

INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NOS PROCESSOS FLUVIAIS DE BACIAS DE 1^ª ORDEM

Antonio Paulo Faria

*Laboratório de Geomorfologia Fluvial, Costeira e Submarina - IGEO/UFRJ
Ilha do Fundão - CCMN - Rio de Janeiro, RJ
kaunfari@unisys.com.br*

RESUMO

Nas calhas dos canais de primeira ordem de áreas florestadas, como no maciço da Tijuca (RJ), grandes cargas de folhas, galhos e troncos caem e interferem nos fluxos de água de diversas formas: a) produzindo barragens efêmeras que controlam a velocidade dos fluxos; b) criando zonas de sedimentação nos lagos formados pelas barragens e; c) liberando cargas de sedimentos quando elas são destruídas. Dessa forma, o transporte de sedimentos nesses canais ocorre na forma de pulsos. O material orgânico também se espalha ao longo das calhas e por atrito, diminuindo a velocidade dos fluxos de água. Assim, este trabalho procura mostrar a influência que o resíduo florestal, como folhas e galhos causa nos fluxos de água dos pequenos rios.

INTRODUÇÃO

A maioria dos problemas que ocorrem nas baixadas e nas áreas de influência dos grandes rios, como enchente, baixo nível de vazão, assoreamento e erosão, têm como causa o uso do solo nas cabeceiras de drenagem, onde se situam os canais de 1^ª ordem. Esses canais produzem aproximadamente 50% do volume total de água que passa em um grande rio, de acordo com Faria (1996). Por isso, a chave para solucionar parte desses problemas está no melhor entendimento de como funcionam essas microbacias, mas as relações existentes entre vegetação, atividades da fauna e processos hidrológicos e fluviais são muito amplas e ainda não se chegou a um nível de conhecimento adequado.

Aqui é apresentado o resultado de algumas pesquisas sobre a influência que o material orgânico não decomposto e parcialmente decomposto, causa sobre os fluxos de água e sedimentos nos pequenos canais fluviais. Os trabalhos foram realizados no maciço da Tijuca (RJ).

Nos trabalhos clássicos sobre processos fluviais têm-se encontrado comentários, ainda que

tímidos, sobre a influência da vegetação nos processos fluviais. A partir do trabalho de Zimmerman et al. (1967), houve um alerta para a importância da vegetação na dinâmica dos pequenos rios. Os autores mostram que a largura desses canais, em certos pontos, pode estar diretamente ligada ao tipo de vegetação que influencia na forma dos canais, por alterar a rugosidade do fundo e a resistência ao transporte dos sedimentos. Postulam ainda que, em áreas florestadas, os pequenos canais não possuem uma descarga suficientemente forte para transportar todo o material orgânico recebido; além disso, o empilhamento de folhas, galhos e troncos, cria barragens que formam pequenos lagos.

Keller e Swanson (1979) observaram que os detritos orgânicos nas calhas, principalmente os troncos de árvores, podem desviar os fluxos de água, formando correntes secundárias que promovem o alargamento das margens.

Fetherston et al. (1995) analisaram a distribuição do material orgânico em canais de diversos tamanhos e mostram que o volume de troncos, galhos e folhas estacionado nas calhas cresce inversamente à diminuição do tamanho do canal, e isso está ligado diretamente com a competência dos fluxos em transportar os troncos, galhos e folhas. Assim, um canal de primeira ordem, de acordo com os autores, teria enorme quantidade de material orgânico depositado na calha, enquanto um rio de sexta ordem não permite a deposição devido ao enorme volume de água drenado por essas calhas. A vazão de um canal de primeira ordem é medida em poucos litros por segundo, enquanto a vazão de um canal de sexta ordem pode ser medida em centenas de m³ por segundo (centenas de milhares de litros por segundo).

Gurnell e Gregory (1984) e Gregory e Gurnell (1987) relatam que talvez a forma mais significativa de a vegetação influenciar a morfologia dos canais seja através do desenvolvimento de barragens formadas pela queda de folhas, galhos e troncos dentro das calhas. Mostram que nas microbacias florestadas, são formadas inúmeras barragens compostas pelo empilhamento de material orgânico, que se posicionam em intervalos de 1,5 a

8 metros. Demonstram ainda a importância dessas barragens para a dinâmica dos canais fluviais, já que elas reduzem a velocidade do fluxo e aumentam a estocagem de sedimentos, sendo mais importante, segundo eles, a dissipação da energia dos fluxos.

Esse tipo de estudo não havia sido feito em microbacias localizadas em regiões tropicais úmidas, e pode ser justificado pelo fato de que essas florestas são muito diferentes das que se desenvolvem nas regiões temperadas, pelo maior número de espécies que possuem e pelo maior volume de biomassa que produzem.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O maciço da Tijuca fica localizado na cidade do Rio de Janeiro (RJ) e é uma área montanhosa, de geomorfologia do tipo serrana, formada por blocos falhados onde se apresentam picos, paredões rochosos e vales com encostas e fundos cobertos por depósitos de colúvios e tálus. A litologia desses blocos, na área, é basicamente formada por gnaisses. O ponto culminante da área é de 1022 m de altitude, mas as quatro bacias de 1^a ordem estudadas (A, B, C e D) se situam entre 500 e 861 m, onde a pluviosidade média anual fica em torno de 2300 mm e a temperatura média anual é 21°C. Dados geomorfológicos e hidrológicos mais específicos são apresentados na Tabela 1.

