

Produção de Sedimentos em Diferentes Escalas Espaço-Temporais de Duas Pequenas Bacias e um Lisímetro no Bioma Mata Atlântica

Marco Alésio, Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva, João Batista Dias de Paiva

Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade Federal de Santa Maria — UFSM

geocram@gmail.com, eloiza@ct.ufsm.br, jbdpaiva@ct.ufsm.br

Recebido: 19/04/11 - revisado: 16/08/11 - aceito: 09/07/12

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo avaliar os processos hidrossedimentológicos no bioma Mata Atlântica em diferentes escalas espaço-temporais, através do monitoramento de um lisímetro volumétrico de 1m³ e duas pequenas bacias hidrográficas do rio Vacacaí Mirim - Rancho do Amaral (4,45Km²) e Rincão do Soturno (11,98Km²) - embutidas em área de Mata Atlântica na região de Santa Maria (RS, Brasil). As variáveis selecionadas para execução deste trabalho foram monitoradas no decorrer do ano de 2009, pelo monitoramento da precipitação com o auxílio de dois pluviômetros eletrônicos e o nível do rio estabelecido com o auxílio de dois linígrafos eletrônicos. Foram realizadas medições de descarga líquida e sólida em estações instaladas nas seções de medição. As amostras de sedimentos em suspensão foram coletadas com amostradores convencionais e amostradores pontuais automáticos. Nas três áreas monitoradas, registraram-se os seguintes valores de produção de sedimentos: 1,7.10⁻⁴ mm (solo)/mm(precipitação efetiva) para o lisímetro; 2,6.10⁻⁴ mm/mm para a bacia Rancho do Amaral; e 3,0 .10⁻⁴ mm/mm para a bacia Rincão do Soturno. Por estas medições, pode-se concluir que o fator preponderante para a produção de sedimentos foi o uso e a ocupação do solo, além da precipitação efetiva ocorrida nas áreas de estudo.

Palavras-chave: Monitoramento. Produção de sedimento. Mata Atlântica. Uso e ocupação do solo. Escalas espaço-temporais. Hidrossedimentológico.

INTRODUÇÃO

A produção e transporte de sedimentos ocorre em diferentes escalas espaciais, desde a desagregação da partícula, seu transporte até sua deposição. Na escala temporal a produção de sedimentos pode ser entendida em um evento ou até mesmo em Eras geológicas. Segundo Mediondo e Tucci (1997) o problema reside em conhecer como variáveis e parâmetros são representados em diferentes escalas e como estabelecer as funções de transferência entre essas escalas. A estimativa da distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos é importante objeto de pesquisa hidrológica (STRASSER & MAUSER, 2001).

Para monitorar e quantificar as variáveis envolvidas no ciclo hidrológico deve-se ter o entendimento de que os processos hidrológicos estão inseridos em diversas escalas tanto espaciais quanto temporais, desde a microescala do poro, passando pela mesoescala que contempla as bacias hidrográficas, as paisagens, até a macroescala como dados observados por satélites (MEDIONDO e

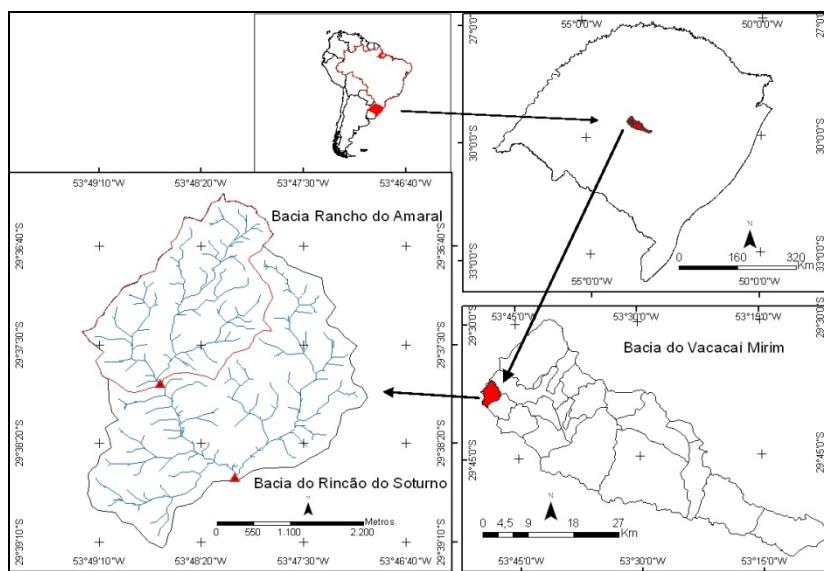
TUCCI 1997). Portanto, deve-se ter o conhecimento da escala do objeto de estudo, qual é o O objetivo deste trabalho é avaliar a influência das escalas espaciais e temporais na produção de sedimentos de pequenas bacias hidrográficas, tendo como base informações de monitoramento. Para atingir tal objetivo foram utilizados os seguintes equipamentos: um lisímetro volumétrico, dois pluviógrafos automáticos, dois sensores de nível, duas sondas de turbidez e realizadas medições de descarga líquida e medições de descarga sólida (manual e automática).

Produção de sedimentos em diferentes escalas

Ao nível da estrutura do meio poroso estuda-se a água ligada por adesão e capilaridade e as reações de transformações e de imobilização dos elementos químicos. Ao nível do perfil do solo, as pesquisas são direcionadas ao movimento local da água e de solutos. Ao nível da bacia hidrográfica, o interesse é dirigido aos escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos, que alimentam os cursos de água. Estes escoamentos relacionam-se

Tabela 1– Resumo dos trabalhos sobre produção de sedimentos realizados na bacia do Vacacá Mirim.

Autor	Paiva e Costas	Carvalho	Gomes	Bellinas e Paiva	Branco	Paranhos e Paiva	Bacia Rancho do Amaral	Bacia Rincão do Soturno
Ano de publicação	2002	2004	2008	2007	1998	2008		
Bacia	Alto da Colina	Alto da Colina II	Amoio Cancela	Sítio do tio Pedro	Menino Deus I	Menino Deus II		
Área (Km ²)	1,80	1,36	0,012	0,53	18	5,03	4,45	11,98
Uso e ocupação do solo	Semi-urbana	Semi-urbana	Urban	Semi-urbana	Rural	Rural	Rural	Rural
Porcentagem de urbanização (%)	~34	~25	100	~30	Não apresentou	~3	0	0
Declividade (%)	4,98	5,84	Não apresentou	26,8	22	28,92	29,7	21,5
Período monitorado	09/2000 a 04/2001	06/2001 a 05/2002	12/2006 a 11/2007	04/2001 a 12/2001	08/1996 a 06/1997	10/2001 a 11/2002	2009	2009
Precipitações	27,9 a 58,76	4,7 a 41,21	Não apresentou	19,12 a 73,63	20,4 a 52,2	24,67 a 39,71	0 a 17,20	0 a 17,45
Amôs trator IS CO (mg/L)				3,48 a 6205			14,08 a 407,20	21,38 a 596,53
Amôs trator ANA (mg/L)	2596	854,13		Não apresentou	10,42 a 948	Não apresentou		
Amôs trator US-DH-48 (mg/L)	1350	544,78		Não apresentou		Não apresentou		
Produção de sedimentos (ton/evento)	2,82 a 90,12	1,08 a 33,1	0,14 a 0,79	0,99 a 23,53	0,04 a 79,66	0,41 a 19,41	0,17 a 96,49	0,81 a 208,28
Produção de sedimentos (g/m ²)	15,66 a 500,66	7,94 a 243,38	116,66 a 658,33	18,67 a 443,38	0,02 a 44,25	0,81 a 38,58	0,38 a 216,83	0,67 a 173,85

**Figura 1 - Localização da bacia do rio Vacacá Mirim e das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.**

com os processos sedimentológicos gerados nas vertentes da bacia e no sistema de drenagem fluvial (DEPINÉ, *et al.*, 2009).

A escala da bacia hidrográfica permite limitar a variabilidade e heterogeneidade do meio que são estudadas nas escalas inferiores. Seu caráter integrador é por um lado o seu principal interesse e de outro lado seu principal limite. Esta abordagem privilegia os processos dominantes agindo sobre a quantidade e/ou qualidade da água no exutório (GRIMALDI, 2004).

