

1º SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL
I SIMPÓSIO DE ÁGUAS DA AUGM

**CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM UM
PEQUENO RIO URBANO EM SANTA MARIA – RS**

Juliana Scapin¹; João Batista Dias de Paiva²

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados da avaliação do transporte de sedimentos em um pequeno córrego urbano na cidade de Santa Maria, RS. Foram realizados trabalhos de medição de descargas líquidas e sólidas e coletado material de leito durante eventos chuvosos, entre Dezembro de 2003 e Novembro de 2004. Os trabalhos de laboratório consistiram em análises granulométricas e concentrações de sedimentos. Os dados obtidos foram utilizados para avaliar a eficiência dos métodos de Van Rijn (1984), Ackers e White (1973), Yang (1973), para estimar a descarga sólida na seção de medição considerada. Os resultados obtidos no período, mostram que os métodos apresentaram resultados satisfatórios. A razão entre os valores observados e medidos da descarga total de sedimentos variou de: 0.21 a 12.43, com média de 3.53, no método de Van Rijn; 0.06 a 4.78, com média de 1.41, no método de Yang; 0.02 a 2.01, com média de 0.59, no método de Ackers e White; com tendência crescente com o aumento da vazão por unidade de largura do canal.

ABSTRACT

This paper presents the results from the sediment transport assessment in a small urban stream in Santa Maria, RS. Liquid and solids discharges measurements, besides the bed material collection were accomplished during the raining events between December, 2003 and November, 2004. The particle size analyses and the sediments concentration constituted the laboratory tasks. The provided data were used to assess the efficiency of Van Rijn (1984), Ackers and White (1973) and Yang (1973) methods, to estimate the solid discharge at the considered measurement section. The ratio between the observed and the measured data ranged from: 0.21 to 12.43 with the mean value of 3.53 considering Van Rijn method; 0.06 to 4.78 with the mean value of 1.41 considering Yang method; 0.02 to 2.01 with the mean value of 0.59 considering Ackers and White method; with increasing tendency with the discharge increasing per unity of the channel width.

Palavras-Chave: Hidrossedimentometria; Transporte de sedimentos

INTRODUÇÃO

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, uma vez que

¹ Eng^a Civil. Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil- UFSM. R. Tuiuti, 2121, ap 902, cep 97050-421, Santa Maria – RS
tel: 55-217-4048. julianascapin@mail.ufsm.br

² Professor Orientador. HDS-CT-UFSM – 97060-250 – Santa Maria – RS. Tel:55-220-8483. paiva@ct.ufsm.br

os danos causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza destes, as quais, por sua vez, dependem dos processos de erosão transporte e deposição de sedimentos.

Dentre os problemas causados pelos sedimentos transportados pelos rios, pode-se destacar:

- Assoreamento de rios, diminuindo a sua navegabilidade e aumentando as dimensões das enchentes;

- Assoreamento de reservatórios, diminuindo a sua vida útil ou, provocando a necessidade de dragagens periódicas de alto custo;

- Inviabilidade, em alguns casos, de aproveitamento do rio para abastecimento e até mesmo para irrigação, dependendo da quantidade de sedimentos transportados;

- Contaminação do leito e das águas dos cursos d'água a grandes distâncias dos pontos onde foram gerados, em virtude de atuarem como vetores no transporte de contaminantes neles aderidos;

Por outro lado, o transporte e a deposição de sedimentos têm os seus aspectos positivos, enquanto processo natural, na medida em que atuam como agentes fertilizadores das várzeas ribeirinhas, contribuindo para o aumento da produção agrícola nessas áreas.

Os problemas começam a surgir quando a ocupação humana muitas vezes desordenada, provoca um desequilíbrio nos processos naturais trazendo consequências danosas para o meio ambiente, com sérios prejuízos para todos os seres vivos dele dependentes.

Neste contexto, surgiram modelos de vários tipos e objetivos, com a finalidade de equacionar estes problemas tornando possível a compreensão do seu processo e controle. Conforme Paiva (2001) dependendo do objetivo, escolhe-se o modelo. Estes objetivos podem ser divididos em três grupos: a. planejamento do controle da erosão, b. projeto e controle dos recursos hídricos e c. modelagem da qualidade da água. Quando o objetivo é planejamento do controle da erosão necessita-se prever a produção de sedimentos por eventos de chuva de grandeza variável.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo o monitoramento hidrossedimentométrico de um pequeno curso d'água urbano visando obter informações que permitam avaliar métodos de cálculo de transporte de sedimentos em rios, na secção e trecho considerados.