A área foi reflorestada no final do século XIX, após intenso desmatamento. De acordo com Oliveira et al. (1995), atualmente a floresta da Tijuca é composta pelas seguintes famílias, com diâmetro acima de 2,5 cm (o número entre parênteses indica a quantidade de espécies): *Annonaceae* (6), *Apocynaceae* (4), *Aquifoliaceae* (2), *Araliaceae* (1), *Bignoniaceae* (2), *Bombacaceae* (2), *Boraginaceae* (1), *Caricaceae* (1), *Celastraceae* (6), *Chrysobalanaceae* (3), *Clethraceae* (1), *Combretaceae* (2), *Compositae* (3), *Cunoniaceae* (1), *Elaeocarpaceae* (2), *Erythroxylaceae* (1), *Euphorbiaceae* (12), *Flacourtiaceae* (2), *Guttiferae* (3), *Hippocrateaceae* (1), *Lauraceae* (23), *Lecythidaceae* (2), *Leguminosae* (13), *Malpighiaceae* (1), *Melastomataceae* (11), *Meliaceae* (9), *Monimiaceae* (5), *Moraceae* (4), *Myrsinaceae* (5), *Myrtaceae* (28), *Nyctaginaceae* (1), *Ochnaceae* (1), *Olacaceae* (3), *Palmae* (3), *Piperaceae* (2), *Polygonaceae* (1), *Proteaceae* (2), *Rubiaceae* (17), *Rutaceae* (1), *Sapindaceae* (6), *Sapotaceae* (3), *Simarubaceae* (1), *Thymelaeaceae* (2), *Violaceae* (1) e *Vochysiaceae* (2).

FORMAÇÃO DE BARRAGENS DE MATERIAL ORGÂNICO NOS CANAIS FLUVIAIS

O procedimento utilizado por diversos autores (Vallejo, 1982, Clevélario Jr., 1990 e Castro Jr., 1991) para calcular o volume de material orgânico (serapilheira) depositado sobre o solo é feito através da coleta do material em uma área de 1 m². O material orgânico é seco em estufa, a uma temperatura de 105°C. O valor é expresso em kg/m² de material seco. Porém, neste caso, o material foi coletado dentro das calhas fluviais.

Em um período de treze meses (junho de 1994 a julho de 1995) foram depositados, em média, 2,5 kg de folhas e pequenos galhos (peso seco) para cada metro quadrado de calha. Não foram computadas as folhas de palmáceas - que podem medir dois metros de comprimento - e troncos e galhos grandes de árvores.

Estes dados revelam que, dentro da área do canal de primeira ordem da bacia A, com 420 m de comprimento e largura média de 1,5 m, entra, por ano, mais de 1574 kg de matéria orgânica. No canal de primeira ordem da bacia B entra mais de 947 kg, e na bacia C o canal recebe mais de 1762 kg. É preciso deixar claro que esses cálculos foram feitos sobre peso seco. Na realidade, esse peso pode ser muito maior, levando-se em conta o peso úmido regular do material orgânico, folhas de palmáceas, troncos e galhos.

Estes volumes são arrastados pelos fluxos e os galhos e troncos (não computados aí), às vezes ficam presos perpendicularmente dentro das calhas, segurando, a montante, folhas e pequenos galhos que formam barragens. As raízes das árvores expostas dentro dos canais e os blocos de rochas também formam barragens, ao segurar as folhas e galhos. Essas estruturas acumulam água a montante, formando pequenos lagos, que diminuem a velocidade dos fluxos e criam áreas de sedimentação. A velocidade média dos fluxos dos canais nas bacias A, B e C varia entre 0,3 e 0,4 m/s, e dentro dos pequenos reservatórios cai para velocidades entre 0,07 e 0,12 m/s. A área dos lagos varia de 0,5 a 4,5 m² e a altura da barragem pode chegar a 30 cm, quando é criada por troncos caídos. A área média das barragens é de 1 m² e 15 cm de altura (volume de 0,15 m³).

Na área existem nascentes móveis e nascentes fixas (Faria, 1996 e 1997). As nascentes fixas migram sazonalmente dentro das calhas, fazendo o comprimento dos fluxos de água oscilar, durante períodos úmidos e períodos secos. Existe ainda uma relação direta entre o comprimento do

Tabela 1. Características gerais das microbacias (fonte: Faria, 1996).

Características das bacias	Bacia A	Bacia B	Bacia C	Bacia D
Área da bacia (m^2)	140.000	60.000	110.000	50.000
Amplitude altimétrica (m)	300	120	280	240
Área c/ rocha exposta e solos rasos	18%	11%	14%	90%
Saprolito e regolito c/ espessura > 2 m	82%	89%	86%	10%
L e α da encosta direita (média)	80 m/35°	75 m/40°	50 m/20°	-
L e α da encosta esquerda (média)	70 m/20°	150 m/30°	200 m/30°	-
L do canal de 1 ^a ordem (m)	420	250	470	80
$\sum L$ dos canais efêmeros (m)	500	100	400	0
$\sum L$ da rede canalizada (m)	920	350	870	80
Gradiente do canal de 1 ^a ordem	23°	14°	11°	31°
Evapotranspiração anual	1.771	1.564	-	92%
Vazão anual da bacia	23%	32%	43%	8%
Vazão média Q_b da bacia (l/s)	2.707	1.671	3.257	0.295
Menor vazão Q_b da bacia (l/s)	0,111	0,114	1.111	0,015
Maior vazão Q_b bacia (l/s)	14.705	10.067	16.000	2.083
Maior vazão absoluta da bacia (l/s)*	6.000.000	2.500.000	5.000.000	800.000

L = comprimento; α = declividade; Q_b = fluxo de água de base; *fluxo torrencial estimado em 14/02/1996.

fluxo e o deflúvio: quanto maior o comprimento do fluxo de água, maior é o deflúvio, proporcionalmente. Essa dinâmica influencia na quantidade de barragens de material orgânico dentro das calhas.