Na escala temporal encontram-se medidas de curto prazo, como em eventos de minutos, horas ou poucos dias, passando pela variabilidade sazonal (dentro de um ano) variabilidade interanual (pou-

cos anos 2-3 anos), variabilidade decadal (TUCCI e MENDES 2006).

Kandel *et al.* (2004) relata que a maioria dos modelos de escoamento superficial e erosão são geralmente executados na escala diária, sendo incapazes de predizer adequadamente os eventos de escoamento superficial e erosão em pequenas escalas, que são dominados por características de precipitação na escala temporal de minutos. Diante deste dilema o desenvolvimento de abordagens que capturam adequadamente os processos em curtas escalas espaço temporais poderão subsidiar elementos para a execução dos modelos em escala horária. Salientando-se, portanto, a importância do monitoramento hidrossedimentológico em pequenas bacias hidrográficas.

Na linha de pesquisa sobre processos hidrossedimentológicos foram realizados alguns trabalhos em bacias hidrográficas, localizadas no interflúvio da bacia do Vacacaí Mirim, no município de Santa Maria - RS. Dentre esses trabalhos destaca-se os limite da sua escala, e como ocorrem as correlações entre as variáveis medidas na micro-escala até a macro-escala. Devido à variabilidade dos processos hidrológicos é necessário identificar e avaliar os fenômenos dominantes em cada escala (OMAR *et al.*, 2004).

Yang (1996) afirma que a determinação da produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica pode ser resumida pela quantidade e intensidade pluviométrica, tipo de solo e formação geológica, cobertura e uso do solo, topografia, taxa de erosão, rede de drenagem e declividade, forma, tamanho e alinhamento dos canais, características dos sedimentos tais como granulometria e mineralogia e, características hidráulicas do canal, apresentados na Tabela 1.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

As duas bacias embutidas e dependentes, bacia Rancho do Amaral com 4,45Km² e a bacia Rincão do Soturno com 11,98Km², estão localizadas entre as coordenadas geográficas de 29°36'15"; 29°39'10" S e 53°49'20", 53°47'00" inseridas no interflúvio da bacia do Vacacaí Mirim, Santa Maria – RS.

De acordo com Isaia (1992), o clima específico da região e da bacia em estudo, conforme o sistema de classificação de Köppen, é o sub-tropical "Cfa", com temperatura média anual de 19,3°C, sendo a média das temperaturas máximas do mês mais quente do ano (janeiro) de 31,5°C e o mês mais frio (julho) de 9,3°C. A precipitação média anual é superior a 1.500mm, com uma frequência de 113 dias com chuva.

As áreas compreendidas pelas bacias se caracterizam por estarem inseridas na unidade geomorfológica Bacia do Paraná. Com suas escarpas abruptas, sua drenagem é caracterizada pelo padrão dendrítico, com seus vales esculpidos em V.

A Figura 1 apresenta a localização das bacias no contexto da América do Sul, nacional, estadual e da bacia em que se inserem.

Para o melhor conhecimento das

especificidades de cada bacia a Tabela 2 apresenta o resumo de algumas de suas características físicas.

Tabela 2 – Resumo das características fisiográficas das bacias monitoradas.

Características físicas	Rancho do Amaral	Rincão do Soturno
Área (Km ²)	4,45	11,98
Perímetro (Km)	9,72	16,08
Declividade média (%)	29	21
Altitude média (m)	341,21	316,21
Comprimento do rio principal (Km)	2,1	4,18
Declividade ponderada (m/m)	0,073	0,066
Rede de drenagem	Dendrítica	Dendrítica
Densidade da rede de drenagem (Km/Km ²)	4,65	4,45
Fator de forma (Kf)	0,00059	0,00044
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,29	1,30
Ordem da bacia	4	4
Tempo de concentração (min.)	110	150

Caracterização do solo da bacia

A classificação dos solos foi obtida a partir do mapa para a bacia do rio Vacacaí-Mirim apresentado por Azolin e Mutti (1988), na escala de 1:100000, pela classificação da EMBRAPA (2005), a Figura 2 apresenta a espacialização dos solos presentes nas bacias. Também é apresentada na Tabela 3 a área ocupada por cada solo e suas respectivas percentagens em cada uma das bacias.

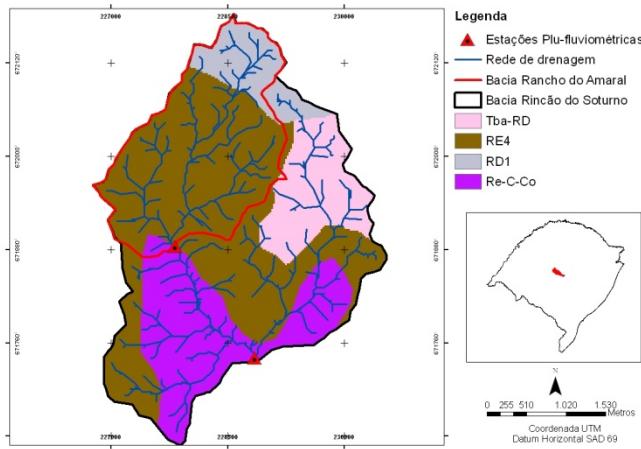


Figura 2 - Mapa de solos das bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno

Tabela 3 – Distribuição do tipo de solo nas bacias.

Tipo de solo	Rancho do Amaral		Rincão do Soturno	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Re4	3,60	80,8	6,49	54,2
Rd ₁	0,78	17,5	1,04	8,7
Re-C-Co	0,07	1,6	2,83	23,6
Tba-RD	0,01	0,1	1,62	13,5
Total	4,45	100	11,98	100

Re4: Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico;

Rd₁: Neossolo Litólico Distrófico relevo ondulado,

Re-C-Co: Associação Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico-Cambissolo-Colúvios e

TBA-RD: Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Alissólico e Neossolo Litólico Eutrófico.

Características da vegetação e uso do solo

A bacia Rancho do Amaral e Rincão do Soturno em virtude de sua localização (transição entre o planalto e a depressão central) apresentam características de predomínio da escarpa da Serra Geral, sendo ocupada em sua maior parte pela floresta Subcaducifólia Subtropical, a qual é constituída por dois estratos arbóreos distintos, um emergente e outro dominado. A Figura 3 apresenta a distribuição das formas de uso e ocupação do solo das bacias e a Tabela 4 suas respectivas áreas e percentagens. Observa-se que a mata nativa tem predominância nas duas bacias, seguido por campo

nativo, eucaliptos, culturas anuais e pequenos reservatórios.

Tabela 4 – Distribuição do uso e ocupação do solo nas bacias.

Uso do solo	Rancho do Amaral		Rincão do Soturno	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Mata nativa	2,12	47,6	6,56	54,7
Campo nativo	1,75	39,4	4,67	39
Eucaliptos	0,36	8,1	0,46	3,9
Culturas anuais	0,16	3,7	0,21	1,7
Pequenos reservatórios	0,05	1,2	0,088	0,7
Total	4,45	100	11,98	100

Nas duas bacias somando-se as áreas de mata nativa e campo nativo resulta em mais de 87% desses dois usos, caracterizando as áreas como pouco alteradas.

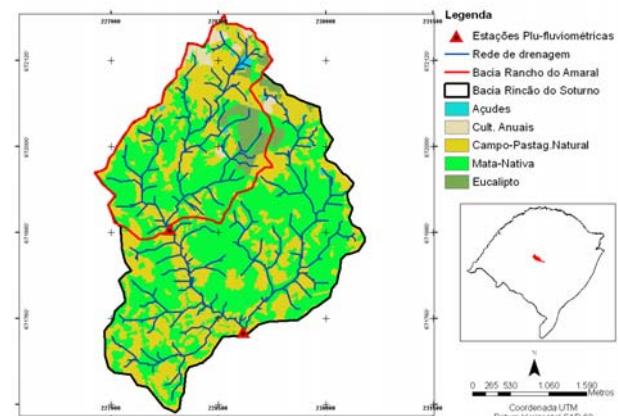


Figura 3 - Mapa de uso e ocupação do solo nas bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

Sendo o objetivo deste trabalho contribuir para o entendimento da produção de sedimentos na micro e meso escala espacial e na escala temporal de eventos, foram monitoradas nas duas pequenas bacias hidrográficas embutidas e dependentes as seguintes variáveis: precipitação, nível do rio, concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e turbidez.

dez. As bacias estão inseridas na região central do Rio Grande do Sul, na vertente da bacia do Vacacai Mirim. Também foi monitorado o escoamento superficial e a produção de sedimentos em um lisímetro volumétrico instalado na bacia de montante.

