

## Evolução de Voçorocas e Integração de Canais em Áreas de Cabeceira de Drenagem: município de Resende, RJ.

Marcelo A. T. de Oliveira; Antônio F. G. Viera; Heloisa P. Possas; Julio C. Paisani; Lilian J. Lopes; Maria do Socorro B. de Lima e Marga E. Pontelli.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Geociências - CFCH  
88040-900 - Florianópolis - SC  
marcelo@cfh.ufsc.br

**Abstract.** The expansion and integration of gullies on unchannelled hillsides had been studied since 1984 on the Southeastern Brazilian Plateau. As a result, a conceptual model for gully erosion evolution was proposed. The model conceives the existence, at the same hillslope, of two types of erosive incision: one connected to the main drainage net, the other disconnected. With time, both incisions may integrate into a whole channel, creating an unique gully erosion system. The tendency to the integration proposed by the model had been verified in the field through the estimation of erosion rates in a potentially integrative gully erosion system. As conceived by the model, the gully erosion integration is a powerful tool to partially understand the spatial and temporal variability of slope-channel coupling processes.

**Keywords:** Gully erosion; Gully evolution integration model; Slope-channel coupling.

### Introdução

Através de um trabalho de mapeamento e cadastramento de voçorocas em áreas de cabeceira de drenagem no planalto Sudeste do Brasil evidenciou-se a existência de incisões erosivas que podem tanto estar conectadas quanto desconectadas da rede hidrográfica (Oliveira e Meis, 1985). Processos como escoamento superficial (concentrado e difuso), erosão por percolação (*seepage erosion*), movimentos de massa e erosão em dutos foram considerados importantes para a gênese e evolução das incisões erosivas. Incisões desconectadas da rede hidrográfica foram consideradas como primariamente relacionadas à ação do escoamento superficial nos setores superiores das encostas, enquanto incisões conectadas à rede hidrográfica foram associadas ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes baixas das encostas (Oliveira e Meis, 1985; Oliveira, 1990).

A observação e medição de aproximadamente 110 voçorocas ao longo de tributários do rio Paraíba do Sul, no planalto Sudeste brasileiro, levou à proposição de um modelo conceitual para a evolução de canais erosivos na área de estudo (figura 1).

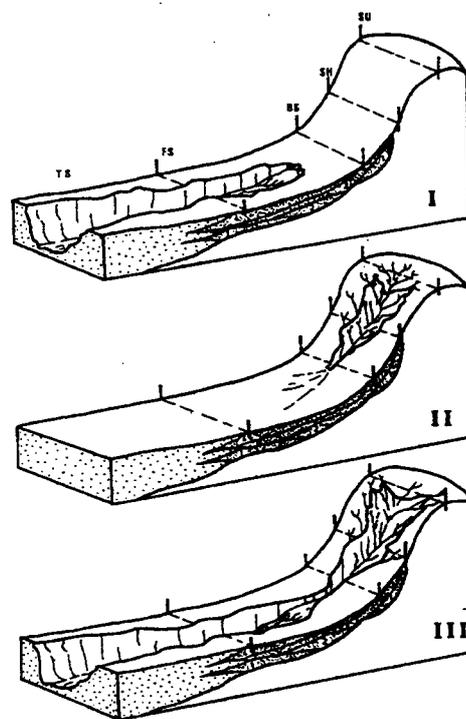


Figura 1: modelo conceitual para a evolução de voçorocas no vale do rio Paraíba do Sul (segundo Oliveira e Meis, 1985 e Oliveira, 1989). I: voçoroca de fundo de vale, conectada à rede de drenagem; II: voçoroca de encosta, desconectada à rede de drenagem; III: integração dos dois tipos de voçoroca.

Fundamentando-se na existência de alguns casos de grandes sistemas erosivos, esculpidos ao longo de todo o comprimento de algumas encostas, o modelo conceitual concebe a existência dos dois tipos de incisões erosivas (conectada e desconectada da rede hidrográfica) sobre uma mesma encosta.

A contribuição mais importante do modelo reside na previsão de integração ao longo do tempo de incisões conectadas e desconectadas, formando um único sistema erosivo (Oliveira e Meis, 1985; Oliveira, 1990). No momento da integração prevista, a ação sinérgica do escoamento superficial e do subsuperficial dará início a um estágio evolutivo no qual as taxas de erosão serão aceleradas (Oliveira, 1992; Oliveira et alii. 1994).

A extensão e integração de ravinas e voçorocas vêm sendo estudadas desde 1984 nas adjacências do município de Bananal (SP). Nos últimos dois anos áreas do Sul do Brasil foram incluídas neste programa de pesquisa. Neste artigo o modelo conceitual para a evolução de voçorocas será avaliado através do estudo de um sistema erosivo localizado no município de Resende (RJ). Taxas de erosão e tendências evolutivas vêm sendo estimadas no sistema desde 1984.