CARACTERÍSTICAS DA BACIA CONTRIBUINTE

O trabalho está sendo desenvolvido no Arroio Cancela, afluente do Arroio Cadena, em Santa Maria-RS, que drena uma área de 5,01 km² com perímetro de 9,52km e possui declividade relativamente baixa, com diferenças de cotas entre nascente e exutório de 161m e declividade média

da bacia de 9,91%. O curso d'água principal possui 3,44 km de extensão e declividade média de 0,020m/m. O uso do solo predominante é a ocupação urbana com alto grau de urbanização.

METODOLOGIA

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em uma estação hidrográfica instalada para esse fim, dotada de linígrafo de pressão, régua, ponte hidrométrica e amostradores de sedimentos em suspensão, de estágio único, modelo US-U-59, montados como amostradores de nível ascendente (ANA), conforme proposto por Umesawa (1979).

As medições de vazão foram feitas utilizando molinete fluviométrico universal. As medições de descarga de fundo foram feitas utilizando amostrador modelo Heley Smith, em três verticais localizadas à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ da secção transversal. Foram coletadas amostras superficiais de água e sedimentos em suspensão, durante a elevação das ondas de cheia, com o amostrador (ANA) e foram coletadas amostras integradas na profundidade com o amostrador de sedimentos em suspensão AMS1, durante os experimentos de campo, objetivando a definição das curvas chave de vazão e sedimentos. A coleta de amostras para a caracterização do material de leito foi feita com um amostrador tipo pistão manual de penetração vertical, US-BMH-53, construído em PVC, para uso em cursos d'água rasos.

As análises de laboratório para a determinação da concentração e da granulometria de sedimentos em suspensão foram feitas pelos métodos do tubo de retirada pelo fundo e pelo método da pipetagem. As análises granulométricas dos sedimentos de leito foram feitas por peneiramento e sedimentação.

Os dados obtidos foram utilizados para avaliar a eficiência dos métodos de Van Rijn (1984), Ackers e White (1973) e Yang (1973) para estimar a descarga sólida na seção de medição considerada, em função das características do escoamento e do material de leito.

Métodos de cálculo para estimativa da produção de sedimentos

Os dados obtidos no campo foram utilizados para a confecção das curvas chave de vazões e sedimentos e para a avaliação dos métodos de cálculo do transporte de sedimentos em rios, indicados para rios com as mesmas características e dimensões do objeto deste estudo. O método que apresentar melhor desempenho será analisado em profundidade objetivando o seu ajuste para o trecho em estudo.

Dentre os principais métodos citados anteriormente, serão estudados nesta pesquisa:

- Yang(1973),

- Ackers & White(1973),
- Van Rijn (1984).

Segundo Paiva (2001), **Yang (1973)**, através do estudo do movimento incipiente e utilizando o conceito de potência unitária do escoamento (stream power) e um grande número de dados experimentais, cobrindo uma variada faixa de condições de escoamento nas zonas de escoamento turbulento hidraulicamente liso, hidraulicamente rugoso e na zona de transição, desenvolveu uma relação adimensional para o cálculo da concentração total de sedimento no escoamento. O método é proposto para uso na previsão da concentração total de sedimentos tanto em calhas de laboratórios como em rios naturais, a partir do conhecimento dos seguintes parâmetros: diâmetro médio do sedimento, largura do canal, profundidade do canal, temperatura da água, velocidade média do escoamento da água e velocidade terminal de queda da partícula.