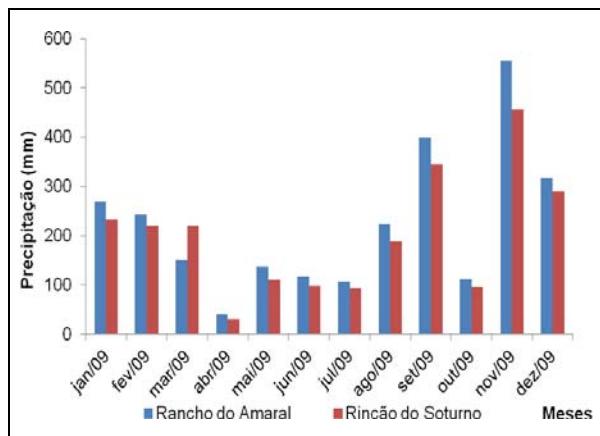


Figura 4 - Precipitação mensal observada nas estações Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

Medidas pluviométricas

Para o acompanhamento das precipitações ocorridas nas bacias foram operados dois pluviógrafos, um instalado na bacia Rancho do Amaral nas coordenadas geográficas $29^{\circ}37'43''S$ $53^{\circ}48'37''W$ e outro na bacia Rincão do Soturno, nas coordenadas $29^{\circ}38'35''S$ $53^{\circ}47'57''W$. O equipamento instalado na bacia Rancho do Amaral é um pluviógrafo eletrônico do tipo cubas basculante da marca HIDROMEC®, com área de captação de 400cm^2 , permitindo monitorar a precipitação em intervalos de tempo de 1 minuto, com uma precisão de 0,2mm. O instrumento instalado na estação Rincão do Soturno é um pluviógrafo eletrônico de balança, da marca OTT, com área de captação de 400cm^2 e intervalo de 1 minuto entre cada leitura. Para análise dos dados de precipitação, durante o ano de 2009, foram comparadas os totais mensais das respectivas bacias. Com exceção do mês de março, as precipitações ocorridas na estação pluviométrica localizada na bacia Rancho do Amaral são maiores que as ocorridas na estação Rincão do Soturno. A diferença entre as chuvas pode ser explicada pela amplitude da altitude e localização dos pluviógrafos, pois a estação Rancho do Amaral está localizada no sopé da Serra Geral, com altitude de 240m, enquanto a estação Rincão do Soturno apresenta altitude de

170m, sendo de 3Km a distância entre as estações.

Lisímetro

Uma das ferramentas utilizadas para a compreensão e representação da produção de sedimentos na escala espacial foi um lisímetro volumétrico, com 1m^3 de amostra representativa de solo, não deformado. O equipamento está instalado na área abrangida pelo solo tipo Re4: Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico, conforme mapa de solos da Figura 2, e durante o período monitorado o equipamento apresentou cobertura vegetal de gramíneas, nativa da região, com cerca de 5 – 10cm de altura. A superfície do solo no equipamento apresenta uma inclinação ponderada de 0,040m/m.

O mesmo apresenta 1m^2 de área superficial, constituído de placas de acrílico com espessura de $\frac{1}{2}$ ”, coladas e parafusadas, formando uma caixa, fechada embaixo. Tucci (2001) cita que as variáveis controladas junto ao lisímetro são a precipitação, o escoamento, a infiltração e o armazenamento permitindo dessa forma a obtenção da evapotranspiração real.

Os dados de escoamento superficial foram coletados no período de setembro a dezembro de 2009, por um pluviógrafo do tipo cubas basculantes dotado de data logger, propiciando uma melhor avaliação do processo na parcela do lisímetro, bem como seu comportamento no decorrer de um evento chuvoso. Feltrin *et al.* (2011) cita que o monitoramento do escoamento superficial da parcela (1m^2) converge para um canto do lisímetro de onde era conduzido através de um cano de PVC até a área de captação do pluviógrafo. Cada contagem de basculada do pluviógrafo (0,2mm) era registrada em um logger modelo LOGBOX. O período dos eventos foi definido da seguinte forma: o início correspondeu ao início da chuva e o fim correspondeu ao final do volume total escoado (OLIVEIRA, 2010). A determinação da lâmina erodida tanto da parcela do lisímetro quanto das amostras coletadas com os amostradores pontuais (ISCO) foi calculada pela densidade da partícula suspensa (2,65), descrita em Yang (1996), Carvalho *et al.* (2000).

Sonda de turbidez

Para monitorar continuamente o fluxo de sedimentos em suspensão passante nas seções de medições das bacias em estudo, foi instalada uma sonda, pontual, de turbidez no exutório de cada

bacia. Estas sondas foram configuradas para realizar suas leituras com intervalos de 10 minutos. As sondas foram instaladas a cerca de 15cm do leito, na seção do Rancho do Amaral e 20cm do leito, para a seção no Rincão do Soturno, nas duas seções foram instaladas a aproximadamente 1,5m da margem esquerda.

Na estação do Rincão do Soturno foi instalada a sonda SL 2000-TS que operou no período de 07/08/2009 a 29/12/2009. A sonda de turbidez mede as partículas em suspensão pela reflectância da luz infravermelha, imune a cor da água, na faixa de medição de sedimento em suspensão de 0 ~ 5000 ppm e de turbidez de 0 ~ 2500 NTU.

Na estação Rancho do Amaral foi instalada a sonda DTS-12 com o logger modelo H 500 XL, no período de 29/09/09 a 11/01/2010. A sonda DTS-12 possui um alcance de medição de 0 – 1500 NTU, com uma resolução de 0,01 NTU, sua precisão na faixa de 0 – 499,99 NTU fica em média em 2%, de 500 – 1500 NTU fica em média em 4%.

Aferição das sondas de turbidez

Para a sonda de turbidez SL 2000-TS o procedimento de aferição foi realizado diretamente em campo. Concomitantemente às medidas da sonda foram realizadas coletas de sedimentos em suspensão com o amostrador ISCO, amostras coletadas durante a subida e descida da onda de cheia, com intervalo de tempo de 1 hora entre cada coleta. Após serem analisadas em laboratório as amostras coletadas em campo foi possível fazer uma correlação entre o sinal em NTU e a concentração de sedimentos em suspensão (mg/L). A metodologia adotada para análise de CSS das amostras é descrita em APHA (1995) e Cesp (2008).

Minella *et al.* (2008) afirma que a calibração que determina a melhor relação entre o sinal de turbidez (NTU) e a CSS (mg/L) é aquela que utiliza amostras coletadas durante os eventos de chuva, se comparada com a calibração feita em laboratório com amostras provenientes de solos da bacia. Pois durante os eventos de cheia ocorre maior variabilidade nas formas dos sedimentos, devido a heterogeneidade espacial de suas diferentes fontes (NAVRATIL *et al.*, 2011).

O gráfico da Figura 5 demonstra a relação obtida entre a CSS (mg/L) e a turbidez (NTU) medidos na seção de medição da bacia Rincão do Soturno. Com dados apresentados na respectiva figura foi possível estabelecer a equação 1:

$$\text{CSS} = 0,7278 \cdot T - 19,98 \quad (1)$$

$R^2 = 0,71$

Onde: CSS – Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L) e
T – Turbidez (NTU).

Esses dados apresentaram um desvio padrão de 101,87 NTU.

Para a sonda DTS 12, instalada na seção de medição da bacia Rancho do Amaral, foram realizadas os mesmos procedimentos descritos para calibração da sonda SL 2000-TS. Sendo possível correlacionar à CSS e a turbidez do fluxo, conforme apresentado na Figura 6 e determinada na equação 2.

$$\text{CSS} = 0,5602 \cdot T + 4,1413 \quad (2)$$

$R^2 = 0,76$

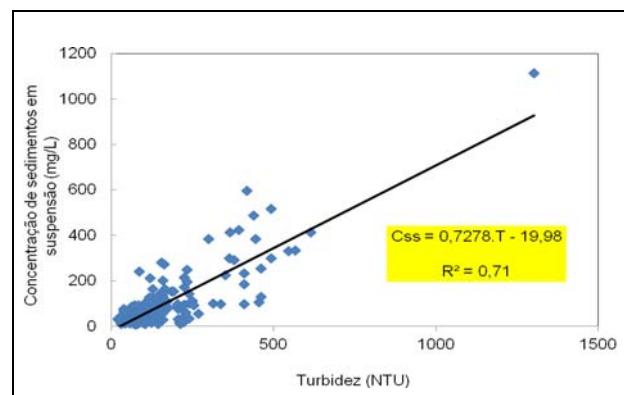


Figura 5 – Gráfico de concentração de sedimentos em suspensão x turbidez da estação Rincão do Soturno.