Levantamentos sobre a variação temporal do número de barragens nesses canais, apontam para os seguintes resultados: no canal da bacia A existiam 15 barragens em setembro de 1995, quando o comprimento do fluxo de água era mais curto, com apenas 140 m de extensão, e em março de 1996, com fluxo de água na calha mais extenso, de 350 m, de acordo com a migração da nascente para montante, o número de barragens diminuiu para 4. Essa redução se deu em função da retirada do material orgânico de dentro das calhas pelos fluxos de água torrenciais que ocorreram em janeiro e fevereiro. Quanto maior a extensão dos fluxos de água dentro das calhas, maior é o deflúvio. No canal da bacia B, foram observadas 5 barragens em setembro de 1995, quando o comprimento do fluxo de água era de 52 m, mas em março de 1996, com fluxo de 122 m, não havia nenhuma barragem. Em junho de 1995, nos 470 m de canal da bacia C, foram mapeadas 38 barragens, com uma média de uma para cada 12 m de canal, mas em março de 1996, restaram apenas 5 barragens de acordo com a remoção do material orgânico pelo aumento do volume dos fluxos. As barragens restantes mais estáveis são formadas em área onde existem blocos de rochas (Tabela 2).

Na Tabela 2, L significa o comprimento do fluxo dentro da calha, porque algumas nascentes

migram cicличamente dentro das calhas, de acordo com o nível de umidade, segundo Faria (1997 e 1999). Dentro de uma calha, quando o fluxo de água aumenta em direção ao comprimento máximo, também aumenta o volume do deflúvio e inversamente diminui o número de barragens, porque elas são destruídas quando os fluxos atingem energia elevada.

Esse ciclo pode ocorrer várias vezes ao ano, dependendo da freqüência das chuvas de alta intensidade e do volume de material orgânico nas calhas. Dessa forma, pode-se perceber a condição efêmera dessas barragens. Não houve a formação de barragem no canal da bacia D durante o período observado, devido à declividade do perfil longitudinal da calha, que é de 30° em média. Com este gradiente fica difícil o estacionamento prolongado de detritos orgânicos devido à alta energia.

A INFLUÊNCIA DAS BARRAGENS DE M. O. NO TRANSPORTE E NA DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS

Existem diversos modelos para medir o transporte de sedimentos no fundo das calhas, conforme indicam Gregory e Walling (1973) e Carvalho (1994). Porém, os modelos existentes servem apenas para canais de porte médio e grande. Para este trabalho foi idealizado um modelo para ser aplicado em canais de primeira ordem, que

Tabela 2. Variação temporal do nº de barragens nos canais de 1^a ordem.

Bacia	Data	Primeiro levantamento		Segundo levantamento		
		Fluxo L (m)	Número de barragens	Data	Fluxo L (m)	Número de barragens
A	14/09/95	140	15	01/03/96	350	4
B	14/09/95	52	5	01/03/96	122	0
C	24/06/95	470	38	01/03/96	470	5
D	14/09/95	80	0	01/03/96	80	0

consiste na utilização de baldes de 20 litros colocados abaixo dos vertedouros feitos com calha de PVC. A água com sedimentos entra no balde e por decantação, os sedimentos iguais ou maiores que areia fina ficam retidos no fundo. Em função do pequeno volume transportado, foi adotada a medida de grama/dia. As análises granulométricas dos sedimentos coletados foram processadas em laboratório. Esta técnica serve apenas para transporte promovido pelos fluxos regulares. Os fluxos de grande energia formam uma forte turbulência e retiram as partículas de dentro do balde.

As maiores barragens dentro dos canais de primeira ordem podem estocar até 1,5 m³ de sedimentos, como foi observado na bacia C; porém, essas barragens são efêmeras e quando se rompem, liberam água e sedimentos, formando ondas que aumentam momentaneamente a energia dos fluxos e transportam os sedimentos em forma de dunas. A velocidade das ondas na área, medida durante fluxos de água regulares, varia de 0,5 a 0,83 m/s. Isso depende do volume de água empilhado a montante das barragens, da altura da coluna d'água no lago, do deflúvio inicial após o rompimento da barragem e do gradiente do trecho do canal onde foram formadas as barragens (Tabela 3). Ainda podem ser consideradas outras variáveis, como a aceleração da gravidade e densidade da água.

O transporte de sedimentos é realizado ao longo do ano mas varia com a oscilação da vazão do fluxo de água e devido ao ciclo de deposição de material orgânico nas calhas. Foram classificadas três situações de transporte baseadas nas medições e observações: fluxos de água reduzidos, fluxos de água regulares e fluxos de água torrenciais.