O método de Yang(1973) calcula a concentração total de material de leito no escoamento, para grãos de diâmetro até 2mm, pela equação:

$$\log CT = 5,435 - 0,286 \cdot \log \left(\frac{W \cdot D}{v} \right) - 0,457 \cdot \log \left(\frac{U^*}{W} \right) + \left(1,799 - 0,409 \cdot \log \left(\frac{W \cdot D}{v} \right) - 0,314 \cdot \log \left(\frac{U^*}{W} \right) \right) \cdot \log \left(\frac{U \cdot S}{W} - \frac{U_c \cdot S}{W} \right) \quad (1)$$

onde:

CT: concentração total em ppm por peso;

D: diâmetro médio dos grãos;

S: declividade da linha d'água;

u*: velocidade de atrito;

U: velocidade média do escoamento;

Uc: velocidade crítica do escoamento, no movimento incipiente;

v : viscosidade cinemática da água;

w: velocidade terminal de queda.

A relação entre a velocidade crítica do escoamento, no movimento incipiente e a velocidade terminal de queda, é dada por:

$$\frac{U_c}{w} = \frac{2,5}{\log \left(\frac{U^* \cdot D}{v} \right) - 0,06} + 0,66 \text{ para } 1,2 \leq \frac{U^* \cdot D}{v} < 70 \quad (2)$$

e:

$$\frac{U_c}{w} = 2,05 \text{ para } 70 < \frac{U^* \cdot D}{v} \quad (3)$$

Para grãos de diâmetros maiores que 2mm a concentração total de material de leito no escoamento é calculada pela equação:

$$\log CT = 6,681 - 0,633 \cdot \log \left(\frac{W \cdot D}{v} \right) - 4,816 \cdot \log \left(\frac{U^*}{W} \right) + \left(2,784 - 0,305 \cdot \log \left(\frac{W \cdot D}{v} \right) - 0,282 \cdot \log \left(\frac{U^*}{W} \right) \right) \cdot \log \left(\frac{U \cdot S}{W} - \frac{U_c \cdot S}{W} \right) \quad (4)$$

Segundo Paiva (2001), **Ackers e White (1973)**, obtiveram uma função de transporte de sedimentos, com base no conceito de potência da corrente, desenvolvida em termos de 3 grupos adimensionais: diâmetro adimensional da partícula, parâmetro referente à mobilidade da partícula e taxa adimensional do transporte de sedimentos. Os autores afirmam que se aplica às formas de fundo plano, com rugas e com dunas. Os dados necessários á sua aplicação são: diâmetro representativo da partícula, densidade do sedimento, velocidade média do escoamento, velocidade de atrito, profundidade do escoamento, viscosidade cinemática do fluido e aceleração da gravidade.

Van Rijn(1984) assume que a taxa de transporte de fundo pode ser descrita de maneira precisa pelos parâmetros adimensionais introduzidos por Ackers e White (1973).

Segundo Paiva (2001), **Van Rijn(1984)** apresentou um método para cálculo da descarga total de material de fundo que considera que o movimento da partícula no fundo é dominado pela força de gravidade, enquanto o efeito da turbulência é considerado de menor importância. Define o transporte de fundo como o transporte de partículas rolando e saltando ao longo da superfície do leito do rio. Calcula a máxima altura teórica do salto da partícula para determinada condição de escoamento e considera que todas as partículas presentes no escoamento com altura maior que a do máximo salto teórico, são transportadas em suspensão. Calcula descarga de fundo como o produto da altura do salto, pela velocidade da partícula e a concentração de carga no fundo. A descarga de sedimento em suspensão é calculada pela integração na profundidade, do produto da concentração local pela velocidade do escoamento. Assume que a taxa de transporte de fundo pode ser descrita de maneira suficientemente precisa pelos parâmetros adimensionais introduzidos por Ackers e White (1973). Para sua aplicação o método requer o conhecimento dos seguintes parâmetros: velocidade, profundidade e largura médias do escoamento, gradiente de energia, diâmetros característicos e desvio padrão geométrico do material de fundo, massa específica da água e do sedimento, aceleração da gravidade e a constante de Von Kármán.

