

Alcovas de Regressão e Expansão de Voçorocas em Sedimentos Inconsolidados: Praia Mole, município de Florianópolis, SC.

Marcelo A. T. de Oliveira e Eloisa Elena D. G. Nascimento

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

Abstract. Erosive features named "regressive alcoves" have been studied during the last six months on an experimental field site associated to the study of gully erosion expansion on unconsolidated sediments. In this site, most of the gully head expansion was driven by the retreat of the "regressive alcoves". The main observed mechanisms responsible for the alcove retreat, act on different space-and-time scales. Those processes are: erosion by "subvertical fillets" adhering to the headcut wall; plunge pool erosion; shallow liquefaction promoted by "subvertical fillets" acting on permeable non-cohesive materials; residual seepage erosion. The interaction in time, at the same place, of the above-mentioned mechanisms, was responsible for the accelerated retreat of the gully head at the experimental site. "Regressive alcoves" seem to be erosive features in which overland flow and throughflow tend to reach a synergetic interaction.

Keywords: Subvertical fillets ; Regressive alcoves; Gully head extension.

Introdução

Um estudo de erosão por voçorocas conduzido no sudeste do Brasil desde 1984 foi expandido à região Sul do país a partir de 1994. Nesta ocasião, realizando um trabalho de cadastramento de formas de erosão no Sudoeste do Paraná, a observação detalhada de mecanismos e de suas marcas, ou feições erosivas (Oliveira, 1995), nos levou à definição de alguns mecanismos não referenciados anteriormente na literatura (Oliveira et alii., 1995).

De fato, se tornou evidente que a água de escoamento superficial proveniente de encostas imediatamente adjacentes a incisões erosivas, ao mergulhar para o interior das incisões, deixa na superfície de contato entre a lâmina d'água e a borda da voçoroca uma fina película de escoamento retido por adesão, fenômeno bem conhecido em hidrostática e que é notado na interface entre líquidos e sólidos.

A erosão por cascatas (*plunge pool erosion*) é um dos processos que, associados à formação e ao desenvolvimento de incisões erosivas sob o efeito do escoamento superficial, merece destaque no processo de recuo e expansão de cabeceiras de canais (Dietrich e Dunne, 1994). Pouco discutido, é o efeito do que foi por nós denominado de "filetes subverticais hierarquizados" (Oliveira et alii., 1995). Como expresso naquela ocasião, trata-

se de uma rede de filetes subverticais que pode formar-se sobre as paredes de entalhes erosivos durante eventos chuvosos suficientemente intensos para formar pequenas cascatas que desembocam no interior de voçorocas. No contato entre a lâmina d'água e o degrau formado pela borda da voçoroca, um filme líquido adere à parede da incisão e escorre para a base do degrau, formando filetes.

A idéia de uma possível hierarquização destes filetes surgiu a partir da constatação de que a água que escorre em filetes ao longo das paredes expostas de uma voçoroca exerce um efeito erosivo tanto mais significativo quanto maior é a distância entre a borda formada da incisão e a sua base.

Igualmente, associadas em parte aos filetes acima mencionados, tornou-se evidente que a maioria dos setores mais ativos de voçorocas possuem características morfológicas comuns, aparentemente independentes do substrato rochoso e das características dos materiais de solo e de alteração. De fato, uma feição erosiva denominada "alcova de regressão" (Oliveira et alii., 1995) encontra-se em 86% dos casos de erosão mapeados e cadastrados nas áreas estudadas (figura 1).

Freqüentemente associadas com a erosão em dutos ("piping"), ou com a erosão por percolação ("seepage erosion"), ou ainda com a erosão em túneis ("tunneling erosion"), evidências de campo levaram-nos a propor que as alcovas de regressão

são o resultado da interação entre diferentes mecanismos (Oliveira, 1996), incluindo é claro o escoamento superficial.

