

A INFLUÊNCIA DE UM IMPACTO METEORÍTICO NA EVOLUÇÃO DA REDE DE DRENAGEM NO SETOR MERIDIONAL DO PLANALTO PAULISTANO-SP¹

André Henrique Bezerra dos Santos²

Déborah de Oliveira³

RESUMO

O entorno da cratera de Colônia, possível cratera de impacto terciária localizada no reverso da escarpa da Serra do Mar no Planalto Paulista, caracteriza-se pela existência de uma drenagem grosso modo anelar e de algumas “anomalias de drenagem”. O rio Capivari apresenta a mais evidente “anomalia” da região: em seu alto curso, o rio segue na direção sul-norte, defletindo abruptamente para sudeste ao se aproximar da cratera. O presente estudo, que inclui a elaboração e análise de modelos digitais de elevação, fotointerpretação e trabalhos de campo, tem como objetivo investigar a relação entre o impacto meteorítico e possíveis modificações de trajetória na história do rio Capivari. Os dados até então apresentados sugerem que a inflexão do Capivari não se deve ao impacto, mas a uma captura fluvial, impulsionada pelo forte gradiente altimétrico proporcionado pela Serra do Mar.

Palavras-chave: cratera de impacto, reordenações de drenagem, captura fluvial, padrão de drenagem

ABSTRACT

The surroundings of the crater of Colônia – a probable Tertiary impact crater located at Serra do Mar escarpment’s reversal in the Paulista Plateau – shows a nearly annular drainage pattern and some “drainage anomalies”. The most evident anomaly of the region is shown by Capivari River: in its upper course, the river flows to the north, deflecting itself abruptly southeastwards near the crater. The purpose of this study is the examination of the relation between the meteoritic impact and possible modifications in the trajectory of Capivari River, by means of analysis of digital elevation models, photointerpretation and field investigations. The data obtained suggest that the deflection of the river is not related to the impact, but to a stream capture motivated by the strong gradient offered by Serra do Mar escarpment.

Keywords: impact crater, drainage reorganization, stream capture, drainage pattern

INTRODUÇÃO

A cratera de Colônia, esculpida em uma possível estrutura de impacto Oligocênica a Pliocênica (Riccomini *et al*, 1991), localiza-se no setor meridional no Planalto Paulista, próxima à escarpa da Serra do Mar. Ao sul da cratera, encontra-se o rio Capivari, com seu traçado sinuoso que, partindo inicialmente para norte, deflete-se para sudeste ao se aproximar da cratera e alcança o litoral através da escarpa da Serra do Mar. No entorno da cratera ainda se observam pequenos córregos que se organizam em um padrão grosso modo anelar.

A geologia da região se caracteriza pela predominância de rochas metassedimentares pré-cambrianas, bastante fraturadas e falhadas, parcialmente recobertas por unidades sedimentares terciárias relacionadas com a máxima extensão da Bacia de São Paulo (Ab’Sáber, 1957) e sedimentos quaternários em fundos de vales. Riccomini *et al* (2004) apresentam uma cronologia de eventos tectônicos deformadores do Planalto Paulista, desde a transcorrência sinistral miocênica ao

¹ Resultado final de Iniciação Científica financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) no período de dezembro de 2008 a novembro de 2009.

² Pós-graduando em Geografia Física na Universidade de São Paulo (andresantos@usp.br)

³ Professora Doutora no Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (debolive@usp.br)

afeiçoamento de altos estruturais por falhas normais ou inversas no Plioceno até a reativação de falhas inversas de direção norte-sul no Pleistoceno tardio. Neste contexto geológico, desenvolve-se um relevo de morros baixos a altos, alinhados principalmente na direção ENE, conforme as estruturas da região. Já no entorno da cratera, alguns morros e colinas formam padrões anelares concêntricos.

Investiga-se o condicionamento estrutural do impacto meteorítico à drenagem, com ênfase no caso do rio Capivari. À primeira vista, a inflexão parece ter sido causada pelo impacto; no entanto, os resultados da pesquisa sugerem que com o estabelecimento da estrutura de impacto, o rio Capivari teria sido conduzido para oeste, seguindo o vale atualmente compartilhado pelos rios Embura e Vermelho (Fig. 1) e que somente após este evento, o rio teria sido capturado para o litoral, adquirindo a inflexão. Não se sabe, porém, se o rio Capivari é *anterior* ou *posterior* ao impacto: na primeira hipótese, o rio teria uma saída pretérita a norte da cratera de impacto, antes de estabelecer uma saída para oeste; na segunda hipótese, o rio teria se desenvolvido após o impacto e se aproveitado das estruturas existentes.

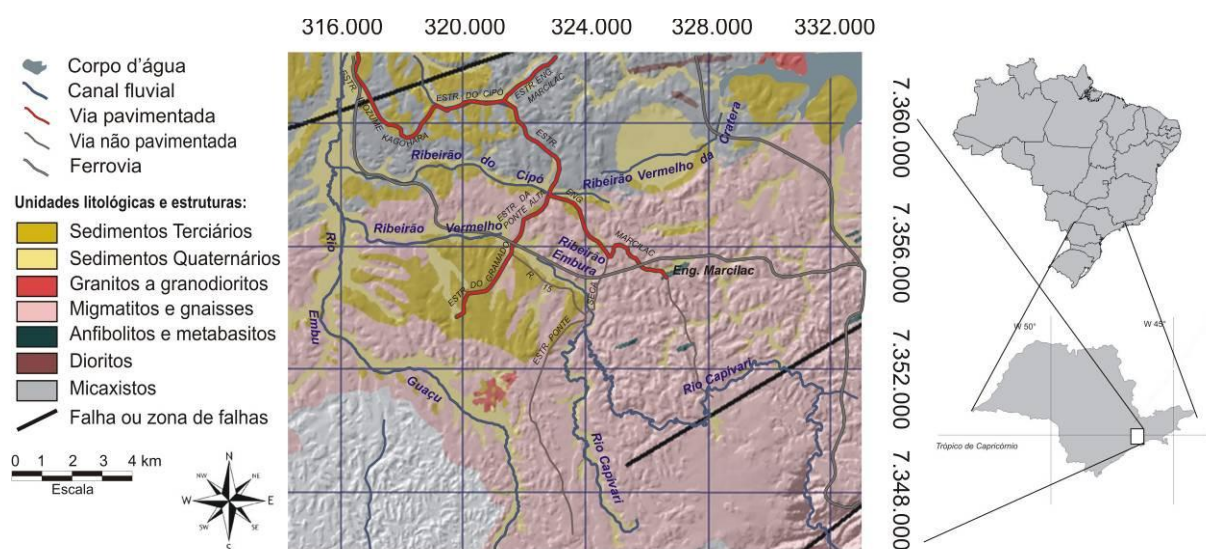


Fig. 1. Localização da área de estudo e das principais linhas de drenagem da região. Notar cratera de Colônia a norte, atravessado pelo Ribeirão Vermelho da Cratera e vale compartilhado pelos rios Vermelho e Embura, a sudoeste da cratera. Fonte: IBGE (1984); Coutinho (1984).