Van Rijn (1984) assume que a taxa de sedimentos pode ser descrita de maneira suficientemente precisa por dois parâmetros adimensionais: O diâmetro adimensional da partícula

(D^*) e um parâmetro de transporte (T) que expressa a mobilidade da partícula, definidos por ACKERS & WHITE (1973), como segue:

$$D_* = D_{50} \left(\frac{(s-1) \cdot g}{\nu^2} \right)^{1/3} \quad (5)$$

$$T = \frac{(u'_*)^2 - (u_{*cr})^2}{(u_{*cr})^2} \quad (6)$$

onde:

D_{50} - diâmetro médio das partículas do material de fundo

s - densidade do sedimento (ρ_s/ρ)

ν - viscosidade cinemática

U - velocidade média do escoamento

u_{*cr} - velocidade de atrito crítica, dada pelo diagrama de SHIELDS (1936)

u'_* - velocidade de atrito relativa aos grãos, dada pela equação:

$$u'_* = \left[\frac{g^{0,5}}{C'} \right] \cdot U \quad (7)$$

onde o coeficiente de Chézy relativo aos grãos é dado pela equação:

$$C' = 18 \cdot \log \left(\frac{12 \cdot R_b}{3 \cdot D_{90}} \right) \quad (8)$$

sendo:

R_b - raio hidráulico relativo aos grãos, com correção das paredes laterais, calculado pelo procedimento de Vanoni e Brooks (1957).

A descarga de fundo, em $m^3/s.m$, para partículas na faixa de 200 a 2000 μm é computada pela equação:

$$\frac{q_b}{[(s-1) \cdot g]^{0,5} \cdot D_{50}^{1,5}} = 0.053 \cdot \frac{T^{2,1}}{D_*^{0,3}} \quad (9)$$

A descarga de sedimentos em suspensão, em volume, por unidade de largura, com uma imprecisão em torno de 25%, para $0,3 \leq Z' \leq 3$ e $0.01 < a/d < 0.1$, é calculada pela equação:

$$q_s = F \cdot U \cdot d \cdot c_a \quad (10)$$

sendo:

$$F = \frac{\left[\frac{a}{d} \right]^{Z'} - \left[\frac{a}{d} \right]^{1,2}}{\left[1 - \frac{a}{d} \right]^{Z'} \cdot [1,2 - Z']} \quad (11)$$

onde:

d - profundidade do escoamento

Ca - concentração de referência

a - nível de referência, abaixo do qual o transporte é considerado de fundo

Z' - parâmetro de suspensão

O nível de referência (a) é considerado igual a metade da altura da forma de fundo (Δ), ou a altura da rugosidade equivalente (K_s) se as dimensões das formas de fundo não são conhecidas, enquanto um valor mínimo de $a = 0,01.d$ é adotado por razões de precisão. Assim:

$$a = 0,5.\Delta \text{ ou } a = K_s, \text{ com } a_{\text{mínimo}} = 0,01.d \quad (12)$$

sendo:

K_s - altura da rugosidade equivalente de NIKURADSE

Δ - altura das formas de fundo

A concentração de referência (Ca), é calculada pela equação:

$$Ca = 0,015 \cdot \frac{D_{50}}{a} \cdot \frac{T^{1,5}}{D_*^{0,3}} \quad (13)$$

O parâmetro de suspensão Z' , é calculado pelo procedimento descrito a seguir:

a) Calcula-se o diâmetro das partículas em suspensão (D_s), pela equação:

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 1 + 0,011 \cdot (\sigma_s - 1) \cdot (T - 25) \quad (14)$$

onde:

σ_s - desvio padrão geométrico do material de fundo, dado pela equação:

$$\sigma_s = 0,5 \cdot \left[\frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{16}}{D_{50}} \right] \quad (15)$$

b) Calcula-se a velocidade de queda do sedimento em suspensão pelas equações:

- Para partículas com diâmetro menor que 100 μm , usa-se a equação de STOKES :

$$W = \frac{1}{18} \cdot \frac{(s-1) \cdot g \cdot D_s^2}{\nu} \quad (16)$$

- Para partículas na faixa de 100 a 1000 μm , usa-se a equação de ZANKE (1977):

$$W = 10 \cdot \frac{\nu}{D_s} \left[\left(1 + \frac{0,01 \cdot (s-1) \cdot g \cdot D_s^3}{\nu^2} \right)^{0,5} - 1 \right] \quad (17)$$

