas serranias com proeminências agudas e vales em ‘V’, além da alta taxa de dissecação atual: característica evidenciada pelos escorregamentos de encosta e voçorocas, muito comuns em toda a extensão da Serra do Mar. Na área de estudo, o Planalto Atlântico pode ser dividido em três diferentes unidades geomorfológicas, conforme proposto por Ross e Moroz (1993), separadas basicamente pelas faixas de altitude, são elas: o Planalto de Guapiara – entre 700-800 m – o Planalto de Ibiuna / São Roque – entre 800 e 900 m – e o Planalto do Ribeira / Turvo – com altitudes acima dos 900 m.

A norte das porções mais elevadas, já no contexto geológico da bacia sedimentar do Paraná, existe a DPP, localmente designada como Depressão Paranapanema. Apresenta relevo mais abatido, predominando colinas suaves e rampas, sem o forte controle estrutural característico das litologias metamórficas.

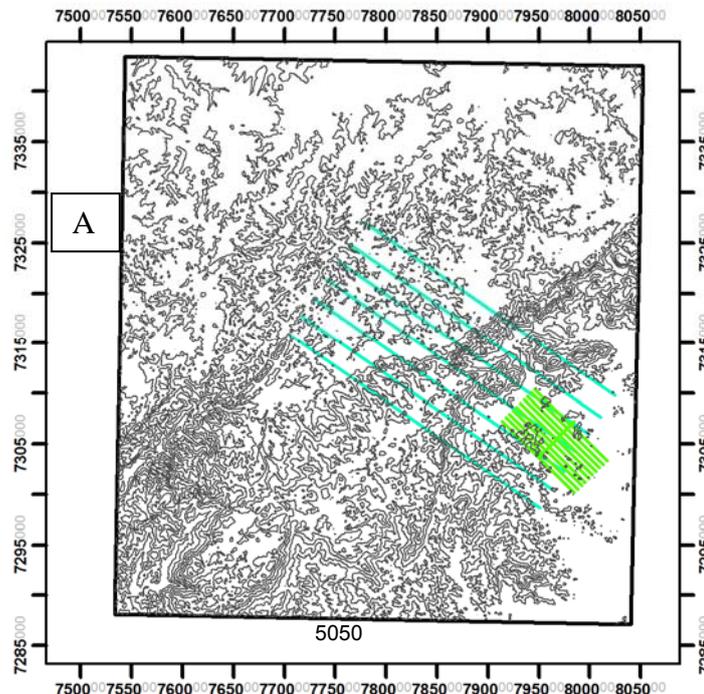
Por fim, o extremo sudeste da folha Capão Bonito abriga a Depressão Baixo Ribeira, caracterizada por um relevo muito abatido, em contrapartida ao seu limite norte, a Serra de Paranapiacaba. É marcado pela presença de morros arredondados em ‘meia laranja’, todos de tamanho muito similar e com espaçamento entre morros constante. Nesta região, destaca-se a presença de depósitos sedimentares terciários em uma bacia tipo *Graben* alongada na direção NE-SW, o *Graben* de Sete Barras. Segundo Riccomini (1989) e Melo (1989), esta pequena bacia sedimentar associa-se à tafrogenia do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, sendo correlata às outras bacias Cenozoicas da borda atlântica, tais como as Bacias de São Paulo, Curitiba, Volta Redonda e Taubaté.

Havendo delineado uma breve descrição do relevo da área e situado os diferentes ambientes geológicos lá ocorrentes, a discussão segue adiante através dos resultados obtidos após os tratamentos em MDTs. Em primeira instância, foi realizado o levantamento das estruturas geológicas da área: falhas, fraturas e lineamentos. As direções destas estruturas foram postas em um diagrama de rosácea para melhor visualização de frequência e azimute, conforme na figura 3. Puderam ser individualizadas quatro famílias de estruturas, das quais predominam aquelas de direção NE-SW – foliação metamórfica regional – e NW-SE – direção associada aos diques básicos do Alinhamento de Guapiara. Estruturas E-W e N-S são menos frequentes e podem desenvolver controle estrutural em drenagens, conforme será mostrado mais adiante (figura 5).