Nota-se que o vale compartilhado pelas drenagens do Embura e do Vermelho se encontra próximo a um suposto segundo anel da cratera de Colônia. Segundo a teoria do *impact cratering*, é possível a formação de crateras com anéis concêntricos quando o impacto ocorre sobre áreas cristalinas recobertas por camadas sedimentares (Melosh, 1989). A relação entre o diâmetro do segundo anel e o diâmetro do anel interno (9/3,5 km) e a pequena espessura que o pacote sedimentar teria à época do impacto são coerentes com o modelo teórico.

Considerando-se a influência da formação de uma estrutura de impacto à rede de drenagem, aplica-se o conceito de “reordenações de drenagem” apresentado por Thornbury (1954), que são classificadas em desvios (motivadas por causas internas à dinâmica fluvial) e perturbações (causas externas, como o tectonismo). Na problemática apresentada, poderíamos entender como perturbação o

efeito imediato do impacto meteorítico às redes de drenagem da região, bem como os movimentos tectônicos subsequentes.

Para o caso específico das reordenações motivadas por causas internas à dinâmica fluvial, consulta-se a classificação apresentada por Bishop (1995), que considera a existência de: capturas (interceptação e abstração de uma drenagem por outra), desvios (deslocamento ativo pelo próprio rio) e decapitação (deslocamento do divisor, sem abstração de linhas de drenagem). Na região da Serra do Mar, há condições muito favoráveis para a ocorrência dos três processos, que requerem desníveis consideráveis.

Small (1977) apresenta as principais evidências da ocorrência de uma captura fluvial: cotovelo de captura, rio desajustado em relação a seu vale, vale seco com cascalhos, ruptura no perfil longitudinal e semelhança de cascalhos entre as drenagens; enquanto Zaprowski *et al* (2002) propõem exercícios baseados em materiais cartográficos e dados sedimentológicos da rede fluvial para o estudo de capturas fluviais. Tais estudos orientaram a busca por evidências da captura do rio Capivari.

A partir destas considerações, a pesquisa tem como objetivo a análise do relevo e da drenagem da região de Colônia para reunir elementos que permitam definir se o impacto meteorítico 1) formou um segundo anel no entorno da crista principal da cratera, que 2) conduziu a drenagem do rio Capivari à bacia do rio Embu-Guaçu, 3) havendo a posterior captura do rio Capivari pela drenagem litorânea em expansão em função do gradiente oferecido pela escarpa da Serra do Mar.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise geomorfológica da área se baseia na proposta metodológica de Oliveira (2003), que consiste na descrição de elementos indicativos de condicionamento estrutural e dinâmico da rede de drenagem, como lineamentos, gargantas e escalonamento de níveis topográficos, considerando-se ainda as contribuições de Melosh (1989) para a análise de estruturas de impacto e de Small (1977) e Zaprowski *et al* (2002) para o estudo de capturas fluviais.

Os procedimentos básicos da pesquisa consistem em: elaboração e análise de modelos digitais do terreno (MDEs) por meio de ferramentas de geoprocessamento, produção de um esboço morfológico da área a partir de fotointerpretação, trabalhos de campo para descrição de materiais de superfície e análises laboratoriais dos materiais coletados em campo.

Os MDEs foram produzidos com uso do *software* Ilwis 3.4 a partir de cartas topográficas de escala 1:10.000 (Emplasa, 1984) e 1:50.000 (IBGE, 1984). Com a análise dos MDEs obtiveram-se cartas de: hipsometria, clinografia, lineamentos topográficos, além de perfis topográficos. Os perfis topográficos foram combinados com as informações geológicas existentes em Coutinho (1980), resultando em perfis geológicos.

Com vistas ao aprofundamento do estudo do modelado do relevo e da rede de drenagem da área, realizou-se a interpretação de fotografias aéreas obtidas pela Base S.A. em 1994, com elaboração de um esboço morfológico. As fotografias cobrem uma faixa que se estende da escarpa da Serra do Mar

ao vale do Ribeirão Caulim, compreendendo as principais feições analisadas. A legenda do esboço morfológico é semelhante à utilizada em Oliveira (2003).

A partir da fotointerpretação e dos dados obtidos na análise dos modelos digitais, planejaram-se e executaram-se atividades de campo. Foram utilizados os seguintes materiais em campo: trado holandês, enxada, faca, martelo pedológico, GPS, bússola, sacos de coleta, câmera digital e caderno de campo. Realizaram-se duas tradagens nas margens do alto curso do rio Capivari e seis no vale seco, com coleta de materiais para análises de laboratório.

As análises de laboratório – realizadas no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da USP – visaram à caracterização granulométrica, morfológica e mineralógica da fração areia de materiais pertencentes à planície de inundação do alto curso do rio Capivari e ao suposto vale seco, com fins de comparação.

RESULTADOS

Apresentam-se os resultados dos procedimentos de geoprocessamento, foto-interpretção, trabalhos de campo e laboratório, agrupados por tópico de investigação.

Compartimentação regional do relevo

Técnicas de geoprocessamento foram utilizadas para analisar o relevo em nível local e regional. Foram extraídos do MDE de escala 1:10.000 os atributos: hipsometria, clinografia e lineamentos topográficos (Fig. 2). Já o MDE de escala 1:50.000 foi utilizado para a elaboração de perfis topográficos regionais (Fig. 3).