Esses dados apresentaram um desvio padrão de 101,54.

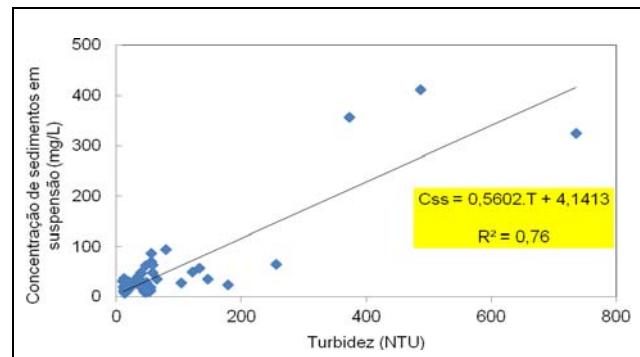


Figura 6 – Gráfico de concentração de sedimentos em suspensão x turbidez da estação Rancho do Amaral.

Medições de descarga líquida e sólida em suspensão.

As medições de descarga líquida e sólida em suspensão realizadas nas duas seções de medição tiveram o objetivo de relacionar as descargas sólidas obtidas a partir de amostragens de sedimentos ao longo da seção com as descargas sólidas obtidas com amostras coletadas em um único ponto da seção. Na bacia Rincão do Soturno as coletas pontuais de sedimentos em suspensão foram realizadas com o amostrador ISCO, modelo FR760, no período de julho de 2008 a dezembro de 2009. Na bacia Rancho do Amaral as coletas foram realizadas com o amostrador ISCO modelo 3700, no período de setembro a dezembro de 2009.

Paralelamente às coletas pontuais amostradas pelo ISCO foram realizadas oito campanhas de medição de sedimentos em suspensão na estação Rancho do Amaral e 10 campanhas de coletas de sedimentos em suspensão na estação de medição do Rincão do Soturno. Essas coletas foram realizadas com o amostrador USDH-48, pela integração na vertical e pelo método de Igual Incremento de Largura descrito em Carvalho (2008).

RESULTADOS

Curva-chave de descarga líquida e sólida

Na estação fluviométrica da bacia Rancho do Amaral foram realizadas 74 medições de descarga líquida, no período de 29/08/2007 à 11/12/2009, no qual foram medidas vazões máxima e mínima de $5,867\text{m}^3/\text{s}$ e $0,001\text{m}^3/\text{s}$, respectivamente, vide Figura 7. Com os dados foi possível estabelecer a equação da curva-chave da seção de medição. Conforme equação 3:

$$Q = 2,08445 \cdot 10^{-6} (H + 14,4)^{3,34627} \quad (3)$$

$R^2 = 0,98$

Onde:

Q : Descarga líquida (m^3/s) e

H : Altura do nível do rio, cota (m)

Na referida bacia também foram realizadas 228 amostragens pontuais de sedimentos em suspensão, entre o período de 01/09/2009 a 07/01/2010, coletadas em seis eventos selecionados, com descargas líquidas variando de $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ a $4,74 \text{ m}^3/\text{s}$, estas coletas foram realizadas com o

amostrador ISCO, com intervalo de uma hora entre cada amostragem. O número de coleta por evento variou de 9 a 104 amostragens, conforme a dinâmica de cada evento. Com os dados de descarga sólida em suspensão versus a descarga líquida, (Figura 8), foi possível definir a equação da curva chave de sedimentos, amostras coletadas com o ISCO, equação 4.

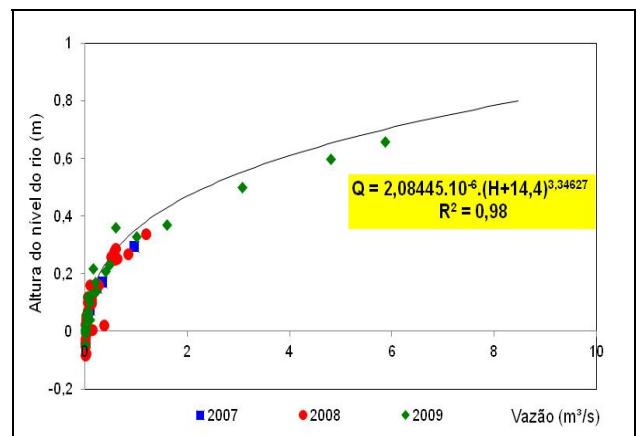


Figura 7 - Gráfico de cota x descarga líquida da estação Rancho do Amaral.

$$Q_{ss} = 3,4514 \cdot Q^{1,4143} \quad (4)$$

$R^2 = 0,70$.

Onde: Q_{ss} - Descarga sólida em suspensão (ton/dia) e

Q - Descarga líquida (m^3/s)

Esta equação é aplicada na forma geral $Y = a \cdot X^b$, quando a produção é expressa em ton/dia.

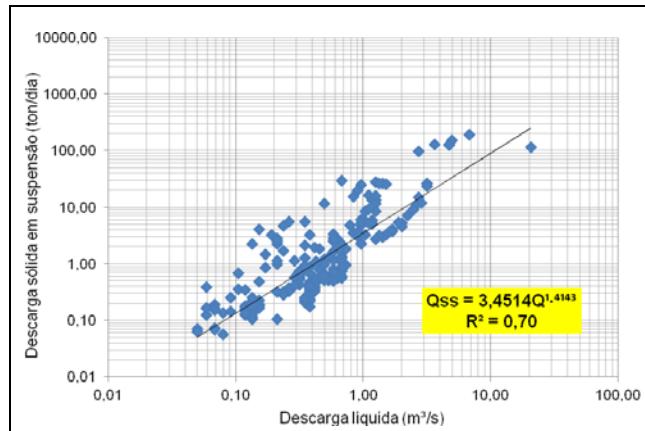
Os resultados das oito amostragens realizadas com o amostrador USDH-48 estão representadas no gráfico da Figura 9. Com estas amostras foi possível definir a equação da curva-chave com amostras coletadas diretamente em campo, representada pela equação 5:

$$Q_{ss} = 6,4066 \cdot Q^{1,6751} \quad (5)$$

$R^2 = 0,98$

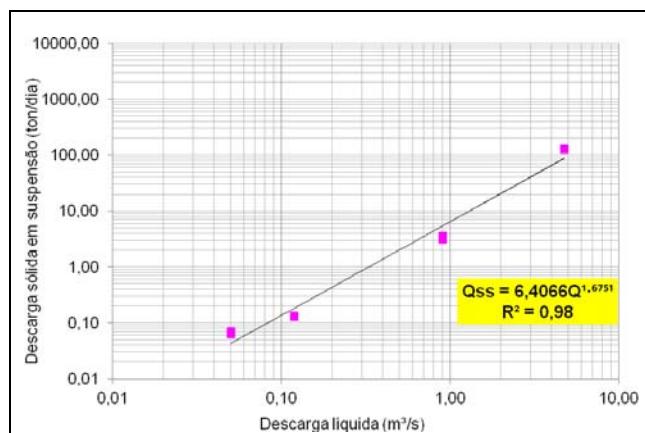
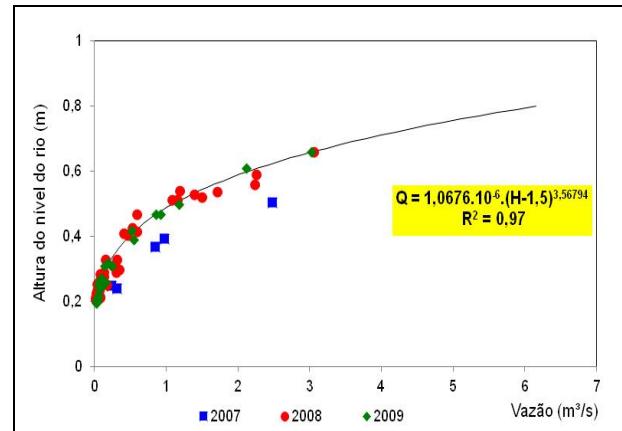
Comparando as equações definidas através de amostras coletadas com o amostrador ISCO e as amostras coletadas com o amostrador USDH-48, dentro da amplitude de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ a $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ conclui-se que a equação encontrada para as amostras coletadas com o ISCO subestima em 52% os valores, quando comparados com os valores oriundos da

equação obtida para os dados medidos com o amostrador USDH-48.

