

XXI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL, OUTUBRO, 2004.

**LIMITAÇÕES AO USO DA RELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ E  
CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO EM DUAS PEQUENAS  
BACIAS EM SANTA MARIA, RS.**

**Kerllen Saldanha de Carvalho**

[kerllen.saldanha@bol.com.br](mailto:kerllen.saldanha@bol.com.br)

**Raquel Maldaner Paranhos**

[rapmp@terra.com.br](mailto:rapmp@terra.com.br)

**João Batista Dias de Paiva**

[paiva@ct.ufsm.br](mailto:paiva@ct.ufsm.br)

Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Centro de Tecnologia  
Universidade Federal de Santa Maria  
97105-900 – Santa Maria – RS - Brasil

**RESUMO** - Este trabalho apresenta relações entre a concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez, em duas pequenas subbacias da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, em Santa Maria RS, situadas entre as longitudes 53°42'19" e 53°49'57" oeste e as latitudes 29°36'16" e 29°43'41" sul, com área de drenagem de 5,03 e 1,36 Km<sup>2</sup> respectivamente. Os dados de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão foram obtidos de amostragens superficiais, feitas com amostrador de sedimentos em suspensão de nível ascendente (ANA), (US-U-59), conforme esquema proposto por Umezawa (1979). Foram obtidas boas correlações entre a concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez para valores de turbidez menores que 527 NTU e que 505 NTU para as bacias com área de drenagem de 5,03 e 1,36 Km<sup>2</sup>, respectivamente. Os teores de areia foram de 51,8% e 47,5% respectivamente para as amostras coletadas nas bacias de 5,03 e 1,36 Km<sup>2</sup>, respectivamente.

**ABSTRACT** - This work presents relations between the concentration of sediments in suspension and the turbidity, in two small sub-basin of Vacacaí-Mirim River Basin, in Santa Maria Rs, situated between the longitude 53°42'19" and 53°49'57" west and the latitudes 29°36'16" and 29°43'41" south, with area of draining of 5.03 and 1.36 Km<sup>2</sup> respectively. The data of turbidity and concentration of sediments in suspension were obtained from superficial samplings, made with sampler of sediments in suspension of ascending level (ANA), (US-U-59), as project proposed by for Umezawa (1979). Good correlations between the concentration of sediments in suspension and the turbidity were obtained for values of turbidity smaller than 527 NTU and 505 NTU for the basins with area of draining of 5.03 and 1.36 Km<sup>2</sup>, respectively. The observed sand percentages were 51,8% and 47,5% respectively for the samples collected in basins of the 5.03 and 1.36 Km<sup>2</sup>, respectively.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sedimentos em suspensão; Turbidez

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Segundo Walling & Costa, *apud* Corso (1989, p.4) “em locais onde o programa de amostragem é insuficiente para definir um registro contínuo da quantidade de sedimentos, medidas de turbidez poderão ser empregadas para proporcionar dados contínuos de concentração de sedimentos em suspensão, para o cálculo de sedimentos transportados.”

Conforme Coiado (2001), a avaliação da turbidez do escoamento é um dos métodos indiretos para a determinação da vazão sólida em suspensão. O turbidímetro faz a determinação quantitativa da turbidez, supondo possível estabelecer uma correlação entre a intensidade luminosa registrada pela célula e a concentração do material em suspensão.

Walling (1977), com base em suas experiências no rio Creedy, Inglaterra, afirma que bons resultados podem ser obtidos se o instrumento de determinação da turbidez for calibrado para uma situação particular, com relativa homogeneidade no tipo de rocha e uma predominância de silte e argila no tamanho das partículas carregadas.

Geraldes (1984), estudando as relações entre absorção de luz por partículas suspensas e a concentração destas partículas, em várias classes granulométricas, observou que a sensibilidade do turbidímetro diminui com o aumento do tamanho das partículas. Conclui que a turbidez, como forma de avaliar a concentração de partículas em suspensão, deve ser utilizada em cursos d'água que possuam predominância de partículas do tamanho de silte e argila em suspensão.

Corso (1989) informa que “pelo que indica a literatura, é de se esperar uma melhor correlação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão do que entre a descarga líquida e a concentração de sedimento em suspensão. A turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão respondem de maneira similar a muitos fatores que não estão diretamente relacionados à descarga líquida” (p.6).