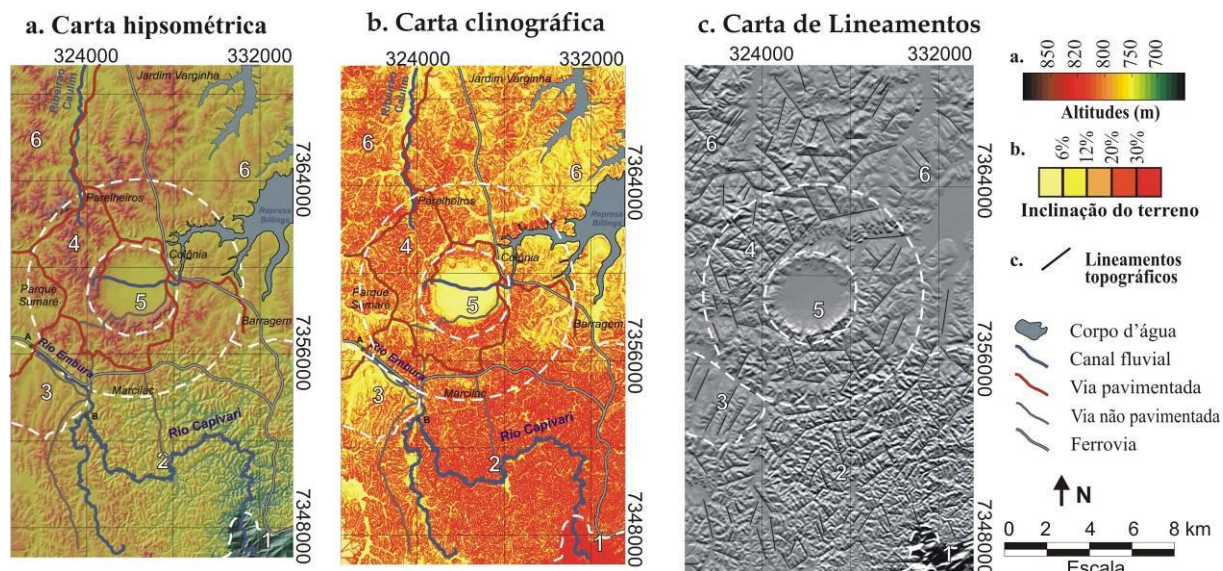


Fig. 2. Cartas de hipsometria, clinografia e de lineamentos topográficos, elaboradas a partir do MDE de escala 1:10.000. Feições de interesse: A. “vale seco”; B. “inflexão do rio Capivari. Compartimentos do relevo: 1. Escarpa da Serra do Mar, 2. Morros da bacia do rio Capivari, 3. Colinas da bacia do rio Embura, 4. Morros e colinas do entorno da cratera de Colônia, 5. Cratera de Colônia, 6. Morros e colinas das bacias dos rios Jurubatuba e Embu-Guaçu. Fonte: Emplasa (1984).

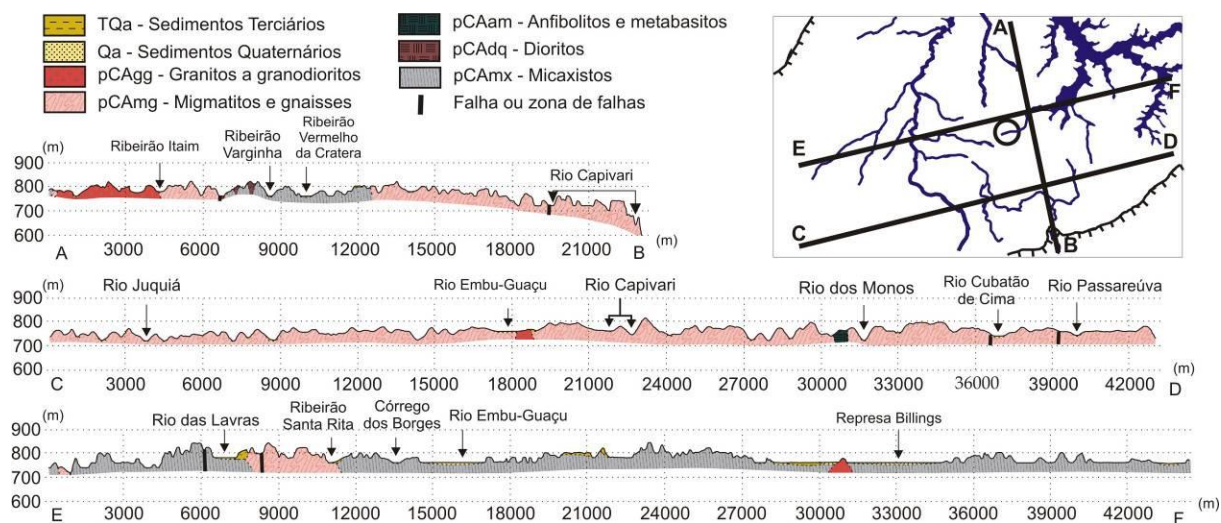


Fig. 3. Perfis geológicos da área de estudo. Exagero vertical de 10 x. Fonte: IBGE (1984), Coutinho (1980).

Uma síntese das principais características dos compartimentos do relevo regional é apresentada no Quadro 1.

Unidade	Geologia	Níveis	Declividades	Dimensão Interfluvial	Profundidade dos talvegues	Padrão de drenagem	Formas de vale predom.
Escarpa da Serra do Mar	Gnaiss	40 a 860 m	> 30%	400 a 500 m	50 a 150 m	Paralelo	Vales em V
Morros da bacia do rio Capivari	Gnaiss e sedimentos quaternários	660 a 800 m	> 30%	120 a 300 m	20 a 100 m	Dendrítico-retangular e paralelo	Vales em V e dissimétricos
Colinas da bacia do rio Embura	Sedimentos terciários, gnaisses	740 a 820 m	6 a 12% e > 30%	250 a 720 m	30 a 50 m	<i>Barbed</i>	Vales em V, em berço e dissimétricos
Morros e colinas do entorno da cratera de Colônia	Gnaiss, xisto, sedimentos terciários e quaternários	740 a 900 m	6 a 12% e > 30%	150 a 300 m	30 a 70 m	Anelar, dendrítico-retangular	Vales em V, vales de fundo plano
Cratera de Colônia	Sedimentos quaternários, gnaisses e xistos	750 a 865 m	0 a 6% e > 30%	200 a 250 m (na crista)	30 a 50 m	Radial centrípeto	Vales em V
Morros e colinas das bacias dos rios Embu-Guaçu e Jurubatuba	Xistos, granitos, gnaisses, sedimentos	740 a 780 m	> 30% e 6 a 12%	170 a 700 m	40 a 80 m	Dendrítico-retangular	Vales em V, dissimétricos e de fundo plano

Quadro 1. Características do relevo das unidades delimitadas na região de Colônia

O segundo anel da cratera de Colônia

Há, na topografia do entorno da cratera de Colônia, vestígios da existência de um anel soerguido de 9 km de diâmetro. Este anel, concêntrico à cratera, encontra-se atualmente muito desgastado, logo, pouco evidente na paisagem. Elaborou-se uma carta na qual se apresentam apenas as curvas de nível entre 800 e 820 m, para destacar a suposta feição (Fig. 4).

