

## **CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VACACAÍ MIRIM, COM BASE EM DADOS MEDIDOS DE VAZÃO E SEDIMENTOS.**

*João Batista Dias de Paiva<sup>1\*</sup>; Alessandro Ávila Noal<sup>2</sup>; Cristiano Bredow Alves<sup>2</sup>;  
Alencar Simão Rizzardi<sup>2</sup>; Cristiana Aparecida Schons<sup>3</sup>; Gabriela Cechin<sup>3</sup>; Juliano Libraga<sup>3</sup>*

**Resumo** – Ao longo dos anos, a sedimentologia vem tornando-se fundamental uma vez que os sedimentos são prejudiciais para os recursos hídricos, causando assoreamento de reservatórios, mudança da seção de rios, dentre outros fatores. Com isso, os dados provenientes dos levantamentos de campo tornam-se importantes para a gestão destes recursos, por fornecer e diagnosticar a área em estudo, como também por prover estimativas de descarga sólida através de modelos para suprir lacunas quando da escassez de informações. Deste modo, fez-se necessário o desenvolvimento de um trabalho experimental a fim de avaliar a descarga sólida na bacia do rio Vacacaí Mirim, a partir de dados de vazões líquidas e sólidas. Os resultados desta avaliação demonstraram que a produção de sedimentos, obtida pela curva de permanência de descargas sólidas, para o período de 2007 a 2010, foi equivalente a 0,09 mm/ano. A mesma produção foi observada para o período de 2006 a 2010, utilizando-se a curva de permanência de vazões.

**Palavras-Chave** – Curva-chave; vazão; descarga sólida.

### **HYDRO SEDIMENTMETRIC CHARACTERIZATION OF THE VACACAÍ MIRIM RIVER BASIN BASED ON MEASURED FLOW AND SEDIMENT DATA.**

**Abstract** – Over the years, the sedimentology has become crucial because of sediments are harmful to water resources, causing siltation in reservoirs, changing in rivers section, among other factors. Thus, data from field surveys are important to the management of these resources, once that supply and diagnose the study area, as well as provide estimations of sediment discharge through models to fill gaps when there is a lack of information. Thereby, it was necessary to develop an experimental study to assess the solid discharge in the Vacacaí Mirim river basin, from flow liquid and solid data. The results of this evaluation showed that sediment output obtained by the solid discharge permanence curve from 2007 to 2010 was equivalent to 0.09 mm / year, as well, the same output was observed from 2006 to 2010, using the flow permanence curve.

**Keywords** – Curve key; discharge; solid discharge.

## **INTRODUÇÃO**

Ao longo dos anos, a sedimentologia vem tornando-se fundamental devido ao fato dos sedimentos

<sup>1\*</sup>Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSM, jbdpaiva@gmail.com

<sup>2</sup> Mestrandos do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – UFSM, alessandroal@gmail.com; alencarrizzardi@hotmail.com

<sup>3</sup> Graduandos em Engenharia Civil – UFSM,

serem prejudiciais a projetos e operações de obras hidráulicas, bem como a conservação do solo e dos recursos hídricos, buscando assim soluções para problemas como assoreamento de reservatórios, mudança da seção de rios, diminuição da qualidade da água, dentre outros fatores citados por Carvalho (2008). Assim sendo, os dados provenientes dos levantamentos de campo são importantes para a gestão dos recursos hídricos, por fornecerem o diagnóstico da área em estudo e por prover estimativas através de modelos para suprir lacunas quando da escassez de informações.

Deste modo, fez-se necessário o desenvolvimento de um trabalho experimental a fim de avaliar a descarga sólida na bacia do rio Vacacaí Mirim, a partir de dados de vazões líquidas e sólidas. Buscando assim, a produção de sedimentos na bacia a partir da curva de permanência de descargas sólidas para o período considerado.

## METODOLOGIA

As medições foram realizadas na estação fluviométrica de Restinga Seca (código 85438000) sob responsabilidade da ANA e operada da CPRM. A bacia do Vacacaí-Mirim até esta seção transversal abrange uma área de drenagem de 914 km<sup>2</sup>. A seção localiza-se sob as coordenadas -29°48'03" S e -53°22'7" W conforme a Figura 1.

