

MONITORAMENTO DOS FLUXIOS SUBSUPERFICIAIS EM ÁREAS DEGRADADAS NO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL: REVEGETAÇÃO E CONTROLE DE VOÇOROCAMENTOS

Daniel Meirelles Preza - Estagiário do GEOHECO/ UFRJ dpreza@ufrj.br

Otavio Miguez da Rocha Leão - Doutorando-PPGG/UFRJ orochaleao@hotmail.com

Paulo Jorge Vaitsman Leal - Mestrando PPGG/ UFRJ pjleal@centroin.com.br

Julia Manso Paes de Carvalho - Estagiária do GEOHECO/UFRJ juliamanso@bol.com.br

Ana Luiza Coelho Netto - Professora Titular DEGEO/ UFRJ ananetto@globo.com

APOIO FINANCEIRO: FAPERJ; CNPq; PRONEX-CNPq.

1 INTRODUÇÃO

A água precipitada em uma encosta pode tomar vários caminhos até atingir os canais fluviais. Esses caminhos serão definidos pelas variáveis-controle dos processos de infiltração e geração de escoamento. A partir dos trabalhos de Kirkby and Chorley (1967) e Dunne e Leopold (1978) pode-se dividir a drenagem da água da chuva nas encostas em quatro tipos de escoamento: 1- Fluxo superficial; 2-Fluxo subterrâneo; 3- Fluxo subsuperficial raso; e 4- Fluxo subsuperficial saturado.

Segundo Horton (1945) cada solo possui uma capacidade de infiltração e, quando a precipitação supera essa capacidade, ocorre o escoamento superficial. Esse tipo de fluxo superficial é denominado fluxo hortoniano e pressupõe a saturação do solo como condição detonadora do escoamento superficial.

Dunne et al (1975) afirmam que nas regiões úmidas, devido a densidade da cobertura vegetal e a alta capacidade de infiltração dos solos, o fluxo hortoniano é confinado a áreas desprovidas de vegetação.

Em áreas de cobertura florestal, a água tende a percolar em profundidade, não permitindo a formação de fluxo hortoniano (Coelho Netto,1985). Essa percolação se dirige do topo para a base da encosta, sendo que quanto mais próximo ao fundo de vale, maior será o teor de umidade no solo e menor a profundidade do lençol freático (Coelho Netto, 1994).

Os Processos erosivos associados ao escoamento concentrado:

ravinamentos e voçorocamentos

Quando as condições geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas e vegetacionais condicionam o surgimento de escoamento concentrado nas encostas ocorre a formação de ravinamentos e voçorocamentos que são canais incisos na superfície do solo. Esses fluxos podem estar associados a dinâmica superficial produzindo ravinas. Quando também operam processos de escoamento sub-superficial são produzidos os voçorocamentos, pois nesse caso o mecanismo principal é associado a exfiltração de fluxos subsuperficiais (*seepage erosion*) sendo a lavagem superficial e os movimentos de massa mecanismos secundários na remoção dos materiais (Coelho Netto, op cit).

O surgimento de ravinas e voçorocamentos está associado ao desenvolvimento da rede de canais, que por sua vez associa-se a formação de feições côncavas que constituem-se em zonas de convergência de fluxos de água e sedimentos (Anderson e Burt, 1978). Nos sistemas de drenagem o escoamento superficial e sub-superficial das águas convergem para

a rede de drenagem canalizada (Horton, 1945; Dunne, 1980), incluindo canais conectados e desconectados. Segundo Montgomery e Dietrich (1989) a iniciação de um canal responde a uma relação inversa entre área de contribuição e o gradiente acima da cabeça do canal.

Avelar & Coelho Netto (1992) indicam o papel das fraturas do substrato geológico no desenvolvimento de unidades côncavas mostrando a relações entre a rede regional de fraturamentos e a dinâmica hidrológica sub-superficial. O controle lito-estrutural na gênese de voçorocamentos foi ainda apontado por Beavis (2000) que associa a formação de rachaduras no solo à orientação dos fraturamentos no material parental. Oliveira e Meis (1985), em mapeamento conduzido na Bacia do Rio Bananal, destacam que as feições côncavas somam apenas 29% do relevo mas apresentam 66% dos voçorocamentos, sendo esses voçorocamentos responsáveis pela expansão da rede de canais.