- Para partículas maiores que 1000 μm , usa-se a equação proposta por Van Rijn (1982):

$$W = 1,1 \cdot [(s - 1) \cdot g \cdot D_s]^{0,5} \quad (18)$$

c) Calcula-se o fator β , pela equação:

$$\beta = 1 + 2 \cdot \left(\frac{W}{u_*} \right)^2, \text{ para } 0,1 < \frac{W}{u_*} < 1 \quad (19)$$

sendo:

$$u_* = [g \cdot d \cdot S]^{0,5}, \text{ a velocidade de atrito no fundo} \quad (20)$$

d) Calcula-se o fator ϕ , pela equação:

$$\phi = 2,5 \cdot \left(\frac{W}{u_*} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{Ca}{Co} \right)^{0,4} \text{ para } 0,01 \leq \frac{W}{u_*} \leq 1 \quad (21)$$

sendo:

$Co = 0,65$, a máxima concentração volumétrica no fundo

e) Calcula-se o parâmetro de suspensão, Z , pela equação:

$$Z = \frac{W}{\beta \cdot K \cdot u_*} \quad (22)$$

sendo:

β - coeficiente relacionado à difusão das partículas de sedimento

K - constante de von Kármán

O parâmetro, Z' é então calculado pela equação:

$$Z' = Z + \phi \quad (23)$$

A descarga total de sedimentos em suspensão é então calculada por:

$$qT = qb + qs \quad (24)$$

No método de Van Rijn (1984), os dados de entrada são:

U - velocidade média de escoamento

d - profundidade média do escoamento

B - largura média do escoamento

S - gradiente de energia

D_{50} e D_{90} - diâmetros característicos das partículas do material de fundo

σ_s - desvio padrão geométrico do material de fundo

ν - viscosidade cinemática da água

ρ - massa específica da água

g - aceleração da gravidade

K - constante de Von Kármán

Posteriormente Van Rijn (1984), usando análise de regressão e resultados computacionais para várias condições de escoamento e sedimentos, desenvolveu as seguintes equações, simplificadas, para o cálculo do transporte de sedimentos:

$$\frac{q_b}{U \cdot d} = 0,005 \cdot \left(\frac{U - U_{cr}}{[(s-1) \cdot g \cdot D_{50}]^{0,5}} \right)^{2,4} \cdot \left(\frac{D_{50}}{d} \right)^{1,2} \quad (25)$$

$$\frac{q_s}{U \cdot d} = 0,012 \cdot \left[\frac{U - U_{cr}}{[(s-1) \cdot g \cdot D_{50}]^{0,5}} \right]^{2,4} \cdot \left(\frac{D_{50}}{D} \right) \cdot (D_*)^{-0,6} \quad (26)$$

sendo:

U_{cr}- velocidade média crítica do escoamento dado pelo diagrama de SHIELDS (1936).

Os dados necessários a sua aplicação são: velocidade média do escoamento U, profundidade do escoamento e diâmetros característicos dos grãos (D₅₀ e D₉₀).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo apresentam-se, na tabela 1 os dados de entrada para resolução dos métodos de cálculo. São eles, respectivamente: as granulometrias do sedimento de leito, o número de Manning, peso específico dos sedimentos e a constante de Von Karman utilizada para águas limpas. Em sequência são apresentados, na tabela 2 os resultados das medições, na seção transversal, de treze campanhas realizadas até o momento, cada uma consta, respectivamente, de: área, perímetro, raio hidráulico, declividade da linha d'água, largura, velocidade da água, profundidade média e vazões líquidas. Na tabela 3 encontram-se as descargas sólidas medidas (Q_{tm}) e as descargas sólidas calculadas (Q_{tc}), pelos métodos de Van Rijn (1984), Ackers e White (1973) e Yang (1973), respectivamente.

As variações dos valores observados para a razão entre a descarga sólida calculada pelos métodos e a descarga sólida medida (**r**) com a vazão por unidade de largura (**Q/L**) são apresentadas nas figuras 1, 2 e 3 para os métodos de Van Rijn(1984), Ackers e White (1973) e Yang (1973), respectivamente. Os valores variaram de 0.03 a 12.43, com tendência de crescimento com o aumento da vazão por unidade de largura.