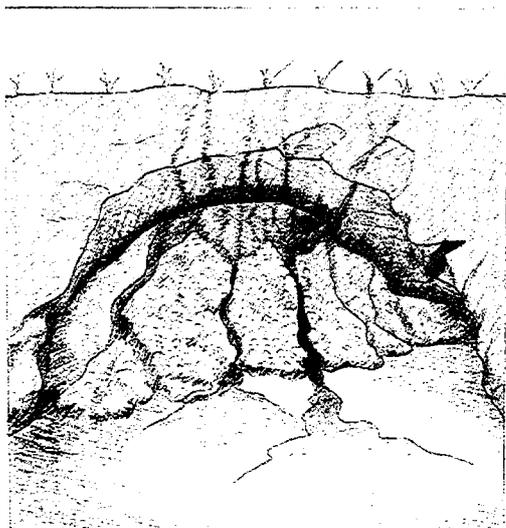


Figura 1: ilustração de uma alcova de regressão na área de estudo. Notar filetes subverticais aderidos ao teto da alcova. Estes se concentram e desembocam em sulcos individuais, escavados na base da alcova.

O termo utilizado para denominar essas feições erosivas lembra tanto a forma abobadada da feição (alcova vem do árabe *al-qubbâ*: abóbada) quanto o fato de que esta se expande regressivamente, solapando a superfície da encosta acima da cabeceira da voçoroca. De acordo com observações de campo, alcovas de regressão se desenvolvem preferencialmente nos materiais menos coesivos, seja em camadas de solos coluviais, em solos homogêneos arenosos, ou ainda em saprolitos (Oliveira, 1995).

A seguir, serão apresentados resultados preliminares de um estudo sobre taxas de erosão e processos associados à evolução de alcovas de regressão.

Métodos

Devido a importância das alcovas de regressão para o desenvolvimento e expansão de cabeceiras de canais, foi escolhida como área de estudo uma pequena parcela situada sobre paleodunas no município de Florianópolis. A escolha da área de estudo justifica-se pela proximidade da UFSC e por suas próprias características. Com efeito, a área de estudo é formada por espesso recobrimento de sedimentos eólicos (dunas estabilizadas) misturados com material coluvial, situa-se a

aproximadamente 60 metros acima do nível do mar e, sobretudo, constitui uma área cujos materiais são relativamente homogêneos. Como será exposto a seguir existem na realidade heterogeneidades quanto a algumas propriedades mecânicas dos materiais.

Foi instalada na área uma estação experimental constituída por um pluviômetro, alguns tensiômetros e coletores de escoamento superficial e subsuperficial. Os coletores de escoamento superficial foram especialmente criados para se adaptarem à morfologia abobadada das alcovas de regressão. São feitos de placas maleáveis de alumínio e são fixados às paredes das alcovas através de dois arames colocados em orifícios feitos nas laterais dos coletores. Os coletores de escoamento subsuperficial são feitos de tubos de PVC, cravados sobre as paredes das alcovas de regressão. Ambos estão ligados, através de mangueiras plásticas, a galões de 20 litros enterrados no fundo do canal da voçoroca dentro de uma trincheira recoberta por uma tampa de ferro galvanizado (Figura 2).

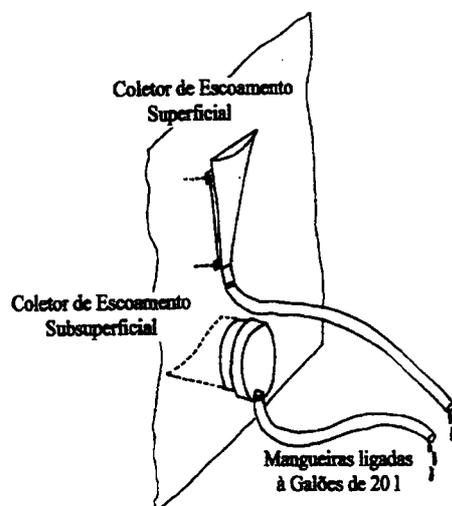


Figura 2: sistema de coletores de escoamento superficial e subsuperficial instalados nas paredes de alcovas de regressão.

Diariamente é feita uma leitura das chuvas e, quando há evidências de transporte de sedimentos ao longo das mangueiras dos coletores, realiza-se a coleta do material armazenado nos galões. As mangueiras são lavadas através de uma pissete, de modo a evitar que material carregado por um evento chuvoso não se misture com o do evento subsequente. Os galões são esvaziados no laboratório. Deixa-se que os sedimentos decantem em provetas de 1 litro, antes de transferi-los para

beckers de 500 ml nos quais o material é seco em estufa e posteriormente pesado.