Segundo Corso, (1989, p.6), “efeitos sazonais, defasagem entre pico de concentração e pico de vazão, lançamento de sedimentos na água devido ao movimento de terra próximo às margens são os fatores considerados como responsáveis pela baixa correlação entre vazão e descarga de sedimentos”.

Di Bernardo (1993), coloca que, em se tratando da escolha da tecnologia de tratamento de água, as características físicas, como a turbidez, podem ser determinantes. Como somente a medida da turbidez da água pode levar à interpretações errôneas, principalmente se a água for de diferentes mananciais, tem sido feitas muitas tentativas no sentido de se relacionar turbidez com sólidos suspensos.

DI Bernardo 1993, apresenta relações entre a turbidez da água decantada e filtrada e o teor de sólidos suspensos, sendo que, a turbidez foi pouco alterada, porém, o número de partículas e o seu tamanho mudaram consideravelmente, razão pela qual é difícil comparar águas de diferentes mananciais, se a turbidez for usada como referência.

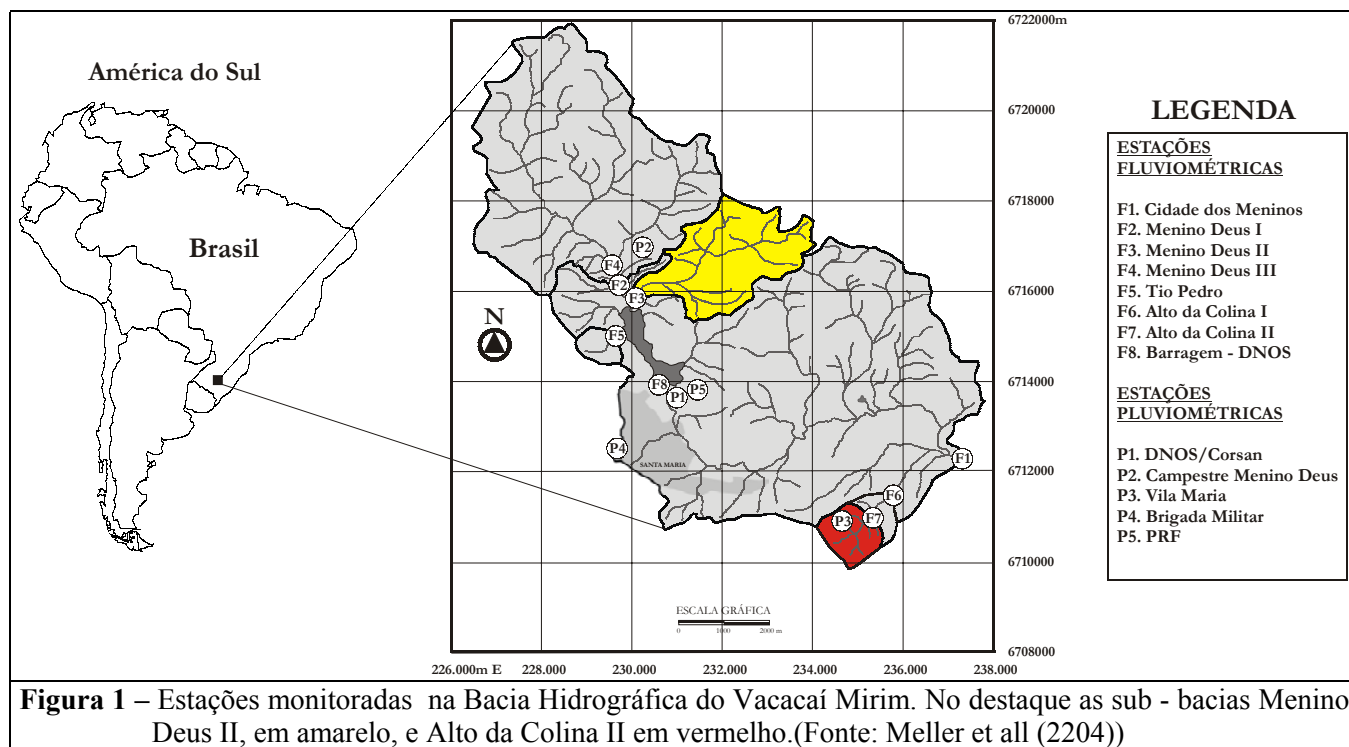
Este trabalho apresenta uma análise dos dados de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, em duas sub bacias da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim, em Santa Maria. Foi realizado com o objetivo de encontrar uma relação entre estas variáveis. As sub bacias estudadas foram as monitoradas pelas estações fluviométricas Menino Deus II e Alto da Colina II, estações F3 e F7, apresentadas na Figura 1. A estação Menino Deus II localiza-se a montante da barragem do Vacacaí Mirim e a estação Alto da Colina II localiza-se a jusante da mesma barragem e monitoram áreas de 5,03 e 1,36 Km<sup>2</sup>.