A realização de perfis paralelos de direção NW-SE (figura 4b e 4c), passando pela região da Serra de Paranapiacaba, evidencia a presença de superfícies escalonadas. A porção mais a SE, após a escarpa principal, é composta por pelo menos 3 níveis de erosão diferentes, provavelmente representando superfícies individualizadas por falhamentos normais paralelos. Estes níveis se encontram em altitudes em torno dos 500 m, 300 m, e 100 m, e podem ser interpretados como resultantes da erosão remontante da escarpa da Serra do Mar, podendo representar antigas posições da escarpa durante o terciário.

Na porção mais abatida, no extremo SE do perfil, nota-se a predominância de picos de até 100 m, além da abundância de elevações com valores em torno dos 50 m. Foram realizados perfis de detalhe nesta região (figura 4b), os quais corroboram a ocorrência de morros de até

**Figura 3.** Diagrama de rosácea com setores sombreados em destaque. Família N-S (cinza).



ção de relevos e de fraturas em E-W (amarelo),



**Figura 5.** Resultados interpretados para o tratamento de isobases, com a área da folha Capão Bonito em destaque. As estruturas em azul são interpretadas a partir de quebras bruscas no resultado da interpolação das altitudes dos pontos de intersecção entre as drenagens e as linhas de cota.

Nota-se que a área em que foi aplicado o método das isobases em muito supera a da folha Capão Bonito. Isto ocorre porque o método relaciona a morfologia das drenagens – e de suas bacias hidrográficas – com a topografia. Desta forma, uma área restrita com um grande divisor de águas como a Serra de Paranapiacaba acabaria por trazer resultados não satisfatórios, já que não compreenderia as bacias hidrográficas regionais por inteiro, mascarando níveis de base locais e piorando a qualidade da interpretação. Para evitar isto, a área de amostragem foi ampliada para considerar as drenagens das duas principais bacias hidrográficas da região: a do rio Paranapanema a Norte, e a do rio Ribeira de Iguape, a sul. O resultado mostra ainda a grande quantidade de linhas de isovalores coincidentes com a região da Serra de Paranapiacaba, o que ocorre pelo desenvolvimento de drenagens obsequentes em sua escarpa.

Ainda observando a figura 5, ressalta-se a presença de estruturas NW-SE e NE-SW a norte, já no domínio da Bacia do Paraná. Isto evidencia que as estruturas do embasamento e do Alinhamento de Guapiara são importantes não apenas no domínio das rochas cristalinas do Planalto Atlântico, mas também nas movimentações ocorrentes na região da depressão Paranapanema.

#### **4. Conclusões**

A aplicação de métodos de geomorfometria em dados de elevação SRTM – realização de conjuntos de perfis, extração de lineamentos – aliados ao método das isobases, forneceu dados sobre a geologia estrutural da área de estudo, além de apontar possíveis estruturas responsáveis pelas movimentações tectônicas recentes ocorridas na região.

Conforme o observado na figura 3, a região em questão apresenta um forte predomínio das estruturas de direção NW-SE. Ao longo destas fraturas se instalam diques de rocha básica de extensão quilométrica, que entrecortam a área de estudo. Este forte lineamento NW-SE é conhecido como Alinhamento de Guapiara e está associado à fase da abertura do Atlântico sul, contendo os diques de alimentação do grande magmatismo fissural básico durante o período juro-cretáceo da Bacia do Paraná.

Também muito frequentes são as estruturas de direção NE-SW. Estas estão associadas principalmente às foliações dominantes no terreno metamórfico da Faixa Ribeira, bem como às grandes estruturas de cisalhamento regional, predominantemente destrais, que existem na área como a falha dos Agudos Grandes.