Estão sendo estudados dois sistemas erosivos distintos. Taxas globais de erosão têm sido estimadas através do método de poligonais plani-altimétricas (Camargo Filho et alii., 1996).

Propriedades mecânicas como resistência ao cisalhamento, coesão aparente e ângulo de atrito interno têm sido estimadas em campo através de um penetrômetro e de um medidor de resistência ao cisalhamento por torção.

Resultados

Como salientado anteriormente, alcovas de regressão se desenvolvem preferencialmente sobre materiais que possuem valores baixos de coesão. Com efeito, a tabela 1 exemplifica a relação existente entre algumas propriedades mecânicas dos materiais de solo e a ocorrência de alcovas de regressão.

Material	τ (kg.cm ⁻²)	σ (kg.cm ⁻²)	c (kg.cm ²)	ϕ (graus)
Horizonte Bt	1.194	1.915	1.30	22
	0.855	1.412	0.98 (1)	23
	1.053	2.208	1.30	26
Colúvio argilo-arenoso	1.370	>4.50	1.40	33
	1.780	>4.50	1.80	16
Colúvio arenoso	0.780	>4.50	1.00 (1)	42
Dunas pleistocênicas	0.750	>450	1.00	38
	0.640	1.850	0.65 (1)	21

(1): Pontos nos quais desenvolvem-se alcovas.

τ = resistência ao cisalhamento

σ = tensão normal

c = coesão aparente

ϕ = ângulo de atrito interno

Tabela 1: propriedades mecânicas dos materiais de solo nos quais desenvolvem-se alcovas de regressão.

Nota-se que alcovas de regressão se desenvolvem preferencialmente sobre materiais que possuem valores de coesão aparente relativamente mais baixos. Os materiais referentes às duas últimas linhas da tabela são materiais que formam as alcovas aqui estudadas. Nestes materiais, as alcovas se desenvolvem preferencialmente nos pontos de menor coesão aparente. Os fatores que determinam as diferenças de coesão aparente dos materiais referentes à

estação experimental da Praia Mole estão sendo estudados e não dispomos ainda de resultados.

O desenvolvimento destas alcovas tem sido observado desde novembro de 1995. Durante este período, notou-se que a expansão da cabeceira das incisões erosivas estava associada às taxas de recuo das alcovas de regressão. Através de poligonais plani-altimétricas, foram estimadas taxas de erosão globais.

A tabela 2, mostra resultados de taxas de erosão estimadas através deste método.

Período Analisado	Precipitação Máxima em 24 hs (mm)	Taxas de Erosão (m ³ .a ⁻¹)
01/11/95 a 01/12/95	42,5	37,44
01/12/95 a 01/01/96	365	179,04

Tabela 2: taxas de erosão e totais pluviométricos entre novembro de 1995 e janeiro de 1996.

As taxas de expansão da cabeceira da incisão erosiva são mais elevadas durante eventos chuvosos extremamente concentrados (Oliveira, 1996.a).

A figura 3, exemplifica o efeito das alcovas de regressão sobre a expansão da cabeceira da voçoroca à qual se relacionam as taxas da tabela 2.

Como pode ser observado através da figura, a incisão erosiva pouco evoluiu até o final do ano de 1995. Com as chuvas catastróficas que se abateram sobre a região a partir de 24 de dezembro de 1995, verificou-se um recuo acelerado da cabeceira do canal erosivo.

De acordo com observações realizadas na estação experimental, após o colapso das paredes e do teto das alcovas, sob chuvas de forte intensidade, as paredes da cabeceira erosiva são rapidamente retrabalhadas durante eventos chuvosos de menor intensidade, esculpindo uma nova alcova de regressão (Oliveira, 1996.a).

Os processos detalhados que são responsáveis pelo desenvolvimento de alcovas de regressão têm sido estudados através da análise conjunta de dados pluviométricos e de dados de transporte de sedimentos oriundos de alcovas de regressão na estação da Praia Mole.