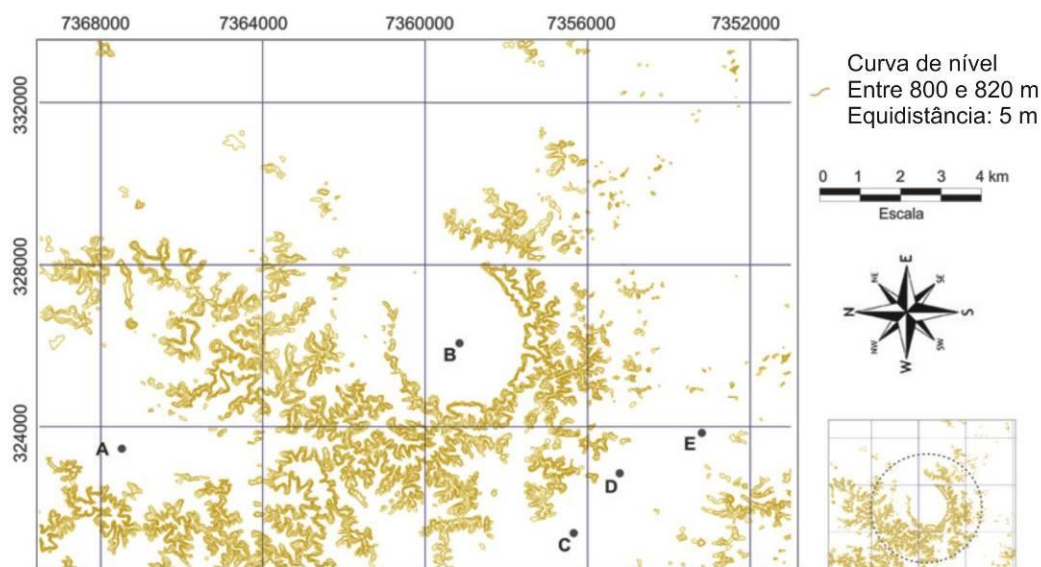


Fig. 4. Curvas de nível entre 800 e 820 m para realce de suposta feição anelar no entorno da cratera de Colônia, com 9 km de diâmetro. Pontos de referência: A. Vale do rio Caulim, B. Cratera de Colônia, C. “vale seco”, D. vale do rio Embura, E. inflexão do rio Capivari. Fonte: Emplasa, 1984.

Também se elaborou um estudo comparado dos lineamentos topográficos no interior e no exterior do segundo anel, para conferir se a formação da suposta feição teria obliterado os lineamentos regionais predominantes na direção ENE em seu interior (Fig. 5).

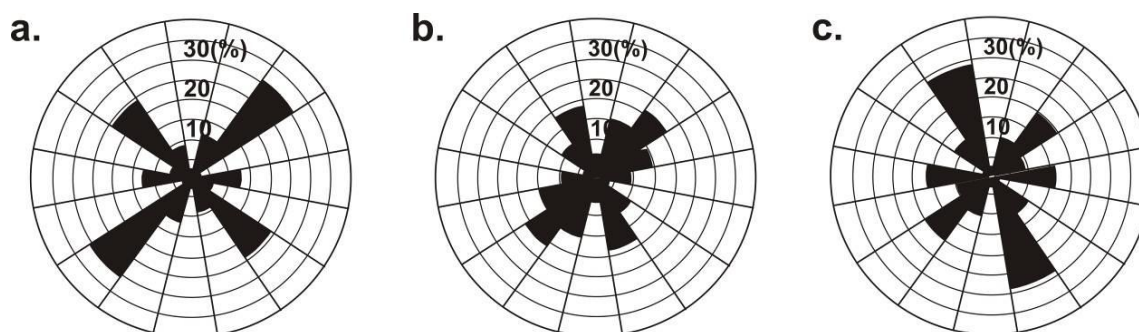


Fig. 5. Lineamentos topográficos: a. nos compartimentos 1, 2 e 3, a sul da cratera; b. no compartimento 4, na área interna ao segundo anel; c. no compartimento 6, a norte da cratera.

Em campo, analisou-se o mergulho dos afloramentos rochosos, para definir se foram introduzidas deformações significativas em função da formação do segundo anel. Os ângulos não foram considerados, por se tratar de rochas alteradas pelo intemperismo, mas observou-se que a direção geral do mergulho é mantida sob o segundo anel.

O impacto e a drenagem regional

Estruturas de impacto normalmente são circundadas por áreas de padrão de drenagem anelar, o que refletiria as falhas radiais e concêntricas que se formam em seu entorno devido à expansão e dissipação de ondas de choque. Na Fig. 6, observa-se a drenagem do entorno da cratera de Colônia, com seu padrão grosso modo anelar.

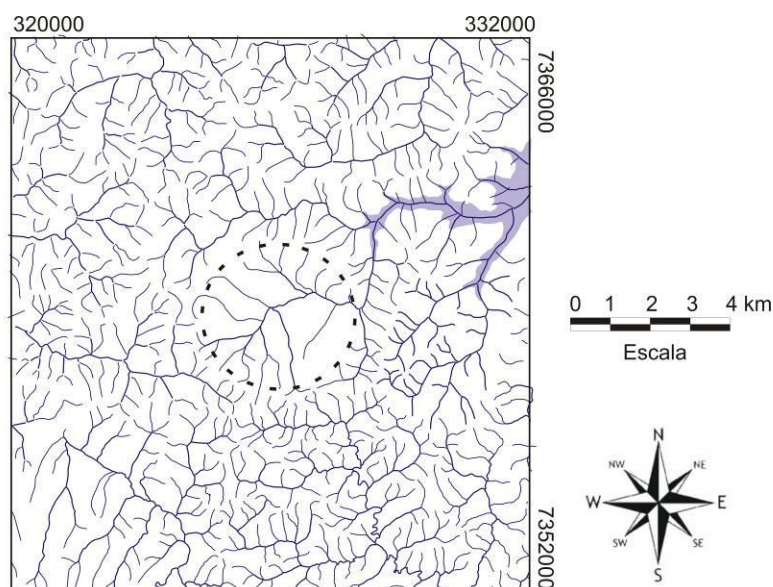


Fig. 6. Drenagem na cratera de Colônia e entorno.