Ambas as estruturas são evidenciadas pelo método das isobases na região da Bacia do Paraná, na porção N da folha, sugerindo que as movimentações nestes planos afetam as litologias sotopostas à Faixa Ribeira, além do Planalto Atlântico. Por fim, são observadas estruturas de direção E-W e N-S menores, interpretadas como um padrão de fraturamento ocorrido quando das reativações das estruturas maiores durante períodos recentes da história geológica.

Os aglomerados de linhas de isovalores na faixa central da folha, com direção NE-SW foram interpretados como reflexo da proeminente escarpa da Serra de Paranapiacaba, com o desenvolvimento de drenagens obsequentes. Estas estruturas foram, portanto, descartadas do conjunto de lineamentos relacionados às movimentações recentes.

Finalmente, as conclusões deste trabalho corroboram dados de trabalhos pioneiros na região realizados por Melo *et al.* (1989), e Melo (1990) além de dados de campo ainda não publicados obtidos pelo Serviço Geológico do Brasil no ano de 2012. Segundo o observado, a interação das estruturas NW-SE e NE-SW é a responsável pelo controle efetivo do relevo da região. Evidencia-se isto principalmente na área do Baixo Ribeira, onde a foliação regional ocorre bastante verticalizada e com fortes feições de cisalhamento em maior grau metamórfico. Neste contexto, os blocos rochosos tendem a deslizar perpendicularmente aos planos de foliação e/ou planos de cisalhamento, posto que as estruturas e diques NW-SE os limitam.

Estas duas estruturas dominantes, aliadas ao clima úmido e quente da região, promovem a geração de feições como os morros arredondados em ‘meia laranja’ e o forte abatimento do relevo nas regiões do Baixo Ribeira e *Graben* de Sete Barras.

Na porção do Planalto Atlântico, estas estruturas condicionam escorregamentos, voçorocas e erosão diferencial, esta principalmente relacionada aos diques de basalto que podem ocorrer tanto em cristas, quanto em vales de rios.

### **Agradecimentos**

Os agradecimentos vão ao CNPq, órgão financiador do projeto de mestrado ao qual este trabalho está vinculado. Ao Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho, coautor, por sua ajuda, tutela e discussões que em muito enriqueceram este artigo. Finalmente, aos amigos da CPRM – SP e do Instituto de Geociências que facilitaram a realização deste projeto através de idas a campo e do grande apoio científico em discussões sobre os tópicos referentes a este trabalho.

### **Referências Bibliográficas**

FILOSOFOV, V.P. Brief Guide of morphometric methods in search of tectonic structures. Imprensa da Universidade de Saratov, Saratov, 1960. (em russo).

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; CHAMANI, M. A.C. 2011. Regional Scale Analysis of Landform Configuration with base-level (isobase) maps. **Hidrology and Earth System Sciences** (15) 1493-1504. MELO, M.S.; FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. & RAMOS, R.G.N. 1989. O Graben (terciário?) de Sete Barras, Vale do Ribeira de Iguape, SP. **Revista Brasileira de Geologia** 19(2) 260-262.

MELO, M.S.; FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. & RAMOS, R.G.N. 1989. O Graben (terciário?) de Sete Barras, Vale do Ribeira de Iguape, SP. **Revista Brasileira de Geologia** 19(2) 260-262.

MELO, M.S. Formação pariquera-Açu e depósitos correlacionados: sedimentação tectônica e geomorfogênese. Tese (Mestrado em geociências). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

Powell, J. W., 1875. **Exploration of the Colorado River of the West and its tributaries. Explored in 1869, 1870, 1871, and 1872 under the direction of the secretary of the Smithsonian Institution.** Government Printing Office, Washington.

RICCOMINI, C. O Rift continental do sudeste do Brasil. 1989. 304p. Tese (Doutoramento em geociências). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. 1993. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Material cartográfico 1:500.000 + monografia. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