## Material e métodos

Os dados de turbidêz e concentração de sedimentos em suspensão foram obtidos de amostragens superficiais, feitas com amostrador de sedimentos em suspensão de nível ascendente (ANA), (US-U-59), conforme esquema proposto por Umezawa (1979).

Os amostradores ANA foram localizado na margem esquerda dos córregos, nas duas estações, coletando as amostras de água e sedimento quando da subida da onda de cheia, figuras 2 e 3 . Para a estação Menino Deus II o período analisado foi agosto de 2001 a junho de 2002 e para a estação Alto da Colina II o período foi de junho de 2001 a maio de 2002.

Foram utilizados os dados médios de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, para as diferentes cotas, amostradas por um amostrador de nível ascendente (ANA). Obteve-se uma boa relação entre estas duas variáveis, em ambas as bacias estudadas conforme Tabelas 1 e 2 e Figuras 2 e 3



**FIGURA 02** - Amostrador de nível ascendente ANA instalado na estação Menino Deus II.



**FIGURA 03** - Amostrador de nível ascendente ANA instalado na estação Alto da Colina II.

## Resultados obtidos

A tabela 1 apresenta os dados médios de turbidez e concentração de sedimentos em cada cota amostrada pelos amostradores e as equações que representam essas médias. Nesse caso obteve-se um bom ajuste dos dados de turbidez em função da concentração. No caso da estação Menino Deus II, foram usados 78 valores e no caso do alto da colina II 92. OS coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos foram 84,34 e 89,62% respectivamente. As figuras 4 e 5 ilustram os resultados.

**Tabela 1** – Dados médios de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, utilizados na construção da relação entre estas duas variáveis.

Estação Menino Deus II					Estação Alto da Colina II				
H (m)	T med Ntu	CS med Mg/l	Equação	Nº de pontos	H m	T med Ntu	CS med mg/l	Equação	Nº de pontos
0,37	248	648	$T = 142,8 e^{0,0053CS}$  $R^2 = 0,8434$	78	0,18	248	254	$T = 94,129e^{0,0046CS}$  $R^2 = 0,8962$	92
0,47	371	873			0,20	397	906		
0,57	476	1100			0,33	369	486		
0,67	512	2191			0,35	534	1135		
0,77	545	3276			0,48	266	314		
0,87	548	2408			0,50	546	1511		
1,07	551	3303			0,63	257	280		
					0,65	598	1591		
					0,78	277	373		
					0,80	553	1112		
					0,93	325	455		
					0,95	467	738		
					1,08	419	567		
					1,10	513	813		
					1,25	480	700		
					1,40	522	768		

Também se conseguiu bons resultados da relação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, na maioria das cotas amostradas pelo ANA, em ambas as estações, conforme pode ser conferido pela Tabela 2 e Figuras 5 e 6.

As figuras 6 e 7 apresentam os conjuntos de dados individuais de concentração e turbidez, observados nas amostras coletadas nas duas estações. Observa-se que a partir de um determinado valor de concentração de sedimentos, o valor de turbidez torna-se praticamente constante. Na estação Menino Deus II, este valor da concentração de sedimentos para o qual a turbidez torna-se praticamente constante está próximo de 950 mg/l, conforme Figura 6, e na estação Alto da Colina II este valor está próximo de 940 mg/l.

Diante da constatação anterior, os dados foram organizados em ordem crescente de concentração de sedimentos em suspensão para possibilitar uma melhor observação desta tendência. (Tabela 3)

Observa-se na estação Menino Deus II que em concentrações bastante elevadas como 6841 mg/l, o valor de turbidez foi de 514 Ntu, sendo este menor que 553 Ntu observado para a concentração de 952 mg/l. Em outras palavras, obteve-se um valor médio de turbidez de 554 Ntu para uma ampla faixa de valores de concentração de sedimentos em suspensão que foi desde 952 mg/l até 6841 mg/l, conforme pode ser observado na tabela Tabela 3.