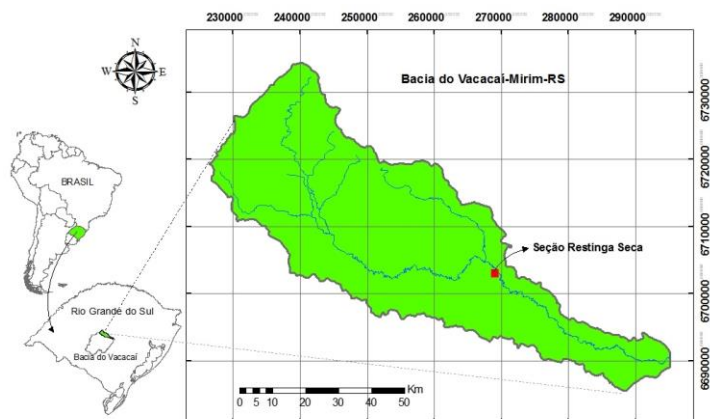


Figura 1 – Localização da Estação Fluviométrica de Restinga Seca.

A vazão foi obtida através da medição de velocidade do escoamento ao longo da seção transversal utilizando molinetes hidrométricos. Para as coletas de sedimentos em suspensão visaram a determinação da concentração dos sedimentos em suspensão. As amostragens de sedimentos em suspensão foram realizadas com auxílio do amostrador de sedimentos USDH- 48, com o objetivo de coletar amostras integradas na profundidade durante as medições de descargas líquidas pelo método de igual incremento de largura, conforme descrito por Carvalho (2008). Já para a caracterização granulométrica do material de leito, foram realizadas coletas com o amostrador de material de leito US-BMH-60.

As análises de laboratório compreenderam a determinação da concentração de sedimentos em suspensão e a determinação das granulometrias do material de leito. Para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão foram realizados ensaios de filtração, evaporação e pelo tubo de retirada pelo fundo, de acordo com a concentração das amostras. Já para a determinação

da granulometria do material de leito foram realizados ensaios de peneiramento e sedimentação, e para a determinação da granulometria do material em suspensão foi utilizado o ensaio do tubo de retirada pela base.

Com base nos dados de concentração de sedimentos das 19 medições realizadas na seção, obteve-se a descarga total de sedimentos correspondente a cada concentração pelo método de Colby (1957). Para isso, utilizando-se o TSR1 (Software para o Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios), elaborado por Paiva e Lago (1996).

A curva-chave de sedimento foi obtida ajustando-se os dados de descarga sólida em função dos dados de descarga líquida conforme a Equação 1:

$$Q_{st} = a.Q^b \quad (1)$$

onde:  $Q_{st}$  é a descarga sólida total (ton/dia),  $Q$  a descarga líquida ( $m^3/s$ ) e  $a$  e  $b$  são os parâmetros de ajuste.

Definidas as curvas-chave de sedimentos para a estação, foi calculada a descarga sólida correspondente às vazões líquidas para a série de vazões correspondente para o período de 01/01/2007 até 31/09/2010, disponível no site da ANA. Com o objetivo de se obter a curva de permanência das descargas sólidas para posterior integração e visando a obtenção da produção de sedimentos na bacia, no período. Esse período foi escolhido inicialmente por ser o período em que se dispõe de dados medidos de descarga sólida para a confecção da curva-chave de sedimentos.

A produção anual de sedimentos foi estimada pela integração da Curva de Permanência de Descargas Sólidas considerando-se com permanência de 2, 3, 5, 10, 20 e 50% do tempo, para os anos de 2007 a 2010, correspondente ao período em que foram realizadas as medições de sedimentos na seção.

Também foram calculadas as produções de sedimentos obtidas a partir das curvas de permanência de vazões estimadas das duas séries de dados disponíveis no site da ANA. A primeira, correspondente ao período de novembro de 1976 a dezembro de 2006, constituída de dados consistidos. E a segunda, corresponde de abril de 2006 a setembro de 2010, com dados brutos.

Nesses dois casos, foram obtidas as vazões correspondentes às permanências de 2, 3, 5, 10, 20 e 50% do tempo para intervalo considerado, realizando a transformação de vazões líquidas em sólidas. Para isso, utilizou-se a Curva-chave de Sedimentos e posteriormente realizou-se a integração a fim de obter-se a produção média anual de sedimentos na bacia.