Os fluxos de água reduzidos ocorrem durante os períodos prolongados com precipitações abaixo da média. Entre janeiro e agosto de 1995, as vazões ficaram muito reduzidas; em abril e maio, inclusive, o canal da bacia B quase secou por completo, quando o fluxo de água chegou a 0,114 l/s (vazão média 1,671 l/s) e a extensão do fluxo ficou reduzida a 20 m, sendo que o comprimento

médio é de 62 m. Ocorreu também o empilhamento de material orgânico nas calhas, dificultando ainda mais o transporte de sedimentos. Deste modo, durante esses períodos, o transporte de sedimentos fica extremamente reduzido.

Durante os fluxos de água regulares, o transporte de sedimentos nos canais de primeira ordem oscila muito, devido ao ciclo de formação e destruição das barragens. Após um período com fluxos de alta energia nas calhas, as barragens são destruídas e os sedimentos ficam disponíveis para o transporte regular. Posteriormente, com a vazão normal, o material orgânico volta a se acumular em certos pontos, formando novas barragens. Durante esse período, o transporte de sedimentos de fundo de calha (arraste e saltação) fica muito reduzido. Quando as barragens permanecem intactas por muitos meses, ocorre a colmatação do lago (preenchimento por sedimentos), e a partir daí, as partículas voltam a ser transportadas normalmente por cima do eixo da barragem. Os dados expostos na Tabela 4 e na Figura 1 ajudam a compreender essa dinâmica.

No dia 7 de janeiro de 1996, após um período úmido, choveu torrencialmente 77,3 mm, provocando fluxos de alta energia que destruíram as barragens e transportaram uma grande parte do material orgânico para fora das microbacias. No dia 4 de fevereiro de 1996, outra chuva de 130,4 mm promoveu também, fluxos torrenciais de alta energia, retirando outra grande carga de folhas e galhos, deixando as calhas desobstruídas. Durante esse período, com pouco material orgânico nas calhas e um número reduzido de barragens, o transporte de sedimentos foi muito alto, inclusive porque as vazões se mantiveram elevadas por algumas semanas.

A bacia C sempre apresenta um volume menor de sedimentos transportado, como pode ser observado na Tabela 4, devido ao volume reduzido de sedimentos disponíveis na calha. Existem muitos fragmentos de rocha, como calhau e matacão, e nas faixas onde há sedimentos de fração arenosa, as barragens mais resistentes formadas por raízes e blocos os retêm. Nas bacias B e C existe

Tabela 3. Transporte de sedimentos durante o rompimento das barragens de M. O.

Sedim. estocado (cm ³)	Espes. Depós. (cm)	Água estocada (cm ³)	Coluna d'água (h=mm)	Vazão (l/s)	Pico de Vazão (l/s)	Sedimentos transport. (g/s)	Taxa de transp. (g/s)
70.000	14	s/estoque	30	0,3	0,3	2.268/180	13
100.000	10	40.000	40	1,0	9,0	30.000/180	166
109.200	15	24.000	50	2,5	7,3	54.600/120	455
192.000	12	56.000	50	1,7	12,9	112.500/240	468
135.000	10	s/estoque	60	5,8	5,8	57.750/60	962
100.000	20	48.000	40	14,0	23,6	60.000/60	1.000
240.000	15	56.000	40	4,1	15,3	90.000/30	3.000

Tabela 4. Influência das barragens no transporte de sedimentos.

Data	Condições Antecedentes	Bacia	Q (l/s)	Transporte de sedimentos (g/dia) Granulometria (mm)				Total g/dia
				< 4	4 - 2	2 - 0,5	> 0,5	
31/07/1995	Barragens antigas. Transporte normal, mas vazão muito baixa.	A	0,212	-	-	-	-	0
		B	0,204	-	-	-	-	2
		C	0,588	1,2	15,4	17,4	1,3	35,3
21/10/1995	Barragens novas. Acumulação a montante e transporte interrompido.	A	1,492	-	-	-	-	0
		B	0,909	-	-	-	-	0
		C	2,325	-	-	-	-	0
22/10/1995	Rompimento das barragens. Liberação dos sedimentos.	A	2,702	-	-	-	-	1
		B	1,190	7,3	13,6	23,7	3,4	48,0
		C	2,061	7,9	23,9	34,8	4,6	71,2
19/01/1996	Uma grande carga de M.O. foi removida das calhas pelos fluxos torrenciais no dia 08/01.	A	2,941	4,7	2,0	1,8	0,4	17,5
		B	1,694	18,4	24,4	113,2	22,8	178,8
		C	3,448	0,27	67,5	803,5	477,3	1.348,5
22/01/1996	A maior parte da M.O. foi removida das calhas pelos fluxos elevados.	A	3,125	-	-	-	-	-
		B	1,680	5,2	16,5	143,4	101,3	266,4
		C	3,030	216,0	243,0	868,6	177,3	1.091,8
25/02/1996	Situação após fluxo torrenciais extremo - sem M.O.	A	12,500	412,0	832,0	-	-	1.244,0
		B	8,695	328,0	602,0	214,0	-	1.144,0
		C	6,680	351,0	931,0	1.021,0	645,0	2.948,0

maior disponibilidade de sedimentos e isto pode ser explicado pelas características dessas microbacias. Esses canais, com incisões mais profundas nos depósitos de sedimentos e nas rochas alteradas, removem uma quantidade maior de sedimentos. A erosão dessas áreas cria uma fonte permanente de material para esses canais.