Na estação Alto da Colina II em uma amostra onde a concentração de sedimento foi de 3177 mg/l, obteve-se um valor de turbidez de 617 Ntu, praticamente igual ao valor de turbidez de 616 Ntu correspondente à concentração de sedimentos de 940 mg/l. Conforme se pode observar na Tabela 3, em uma ampla faixa de variação de concentração de sedimento em suspensão que foi desde 940 mg/l até 3177 mg/l o valor médio de turbidez foi de 591 Ntu.

**Tabela 2** –Relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão para as estações analisadas em cada cota amostrada pelo ANA.

Estação Menino Deus II				Estação Alto da Colina II			
H (m)	R <sup>2</sup>	Nº de pontos	Equação	H (m)	R <sup>2</sup>	Nº de pontos	Equação
0,37	0,86	15	CS = 62,842 e <sup>0,0048T</sup>	0,18	0,96	5	CS = 452,8LnT-2175,9
0,47	0,75	22	CS = 35,442e <sup>0,7147</sup>	0,20	0,68	12	CS = 0,5033T <sup>1,2377</sup>
0,57	0,90	14	CS = 0,0253T <sup>1,7147</sup>	0,33	0,87	5	CS = 2,0965T-287,46
0,67	0,83	10	CS = 0,0008T <sup>2,3778</sup>	0,35	0,85	10	CS = 0,0093T <sup>1,8568</sup>
0,77	0,57	8	CS = -44799LnT+285510	0,48	0,82	5	CS = 51,55e <sup>0,0065T</sup>
0,87	0,39	8	CS = 6,7249e <sup>0,0105T</sup>	0,50	0,79	11	CS = 0,001T <sup>2,2486</sup>
				0,63	0,74	5	CS = 2,1378T-269,68
				0,65	0,46	7	CS = 40,609e <sup>0,006T</sup>
				0,78	0,99	5	CS = 1,9387T-164,91
				0,80	0,95	5	CS = 95,816e <sup>0,0043T</sup>
				0,93	0,90	3	CS = 2,0097T-197,89
				0,95	0,99	5	CS = 0,1239T <sup>1,4095</sup>
				1,08	1,00	2	CS = 1,7972T-185,98
				1,10	0,95	5	CS = 95,054e <sup>0,0039T</sup>
				1,25	0,93	4	CS = 142,19e <sup>0,0031T</sup>
				1,40	0,89	3	CS = 110,39e <sup>0,0035T</sup>

**Tabela – 3:** Valores de concentração de sedimentos em suspensão, turbidez e cota nas estações estudadas, organizados em ordem crescente de concentração de sedimento em suspensão:

Estação Menino Deus II						Estação Alto da Colina II					
CS Mg/l	T Ntu	Cota m	CS mg/l	T Ntu	Cota m	CS mg/l	Turb Ntu	Cota m	CS mg/l	Turb Ntu	Cota m
952	553	0,57	2289	545	0,67	940	616	1,10	1349	616	0,20
960	518	0,47	2510	556	0,77	1013	501	0,35	1409	616	0,50
1028	522	0,87	2569	615	0,87	1044	604	0,95	1419	617	0,50
1091	555	0,57	2630	547	0,87	1068	439	0,20	1498	607	0,65
1137	556	0,57	2707	552	0,77	1113	619	0,65	1516	615	0,80
1294	615	0,47	2726	615	0,67	1116	618	0,35	1527	617	0,35
1340	556	0,57	2785	546	0,77	1119	527	0,35	1694	517	0,50
1361	555	0,57	3035	529	0,77	1132	617	1,25	1754	615	0,50
1480	556	0,77	3199	545	0,87	1147	618	0,35	1767	317	0,20
1512	532	0,57	3264	554	0,47	1156	614	1,40	1880	611	0,50
1513	546	1,07	3394	553	0,87	1200	609	0,20	1933	615	0,65
1602	553	0,67	3740	545	0,47	1233	615	0,65	1974	615	0,20
1614	616	0,57	3801	550	0,87	1267	603	0,35	2008	617	0,50
1659	547	0,57	4208	542	0,47	1300	600	0,50	2014	618	0,65
1820	556	0,57	4300	555	0,67	1306	616	0,80	2147	616	0,35
1827	556	0,67	4331	555	0,67	1322	613	1,10	2519	617	0,65
1840	552	0,87	4695	553	0,77	1335	610	0,80	3177	617	0,50
1876	551	0,67	5093	556	1,07				*	591	*
2009	556	0,97	6057	541	0,37						
2112	539	0,67	6841	514	0,77						
2151	553	0,77	*	554	*						