## RESULTADOS

Ao longo das coletas, foram realizadas 30 medições de vazão, das quais 19 com amostragem da concentração de sedimentos em suspensão e do material do leito. A Tabela 1 mostra a granulometria do material em suspensão e do material de leito e a Tabela 2 apresenta

um resumo das medições. Nessa ultima tabela também são mostrados os valores de OD, T e Qts, a partir dos dados medidos de V, Q, parâmetros geométricos da seção e C<sub>ss</sub>. Onde: Cota: leitura da régua (m); L: largura as seção transversal (m); H: profundidade média (m); A: área da seção (m<sup>2</sup>); V: velocidade média (m/s<sup>2</sup>); Q: vazão (m<sup>3</sup>/s); C<sub>ss</sub>: Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l); OD: Oxigênio dissolvido (mg/l); T: temperatura (°C); Q<sub>ss</sub>: descarga sólida em suspensão (ton/dia) e Q<sub>st</sub>: descarga sólida total calculada pelo método de Colby (1957).

**Tabela 1 - Granulometria do material em suspensão e do material do leito.**

Data	Classificação granulométrica (%)						
	Material em suspensão				Material do leito		
	Argila	Silte	Areia	Fina	Areia Média	Grossa	Pedregulho
12/06/2007	13,0	87,0	0				
13/06/2007				8,1	90,0	1,7	0,3
14/06/2007				19,6	78,0	2,1	0,4
19/06/2007	49,1	50,9	0	9,6	84,9	5,5	0
26/06/2007				9,9	89,9	0,1	0
03/07/2007	63,7	27,7	8,6				
17/07/2007	0,2	51,1	48,7	14,8	84,3	0,9	0
31/07/2007	20,3	63,6	16,1	9,2	87,9	2,9	0
09/08/2007	13,3	33,4	53,3	8,1	89,9	1,9	0
21/08/2007	0,0	78,7	21,3	15,8	82,3	1,9	0
28/08/2007	1,3	86,6	12,1	15,4	82,3	2,3	0
11/09/2007	48,6	48,0	3,4	13,9	84,5	1,6	0
25/09/2007	46,4	49,7	4,0	12,6	76,9	10,2	0,4
08/10/2007	5,5	87,4	7,1				
16/10/2007	26,7	69,3	4,0	13,0	46,2	23,7	17,0
30/10/2007	30,9	59,1	10,0	18,6	79,3	1,6	0,6
13/11/2007	5,8	87,9	6,3	11,9	83,8	4,2	0,1
27/11/2007	5,9	89,1	5,0	8,4	84,0	7,5	0
18/12/2007				25,2	64,5	10,2	0

**Tabela 2 - Resumo das medições de vazão, concentração de sedimentos, oxigênio dissolvido e temperatura.**

Data	Ordem	Cota	L	H	A	V	Q	C <sub>ss</sub>	OD	T	Q <sub>ss</sub>	Q <sub>ts</sub>
29/05/2007	1	2,57	16,7	1,19	19,64	0,47	9,29					
12/06/2007	2	5,09	24,7	2,97	72,14	0,54	39,00	89		17	300,84	424,31
13/06/2007	3	5,21	24,3	3,14	75,94	0,51	39,01		7,43	17		
14/06/2007	4	5,26	24,3	3,5	70,39	0,53	37,51		6,64	17,7		
19/06/2007	5	4,63	23	2,73	61,93	0,5	31,03	22			58,52	107,87
26/06/2007	6	2,56	16,5	1,16	19,07	0,48	9,14		8,84	13,6		
03/07/2007	7	3,17	18	1,66	29,8	0,53	15,70	36			48,28	93,46
17/07/2007	8	2,92	17,5	1,41	24,42	0,52	12,73	5	8,45	11	5,76	21,60
31/07/2007	9	2,76	16,3	1,28	20,8	0,53	10,96	16	10,15	10,2	14,85	43,95
09/08/2007	10	4,58	22,1	2,54	56,1	0,52	29,31	26	10,91	12,7	64,68	198,92
21/08/2007	11	3,16	18,4	1,6	29,09	0,51	14,79		10,83	12,9		
28/08/2007	12	4,18	21,1	2,44	50,31	0,55	27,84		8,61	13		
11/09/2007	13	2,13	14,5	0,86	12,33	0,43	5,31	68	7,4	20,4	31,04	54,76