Tabela 1.: Dados de Entrada

D90=	2.4 mm
D84=	1.2 mm
D65=	0.65 mm
D50=	0.5 mm
D35=	0.35 mm
D16=	0.2 mm
n (Manning)=	0.07
s (peso esp sed)=	2.65 t/m ³
K= (cte von karman)	0.4

Tabela 2.: Resultado das campanhas

Data	A (m ²)	P (m)	Rh (m)	S (m/m)	B (m)	U (m/s)	d (m)	Q (m ³ /s)
15/12/04	11.41	6.67	1.71	0.00316	5.35	1.15	2.22	13.10
23/6/04	4.02	6.12	0.66	0.00315	5.20	0.61	0.75	2.44
13/7/04	2.78	5.34	0.52	0.00110	4.60	0.31	0.58	0.85
29/7/04	2.06	5.33	0.39	0.00187	5.00	0.33	0.43	0.67
6/8/04	4.20	5.95	0.71	0.00310	4.80	0.63	0.86	2.64
17/8/04	1.80	5.07	0.35	0.00192	4.65	0.31	0.37	0.56
10/9/04	3.07	5.70	0.54	0.00252	4.50	0.48	0.62	1.46
1-20/09/04	3.03	5.65	0.54	0.00154	4.85	0.37	0.62	1.12
2-20/09/04	2.78	5.55	0.50	0.00124	4.85	0.32	0.57	0.88
3-20/09/04	5.67	7.02	0.81	0.00374	6.00	0.76	1.02	4.30
16/10/04	2.46	5.66	0.43	0.00324	4.89	0.46	0.54	1.14
1-09/11/04	4.18	5.54	0.75	0.00866	4.30	1.10	0.91	4.59
2-09/11/04	5.93	6.54	0.91	0.01096	4.95	1.40	1.19	8.31

Tabela 3.: Descargas sólidas medidas e calculadas

		Van Rijn	Ackers e White	Yang
Data	Q _{tm} (t/dia)	Q _{tc} (t/dia)	Q _{tc} (t/dia)	Q _{tc} (t/dia)
15/12/04	1365.82	4593.68	975.03	2692.82
23/6/04	180.68	457.04	94.35	222.83
13/7/04	100.06	21.28	2.86	6.01
29/7/04	25.27	45.82	5.07	10.31
6/8/04	320.96	478.33	101.59	251.15
17/8/04	17.98	37.46	3.91	7.51
10/09/04	103.40	160.52	31.94	72.78
1-20/09/04	36.41	53.72	8.81	19.58
2-20/09/04	12.71	27.47	3.71	7.84
3-20/09/04	555.24	1312.83	245.44	629.62
16/10/04	28.52	196.80	28.55	67.31
1-09/11/04	641.62	4836.35	909.31	2117.46
2-09/11/04	1206.6	14998.42	2427.53	5772.33

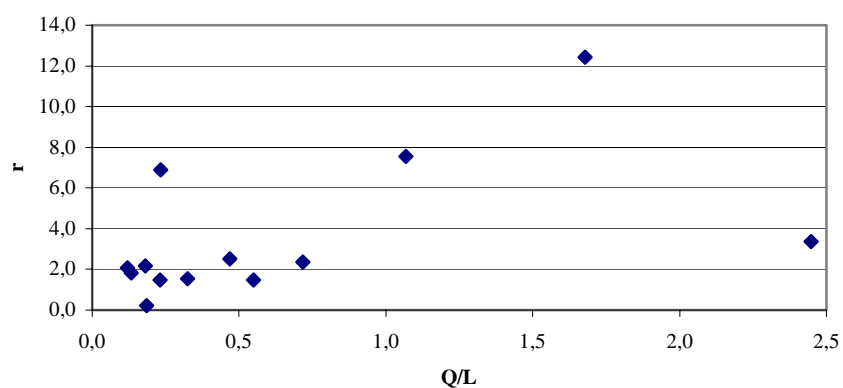


Figura 1: Variação da Razão (r) com a vazão por unidade de largura do canal pelo Método de Van Rijn (1984)