Ao se avaliar a hipótese de anterioridade do rio Capivari em relação ao impacto, elaboraram-se perfis longitudinais dos rios da área na atualidade e em um passado hipotético, considerando-se a possibilidade do rebaixamento progressivo do Capivari (Fig. 7).

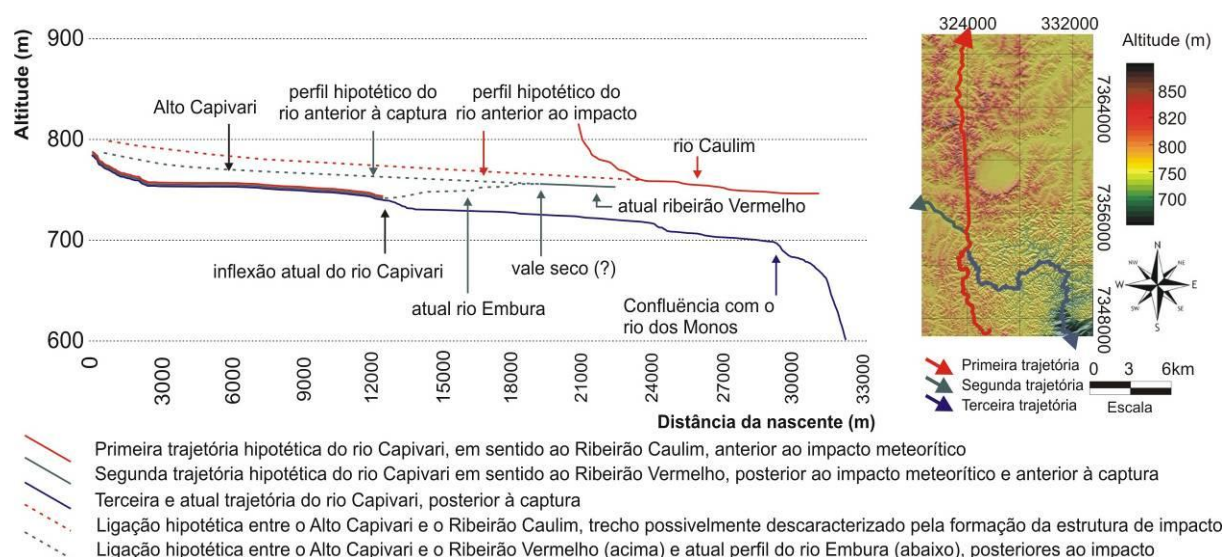


Fig.7. Perfis longitudinais das três trajetórias hipotéticas do rio Capivari, considerando o relevo atual da área. Exagero vertical 40x. Base cartográfica: Emplasa (1984).

A análise do relevo no vale do rio Caulim foi inclusa na fotointerpretação da área (Fig. 8). Observa-se a presença de pequenos terraços, cuja escassez prejudica a hipótese de que este vale tenha dado lugar a um rio maior no passado – no caso, o baixo curso de um suposto rio Capivari pré-impacto.

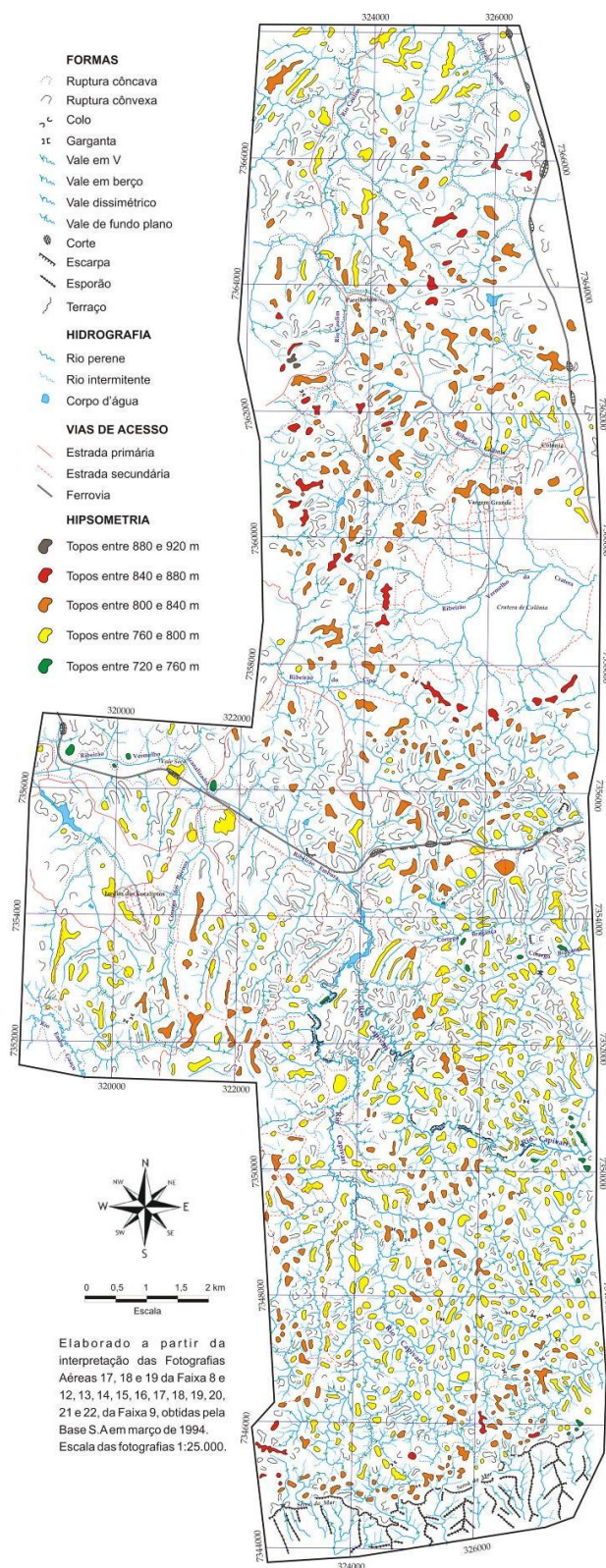


Fig. 8. Esboço morfológico da região de Colônia, elaborado a partir de fotointerpretação.