### Metodologia

Um sistema de incisões erosivas desconectadas e conectadas à rede de drenagem vem sendo monitorado desde 1984 no município de Resende (RJ), possibilitando o cálculo de taxas de erosão ( $m^3.a^{-1}$ ) e a estimativa da tendência evolutiva do sistema. Em 1994 foi realizado o levantamento topográfico do sistema.

Taxas globais de erosão foram estimadas a partir da aplicação do método de poligonais planialtimétricas à área (Camargo Filho et alii., 1996). Uma poligonal é materializada em campo de modo a envolver a superfície erodida. Uma linha mestra da poligonal é definida e suas extremidades são marcadas através de duas estacas de madeira fincadas no solo. Com bússola, obtém-se o azimute dessa linha mestra. No momento da medição, grampos de metal são fincados nos extremos da linha mestra, constituindo dois vértices da poligonal a ser materializada. Vários vértices são materializados através de grampos de metal, sucessivamente, seguindo o contorno da incisão erosiva. Os grampos são unidos por um fio de nylon. Com um simples transferidor mede-se os sucessivos ângulos entre lados da poligonal materializados pelo fio de nylon e com uma trena, as distâncias entre os vértices. Medições de

profundidade em diferentes pontos da incisão permitem o cálculo do volume de solo evacuado. Sendo repetido periodicamente, o método permite o cálculo do volume global erodido e a estimação de taxas de erosão entre diferentes períodos.

### Resultados

Como foi proposto anteriormente, através da formulação de um modelo conceitual para a evolução de voçorocas (Oliveira e Meis, 1985; Oliveira, 1990), incisões erosivas conectadas e desconectadas da rede hidrográfica podem, ao longo do tempo, vir a integrar um único canal erosivo.

Com o intuito de investigar a evolução prevista pelo modelo em campo, um sistema potencialmente integrativo de voçorocas vem sendo monitorado desde 1984 no município de Resende (RJ). Este sistema apresenta duas voçorocas desconectadas da rede hidrográfica situadas em duas concavidades distintas na média e alta encosta de um anfiteatro coluvial; na baixa encosta, encontra-se uma incisão conectada à rede hidrográfica (figura 2)

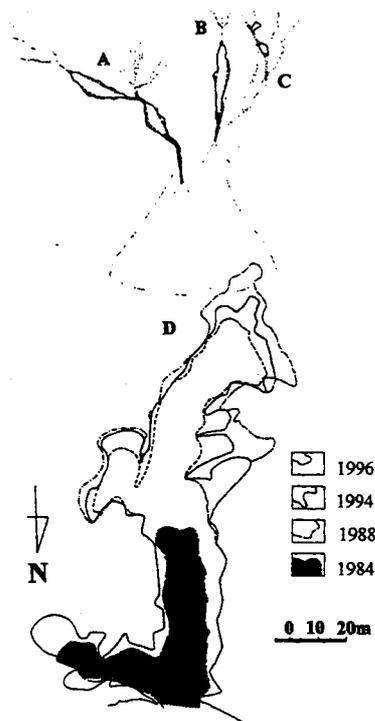


Figura 2: sistema erosivo em vias de integração, monitorado desde 1984 no município de Resende (RJ). A e B: incisões desconectadas da rede de drenagem; C: sistema de dutos e de estruturas de abatimento; D: incisão conectada à rede de drenagem.

Esta figura ilustra a distribuição do sistema erosivo nos períodos entre 1984, 1988, 1994, 1995 e 1996.

Em 1984 as incisões A e B possuíam dimensões reduzidas e situavam-se na base dos setores mais íngremes do anfiteatro. Através da observação de marcas de erosão, posteriormente discutidas por Oliveira (1995), associou-se a gênese dessas incisões com a atuação do escoamento superficial concentrado. Os levantamentos realizados em campo em 1988, 1994 e 1995 demonstram que essas incisões evoluíram principalmente para montante, dando origem, no caso da incisão A, a um sistema de voçorocas descontínuas (Schumm e Hadley, 1957), parcialmente ligadas por um canal irregular de aproximadamente 60 centímetros de largura e de profundidade. Consequentemente, ao contrário do previsto por Oliveira e Meis (1985) a evolução de incisões desconectadas deu-se principalmente no sentido regressivo, avançando para montante, e não no sentido progressivo, para jusante. Esta contradição já havia sido constatada, de forma implícita, por Moyersons (1991) ao aplicar a incisões erosivas estudadas em Ruanda, África, a tipologia proposta por nosso modelo evolutivo.