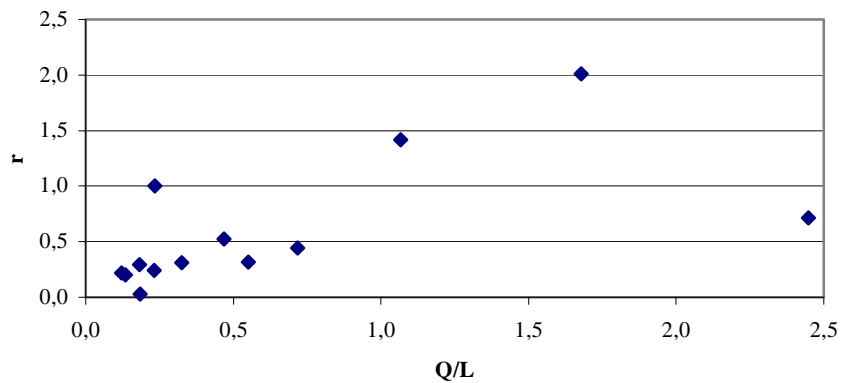


Figura 2: Variação da Razão (r) com a vazão por unidade de largura do canal pelo Método de Ackers e White (1973)

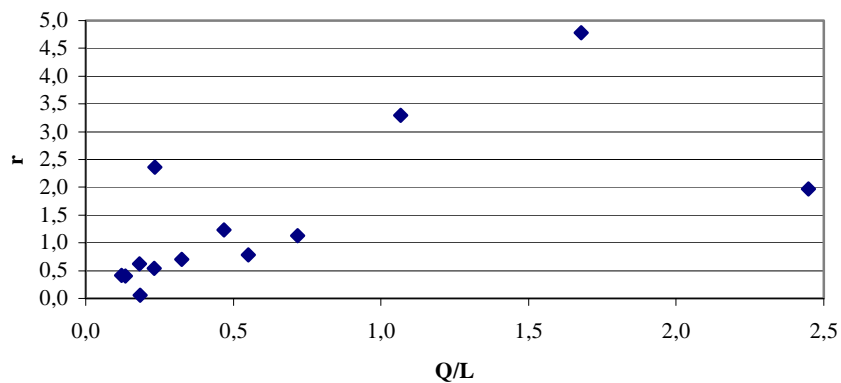


Figura 3: Variação da Razão (r) com a vazão por unidade de largura do canal pelo Método de Yang (1973)

CONCLUSÕES

Nos treze eventos de chuva, analisados até o momento, a razão entre os valores observados e medidos da descarga total de sedimentos variou de: 0.21 a 12.43, com média de 3.53, no método de Van Rijn; 0.06 a 4.78, com média de 1.41 no método de Yang; 0.02 a 2.01, com média de 0.59 no método de Ackers e White.

Na variação dos valores observados para a razão entre a descarga sólida calculada pelos método de Van Rijn(1984), Yang (1973) e Ackers e White (1973) e a descarga sólida medida (**r**) com a vazão por unidade de largura (**Q/L**), os valores variaram de 0.02 a 12.43, com tendência de crescimento com o aumento da vazão por unidade de largura do canal.

BIBLIOGRAFIA

- ACKERS, P. & WHITE, W.R. Sediment Transport: New Approach and Analysis, **Journal of the Hydraulics Division, ASCE**, vol. 96, No. HY 11, Nov., pp.2041-2060. 1973.
- PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D. Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios In: **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Santa Maria: ABRH, 2001. Cap 12, p.313- 394.
- PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; PARANHOS, R.M. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais. **IV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos., Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos**. Santa Maria: ABRH/UFSM, v.1, p.35-51, 2001.
- PAIVA, João Batista Dias de - **Avaliação do Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios**. SHS-EESC-USP.(Tese de Doutorado) 1988.
- VAN RIJN, L.C. Sediment transport, Part I: Bed load transport . **Journal of Hydraulics Engineering, ASCE**, Vol. 110, n.10, Oct., pp.1431-1436. 1984.
- VAN RIJN, L.C. Sediment transport, Part II: Suspended load transport . **Journal of Hydraulics Engineering, ASCE**, Vol. 110, n.11, Nov., pp.1613-1641. 1984.
- VAN RIJN, L.C. Sediment transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness . **Journal of Hydraulics Engineering, ASCE**, Vol. 110, n.11, Nov., pp.1613-1641. 1984.
- YANG, C.T. Incipient motion and sediment transport . **Journal of the Hydraulics Division, ASCE**, vol.99, HY10, Paper 1679-1701. 1973.