REDUÇÃO DA VELOCIDADE DOS FLUXOS CAUSADA PELO MATERIAL ORGÂNICO

Parte do material orgânico fica distribuído dentro das calhas, ora formando aglomerados, ora distribuindo-se ao longo da calha. A profundidade

média desses canais varia de 3 a 10 cm, dependendo da distância da área em relação à nascente e de acordo com o crescimento do fluxo em direção de jusante. Essas profundidades permitem a ancoragem das maiores folhas e dos galhos. Em alguns trechos a profundidade é de apenas 1 (um) cm e, em outros, pode chegar a 30 cm, que é o máximo observado na área de estudo. O material orgânico estacionado nas calhas reduz consideravelmente a velocidade dos fluxos de água. As medições de velocidade foram feitas utilizando a técnica de flutuadores, usando para isso, bolinhas de plástico cheias de água em calhas com e sem material orgânico. Após as primeiras medições, as folhas e galhos foram retirados propositalmente e as velocidades foram novamente medidas, no sentido de se

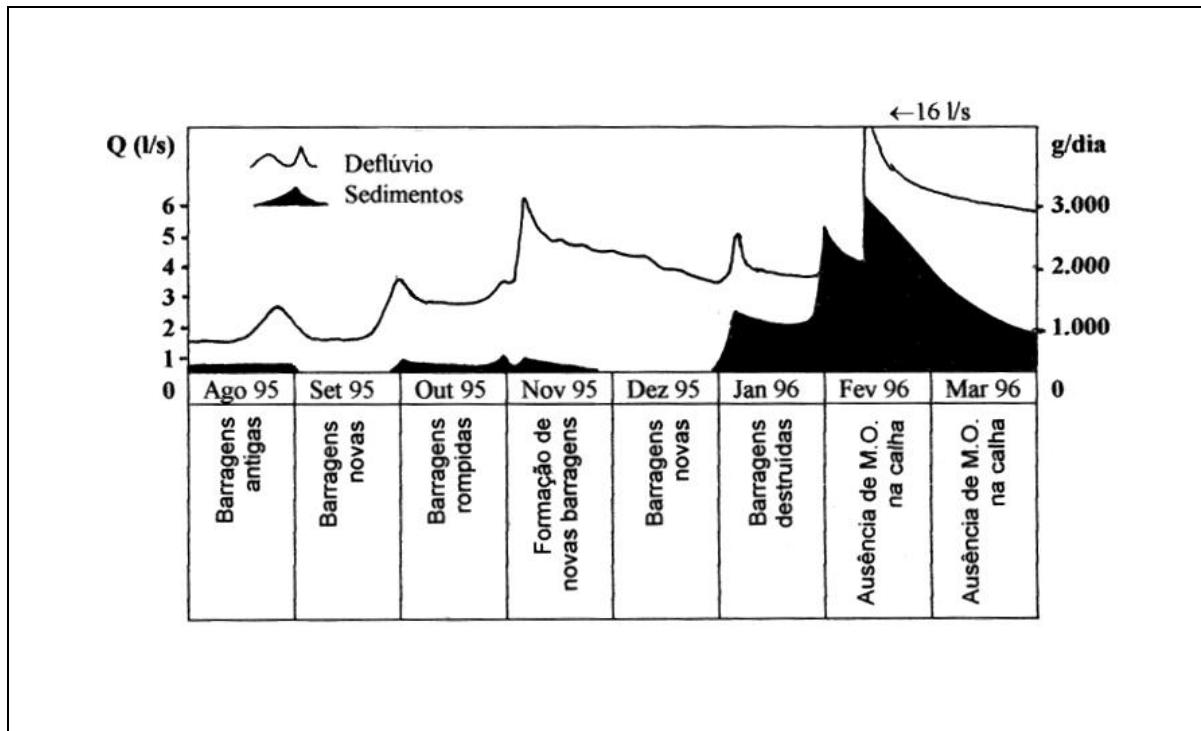


Figura 1. Interrelação entre deflúvio, transporte de sedimentos e material orgânico.

saber a variação num mesmo trecho. As velocidades foram classificadas de acordo com a fórmula relativa ao *número de Froude* (Equação 1). Os testes foram realizados nas bacias A, B e C (Tabela 5).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (1)$$

onde V é a velocidade principal (m/s), g é a aceleração da gravidade (m/s^2) e D é a profundidade hidráulica (m). Desta forma, $Fr < 1$, significa fluxo subcrítico ou tranquilo; $Fr = 1$, fluxo crítico e $Fr > 1$, fluxo supercrítico ou veloz.

Na bacia B, em um trecho de calha intermitente de 3° de declividade, 1,5 cm de profundidade média e com vazão de 0,386 l/s , a velocidade do fluxo com material orgânico foi de 0,20 m/s , e sem material orgânico a velocidade subiu para 0,33 m/s . O aumento foi de 65%. A primeira velocidade equivale a $Fr = 0.50$ e a segunda, a $Fr = 0.86$. Mesmo com o aumento de 65% na velocidade, esses fluxos continuam sendo subcríticos (fluxos subcrítico ou tranquilo $Fr < 1$).

Na bacia C, a variação da velocidade foi medida num trecho de calha com 5° de declividade, 7 cm de profundidade média e vazão de 2,950 l/s . Com o material orgânico, a velocidade era de 0,39 m/s ; sem as folhas e galhos a veloci-

dade aumentou para 0,45 m/s . O aumento foi de 15%, mas o fluxo continuou subcrítico, $Fr = 0.92$.