Os resultados preliminares, sugerem que as taxas de erosão das alcovas de regressão em estudo são determinadas por respostas distintas do

escoamento superficial e do subsuperficial ao impulso pluviométrico. O escoamento superficial aumenta imediatamente com os totais pluviométricos, enquanto que o subsuperficial requer um período mais dilatado para manifestar-se, ocorrendo com frequência após o evento chuvoso (Oliveira, 1996.a).

Sob chuvas concentradas, o escoamento superficial parece ter um papel muito importante no retrabalhamento das alcovas de regressão. Já sob chuvas que se estendem por vários dias, o escoamento subsuperficial aumenta a sua contribuição para o retrabalhamento das paredes das alcovas.

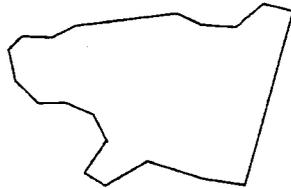


Fig. 3.A: 01/11/95

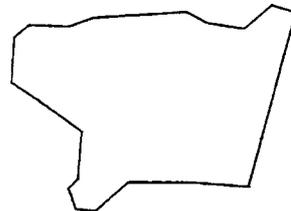


Fig. 3.B: 01/12/95

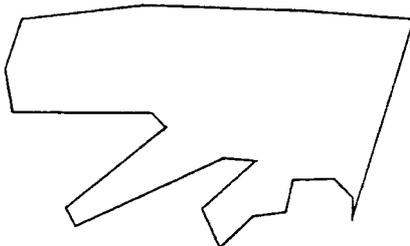


Fig. 3.C: 01/01/96

Figura 3: expansão da cabeceira de uma voçoroca medida através de poligonais plani-altimétricas.

Em termos do transporte total de sedimentos na área em estudo, o escoamento superficial é mais importante para a esculturação da alcova de regressão do que o subsuperficial. Com efeito, a figura 4 e a figura 5 apontam para algumas relações que devem ser ressaltadas.

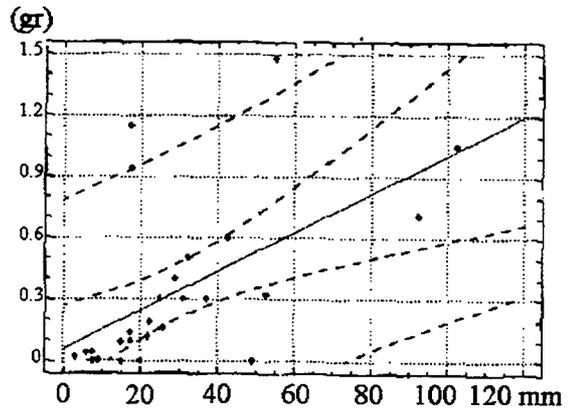


Figura 4: regressão linear entre totais de precipitação em 24 horas (abcissas) e totais de sedimentos relacionados com o escoamento hipodérmico (ordenadas) em uma alcova de regressão.

Para a figura 4, os valores de r e de R^2 foram respectivamente de 0.569 e de 32.42%.

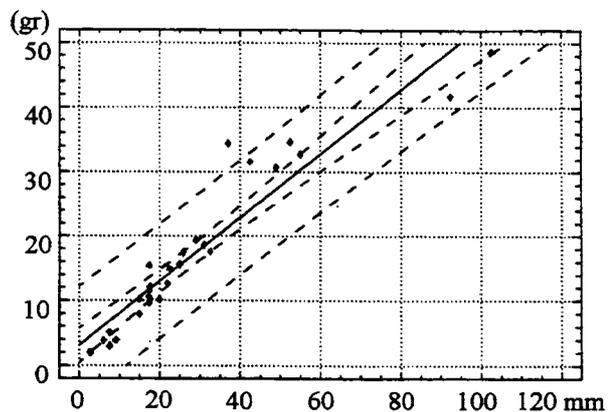


Figura 5: regressão linear entre totais de precipitação em 24 horas (abcissas) e totais de sedimentos relacionados com o escoamento por filetes subverticais (ordenadas) em uma alcova de regressão.

Para a figura 5, os valores de r e de R^2 foram respectivamente de 0.954 e de 91.03%.