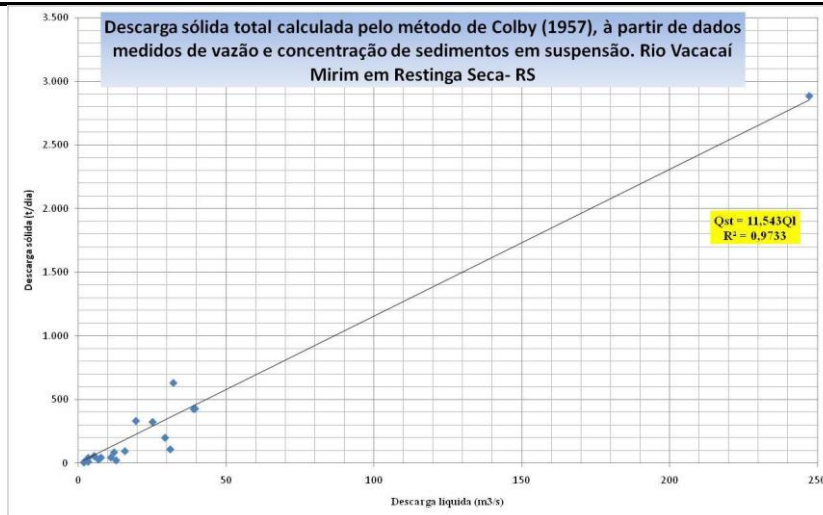
25/09/2007	14	6,89	115	3,76	420,6	0,59	247,17	97	6,87	16,6	2071,51	2885,78
08/10/2007	15	2,9	18,2	1,82	32,96	0,37	12,04	58	7,42	19,8	60,43	84,54
16/10/2007	16	3,63	19,4	2,39	45,31	0,43	19,42	158	8,48	19	264,48	331,02
30/10/2007	17	4,4	21,2	2,86	58,98	0,54	32,08	179	7,14	20,3	494,87	629,86
13/11/2007	18	2,54	16,2	1,28	20,62	0,33	6,79	30	7,69	19,5	17,59	27,37
27/11/2007	19	1,81	13,2	0,83	10,94	0,17	1,85	23			3,60	4,92
15/09/2008	20	5,82	34	3,14	106,7	0,35	37,18			16,5		
01/10/2008	21	2,1	13	1,26	16,36	0,36	5,85					
08/10/2008	22	1,96	12,5	0,84	10,47	0,27	2,79			17		
15/10/2008	23	5	20,5	3,48	71,36	0,55	39,42	105		19	357,27	427,88
23/10/2008	24	5,78	33,5	2,8	93,94	0,39	36,27			21		
20/11/2008	25	2,03	14	1,02	14,31	0,26	3,69			17		
19/03/2009	26	2,36	15	1,18	17,74	0,43	7,59	36		23	23,79	43,06
26/03/2009	27	1,95	13,8	0,91	12,5	0,26	3,28	25			6,96	10,94
02/04/2009	28	1,9	15	0,74	11,04	0,3	3,31	105		21	29,98	41,40
14/01/2010	29	5,73	82,5	3,55	292,9	0,22	64,25	19			104,81	133,65
03/10/2010	30	1,72	13,5	0,64	8,27	0,23	1,90	26			4,30	6,89

A Figura 2 apresenta a curva chave de sedimentos. A Tabela 3 apresenta os dados de permanência de sedimentos, considerando os dados gerados à partir dos dados de vazões no período de janeiro de 2007 a setembro de 2010 e a Figura 3 apresenta a curva de permanência correspondente. A Tabela 4 apresenta os dados de permanência das vazões no período de novembro de 1976 a dezembro de 2006 e no período de abril de 2006 a setembro de 2010 e a Figura 4 apresenta as curvas de permanência correspondentes. A Tabela 5 apresenta o cálculo da produção anual de sedimentos a partir dos dados de permanência das descargas sólidas para no período de janeiro de 2007 a setembro de 2010 e Tabela 6 apresenta o mesmo cálculo para os períodos de 1976 a 2006 e de 2006 a 2010.

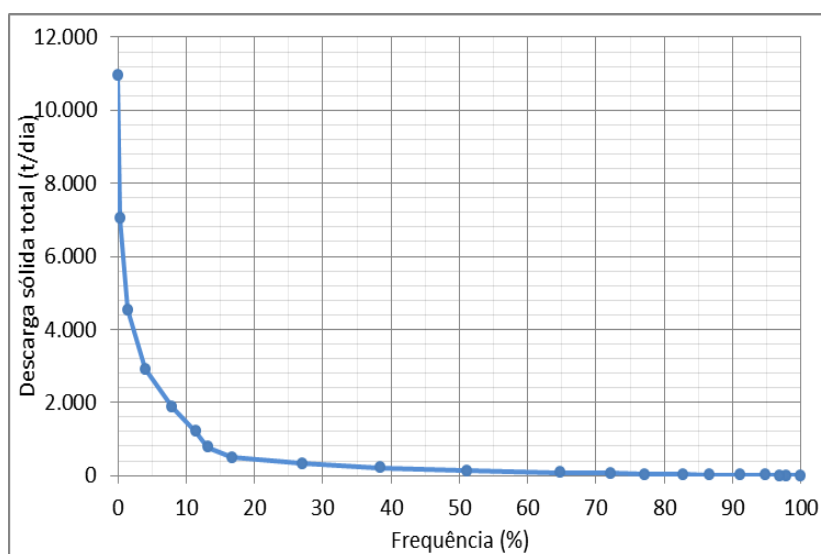
**Tabela 3 - Permanência das descargas sólidas no período de 01/2007 a 09/2010.**