No vale do Rio bananal é comum a junção de sistemas de canais conectados e desconectados, devido ao avanço remontante da rede principal em direção as concavidades tributárias das cabeceiras de drenagem (Coelho Netto et al, 1988). Segundo Coelho Netto e Fernandes (1990) sob determinadas condições locais a propagação da rede de canais pode propagar-se além dos divisores de drenagem das bacias, capturando sistemas adjacentes canalizados ou não. Coelho Netto (1997) sugere que, localmente e regionalmente, as taxas de recuo das voçorocas variam em função da densidade de concavidades e o gradiente das suas respectivas áreas de contribuição. Coelho Netto (*op cit*) propõem que ao se aproximarem dos divisores de águas, as fraturas reativam a exfiltração do aquífero regional, adicionando forças cisalhantes na propagação remontante de algumas voçorocas, que conseguem ir além dos divisores.

Gabbard et al (1998) demonstram que, em algumas regiões, os processos erosivos são fortemente influenciados pela posição na paisagem, respondendo a variações no gradiente hidráulico responsáveis pela movimentação da água em superfície e em sub-superfície. Esses gradientes hidráulicos podem ser controlados por níveis de base locais que regulam a dissecação e a estocagem diferencial dos materiais, como apontado por Dantas et al (1994).

Os voçorocamentos em formações quaternárias do vale do Paraíba do Sul ocorrem geralmente em áreas de pastagens com coberturas de gramíneas. Os trabalhos de Deus (1991) e Cambra (1999), conduzidos no anfiteatro da Fazenda Bela Vista na Bacia do rio Piracema, afluente do rio bananal formador do Rio Paraíba do Sul, demonstram as relações entre a cobertura de gramíneas e os processos hidrológicos sub-superficiais. Os autores caracterizam esse ambiente como sendo favorável à infiltração da água da chuva devido a ação dos dutos formados pela densa malha fina de raízes e pelos caminhos escavados pelas formigam Saúva que se proliferam nesses ambientes.

Nessas áreas os voçorocamentos estão associados ao mecanismo de excesso de poropressões em faces de exfiltração, conhecido como *Sepage Erosion*. Nesse caso não se sabe ao certo o efeito causado pela reintrodução de uma cobertura florestal nas encostas contribuidoras de drenagem dos dígito ativos desses voçorocamentos. O que se observa no interior das voçorocas é uma sucessão espontânea relativamente rápida com a colonização de espécies pioneiras e secundárias iniciais. No entanto a constante reativação erosiva acaba retardando e em alguns casos até mesmo impedindo a sucessão natural.

Aceitando-se a vegetação florestal como sendo a mais adequada para o recobrimento de vertentes em regiões tropicais úmidas, devemos reconhecer os diferentes estágios sucessionais da vegetação e as relações entre esses diferentes estágios e o desenvolvimento de processos hidro-erosivos nas encostas. Quando mais desenvolvida for a vegetação em termos sucessionais, mais complexa será a sua estrutura de funcionamento e portanto maior será a sua capacidade de absorver estímulos externos pelo reordenamento de suas estruturas internas. De fato, em uma floresta conservada os agentes que regulam a interceptação e a redistribuição da água da chuva são muito mais eficientes do que aqueles observados em uma vegetação secundária inicial, que embora já se constitua em uma formação arbórea, não possui sub-sistemas eficientes para controlar a entrada de água no sistema.

Atualmente discute-se se o retorno da vegetação florestal seria uma solução para o controle do voçorocamento em áreas de gramíneas do médio vale do rio Paraíba do Sul. Partiremos de duas premissas básicas para tentar contribuir na elaboração de respostas adequadas à essa questão:

- Os mecanismos hidro-erosivos dominantes são provocados por fluxos sub-superficiais, fato já amplamente apontado e discutido pela literatura.
- A vegetação florestal aumenta a infiltração de água no solo, causando um incremento na recarga da água subterrânea.