Com base nestes resultados limitou-se o uso da relação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, visando a segurança dos resultados obtidos. Foi então estabelecida uma nova equação para cada sub bacia. Para a estação Menino Deus II obteve-se a Equação (1) para valores de turbidez menores que 527 Ntu (Figura 8).

$$CS = 0,046 T^{1,53} \dots\dots\dots R^2 = 0,765 \dots\dots\dots (1)$$

Para a estação Alto da Colina II obteve-se a equação Equação (2) para valores de turbidez menores que 505 Ntu (Figura 9):

$$CS = 0,0624 T^{1,5295} \dots\dots\dots R^2 = 0,73 \dots\dots\dots (2)$$

Em se tratando de turbidez, cada manancial representa uma situação específica, pois o tamanho, forma e refletividade das partículas em suspensão são propriedades ópticas importante que influenciam nas leituras turbidimétricas. Costa, *apud* Corso 1989.

Vários autores afirmam que medidas de turbidez para avaliar a concentração de sedimentos em suspensão podem ter um bom resultado quando há predominância de silte e argila no tamanho das partículas carregadas em suspensão, Walling, Costa e Gerales *apud* Corso 1989.

Os resultados da análise granulométrica do material em suspensão, em ambas as sub bacias, através do método do tubo de retirada pelo fundo, descrito em Carvalho(1984), são descritos na Tabela 4:

**Tabela 4–** Granulometria do material em suspensão, através do método do tubo de retirada pelo fundo:

Sub bacia	Areia	Silte	Argila
Estação Menino Deus II	51,8 %	45,2 %	3 %
Estação Alto da Colina II	47,5 %	52 %	0,5 %

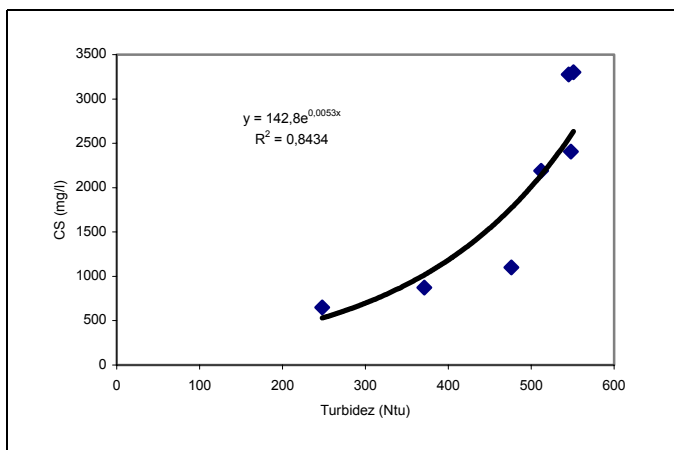
Como se pode observar, apesar da percentagem de silte presente no material em suspensão ser relativamente alta, ela está muito próxima a percentagem de areia, e ambas muito superiores a percentagem de argila, nas duas sub bacias. Esse resultado indica que a presença de uma maior percentagem de areia, no material em suspensão, prejudicou a sensibilidade do turbidímetro.

A sub bacia estação Menino Deus II apresenta, segundo levantamento feito por Azolin e Mutti (1988), os tipos de solo apresentados no quadro I, classificados pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Streck et al (2002)):

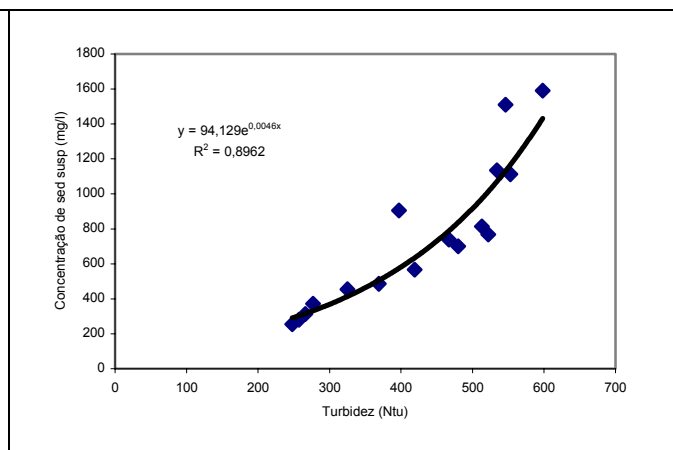
**Quadro I.** Solos da sub-bacia Menino Deus II.