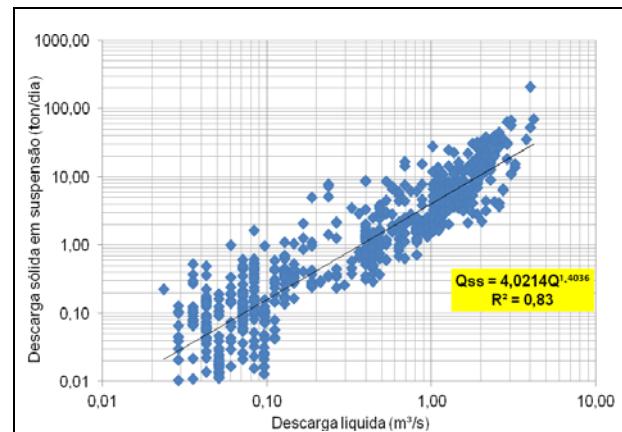


$$Q = 1,0676 \cdot 10^{-6} (H - 1,5)^{3,56794} \quad (6)$$

$R^2 = 0,97$



Paralelamente, às medições das descargas líquidas foram realizadas na bacia Rincão do Soturno, durante o período de 19/07/2008 a 28/12/2009, 819 amostragens de sedimentos em suspensão, coletadas pontualmente com o amostrador ISCO, com descargas líquidas variando de 0,02m³/s a 4,19m³/s, (Figura 11).



Na estação fluviométrica da bacia Rincão do Soturno foram realizadas 74 medições de descarga líquida, no período de 23/08/2007 à 16/11/2009, no qual foram medidas vazões máxima e mínima de 3,053m³/s e 0,014m³/s. Estabeleceu-se a equação da curva-chave da seção de medição, conforme equação 6, a partir dos dados apresentados na Figura 10.

Com estes dados foi possível definir a equação da curva-chave de sedimentos da seção, equação 7.

$$Qss = 4,0214 \cdot Q^{1,4036} \quad (7)$$

$R^2 = 0,83$

As 10 campanhas de medição de sedimentos em suspensão coletadas com o amostrador USDH-48 são apresentadas na Figura 12, que correlaciona os pontos medidos de descarga líquida versus descarga sólida em suspensão.

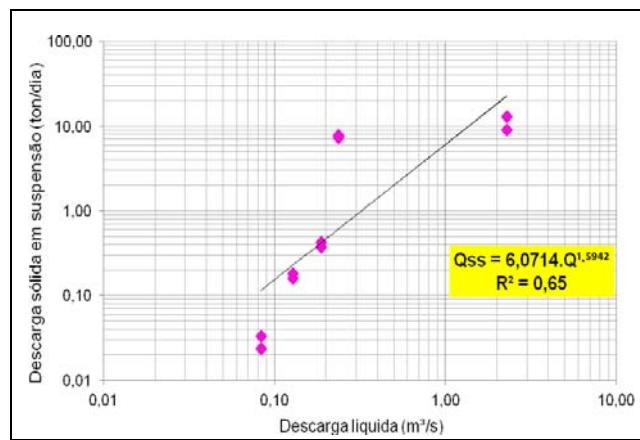


Figura 12 – Relação entre a descarga líquida x descarga sólida em suspensão da estação Rincão do Soturno, coletadas com o amostrador USDH-48.

Comparando as equações definidas através de amostras coletadas com o amostrador ISCO e as amostras coletadas com o amostrador USDH-48, dentro da amplitude de 0,1m³/s a 2,3 m³/s conclui-se que a equação encontrada das amostras coletadas com o ISCO subestimou em 33% os valores quando comparada com os valores oriundos da equação dos dados medidos com o amostrador USDH-48.

Sun *et al.* (2001) realizaram um trabalho parecido com o apresentado neste artigo, compararam a CSS e turbidez em três séries (distintas) de eventos no decorrer do ano de 1996 numa bacia no Sul da Austrália.

Comparando os valores observados com os medidos verificaram que os valores observados de turbidez medidos subestimavam os valores de CSS entre a faixa de 7- 36%, chegando até 53% nos eventos extremos.

Essas diferenças entre os valores medidos e observados podem ser entendidas pelo motivo da sonda realizar medidas pontuais na coluna d'água, medindo apenas uma pequena parte da seção de medição. Podendo, é claro, haver heterogeneidade da distribuição de sedimentos no decorrer da seção e no decorrer da coluna d'água. Salienta-se, portanto, a necessidade da coleta de sedimentos tanto de forma automatizada quanto manual.

Análise da concentração de sedimentos em suspensão na escala temporal.

As leituras indiretas de CSS realizadas com as sondas de turbidez foram mensuradas com intervalo de 10min, logo, pode-se extrapolar, essas leituras para maiores intervalos de tempo (30, 60, 120, 240 e 1440min), sendo, portanto, possível tirar algumas conclusões. Nas duas estações quanto menor o intervalo de tempo maior à concentração medida. Essa constatação evidencia que os intervalos de tempo menores são capazes de mensurar a CSS com maior fidedignidade. Pois abrangem a ocorrência do evento desde o seu início até seu término, medindo principalmente seus pico enquanto as leituras com intervalo de tempo maior podem não abranger todo o evento. A Tabela 5 apresenta de forma resumida a média dos dados medidos em seus respectivos intervalos de tempo.

Na tabela verifica-se que para a estação Rancho do Amaral e Rincão do Soturno à medida que se aumenta o intervalo de tempo entre as leituras ocorre um decréscimo nas concentrações, tendendo a se estabilizar com o aumento do intervalo de tempo.

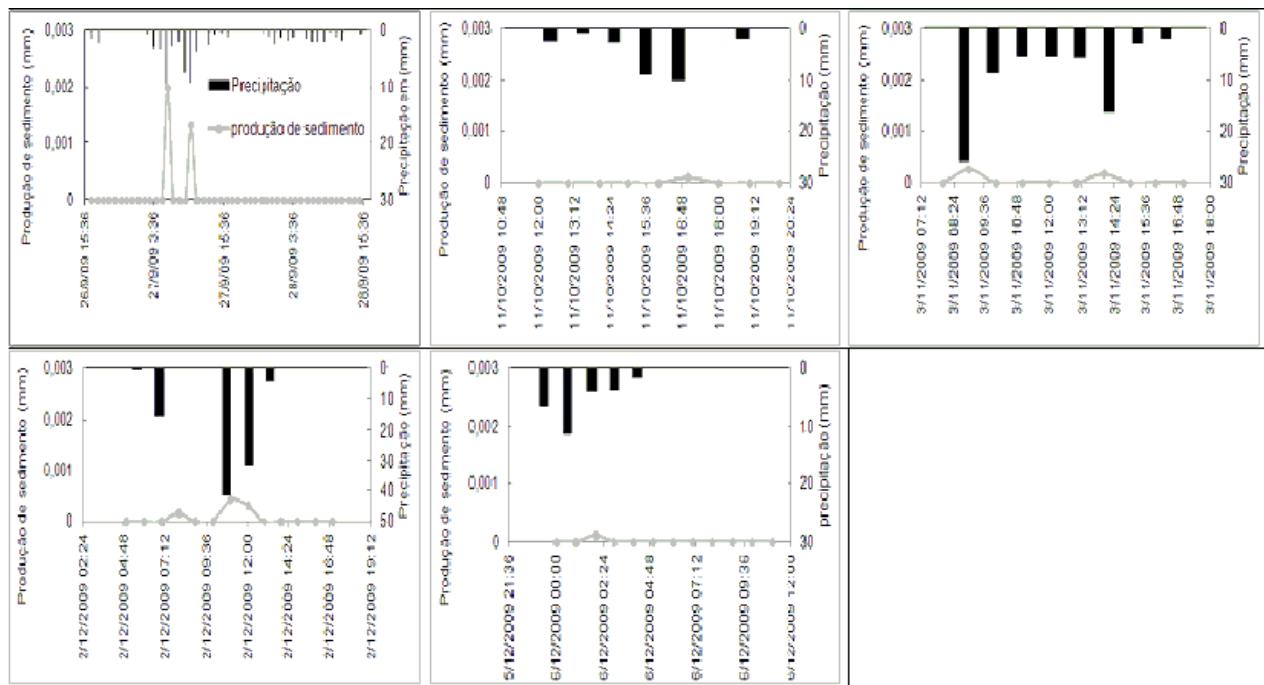
A maior percentagem de erros entre as leituras de 10min e as demais leituras foi observada na estação Rancho do Amaral, chegando a 19% na leitura com intervalo de tempo de 120min, enquanto na estação Rincão do Soturno para este mesmo período o erro ficou em apenas 3%. No intervalo de tempo de 1440min (1 dia) com leituras realizadas às 17:00h, a percentagem de erro para a estação Rancho do Amaral apresentou 8%, enquanto a estação Rincão do Soturno ficou em 5%.