A maior velocidade encontrada nesses canais durante períodos de fluxos regulares foi de 0,7 m/s , num trecho sobre rocha, onde o fluxo é supercrítico ($Fr > 1$). Entretanto, na maior parte desses canais os fluxos são subcríticos e devem mudar apenas durante os fluxos torrenciais, quando a velocidade e a profundidade aumentam. Foi observado que, quanto maior a profundidade da coluna d'água na calha, menor é a influência do material orgânico sobre a velocidade dos fluxos, embora a declividade e a vazão também influenciem nessa relação. Outras medições foram feitas e todas ficaram entre os resultados divulgados anteriormente, como pode ser visto na Tabela 5.

Com os resultados apresentados, pode-se perceber a importância do papel que o material orgânico desempenha na dinâmica dos canais fluviais, especialmente nos pequenos canais, mas ainda há muito para ser investigado.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

O transporte de sedimentos em suspensão também assume característica própria nesses ca-

Tabela 5. A influência do M. O. na velocidade dos fluxos dos canais.

Bacia	D média (cm)	∠ calha	Q (l/s)	V c/ M.O. (m/s)	V s/ M.O. (m/s)	Variação (%)
A	4,0	5°	1,350	0,30	0,46	+ 53
A	5,1	8°	3,800	0,35	0,57	+ 50
B	1,5	3°	0,386	0,20	0,33	+ 65
B	2,0	4°	0,930	0,28	0,39	+ 39
C	2,0	3°	0,630	0,25	0,39	+ 56
C	7,0	5°	2,950	0,39	0,45	+ 15

D = profundidade do canal, ∠ = declividade da calha, Q = deflúvio e V = velocidade do fluxo de água.

nais. Embora a quantidade de sedimentos finos, como argila e silte, seja alta nos solos da Floresta da Tijuca (50% de areia, 15% de silte e 35% de argila), a erosão atual nas encostas é muito baixa e não permite a entrada de grandes volumes desses materiais nos canais. O transporte em suspensão com volumes significativos ocorre apenas durante as tempestades de alta intensidade, que geram os fluxos de chuva. As fontes de argila e de silte podem ser três: a primeira fonte é formada pelas margens dos canais constituídas por solos, que durante os picos de vazão, são erodidos e o material é transportado para dentro das calhas; a segunda fonte é a erosão no fundo dos canais efêmeros e intermitentes formados sobre depósitos de tálus e colúvio, durante os fluxos de alta energia; a terceira fonte tem origem na erosão subsuperficial dos solos, proporcionada pelos fluxos de água nas redes de dutos que drenam água no interior dos solos (*pipes*), de acordo com Faria (1998a).

Durante a maior parte do ano, os fluxos nesses canais correm livres de material sólido inorgânico em suspensão, as águas são claras e transparentes. Os fluxos possuem velocidades entre 0,2 e 0,5 m/s, mas na maior parte dos canais a velocidade média é de 0,3 m/s e a profundidade média é da ordem de 4 cm. Aplicando a Equação (1), relativa ao *número de Froude*, o resultado é Fr 0,48, o que significa fluxo subcrítico. Nos lagos formados pelas barragens, a velocidade fica em torno de 0,09 m/s. Com exceção dos lagos, esses fluxos são turbulentos devido à pouca profundidade, mas não possuem energia para colocar as partículas finas em suspensão. De acordo com Hjulström (1935), são necessários fluxos com velocidades acima de 1 m/s para transportar partículas com diâmetros menores que 0,01 mm. O transporte em suspensão de argila, silte e matéria orgânica ocorre de forma significante durante os picos de vazão, quando fluxos turbulentos supercríticos, com Fr de até 1,51, revolvem o fundo das calhas e colocam em suspensão uma carga considerável,

principalmente de matéria orgânica decomposta. É difícil medir este tipo de transporte de sedimentos nos canais de cabeceira de drenagem, durante os fluxos torrenciais.

Para medir o transporte de sedimentos em suspensão, foi utilizada uma adaptação feita por Finlayson (1981) do modelo US U-59, conhecida como técnica de *rising-stage sampler*, próprios para canais intermitentes, de acordo com Gordon et al. (1994). O modelo criado por Finlayson foi modificado neste trabalho e consta da instalação de garrafas plásticas em suportes de madeira ou metal. Essas garrafas possuem uma entrada para água e sedimentos e um tubo plástico fixo em sua boca para a saída de ar. O equipamento é fixado no fundo dos canais intermitentes, fazendo um ângulo de 20° com o nível da calha e, durante os fluxos torrenciais, a água e sedimentos entram e ficam aprisionados nas garrafas.

Porém, este sistema ainda não é o ideal para canais de áreas florestadas, porque o arrastamento das folhas e galhos veda as bocas das garrafas, impedindo a entrada de água e sedimentos. Foram conseguidos alguns dados, mas, para um estudo de maior precisão, é necessário fazer aperfeiçoamento neste equipamento ou elaborar uma outra técnica. Os equipamentos foram fixados nas bacias A e B. Na bacia C a estação foi destruída pelos fluxos torrenciais formados pela chuva do dia 07/01/96, não sendo possível, portanto, a obtenção de dados para esta bacia. Foram coletados dados relativos a três situações. Os valores variam de 0,97 a 3,61 gramas/litro (Tabela 6).