Tipo de Solo	% da Área	%Silt e	%Arei a	%Argil a
Re-C-Co: Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico - Cambissolo–Colúvios	9,54	15	60	25
Re 4: Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico	74,85	7	81	12
TBa-Rd: associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico alissolico e Neossolo Litólico Eutrófico	14,71	18	52	30
C1: associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico alissolico e Neossolo Litólico Eutrófico.	0,9	18	52	30

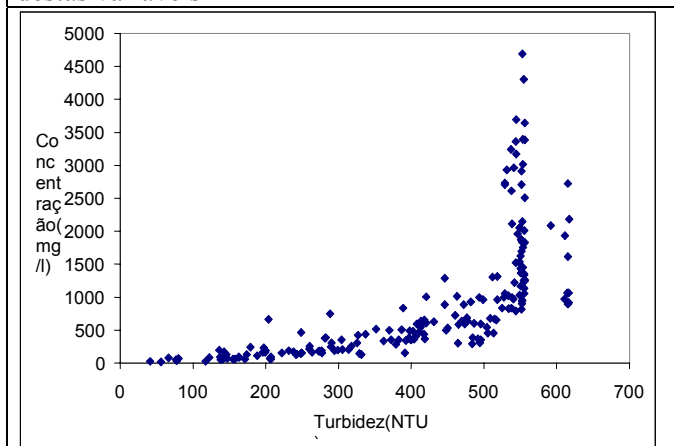
A sub bacia estação Alto da Colina II apresentou em toda a sua área o solo Podzólico Bruno Acinzentado Álico, que tem em sua composição granulométrica.35 % de areia muito fina, 43% silte e 11 % de argila.



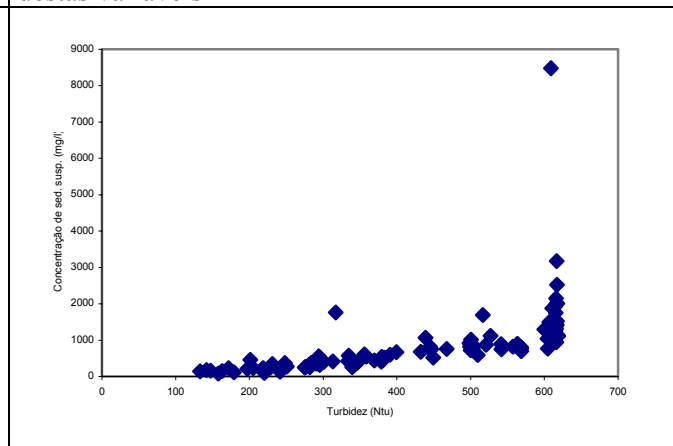
**Figura 4** – Curva de relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão para a estação Menino Deus II, usando os valores médios destas variáveis



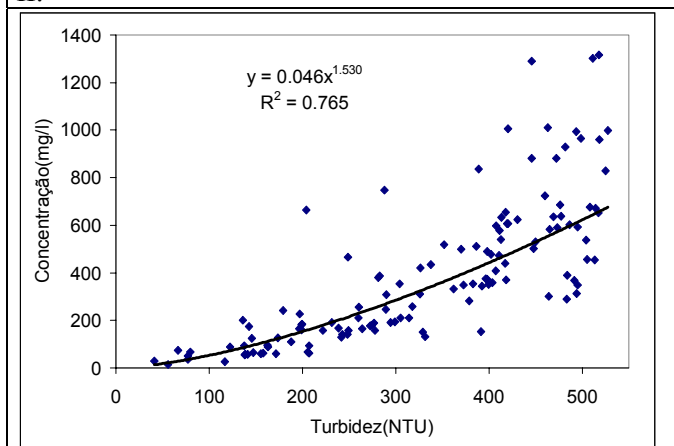
**Figura 5** – Curva de relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão para a estação Alto da Colina II, usando os valores médios destas variáveis