Essa tendência de maior percentagem de erro encontrada na estação Rancho do Amaral pode ser explicada em virtude da área da bacia (4,45Km²), pois as menores áreas apresentam uma vazão específica maior e um tempo de concentração menor.

Navratil *et al.* (2011) afirma que para os registros individuais, as incertezas de CSS são em média menor que 10%, mas podem chegar até 70%. Nas escalas de inundação as médias das incertezas de CSS ficam em torno de 20%, enquanto a incerteza na produção de sedimentos fica em cerca de 30%, dependendo da inundação considerada, com erro de descarga de 20%.

Tabela 5 – Leituras de concentração de sedimentos em suspensão em intervalos de tempo de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 1440 minutos

Tempo (minutos)	Rancho do Amaral				Rincão do Soturno			
	Nº de leituras	Vazão média das leituras (m ³ /s)	Leituras médias de CSS (mg/L)	% de erro em relação a leitura de 10 minutos	Nº de leituras	Vazão média das leituras (m ³ /s)	Leituras médias de CSS (mg/L)	% de erro em relação a leitura de 10 minutos
10	3216	0,679	30,01	0	16740	0,531	59,5	0
30	1072	0,495	27,84	7	5580	0,531	59,25	0,5
60	536	0,495	27,18	9	2790	0,531	58,5	1
120	268	0,495	24,30	19	1395	0,531	57,44	3
240	134	0,495	25,58	14	697	0,531	57,57	3
1440	24	0,582	27,59	8	91	0,531	56,66	5

**Figura 13- Produção de sedimento (mm) na parcela do lisímetro.**

Produção de sedimentos em suspensão na escala espacial

Para análise da produção de sedimentos em suspensão na escala espacial do lisímetro foram selecionados 5 eventos durante o período de

01/09/09 a 06/12/09, (Figura 13). Nas bacias foram selecionados 9 eventos no período de 01/09/2009 a 22/11/2009, sendo os eventos da bacia Rancho do Amaral representados na Figura 14 os eventos para a bacia Rincão do Soturno representados na Figura 15. Na Tabela 6 é apresentado o resumo dos dados obtidos

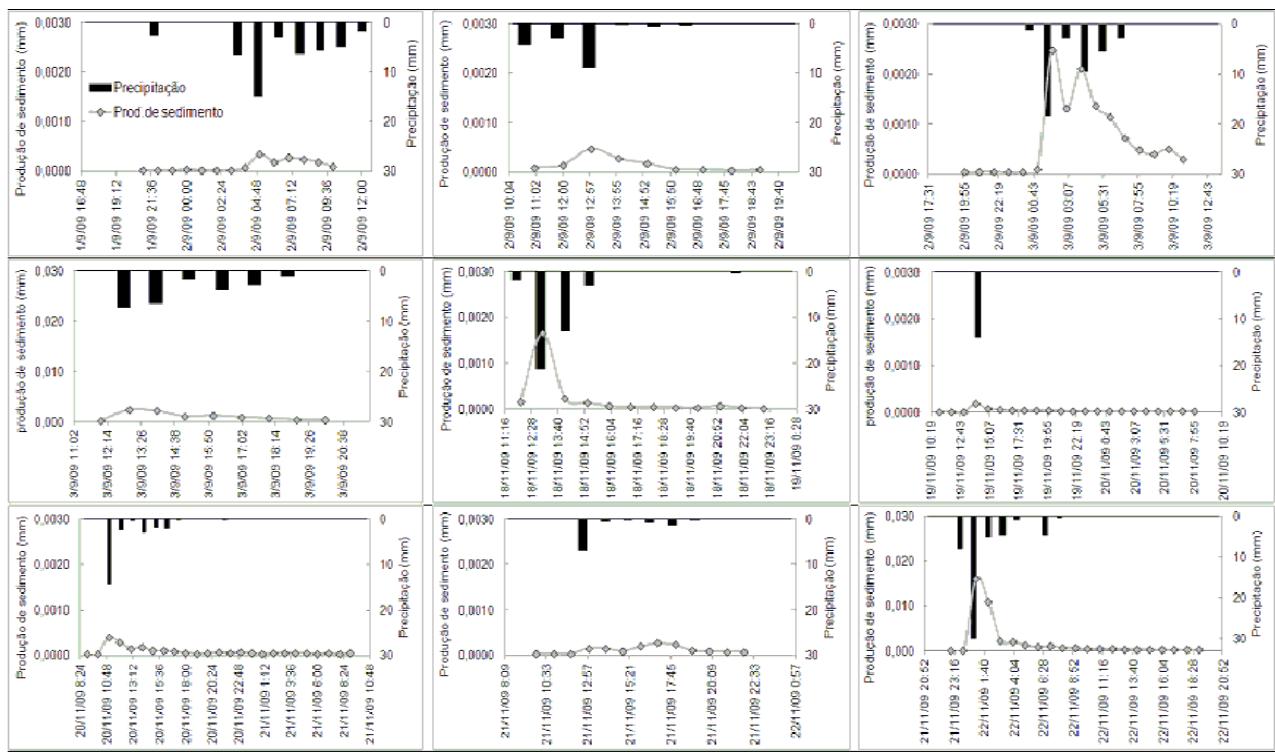


Figura 14- Produção de sedimento (mm) na bacia Rancho do Amaral.