Segundo o nosso ponto de vista a reintrodução de uma vegetação florestal nas vertentes e fundos de vale do médio vale do Rio Paraíba do Sul poderia motivar duas hipóteses contraditórias:

1) Incremento da dinâmica hidro-erosiva sub-superficial, provocado pelo aumento da recarga da água subterrânea.

ou

2) Diminuição da dinâmica hidro-erosiva, provocada pelo aumento do consumo e da estocagem de água pela biomassa florestal, pelas maiores perdas pela evapo-transpiração e pela ação mais efetiva do sistema radicular na proteção do solo.

Se a hipótese correta for a diminuição da dinâmica hidro-erosiva motivada pelo retorno da vegetação florestal, resta-nos investigar em quanto tempo a revegetação induzida estaria exercendo um controle efetivo no balanço hidrológico das encostas.

2 ÁREA DE ESTUDO

Os estudos de campo estão sendo conduzidos na bacia do Rio Piracema, sub-afluente do rio Paraíba do Sul que drena as encostas situadas no reverso da Serra do Mar, entre o topo da Serra da Bocaina e o rio Bananal, já nas proximidades do rio Paraíba do Sul. Em estudos conduzidos na bacia do Rio Piracema, foram mapeados 117 voçorocamentos sendo que 83% se encontram conectados a rede de drenagem. A maioria desses voçorocamentos desenvolvem-se em paralelo aos *sets* de fraturamento, sendo controlados pela estrutura geológica subjacente.

Formação Geológica e Geomorfológica

A bacia do Rio Piracema situa-se em terreno metamórfico de alto grau no interior da faixa Ribeira com idade pré-cambriana (Heilbron, 1995). Esse terreno metamórfico é composto por uma seqüência de rochas metassedimentares conhecidas como Grupo Paraíba do Sul, além de ortognaissese e rochas granitóides intrusivas (Almeida et al, 1991). Em relação as deformações, Heilbron (op cit) destaca pelo menos três fases durante o proterozóico superior, associadas ao Ciclo Brasileiro

O modelado regional do relevo apresenta dois compartimentos principais, um composto pelas escarpas íngremes das Serras do Mar e da Mantiqueira e um outro composto por colinas com feições convexas/côncavas (Fernandes, 1990). A historia quaternária recente dessa região foi exaustivamente revista pelos trabalhos de Meis *et al*, (1975); Meis (1977); Meis e Machado, (1978); Meis e Monteiro, (1979); Meis e Moura, (1984); Meis *et al*. (1985); Moura e Meis, (1986) e Moura (1991). Nesses trabalhos demonstrou-se um padrão descontínuo e episódico de erosão e sedimentação nas encostas e ciclos de agradação e degradação nos vales fluviais.

A Estação Experimental da Bela Vista

Em um anfiteatro tributário do Rio Piracema desenvolve-se uma voçoroca de expressiva incisão vertical e recuo lateral que vem tendo a sua evolução monitorada desde 1982 pela equipe do Laboratório de Geo-Hidroecologia/UFRJ. Nesse anfiteatro localiza-se a Estação Experimental da Bela Vista (EEBV- mapa em anexo) que é uma concavidade estrutural, definida por Avelar e Coelho Netto (1992), como aquelas que se desenvolvem em associação a fraturamentos locais.

O anfiteatro é formado por diversos vales não canalizados, todos eles controlados pelo “*set*” local de fraturamento e apresenta um extenso voçorocamento com progressão remontante acelerada em dois dígitos principais (mapa anexo).

O dígito ativo da porção superior do anfiteatro demonstra uma aceleração nas taxas de recuo mesmo com a aproximação dos divisores e a conseqüente diminuição da área de contribuição. Nesse dígito não se observa o desenvolvimento da revegetação espontânea fato que demonstra a grande instabilidade do substrato disponível para a recolonização vegetal no interior do voçorocamento..

O dígito semi-estabilizado possui uma área de contribuição maior e apresenta uma morfologia menos estrangulada. No interior desse dígito ocorre o desenvolvimento de uma revegetação espontânea, fato esse que demonstra uma relativa estabilidade dos materiais.

O dígito ativo da porção inferior progride remontante em direção à um vale não canalizado e passou a receber influência de fluxos adicionais provenientes de uma estrada rural abandonada a partir de 1994.