Foi estimado que durante uma hora de fluxo com descarga de 70 l/s, é transportada uma carga de 4 kg de sedimentos em suspensão, sendo que alguns fluxos, como o que ocorreu em 04/01/96, podem atingir 900 l/s. A maior parte desse volume é composta por matéria orgânica decomposta e a outra parte é composta por argila e silte.

Tabela 6. Transporte de sedimentos em suspensão.

Data	Bacia	Chuvas (mm)	Q (l/s)	Sedimentos em suspensão (g/l)				Total (g/l)
				areia	silte	argila	M.O.	
07/01/96	A	77	50	-	0,07	0,20	0,70	0,97
	B		70	0,23	0,20	0,30	0,50	1,23
04/02/96	A	130	70	-	0,10	0,25	0,70	1,05
	B		90	0,22	0,10	0,40	0,62	1,34
14/02/96	A	378	900	0,51	0,20	0,31	0,40	1,42
	B		540	2,80	0,11	0,30	0,40	3,61

A IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO NA DINÂMICA DAS BACIAS DE PRIMEIRA ORDEM

Nas observações feitas nos canais do maciço da Tijuca, percebeu-se que a serapilheira, quando dentro dos canais intermitentes e efêmeros, pode também assumir um papel oposto. Em outras palavras: durante os períodos de estiagem, as calhas são preenchidas por folhas e galhos, e durante os períodos úmidos, com chuvas de alta intensidade, formam-se fluxos de água de alta energia que arrastam o material orgânico ali acumulado nas épocas de estiagem, desobstruindo o canal. A hipótese é a de que a serapilheira aumenta momentaneamente a erosão nesses canais, porque o deslocamento das folhas pelos fluxos atuam como se fossem "pás-mecânicas" que aumentariam a capacidade de remoção dos sedimentos, aumentando assim, as taxas erosivas. Porém, ainda não foi possível testar esta hipótese, o que só se tornaria viável em um laboratório adequado.

Imeson e Van Zon (1979) advogam que nas encostas, em pequenas áreas ou pontos não cobertos pelas folhas, como por exemplo, na base do tronco das árvores, as gotas das chuvas podem arremessar as partículas que acabam por cair sobre as folhas e ficam aderidas a elas. Este processo discutido por estes autores, também foi observado dentro das calhas intermitentes das bacias estudadas.

Outra hipótese é que a ciclicidade de períodos com e sem cobertura de material orgânico dentro dos canais intermitentes e efêmeros, pode causar mudanças na estrutura do solo ou dos depósitos de sedimentos. Junto com as folhas e galhos que caem das árvores, também há diversos tipos de sementes que germinam dentro das calhas e as plantas podem crescer até 20 cm. O crescimento das raízes pode mudar o arranjo das partículas criando rugosidades e alterando a densidade aparente do fundo da calha. Essas mudanças podem afetar a resistência do fundo dos canais, influ-

enciando, possivelmente, nas taxas erosivas. Durante as tempestades, os fluxos de água nas calhas arrancam as plantas que se proliferaram e as transportam junto com os galhos e as folhas com sedimentos aprisionados neles.

De acordo com os resultados obtidos e com base em outros trabalhos, pode-se afirmar que a vegetação desempenha papéis antagônicos, mas equilibrados, quando estes são analisados em conjunto:

- A interceptação das gotas de chuva pelas folhas das árvores transforma, por aglutição, as gotas menores em gotas maiores, fazendo aumentar a energia cinética (Stocking e Elwell, 1976). Nas encostas existe a proteção da serapilheira, mas nas bordas dos canais, onde não é possível acumular material orgânico, ocorre erosão por salpicamento, mesmo quando as chuvas são de baixa intensidade, embora a freqüência de gotas seja menor, como demonstrou Faria (1996 e 1998).
- A mesma serapilheira, que nas encostas promove a proteção dos solos, vai ter um duplo papel nas calhas de drenagem: ela protege as atividades da mesofauna e das sementes em estado de germinação, que, por sua vez, aumentam a porosidade e a rugosidade no fundo das calhas. No entanto, quando surgem fluxos torrenciais nas calhas intermitentes, o transporte do material orgânico pode fazer aumentar a condição de arraste do fluxo, podendo haver, assim, um ganho na capacidade erosiva. Após a limpeza das calhas, com a remoção do material orgânico e o desaparecimento dos fluxos, o fundo das calhas intermitentes é bombardeado pelas gotas com maior poder erosivo, formadas nas folhas das árvores, promovendo a diminuição da porosidade devido ao processo de selagem. Mas esse processo é cíclico e se estanca quan-

- do outra camada de material orgânico é depositada (Faria, 1996).
- c. As raízes das árvores que se desenvolvem dentro das calhas formam níveis de base resistentes, que seguram a erosão remontante e, às vezes, formam a estrutura para a formação de barragens, as quais fazem diminuir a velocidade dos fluxos a montante. Mas as rupturas de declive, formadas pelas raízes, criam quedas d'água que aumentam a energia dos fluxos e promovem a erosão, formando depressões. A turbulência promovida pelas quedas d'água criam condições para que a erosão cave a base das raízes, como reporta Faria (1996).

O papel que a vegetação desempenha na dinâmica das microbacias é muito importante; ao mesmo tempo que ela fornece proteção, ajuda também no processo de desenvolvimento equilibrado dos canais fluviais e das encostas.