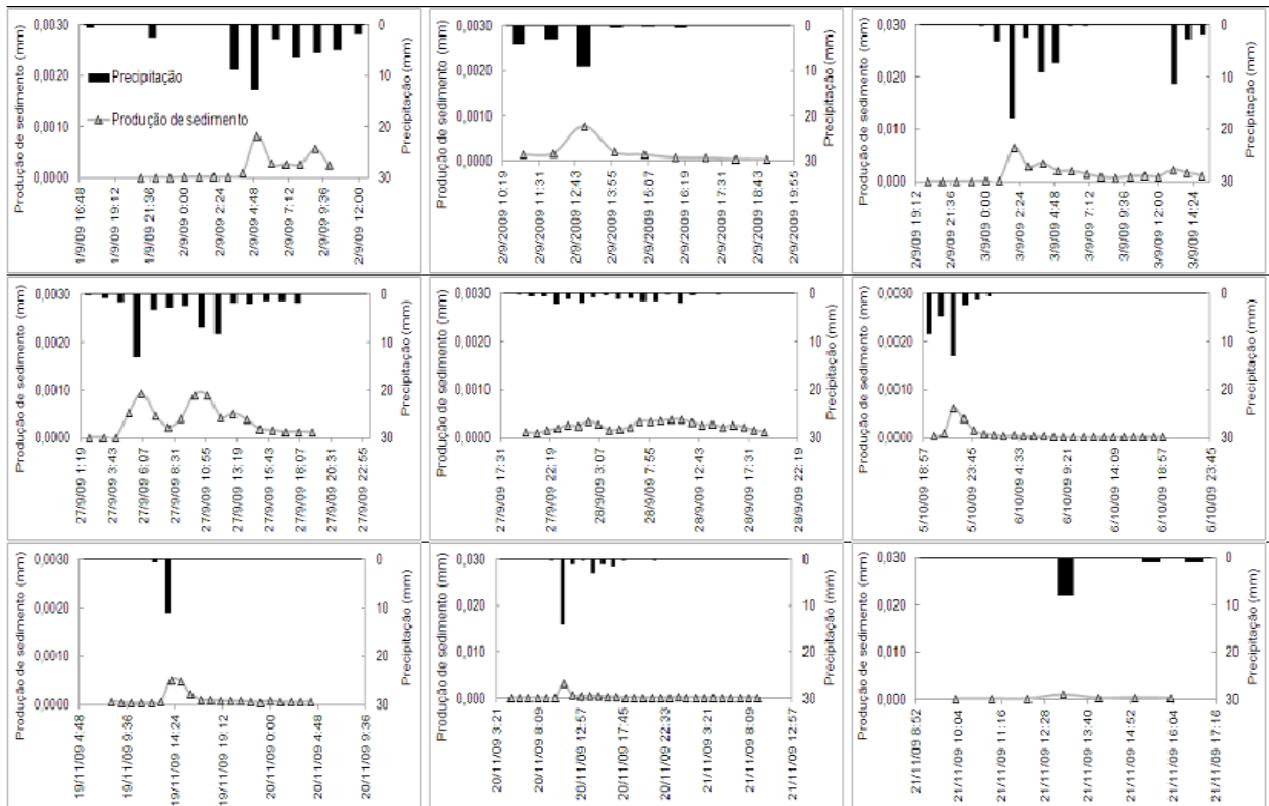


Figura 15 - Produção de sedimento (mm) na bacia Rincão do Soturno

Tabela 6 – Produção de sedimentos na escala espacial

<u>Produção de sedimento na escala espacial</u>			
	Lisímetro	Rancho do Amaral	Rincão do Soturno
Área (m ²)	1	4.450.000	11.980.000
Período (dias)	01/09/09 a 06/12/09	01/09/09 a 22/11/09	01/09/09 a 21/11/09
Precipitação efetiva dos eventos selecionados (mm)	277	264	232
Produção de sedimentos (mm)	0,0471	0,0709	0,0699
Produção de sedimentos em mm de solo/ mm de chuva efetiva	$1,7 * 10^{-4}$	$2,6 * 10^{-4}$	$3,0 * 10^{-4}$

na escala espacial com as respectivas áreas de cada parcela de estudo, o período abrangente de coleta de dados, precipitação e a produção de sedimento em mm. Analisando os eventos selecionados na bacia Rincão do Soturno observa-se a superioridade de produção de sedimentos. Dos 9 eventos selecionados verifica-se uma precipitação média de 12mm, nos picos da precipitação efetiva, em cada bacia. Esses 12mm geram uma produção de sedimentos de 0,0018mm de lâmina erodida na bacia Rincão do Soturno. Enquanto na bacia Rancho do Amaral a produção fica em 0,0011mm de lâmina erodida. No presente trabalho não foi determinado a precipitação mínima para iniciar o escoamento superficial, pois não foi analisado a precipitação antecedente e o teor de umidade do solo, entre outros, fatores preponderantes para geração do escoamento superficial e consequentemente o transporte da partícula. Wischmeier e Smith (1978), Santos *et al.* (2010).

Também se observa que a precipitação efetiva média da bacia Rancho do Amaral (29mm), gera em média 0,0079mm de lâmina erodida. A precipitação efetiva média da bacia Rincão do Soturno (26mm), gera 0,0081mm de lâmina erodida. (Figura 14 e 15, anexo 2 e 3. Constata-se a inferioridade da produção de sedimentos na escala de 1m² do lisímetro, seguido pela bacia Rancho do Amaral e por último a bacia Rincão do Soturno. Verifica-se que apesar da produção inferior de sedimentos na parcela do lisímetro sua precipitação efetiva é maior que nas duas bacias estudadas.

A menor produção de sedimentos na parcela do lisímetro pode ser explicada, entre outras, em virtude do uso e ocupação do solo, declividade da parcela e tipo de solo. A parcela é coberta por gra-

míneas que amortecem o impacto da gota d'água e dificultam a desagregação das partículas de solo.

A declividade ponderada na parcela (0,040m/m) é menor que a declividade ponderada nas bacias. Sendo que em declividades mais suaves a erosão é reduzida já que o escoamento superficial é mínimo (TUCCI & CLARKE, 1997). O local onde foi instalado o equipamento apresenta o solo tipo Re4: Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico, este tipo de solo, no local em estudo, apresenta como característica ser arenoso, propiciando assim maior infiltração.

Na bacia Rancho do Amaral e Rincão do Soturno ocorrem outros tipos de uso e ocupação do solo e declividade, conforme o mapa apresentado na Figura 3 e Tabela 4, evidenciando a diferenciação da produção de sedimentos entre as três escalas analisadas.

A maior produção de sedimentos por milímetro de solo/milímetro de chuva na bacia Rincão do Soturno pode ser explicada devido a alguns fatores como a degradação da bacia, sua declividade, uso e ocupação do solo e tipo de solo. A bacia Rincão do Soturno apresenta maior deterioração, principalmente na sua parte incremental, e em suas áreas no entorno da rede de drenagem.

Analisa-se as bacias em estudo com uma ressalva, pois em virtude da bacia Rancho do Amaral ser embutida na bacia Rincão do Soturno, a bacia Rancho do Amaral apresenta melhor conservação de suas áreas nativas, principalmente no entorno da rede de drenagem. Também a declividade da bacia menor é constituinte da bacia maior e determinante em seus fenômenos hidrológicos, como a produção de sedimento. Mesmo tendo a bacia Rancho do

Amaral maior declividade (0,073m/m) que a bacia Rincão do Soturno (0,066m/m) a primeira apresenta menor produção de sedimentos pois em suas cotas mais altas ocorre a presença de áreas mais suaves, conforme Tabela 2.

Brandão *et al.* (2009) cita que os solos de textura grossa (arenosos) possuem, em geral, maior quantidade de macroporos do que os de textura fina (argilosos), apresentando maiores condutividade hidráulica e taxas de infiltração. Explicando a produção de sedimentos quanto ao tipo de solo nas bacias, pois os solos constituintes na bacia Rincão do Soturno apresentam maiores percentagens de partículas finas (Silt).

A rede viária (estradas vicinais) desempenha um papel significativo na erosão na escala das bacias hidrográficas (CAO *et al.*, 2009). Nas áreas em estudo pode-se atribuir ao fato da rede viária ser um fator determinante na maior produção de sedimentos na bacia Rincão do Soturno, em relação a sua bacia embutida.

Para a comparação fidedigna das escalas em estudo vale ressaltar a dificuldade de obter informações (eventos) que possam ser comparadas de forma igual, pois nem sempre consegue-se coletar os mesmos eventos em diferentes bacias e até mesmo monitorar diversas bacias, pois o custo, tanto pessoal quanto de equipamento, torna-se elevado.

Comparando os resultados encontrados neste trabalho com os resultados encontrado por Depiné *et al.* (2011), que analisou o transporte de sedimentos em suspensão em áreas agrícolas em diferentes escalas espaciais, 1 m² (lisímetro) a 29,89 km² (3 seções fluviométricas). Observou-se que os valores encontrados no lisímetro foram menores do que nos outros três pontos monitorados. Encontrando a mesma tendência de valores que este trabalho.

CONCLUSÕES

Na escala espacial as variabilidades dos fenômenos nos processos hidrológicos ocorrem conforme a sua escala de abrangência, havendo a ocorrência destes desde a partícula do solo, microescala, passando pela mesoescala, bacias hidrográficas, até a macroescala, regiões hidrográficas. Este trabalho se restringe aos processos sedimentológicos na microescala e mesoescala espacial e na escala temporal de

minutos. Com os dados obtidos pode-se concluir que:

1. Na escala temporal de 10, 30, 60, 120, 240 e 1440 minutos conclui-se que as percentagens de erros de leitura em relação a leitura de 10 minutos é ocasionada principalmente pelo tempo de concentração das bacias Rancho do Amaral (110 minutos) e Rincão do Soturno (140 minutos), quanto menor o tempo de concentração menor deve ser a amplitude de leituras. Conclui-se que as leituras com menores intervalos conseguem mensurar com maior fidedignidade os eventos no decorrer de todo o evento.
2. Para a escala espacial constatou-se neste trabalho que a produção de sedimentos, em milímetro de solo erodido por milímetro de chuva específica, foi maior na bacia Rincão do Soturno, seguido pela bacia Rancho do Amaral e no lisímetro. Esta constatação evidencia que a produção de sedimentos é regida preponderantemente pelo uso e ocupação do solo e as precipitações efetivas ocorridas na bacia.