A captura do Alto Capivari

Buscaram-se as evidências de captura fluvial apontadas por Small (1977). A correlação de cascalhos, porém, foi substituída pela correlação de areias, visto que no ambiente fluvial analisado as areias são abundantes e os cascalhos praticamente inexistem.

O cotovelo de captação é bastante evidente na Fig. 8, na qual se observa uma curva de 130° que o rio descreve para sudeste, atualmente inundado por uma pequena represa. Também é possível observar o desajuste do rio Embura em relação ao seu vale, o que o qualifica como rio *underfit*, ou seja, um rio de pequeno porte em um vale consideravelmente largo.

As tradagens realizadas no vale seco atingiram profundidades de até 4 m, perfurando materiais argilosos a arenosos, com intercalação de camadas argilo-arenosas esbranquiçadas muito resistentes e camadas arenosas ricas em matéria orgânica e de baixa resistência. Em nenhuma das tradagens foi localizado cascalho, inviabilizando o critério da identificação de cascalhos no vale seco.

Como observado na Fig. 7, há uma pequena ruptura de declive coincidente com o cotovelo de captação, que encontra correspondência no perfil do rio Embura. Esta ruptura não coincide com falhas ou com descontinuidades litológicas, tendo-se em vista os dados geológicos disponíveis.

Por fim, os dados relativos à correlação de depósitos arenosos são sintetizados nos gráficos e tabelas apresentados na Fig. 9. Enquanto P1 e P2 correspondem aos perfis coletados no alto Capivari, P3 corresponde ao vale seco. Os primeiros apresentam conteúdos bastante arenosos, enquanto o último tem uma proporção muito menor da fração areia; já a distribuição granulométrica das sub-frações de areia é semelhante nos três perfis, com predominância de areia fina.

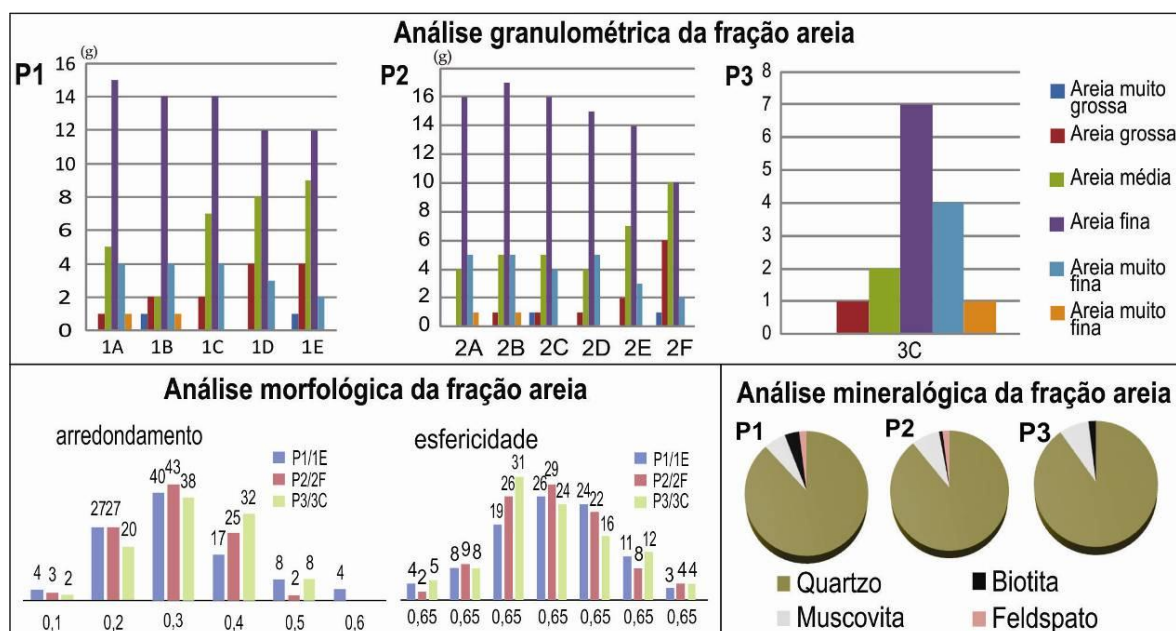


Fig. 9. Resultados das análises de laboratório dos materiais coletados no vale do alto Capivari (P1 e P2) e no “vale seco” (P3). Devido a dificuldades na eliminação de matéria orgânica das amostras coletadas no “vale seco”, apresentam-se os resultados de apenas um perfil nesta área.

Nas análises morfológicas, observa-se maior arredondamento e menor esfericidade das amostras do vale seco que do alto Capivari. O maior grau de arredondamento poderia, de certa maneira, indicar maior tempo de transporte, embora as pequenas diferenças nos valores e a amostragem insuficiente demandem prudência na interpretação.

As análises mineralógicas, por sua vez, indicam grande predominância de quartzo nas três amostras. A distribuição dos demais minerais é semelhante, com proporções relativamente altas de muscovita e biotita, considerando-se que se trata de minerais muito instáveis sob domínio tropical úmido. Elas refletiriam as condições do substrato geológico da região, com rochas abundantes em biotita e muscovita.

Para avaliar a origem da captura, que se relacionaria com o grau de instabilidade da bacia do rio Capivari, elaborou-se uma curva hipsométrica da mesma, apresentada na Fig. 10. Segundo os dados obtidos, há predominância de níveis de 600 a 700 m mais elevados que o exutório da bacia, resultando em uma grande convexidade da curva hipsométrica.