A incisão desconectada C é na realidade um sistema de estruturas de abatimento criado pela erosão em túneis. Em 1988, esse sistema foi identificado no campo como uma série de pequenos túneis descontínuos e pouco profundos (aproximadamente 15 cm de profundidade) estabelecidos aleatoriamente ao longo de trilhas de escoamento superficial concentrado. Em 1994 o sistema evoluiu para a sua forma atual, ainda seguindo uma trilha descontínua de escoamento superficial concentrado sob a cobertura de gramíneas. Em 1996, durante o processo de substituição do pasto na área, foi identificada neste setor da encosta, à jusante das estruturas de abatimento, uma rede de sulcos de erosão causados pelo escoamento superficial concentrado.

A incisão D é uma voçoroca conectada à rede de drenagem, situada na baixa encosta coluvial, em ambiente de articulação encosta/fundo de vale. As tendências evolutivas constatadas desde 1984 são claramente ilustradas pela figura 2. Ressalte-se a grande expansão da incisão erosiva durante o período analisado.

A Tabela 1 expõe as taxas de erosão ( $m^3 \cdot a^{-1}$ ) estimadas para o sistema erosivo desde 1984.

Como pode ser observado através da figura 2 e da tabela 1, apesar da criação de uma nova incisão desconectada entre 1984 e 1988, o volume mais importante de trabalho erosivo realizado pelo

sistema ao longo de todo o período analisado deve ser atribuído ao desenvolvimento da incisão conectada à rede de drenagem.

Voçoroca	Tipo	Período	Taxa de Erosão ( $m^3 \cdot ano^{-1}$ )
VR84 (D)	I	84/88	1.703,96
VR85.a (A)	II	84/88	12,53
VR85.b (A)	II	84/88	16,60
VR86 (B)	II	84/88	8,93
VR84 (D)	I	88/94	191,11
VR85.a (A)	II	88/94	1,89
VR85.b (A)	II	88/94	3,81
VR86 (B)	II	88/94	4,39
VR84 (D)	I	94/96	609,22
VR85.a (A)	II	94/96	não estimado
VR85.b (A)	II	94/96	não estimado
VR86 (B)	II	94/96	não estimado

Tabela 1: taxas de erosão estimadas no sistema erosivo entre 1984 e 1996.

A cabeceira da voçoroca conectada estendeu-se para montante ao longo de 95 metros, aproximando-se das incisões desconectadas. A partir de 1988, o canal principal da voçoroca migrou na direção de uma concavidade localizada à direita da figura 2, através da criação de 3 dígitos secundários. No entanto, as medições realizadas em 1994 e 1996 indicam o alargamento e a expansão da cabeceira principal da voçoroca na direção das incisões desconectadas e. Igualmente, entre 1994 e 1996, o dígito intermediário do sistema que se expandia na direção da concavidade acima mencionada recuou para montante e destruiu a separação existente entre os 3 dígitos iniciais.

Do volume total erodido entre 1994 e 1996 ( $1.218,45 m^3$ ), 51,84% refere-se à expansão da cabeceira principal da voçorocas conectada. Note-se que aproximadamente 85% do volume total erodido no período relaciona-se a alguns eventos chuvosos de alta intensidade verificados no local entre fevereiro e março de 1996.

No conjunto, pode-se concluir que o sistema como um todo apresentou uma tendência à integração prevista pelo modelo conceitual. Se a tendência observada e as taxas estimadas desde 1984 se mantiverem, este sistema erosivo deve no

futuro próximo atingir a integração prevista pelo modelo conceitual. Neste momento, os processos erosivos que atuam na cabeceira da incisão conectada exercerão seu efeito sobre as incisões desconectadas, promovendo a dissecação acelerada da cabeceira do vale “não-canalizado” no qual essas incisões se desenvolvem.

### Especulações teóricas

Teoricamente, no momento exato no qual ocorrerá a integração entre os dois tipos de incisão erosiva, deverá ocorrer também a interação entre os diferentes mecanismos atuando no processo de integração. Esta interação entre mecanismos erosivos promoverá um efeito sinérgico sobre o fornecimento de sedimentos e sobre as taxas de erosão na cabeceira da incisão erosiva. De acordo com a hipótese defendida por Oliveira et alii. (1994), os processos erosivos terão portanto um efeito amplificado pela combinação de seus efeitos individuais. Neste caso, as taxas de propagação remontante da cabeceira erosiva iriam depender, basicamente, das propriedades mecânicas dos materiais de solo e de alteração.

Aplicando este modelo a uma área de clima temperado mediterrânico, Faulkner (1995) foi o primeiro a propor que nosso modelo conceitual seja considerado como um “modelo integrado” de evolução da erosão e da sedimentação em bacias de drenagem. De fato, tal como proposta pelo modelo, a possibilidade de ocorrência de taxas de erosão aceleradas no momento da integração entre incisões conectadas e desconectadas, constitui uma poderosa hipótese de trabalho para a compreensão da variabilidade espacial e temporal dos processos de articulação entre encostas e fundos de vales no interior de bacias de drenagem.