CONCLUSÕES

Chega-se à conclusão de que as bacias de 1^ª ordem são ambientalmente muito frágeis e muito pouco sabemos sobre os processos que ocorrem nelas, principalmente nas regiões tropicais úmidas. Ainda são necessárias muitas pesquisas para dar subsídios a um manejo adequado.

O transporte de sedimentos nos canais de pequeno porte, principalmente nos de primeira ordem, parece ser bastante peculiar nas áreas florestadas, e a vegetação proporciona um equilíbrio fundamental. O material orgânico espalhado nas calhas, ou formando estruturas, como as barragens, diminui a velocidade dos fluxos e controla a velocidade de retirada de sedimentos das microbacias. Não é difícil imaginar o aumento da energia erosiva dos fluxos nos canais do maciço da Tijuca, ou em qualquer outra área montanhosa florestada, se não houvesse, no sentido de reduzir a velocidade dos fluxos, as barragens produzidas pelo material orgânico.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, N. O. (1994) "Hidrossedimentologia Prática" CPRM e Eletrobrás, 372p.
- CASTRO JUNIOR, E. (1991) "O Papel da Fauna Endopedôntica na Estruturação Física do Solo e Seu Significado para a Hidrologia de Superfície" Tese de Mestrado, IGEO-UFRJ, 150p.
- CLEVELÁRIO Jr, J. (1990) "Teor de Umidade na Serapilheira na Bacia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro" In: II Simp. Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileiro. Estrutura Função e Manejo. São Paulo, 1 p. 89-99.
- FARIA, A. P. (1996) "Dinâmica e Fragilidade de Bacias Fluviais de Primeira Ordem" Tese de Doutorado. Instituto de Geociências / UFRJ, 218p.
- FARIA, A. P. (1997) "A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais" A Água em Revista (CPRM). 8 p. 74-80.
- FARIA, A. P. (1998a) "A Importância dos pipes na geração e no comportamento dos fluxos em pequenos canais fluviais" Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3 n. 2 p. 5-14.
- FARIA, A. P. (1998b) "A Participação dos processos fluviais, hidrológicos e biológicos na evolução de canais de 1^ª ordem" I Fórum de Geo-Bio-Hidrologia. Curitiba. p. 150-156.
- FARIA, A. P. e MARQUES, J. S. (1999) "O desaparecimento de pequenos rios brasileiros" Ciência Hoje, 146 p. 56-61.
- FETHERSTON, K. L.; NAIMAN, R. J. e BILBY, R. E. (1995) "Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest" Geomorphology, 13 p. 133-144.
- FINLAYSON, B. L. (1981) "The analysis of stream suspended loads as a geomorphological teaching exercise" Journal of Geography in Higher Education. 5 p. 35-25.
- GORDON, N. D.; McMAHON, T. A. e FINLAYSON, B. L. (1994) "Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists" England, John Wiley, 526p.
- GREGORY, K. J. e GURNELL, A. M. (1987) "Vegetation and river channel form and processes" In: A. Heather (ed.). Biogeomorphology. Basil Blackwell. England, p. 11-42.
- GREGORY, K. J. e WALLING, D. E. (1973) "Drainage Basin Form and Processes" England. Edward Arnold. 458p.
- GURNELL, A. M. e GREGORY, K. J. (1984) "The influence of vegetation on stream channel processes" In: T. P. Burt and D. E. Walling (eds). Catchment Experiments in Fluvial Geomorphology. England. Geobooks, p. 515-533.
- HJULSTRÖM, F. (1935) "Studies in the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris" Bull. Geol. Institute Univ. Uppsalla, 25 p. 221-528.
- IMESON, A. C. e Van ZON, H. (1979) "Erosion processes in small forested catchments in Luxembourg" In: A. L. Pitty (ed). Geog. Approaches to Fluvial Processes. London, GeoBooks, p. 93-107.
- KELLER, E. A. e SWANSON, F. J. (1979) "Effects of large organic material on channel form and fluvial processes" Earth Surface Processes, 4 p. 361-380.
- OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; LIMA, D. F.; SILVA, M. B. R; VIANNA, M. C. SODRÉ, e SAMPAIO, D. (1995) "Significado Ecológico da Orientação de Encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro" Oecologia Brasiliensis. 1, p. 523-541.

- STOCKING, M. e ELWELL, H. (1976) "Vegetation and erosion: a review" *Scottish Geographical Magazine*, 92 (1), p. 10-22.
- VALLEJO, L. R. (1982) "A influência do litter Florestal na Distribuição das Águas Pluviais" Tese de Mestrado, IGEO-UFRJ.
- ZIMMERMAN, R. C.; GOODLETT, J. C. e COMER, G. H. (1967) "The influence of vegetation on channel form of small streams" International Association of Hydrology: Symposium River Morphology, 75 p. 255-275.

The Influence of Organic Matter in 1st Order Streamflow

ABSTRACT

In small fluvial channels in forested areas, huge amounts of leaves, branches and trunks fall and strongly interfere in the streamflow. Sedimentation zones are created in the small lakes formed by dams of organic matter and when they collapse, loads of sediment are released and carried downstream again. Thus, sediment transport occurs as a pulsating process. Furthermore, the organic matter spreads along the channel creating a friction force that decreases streamflow velocity. This paper shows the influence of organic matter on streamflow in first order channels, such as occurred in the small basins of the Tijuca massif (RJ).