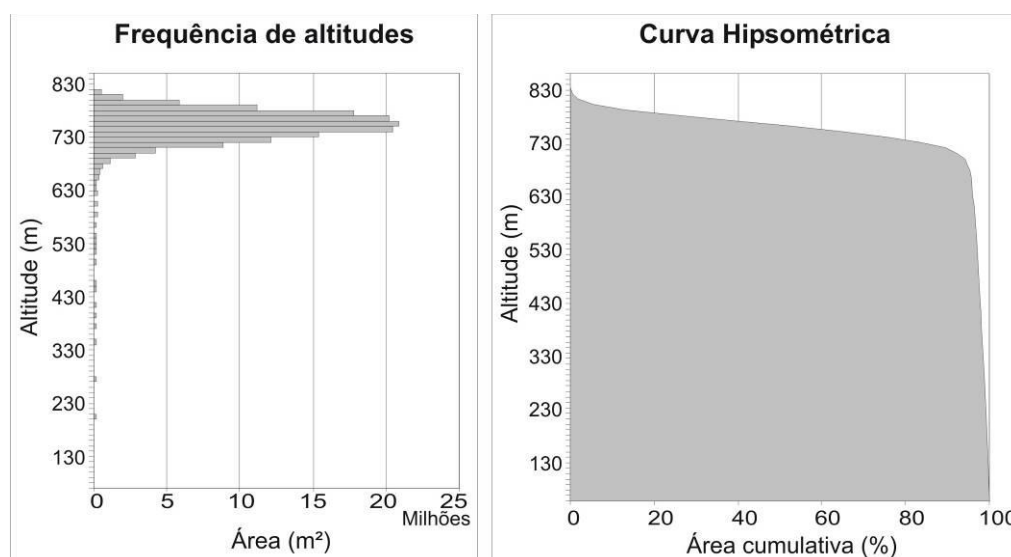


Fig. 10. Frequência de altitudes e curva hipsométrica da bacia do rio Capivari.

DISCUSSÃO

Analisa-se elementos do relevo e da drenagem com vistas à diferenciação entre o condicionamento proporcionado pela estrutura de impacto e os condicionamentos proporcionados por outros elementos, como a tectônica e a resistência diferencial das rochas ao intemperismo e erosão.

Observa-se, a partir da carta hipsométrica e dos perfis topográficos, maior altitude dos terrenos a oeste que a leste da cratera. Essa diferença altimétrica também é observada em sua crista, que é mais elevada a oeste que a leste. Em vez de constituir um condicionamento do impacto, a assimetria da crista teria relação com a tectônica e com a erosão pós-impacto, visto a persistência do desnível na região.

Há, ainda, uma diferenciação altimétrica norte-sul, com rebaixamento progressivo do terreno à medida que se aproxima da escarpa da Serra do Mar. Apesar de haver, ao sul, rochas presumivelmente

mais resistentes, como gnaisses e migmatitos, os níveis são aí mais rebaixados que a norte, onde se encontram rochas menos resistentes à ação intempérica e erosiva, como os micaxistos. Provavelmente, a tectônica e a incisão mais profunda dos rios na área da bacia do rio Capivari contribuíram para esta diferenciação altimétrica de maneira mais decisiva que o controle litológico.

Na bacia do rio Capivari, encontram-se maiores declividades e menores dimensões interfluviais que nas demais unidades do relevo do Planalto, tornando-a a unidade de relevo mais dissecada do entorno da cratera de Colônia. Por outro lado, observam-se baixas declividades e grandes dimensões interfluviais na bacia do rio Embura. Tal diferenciação acompanha variações litológicas, já que os morros da bacia do Capivari são esculpidos em gnaisses e migmatitos e as colinas da bacia do Embura são esculpidas em sedimentos terciários. O desenvolvimento da rede de drenagem também seria importante na diferenciação, com maior incisão na bacia do rio Capivari, em função do gradiente altimétrico proporcionado pela escarpa da Serra do Mar.

Os padrões de drenagem refletem as estruturas geológicas. Sabe-se que a maioria das fraturas e falhas da região se alinha na direção ENE, de modo que os vales e linhas de drenagem tendem a assumir esta direção. Na bacia do rio Capivari e nos morros e colinas das bacias do Embu-Guaçu e do Jurubatuba, a maioria dos lineamentos segue as direções de NE e NNW, respectivamente. Na área delimitada pelo segundo anel da cratera, porém, há maior variabilidade na distribuição de lineamentos, embora ainda predominam as direções observadas no entorno.

Há evidências favoráveis e desfavoráveis à hipótese da existência de um segundo anel. Das evidências favoráveis, mencionam-se: a posição e a direção do vale dos rios Embura e Vermelho, adjacente a alinhado com o segundo anel; o padrão de drenagem anelar no entorno da crista principal; a existência de sedimentos terciários distribuídos pela área, inclusive na crista do segundo anel, sedimentos estes que seriam necessários para sua formação, conforme o modelo de Melosh (1989). Das desfavoráveis, consideram-se: a grande dificuldade de observação da feição, o que traz um elemento subjetivo à sua interpretação; a continuidade dos lineamentos em seu interior, que entretanto não contraria Melosh (*op cit*), segundo o qual o segundo anel é formado por sedimentos e não por rochas do embasamento cristalino, que seriam poupadas de ação mais intensa do impacto fora do anel principal.

Quanto às influências do impacto à drenagem regional, a mais evidente é a padronagem anelar da drenagem no entorno da cratera. Esta padronagem seria resultante de uma grande perturbação na drenagem, exercida pela formação rápida de estruturas de impacto: falhas e fraturas concêntricas e radiais à cratera. No entanto, é necessário um exame de campo mais acurado para identificar tais estruturas.

Observa-se um padrão de drenagem *barbed* na bacia do rio Embura. Os rios desta bacia convergem para norte, mas são coletados pelo rio Embura, que segue para sudeste, consistindo um caso provável de reversão de drenagem desencadeado pela captura do rio Capivari. A noroeste,

observam-se as nascentes do Ribeirão Vermelho, que no passado poderia representar a saída desta sub-bacia, bem como de toda a rede do Alto Capivari.

Os dados apresentados sugerem que estas anomalias não têm origem no impacto. Apesar de os perfis longitudinais das trajetórias pretéritas do rio Capivari serem plausíveis (se houve, ao longo do tempo um maior rebaixamento do relevo a sul da cratera que a norte), a escassez de terraços fluviais no vale do rio Caulim afasta a hipótese de que o vale teria sido a rota de saída do rio Capivari antes do impacto. A própria idade da cratera, que é no mínimo Pliocênica, reduz a possibilidade de um rio Capivari pré-impacto, dada a instabilidade da drenagem da região, evidenciada pelo grande número de anomalias.