A tipologia inicial (Oliveira e Meis, 1985), ao veicular o conceito de integração entre processos, justifica-se como modelo na medida em que pode fornecer subsídios para a explicação de processos geomorfológicos que extrapolam o simples estudo de casos de erosão por voçorocas.

De fato, a articulação entre encostas e calhas flúvias pode ter sido afetada no passado pelo tipo de integração sugerido por nosso modelo. Ressalte-se que área de estudo deste trabalho foi o palco no qual desenvolveu-se boa parte dos trabalhos relativos à formação e evolução dos chamados complexos de rampas colúvias (Meis e Moura, 1984). Este tipo de unidade morfodinâmica se desenvolveu justamente a partir de processos pretéritos relacionados à articulação entre encostas e calhas flúvias (Moura, 1995). Tal como explicitado pelo modelo integrativo, a associação

de diferentes processos morfogenéticos não pode ser negligenciada nestes ambientes de articulação. Com efeito, a associação de diferentes processos erosivos e deposicionais, determinados ou não por mudanças climáticas locais ou globais, deve ter sido um dos principais responsáveis pela elaboração dos complexos de rampas colúvias.

### Conclusão

Como foi sugerido neste artigo, através do estudo da evolução de um sistema de incisões erosivas potencialmente integrativas ao longo do tempo, o modelo integrado para a evolução de voçorocas está sendo comprovado a partir de evidências de campo. Neste sentido, esse modelo de caráter conceitual deixa de ser simplesmente uma idéia e passa a ser uma hipótese provável de evolução e de integração de incisões erosivas em áreas de cabeceira de drenagem.

Na medida em que este modelo é considerado como um modelo integrado, os processos erosivos que atuam tanto nos setores mais elevados e mais íngremes das encostas, como nos setores mais baixos e menos íngremes das mesmas passam naturalmente a serem vistos sob uma ótica igualmente integrativa.

A interação entre processos erosivos associados aos escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo deve portanto ser considerada como o principal agente responsável pela morfogênese e evolução futura de áreas como a estudada neste trabalho.

### Referências Bibliográficas

- CAMARGO FILHO, M., CAMARGO, G., OLIVEIRA, M.A.T. Estimativa de taxas de erosão através de poligonais planimétricas. In: 3a REUNIÃO ESPECIAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 1996, Florianópolis. Anais ... Florianópolis : UFSC, 1996, p. 397.
- FAULKNER, H. Gully erosion associated with the expansion of unterraced almond cultivation in the coastal Sierra de Lujar, S. Spain. *Land Degradation & Rehabilitation*, vol. 6, p. 179-200, 1995.
- MEIS M.R.M., MOURA J.R.S. Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeastern Brazilian Plateau. *Amer. Journ. of Science*, nº284, p.241-254, 1984.
- MOURA, J.R.S. Geomorfologia do Quaternário. In: GUERRA, Antônio J. T. & CUNHA, Sandra B da (Org.): *Geomorfologia: uma*

- atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 335-364..
- MOYERSONS, J. Ravine formation on steep slopes: forward versus regressive erosion. Some case studies from Rwanda. *CATENA* v.18, p. 309-324, 1991.
- OLIVEIRA, M.A.T. Erosion disconformities and gully morphology: a threedimensional approach. *CATENA*, volume 16, n°4/5, p. 413-423, 1989.
- OLIVEIRA, M.A.T. Slope geometry and gully erosion development: Bananal, São Paulo, Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie*, volume 34, n°4, p. 423-434, 1990.
- OLIVEIRA, M.A.T. Paleotopografia e erosão por voçorocas: delimitação de áreas potencialmente instáveis sobre encostas. In: SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba, Anais... Curitiba : Universidade Federal de Paraná, 1992, p. 430-439.
- OLIVEIRA, M.A.T. Observação de marcas de erosão e cadastramento de voçorocas em meio rural. In: 5º SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 1995, Bauru, Resumos do... Baurú : UNESP, 1995, p. 253-255.
- OLIVEIRA, M.A.T., MEIS, M.R.M.. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). *Geociências*, São Paulo, n° 4, p. 87-99, 1985.
- OLIVEIRA, M. A. T., COELHO NETTO, A. L., AVELAR, A. S. Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. *Geociências*, São Paulo, v.13, n. 1, p. 9-23, 1994.
- SCHUMM, S.A., HADLEY, R.F. Arroyos and the semi-arid cycle of erosion. *American Journal of Science*, n.255, p. 161-174, 1957.