O anfiteatro da EEBV é quase totalmente ocupado por vegetação herbácea rasteira introduzida para pastagem. Em alguns poucos trechos desenvolve-se agrupamentos de espécies pioneiras e secundárias. Segundo Deus (1991) as espécies vegetais se distribuem na área obedecendo as diferentes situações de umidade, acompanhando a morfologia do terreno. Enquanto que a gramínea *paspalum* e várias outras espécies herbáceas concentram-se nos segmentos côncavos das encostas, as áreas convexas são ocupadas pela gramínea *Imperata brasiliensis*

Deus (1991) em estudos hidrológicos conduzidos na EEBV indica que a atividade biogênica associada a cobertura de gramínea do anfiteatro favorece a infiltração da água no solo através da formação de “*pipe flow*”. Deus (op cit) mostra que os dutos escavados pela formiga saúva são um importante componente na determinação das rotas preferenciais de escoamento no topo do solo, gerando uma recarga do aquífero temporário na base dos depósitos arenosos quaternários.

Coelho Netto (1995) demonstra que a taxa de alargamento da voçoroca é superior ao recuo remontante, e que a cabeça do tronco principal desviou em 90 graus e avança aceleradamente (3,2m/ano⁻¹) seguindo em paralelo a outro “set” de fraturamento em direção ao eixo de uma concavidade tributária de ordem 0.

A propagação do voçorocamento faz parte da dinâmica geomorfológica, estando associada a expansão da rede de canais. A aceleração nas taxas de recuo do dígito ativo da porção superior contraria dados da literatura, os quais condicionam o surgimento de canais aos parâmetros morfológicos (gradiente e área de contribuição). Nesse dígito, mesmo com a área de contribuição ficando três vezes menor entre 1984 e 1999, não ocorreu uma diminuição nas taxas de recuo remontante, corroborando a hipótese levantada por Coelho Netto (1997) sobre uma possível ‘pirataria’ de água subterrânea do vale vizinho, que é suspenso topograficamente.

3 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo central avaliar o comportamento hidrológico de vertentes situadas em cabeceiras de drenagem, com problemas de voçorocamento, no médio vale do rio Paraíba do Sul. Enfoca-se, principalmente, o monitoramento dos fluxos subsuperficiais rasos responsáveis pela propagação desses voçorocamentos, a fim de se gerar subsídios para o desenvolvimento de metodologias de controle desses processos erosivos.

Os objetivo específico é o monitoramento desses fluxos hidrológicos em diferentes posições de encosta e em diferentes tipos de cobertura vegetal.

4 METODOLOGIA

Hidrologia sub-superficial

O molhamento e a drenagem do metro superior do solo estão sendo registrados através de uma rede de 27 baterias de tensiômetros de mercúrio (10, 30, 60 e 90cm) que foram instalados em diferentes posições de encosta no vale não canalizado que está sendo revegetado. Essas profundidades foram selecionadas, pois representam trechos do perfil do solo que apresentam variações nas propriedades relevantes a infiltração (textura; estrutura e presença de raízes).

Trabalhos anteriores conduzidos na EEBV demonstraram um comportamento diferencial entre 10, 30 e 60cm, e na presente pesquisa inserimos a profundidade de 90cm para identificarmos o comportamento da camada situada abaixo da descontinuidade hidráulica apontada por Cambra (1998) na profundidade de 60cm.

As baterias estão funcionando desde janeiro de 2000 e espera-se registrar modificações nas cargas de sucção em diferentes profundidades após a introdução da

revegetação induzida. As leituras são realizadas diariamente pelo operador de campo 3 horas após a calibragem.

Monitoramento das entradas de chuva no anfiteatro da EEBV

As entradas de chuva no anfiteatro da EEBV estão sendo mensuradas através de um pluviômetro e um pluviógrafo que estão em funcionamento desde de março de 2000 com registros contínuos. O pluviógrafo é automático e fornece dados sobre total pluviométrico e intensidade da chuva em todos os eventos de chuva ocorridos na EEBV. Semanalmente as folhas de registro são trocadas pelo operador de campo que as envia mensalmente para o GEOHECO.