A inflexão do rio Capivari não teria relação com o impacto, isto é, não seria um “desvio” no conceito de Thornbury (1957), mas uma “captura”, no conceito de Bishop (1995). Das cinco evidências necessárias à identificação da captura (Small, 1977), identificaram-se ao menos quatro, com exceção dos cascalhos no vale seco. Como sistemas fluviais não obrigatoriamente comportam cascalhos e que estes normalmente se restringem a depósitos de fundo de canal (Miall, 1996), sua não identificação não afasta a hipótese da captura, apenas indica a necessidade de novas prospecções e a fragilidade da ideia de que apenas cascalhos devam ser usados para indicar estes processos.

Considerando-se a convergência das evidências a favor da captura, é de interesse avaliar sua motivação. A partir da curva hipsométrica apresentada, nota-se um grande potencial erosivo na bacia, visto que a maior parte de sua superfície encontra-se em níveis muito mais elevados que o de seu exutório. As características do relevo na bacia do rio Capivari suportam a ideia de que há tal desequilíbrio: seu alto grau de dissecação e a frequência de anomalias de drenagem indicam forte incisão fluvial e grande número de reordenações da drenagem.

CONCLUSÕES

Com base nas evidências apresentadas e nas discussões existentes sobre a gênese do relevo da área, é possível tecer um conjunto de conclusões parciais, de cunho geomorfológico, conforme descritas a seguir.

1. A existência do segundo anel no entorno da cratera permanece sujeita a questionamentos, considerando-se as evidências favoráveis e desfavoráveis a tal hipótese. O vale do Embura-Vermelho seria uma das principais feições associadas ao segundo anel, embora não seja descartada sua origem por aproveitamento de falhamentos ou fraturas geradas por eventos diastróficos.

2. O segundo anel teria sua origem nas condições do embasamento à época do impacto. Conforme evidenciado pela ocorrência de remanescentes sedimentares terciários no interior da cratera e no seu entorno, a região teria sido recoberta por sedimentos da Bacia de São Paulo à época de impacto, o que teria condicionado a formação de uma cratera esculpida no cristalino envolvida por uma pequena crista esculpida nos sedimentos.

3. A formação da cratera de Colônia teria influenciado a estruturação das redes de drenagem na área. Nota-se a ocorrência de um padrão grosso modo anelar no entorno da cratera e de um padrão radial centrípeto em seu interior, compondo uma drenagem exorréica.

4. É pouco provável que o rio Capivari tenha se estendido no passado pelo atual vale do rio Caulim. A antiguidade do impacto, a pequena largura do vale do Caulim e a escassez de terraços sugerem que os vales do alto Capivari e do Caulim se desenvolveram separadamente. Desta maneira, o alinhamento que há entre eles não evidenciaria uma conexão pretérita, mas algum tipo de controle estrutural, proporcionado por falhas ou fraturas nas rochas.

5. Posteriormente ao impacto e no decorrer da dissecação da bacia de São Paulo, as principais linhas de drenagem teriam definido traços semelhantes aos atuais. Nesse contexto, o rio Capivari teria assumido sua forma influenciado pela presença do segundo anel da cratera de Colônia, com o qual o rio teria se alinhado e acompanhado dirigindo-se à bacia do rio Embu-Guaçu. Esse alinhamento apresenta-se, atualmente, no vale do ribeirão Embura.

6. Após ter se integrado à bacia do rio Embu-Guaçu, o alto curso do Rio Capivari passou a sofrer interferência da drenagem litorânea, tendo como consequência sua captura. Esta captura fluvial explicaria: a existência da inflexão do rio Capivari, o vale seco presente entre as drenagens do ribeirão Embura (afluente do Capivari) e do Ribeirão Vermelho (afluente do Embu-Guaçu), o desajuste do ribeirão Embura em relação ao seu vale fluvial e as rupturas no perfil longitudinal do rio Capivari e Embura, a montante do local da inflexão. A semelhança granulométrica, morfológica e mineralógica entre os materiais sedimentares também reforça o conjunto de evidências, mas não necessariamente confirma a passagem pretérita do rio Capivari pelo vale seco, uma vez que suas características podem ser correlacionadas com as condições do embasamento local.

Do conjunto de considerações sobre a origem da cratera de impacto e a constituição do rio Capivari, constata-se que este rio é mais provavelmente posterior ao surgimento da cratera, embora em sua evolução tenha sido influenciado pelas feições e estruturas produzidas pelo impacto. Em um lapso de tempo desconhecido após o impacto, o rio Capivari teria, finalmente, sofrido uma importante mudança em sua trajetória, passando a correr para o litoral, em função de uma captura fluvial. Entende-se, portanto, que a inflexão do rio Capivari teria razões distintas do impacto, que precisam ser mais bem investigadas, provavelmente relacionadas com o recuo da escarpa da Serra do Mar e com a atividade tectônica presente na área até tempos recentes.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pela bolsa de iniciação científica concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'Sáber, A.N. *Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo*. São Paulo, 1957, 335f. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.

Bishop, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. *Progress in Physical Geography*, v. 19, p. 449-473, 1995.

Coutinho, J.M.V. *Carta geológica da região metropolitana de São Paulo, 1:100.000*. São Paulo: Emplasa, 1980.

Melosh, H.J. *Impact cratering: a geologic process*. Nova York: Oxford University Press, 1989.

Oliveira, D. *A captura do Alto Rio Guaratuba: uma proposta metodológica para o estudo da evolução do relevo na Serra do Mar, Boracéia – SP*. São Paulo, 2003, 105 f. Tese de Doutorado – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

Riccomini, C.; Turcq, B.; Martin, L.; Moreira, M.Z.; Lorscheitter, M.L. The Colônia Astrobleme, Brasil. *Revista IG*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 87-94, 1991.

_____; Sant'Anna, L.G.; Ferrari, A.L. Evolução geológica do *Rift* Continental do Sudeste Brasileiro. In: *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Brito-Neves, C.D.R.; Carneiro, B.B. São Paulo: Beca, 2004, p. 383-405.

Small, R. J. *The Study of Landforms: a Textbook of Geomorphology*. Cambridge: Cambridge, University Press, 1977.

Thornbury, W.D. *Principles of Geomorphology*. New York: John Wiley and Sons, 1954.

Zaprowski, B. J, Everson, E.B., Epstein, J. B. Stream piracy in the Black Hills: a geomorphology lab exercise. *Journal of Geoscience Education*, v. 50, n. 4, p. 380-388, 2002.