A nível da contribuição total para as taxas de erosão verificadas no sistema erosivo, o escoamento subsuperficial contribuiu apenas com 3,59% do total de sedimentos carregados no interior da alcova monitorada. Como pode ser verificado pelos diagramas de distribuição ilustrados pelas figuras 3 e 4, existe uma grande dependência da erosão através do escoamento superficial em relação aos totais pluviométricos. Já para a erosão relacionada com o escoamento subsuperficial, esta dependência é muito menos significativa.

Conseqüentemente, até onde esses resultados preliminares nos permitem concluir, a formação e posterior desenvolvimento das alcovas de regressão monitoradas é dirigida principalmente pela ação erosiva de filetes subverticais de escoamento superficial aderidos às paredes das alcovas, tal como previsto por Oliveira et alii. (1995).

Durante chuvas que se estendem por vários dias, a participação do escoamento subsuperficial aumenta; igualmente aumenta a sua contribuição no processo de liquefação dos materiais arenosos pouco coesivos que compõem a alcova. De outro modo, como observado durante eventos chuvosos, o material é liqüefeito superficialmente e transportado ao longo de filetes subverticais.

Como sugerem os resultados acima expostos, a liquefação de materiais pouco coesivos, responsável pelo retrabalhamento e recuo paralelo de taludes e paredes de incisões erosivas, deve ser considerada tanto como uma conseqüência de episódios de pressões elevadas da água do solo (Dietrich e Dunne, 1994) quanto como conseqüência da liquefação promovida pela saturação superficial desses materiais; esta última é promovida por filetes subverticais de escoamento superficial aderidos às paredes de incisões erosivas.

Conclusões

A interação entre processos erosivos associados aos escoamentos superficial e subsuperficial no desenvolvimento de alcovas de regressão, tal como os resultados aqui expostos sugerem, deve ser considerada como o principal agente responsável pelo retrabalhamento das alcovas de regressão monitoradas na área de estudo.

No entanto, como mencionado anteriormente, alcovas de regressão são encontradas em áreas distintas, desenvolvendo-se sobre solos e produtos de alteração oriundos de substratos geológicos bastante variados.

A importância morfodinâmica dessa feição erosiva, sua grande expressão espacial e os processos envolvidos no seu desenvolvimento requerem uma reflexão aprofundada sobre os principais agentes que atuam sobre cabeceiras de canais em geral. Os resultados aqui expostos apontam para a gênese de feições erosivas que têm sido exclusivamente associadas a processos de erosão subterrânea ou subsuperficial. Ao contrário do que se poderia esperar, estes resultados demonstram que alcovas de regressão podem desenvolver-se em estreita dependência com o

escoamento superficial na forma de filetes subverticais.

É claro que feições erosivas similares são criadas pela erosão por percolação. No entanto, mesmo em áreas onde as variações do lençol freático são um importante agente morfodinâmico, o efeito da interação entre o escoamento subsuperficial e o escoamento superficial sobre materiais pouco coesivos não deve ser negligenciado.

Referências

- 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.
- DIETRICH, W.E., DUNNE, T. The channel head. In: BEVEN, K. e KIRKBY, M.J. (Eds.): *Channel Network Hydrology*, John Willey & Sons Ltd, 1993, p. 175-219.
- OLIVEIRA, M.A.T. Observação de marcas de erosão e cadastramento de voçorocas em meio rural. In: 5º SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSIÃO, 1995, Bauru, Resumos do... Bauru : UNESP, 1995, p. 253-255.
- OLIVEIRA, M.A.T. Towards the integration of throughflow and overland flow on gully head extension. In: IVth BIENNIAL CONFERENCE OF THE SOUTHERN AFRICAN ASSOCIATION OF GEOMORPHOLOGISTS, 1996, Cape Town, Abstracts... Cape Town : University of the Western Cape, 1996, p. 27.
- OLIVEIRA, M.A.T. Evolução de voçorocas e integração de canais em áreas de cabeceira de drenagem: modelo conceitual, taxas de erosão e sinergia de mecanismos. *Revista GEOSUL* (1996.a - no prelo).
- OLIVEIRA, M. A. T., SBRUZZI, G. J., PAULINO, L. A. Taxas de erosão por voçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. In: VI SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1995, Goiânia, Anais ... Goiânia : Universidade Federal de Goiás, 1995. p. 647-651.