Comparando as bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno com outras bacias hidrográficas da região, apresentadas na Tabela 1, constata-se que a urbanização é fator preponderante para o acréscimo da produção de sedimentos, além de outros fatores existentes em bacias rurais, precipitações efetivas, uso e ocupação do solo, tipo de solo e sua declividade, entre outras.

Uma questão preponderante que se deve ressaltar é que o monitoramento hidrológico de bacias hidrográficas é uma atividade onerosa, tanto em materiais e equipamentos quanto em pessoal qualificado. Sendo, portanto, difícil monitorar eventos que ocorram simultaneamente em diversas bacias. Assim sendo, os eventos avaliados neste trabalho muitas vezes não foram coletados na mesma data, em virtude das mesmas dificuldades citadas acima. No entanto, mesmo se utilizássemos os mesmos eventos, certamente a precipitação não seria idêntica nas bacias devido a distribuição espacial da chuva. Contudo, mesmo analisando-se eventos coletados em diferentes datas, salienta-se a importância dos resultados obtidos para o aprimoramento do conhecimento sobre a produção de sedimentos em diferentes escalas espaço temporais no bioma Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19.Ed. Washington, 1995.
- AZOLIN, M. A. D.; MUTTI, L. S. M. *Solos da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim*. Relatório Técnico, Porto Alegre: 1988. 20p. (Não publicado).
- BELLINASO, T. B.; PAIVA, J. B. D. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi-urbana de encosta. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n.4, , p.169-181, out/dez. 2007.
- BRANCO, N. ; PAIVA, J. B. D. ; PAIVA, E. M. C. D. Avaliação preliminar da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do arroio Vacacai Mirim, em Santa Maria, RS, a partir de dados medidos. In: *III ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS*, 1998, BELO HORIZONTE-MG. ANAIS, 1998. p. 58-64.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. *Infiltração da água no solo*, Viçosa: Ed. UFV, 2006. 120p.
- CARVALHO, K. S.; PARANHOS, R. M.; PAIVA, J.B.D. Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria, RS. In: *XXI CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA*, São Paulo, 2004.
- CARVALHO, N. O.; JÚNIOR, N. P. F.; SANTOS, M. C. S.; LIMA, J. E. F. W. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. 2ª edição revisada, atualizada e ampliada, Rio de Janeiro: Interciêncie, 2008. 599 p.
- CAO, L.; ZHANG, K.; ZHANG, W. Detachment of road surface soil by flowing water. *Catena*. v.76, n. 2, p.155-162, 2009.
- CESP. Ensaios Sedimentométricos, Roteiro passo a passo. In: ENCONTRO NACIONAL DE SEDIMENTOS, 8. CAMPO GRANDE. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de recursos Hídricos, 2008.
- DEPINÉ, H.; PINHEIRO, A.; AGUIDA, L. M. ; KAUFMANN,V.; SILVA, M. R. da. Avaliação da concentração de sedimentos em suspensão em diferentes escalas espaciais. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS; 2009, Campo Grande. MS Anais: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.
- DEPINÉ, H.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SILVA, M.R da; Transporte de Sedimentos em Suspensão em Áreas Agrícolas em Diferentes Escalas Espaciais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* v. 16, n.1, p.97-104, jan/mar. 2011.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação dos solos*. Brasília: EMBRAPA, 2005. 412 p.
- FAO. *Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements*. Roma: FAO, 1990. (Irrigation and Drainage).
- FELTRIN, R. M.; PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. ; BELING, F. A. *Lysimeter soil water balance evaluation for an experiment developed in the Southern Brazilian Atlantic Forest region*. *Hydrological Processes*, 2011.
- GOMES, A. P. ; PAIVA, E. M. C. D. . Acumulação e Transporte de Sedimentos na Microdrenagem: Monitoramento e Modelagem. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 1-10, 2010.
- GRIMALDI, C. "Hydrochimie de petits bassins versants: Apports à La connaissance du fonctionnement géochimique du sol et de la qualité de l'eau des cours d'eau ". *Mémoire HDR. UMR INRA-Agrocampus Sol Agronomie Spatialisation*, Rennes. 2004, 80 p.
- ISAIA, T. *Planejamento de uso da terra para o município de Santa Maria-RS, através do diagnóstico físico conservacionista das microbacias hidrográficas*. Santa Maria, 1992. 60 p.
- KANDEL, D. D. ; WESTERN, A. W.; GRAYSON, R. B. ; TURRAL, H. N. *Process parameterization and temporal scaling in surface runoff and erosion modeling*. *Hydrological Processes*, v. 18, p. 1423–1446, 2004.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICERT, J. M.; CLARKE, R. T. Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. *Hydrological Processes*, v. 22, p. 1819–1830, 2008.

- MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. "Escalas Hidrológicas I: Conceitos". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n.2, p. 21-44, 1997.
- NAVRATIL, O.; ESTEVES, M.; LEGOUT, C.; GRATIOT, N.; NEMERY, J.; WILLMORE, S.; GRANGEON, T. Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. *Journal of Hydrology*, v. 398, p.246-259, 2011.
- OLIVEIRA, N. T.; CASTRO, N. M. R.; GOLDEN-FUM, J. A. Influência da Palha no Balanço Hídrico em Lisímetros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n.2, p. 93-103, abr/jun. 2010.
- OMAR, B. S. J.; TUCCI, C. E. M; CASTRO, N. M. R.; GONDEL FUN, J. A.; Efeito do solo nos eventos de cheia em micro e meso escalas: Bacia do potiribú. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 9, n.1, p.153-167, Jan/Mar. 2004.
- PAIVA, E. M. C. D. ; COSTAS, M. F. T. Produção de sedimento em bacia urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 5, 2002, São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, p. 423-432, 2002.
- PARANHOS, R. M.; PAIVA. J. B. D. Avaliação de metodologia de estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n.1 p. 7-18, jan/mar. 2008.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER. N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.2, p.115-123, 2010.
- STRASSER, U.; MAUSER, W. Modelling the spatial and temporal variations of the water balance for the Weser catchment 1965–1994. *Journal of Hydrology*, v. 254, p. 199–214, 2001.
- SUN, H.; CORNISH. P. S.; DANIELL, T. M. Turbidity-based erosion estimation in a catchment in South Australia. *Journal of Hydrology*, v. 253, p. 227-238, 2001.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revi- são. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n.1, p. 135-152, jan/jun. 1997.
- TUCCI, C. E. M. (organizador). *Hidrologia/ Ciência e Aplicação* , 2º ed , 2ºreimpr. Porto Alegre: Universidade / UFRGS/ ABRH, 2001. 943 p.
- TUCCI, C.E.M; MENDES, C. A. Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, 2006. 319p.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook*, Washington, U.S.D.A. Departament of Agriculture, n. 537, 1978.
- YANG, C. T. *Sediment Transport, Theory and Practice*, New York: Ed. Krieger, 1996, 396p.
- Sediment Yield in a Lysimeter and Two Small Basins of the Atlantic Forest Biome at Different Space and Time Scales**
- ABSTRACT**
- The present research aims to evaluate the hydrosedimentological processes of two small basins in the Vacacaí Mirim River watershed - Rancho do Amaral (4.45km²) and Rincão do Soturno (11.98Km²) and in a volumetric lysimeter (1m³) - in the Atlantic Forest biome area in Santa Maria (RS, Brazil), by monitoring sediment production at different space and time scales. The variables selected for this study were monitored during the year of 2009. The precipitation was monitored with two electronic rain gauges, and the water levels established employing two electronic linigraphs. The measurements carried out comprised solid and liquid discharges at each measuring station installed. Samples of suspended sediments were collected using a conventional sampler and automatic point samplers. The sediment yield values found for the three sites monitored were: 1.7 .10⁻⁴mm(soil)/mm(effective rainfall) in the lysimeter; 2.6 .10⁻⁴mm/mm in Rancho do Amaral basin; and 3.0 .10⁻⁴mm/mm in Rincão do Soturno basin. According to these results, in each basin, human use and occupation of the area were the prevailing factor for sediment yield, besides effective rainfall.*
- Key-words:** monitoring, sediment yield, Brazilian Atlantic Forest, human use and occupation of land, space and time scales, hydrosedimentological.