O pluviômetro é manual e é medido pelo operador de campo após cada evento de chuva. Além disso, também foram instalados 40 pluviômetros de 10cm de diâmetro ao redor dos coletores de escoamento superficial situados na área de revegetação induzida que poderão servir de apoio ao cálculo do total pluviométrico sobre a EEBV em cada evento chuvoso.

A Revegetação Induzida

A revegetação induzida está sendo realizada em um vale com área de 1,5ha através do plantio de 7000 mudas em curvas de nível com espaçamento de 2,5m entre as covas. As mudas foram produzidas no viveiro da EMBRAPA/AGRO-BIOLOGIA, sob responsabilidade do prof. Sérgio Myana. A espécie escolhida tem como característica o grande desenvolvimento do sistema radicular e a capacidade de buscar água no solo a grandes profundidades. Essa espécie já foi descrita como uma planta potencial para redução do lençol freático, exatamente devido a sua capacidade de absorver grandes quantidades de água a grandes profundidades.

Nesse sentido espera-se que a longo prazo consiga-se uma redução no nível do lençol freático, diminuindo a possibilidade de exfiltração da água subterrânea no fundo do voçorocamento, que é o mecanismo principal na propagação do voçorocamento. Essas respostas serão obtidas através da continuidade da pesquisa conjunta entre o GEOHECO/UFRJ e a EMBRAPA/AGRO-BIOLOGIA, e não serão observadas até a conclusão dessa pesquisa (outubro de 2003).

Nos dois primeiros anos após os plantios são esperadas modificações na interceptação e redistribuição dos fluxos da chuva e na estruturação física do topo do solo, que são parâmetros relevantes para a infiltração e o escoamento superficial nas encostas.

5 RESULTADOS

Com a análise dos dados de escoamento subsuperficial, obtidos através da mensuração da tensiometria que os valores médios de carga de pressão, em quatro profundidades (10cm, 30cm, 60cm e 90cm), em três diferentes posições de encosta (baixa, média e alta encosta), indicam cargas mais elevadas em todas as profundidades para as vertentes situadas na alta encosta. As áreas de meia-encosta apresentam valores intermediários e os menores valores foram registrados nas áreas de baixa encosta. Na alta e na meia-encosta observa-se uma redução nos valores médios de carga de poro-pressão negativa com o aumento da profundidade no solo, fato não observado na baixa encosta, onde a profundidade de 60cm apresenta valores menores do que a de 90cm, demonstrando a existência de uma camada de retenção de umidade à 60cm de profundidade, em área sem

presença de raízes e com textura mais argilosa, confirmando mensurações antecedentes desenvolvidas pelo GEOHECO.

Com a observação do escoamento superficial percebe-se também uma grande variação sazonal para as cargas de pressão negativa nas diferentes profundidades do solo. Nos meses secos todas as profundidades apresentam valores elevados na alta encosta enquanto que na baixa encosta a profundidade de 60cm apresenta valores um pouco menores. Nos meses úmidos as profundidades de 90 cm apresentam valores baixos de carga de pressão negativa tanto na alta quanto na baixa encosta.

6 CONCLUSÃO

A recuperação de áreas degradadas por voçorocamentos em cabeceiras de drenagem deve concentrar esforços no sentido de se compreender a gênese e evolução dessas formas erosivas. No médio vale do rio Paraíba do Sul os mecanismos erosivos envolvidos na propagação dos voçorocamentos associam-se a exfiltração de fluxos subsuperficiais e as medidas de recuperação devem se preocupar com o controle da recarga desses fluxos. A reintrodução de uma cobertura florestal em encostas situadas a montante de voçorocamentos pode, em um primeiro momento, acelerar a dinâmica erosiva subsuperficial. Esse fato decorre da incapacidade da revegetação induzida, pelo menos nos estágios iniciais de desenvolvimento, de controlar os processos hidrológicos nas encostas, visto que ainda não existe uma camada de serrapilheira estruturada e um sistema radicular desenvolvido. Longe de desestimular tentativas de revegetação tal fato deve servir para motivar novas pesquisas que visem à decodificação da dinâmica geomorfológica e hidrológica de áreas com problemas de voçorocamento, gerando subsídios para o desenvolvimento de metodologias de recuperação de áreas degradadas baseadas em revegetação induzida (reflorestamentos).