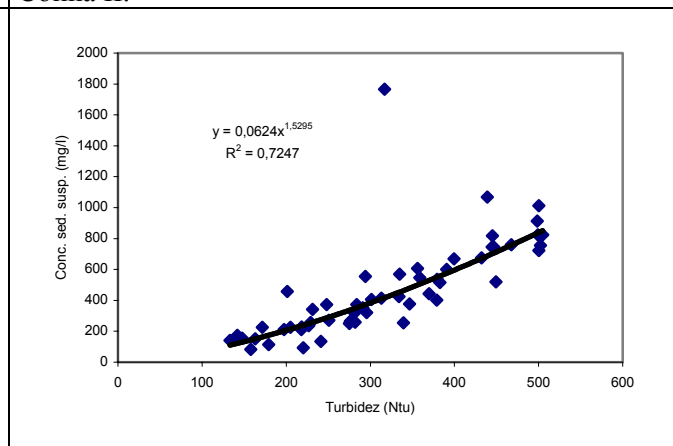
**Figura 6** – Relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, para a estação Menino Deus II.



**Figura 7** – Relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, para a estação Alto da Colina II.



**Figura 8** – Variação da concentração de sedimentos em função da turbidez para turbidez menor que 527 NTU, na estação Menino Deus II



**Figura 9** – Variação da concentração com a turbidez para valores de turbidez menores que 505 Ntu, para a estação Alto da Colina II

## CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta relações entre a concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez, em duas pequenas subbacias da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, em Santa Maria RS, situadas entre as longitudes 53°42'19" e 53°49'57" oeste e as latitudes 29°36'16" e 29°43'41" sul, com área de drenagem de 5,03 e 1,36 Km<sup>2</sup> respectivamente. Os dados de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão foram obtidos de amostragens superficiais, feitas com amostrador de sedimentos em suspensão de nível ascendente (ANA), (US-U-59), conforme esquema proposto por Umezawa (1979).

Os resultados permitem concluir que, para as duas sub-bacias estudadas, com teores de areia no material em suspensão na material em suspensão de 51,8% e 47,5% respectivamente:

- a presença de maior percentagem de areia na composição do material em suspensão prejudica a sensibilidade do turbidímetro, confirmando a afirmação de diversos autores;
- é bastante limitado o uso da relação turbidez versus concentração de sedimento em suspensão, para as sub-bacias das estações Menino Deus II e Alto da Colina II, devido a não confiabilidade dos resultados encontrados a partir do valor de turbidez de 527 Ntu e 505 Ntu, respectivamente.

## BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio** : NBR 7181. Rio de Janeiro, Dez. 1984. 13p.
- AZOLIN, M. A. D; MUTTI, L. S. M. Relatório Técnico: **Solos da bacia hidrográfica do Vacacaí – Mirim**. Porto Alegre: Acordo DNOS – UFSM, 1987-1988, 20f.,p.1-20 “não paginado”. (Não publicado).
- BASSI, L. **Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Lajeado São José, Chapecó, SC**. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro : CPRM, 1994. 372 p.il.
- COIADO, E. M. **Uso do amostrador fixo programável na determinação da concentração dos sedimentos transportados em suspensão no Rio Atibaia/SP**. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS E V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2001, Aracaju. Anais Gestão dos recursos hídricos: o desafio da prática. Aracaju: ABRH, 2001. Cd.
- CORSO, J. **Estimativa da produção de de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Itaquarinchim, Santo Ângelo, RS, a partir de medições de turbidez da água**. 81f. Dissertação.(Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro : ABES, 1993. cap2, p.6-47.
- GERALDES, S.R. **Medidas de concentração de partículas suspensas por meio de absorção da luz**. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 1984.
- NÚÑEZ, M. V. J. **Perdas de solos e nutrientes na bacia hidrográfica do Arroio Grande, Santa Maria, RS**. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : EMATER/RS, UFRGS, 2002. 107p.
- UMEZAWA, P. K., **Previsão de deplúvio (Washload) em rios de áreas elevadas**. 232f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.
- WALLING, D. E. **Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin**. In : Water Resources Research, 13.,Junho., 1977. Inglaterra, p.531 – 538.