Bloco	Ocorrências	Ocorrências	Freq (%)	Freq. Acumulada	Prob.	Qst (t/dia)
1,60	28	28	2,05	2,05	100	1,60
2,49	43	15	1,10	3,15	97,95	2,50
3,88	71	28	2,05	5,20	96,85	3,88
6,03	120	49	3,59	8,79	94,80	6,03
9,38	183	63	4,62	13,41	91,21	9,38
14,58	235	52	3,81	17,22	86,59	14,59
22,68	311	76	5,57	22,78	82,78	22,68
35,26	380	69	5,05	27,84	77,22	35,26
54,83	480	100	7,33	35,16	72,16	54,83
85,26	668	188	13,77	48,94	64,84	85,26
132,57	840	172	12,60	61,54	51,06	132,57
206,14	997	157	11,50	73,04	38,46	206,15
320,54	1137	140	10,26	83,30	26,96	320,54
498,42	1185	48	3,52	86,81	16,70	498,42
775,01	1209	24	1,76	88,57	13,19	775,01
1205,10	1257	48	3,52	92,09	11,43	1205,10
1873,85	1310	53	3,88	95,97	7,91	1873,85
2913,72	1345	35	2,56	98,53	4,03	2913,72

4530,64	1361	16	1,17	99,71	1,47	4530,64
7044,86	1365	4	0,29	100	0,29	7044,86
10954,31	1365	0	0	100	0	10954,31



**Figura 2 -** Curva Chave de Sedimentos. Período de 2007-2010.

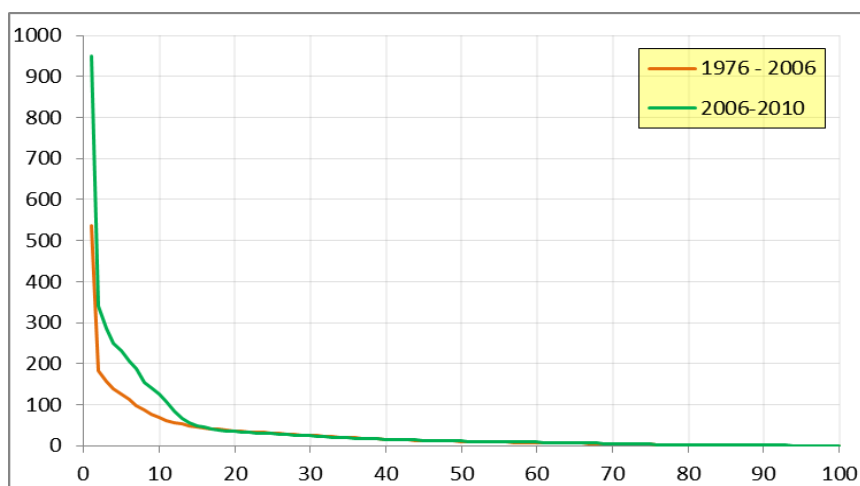


**Figura 3 –** Curva de Permanência da Descarga sólida. Período de 01/0227 a 09/2010.

**Tabela 4 -** Permanência das vazões no período de novembro de 1976 a dezembro de 2006 e no período de abril de 2006 a setembro de 2010.

Perm. (%)	1976-2006	2006-2010	Perm. (%)	1976-2006	2006-2010	Perm. (%)	1976-2006	2006-2010
100	0,135	0,139	67	5,5	6,26	34	20,6	20,4
99	0,178	0,149	66	5,8	6,58	33	21,6	21,1
98	0,225	0,214	65	6,08	6,78	32	22,8	22
97	0,26	0,32	64	6,3	7,3	31	23,9	23
96	0,304	0,407	63	6,53	7,62	30	25	23,9
95	0,354	0,501	62	6,78	7,91	29	26,3	24,7
94	0,423	0,557	61	7,06	8,19	28	27,5	25,9
93	0,496	0,682	60	7,38	8,4	27	28,6	27
92	0,617	0,71	59	7,65	8,68	26	29,5	28,3
91	0,741	0,776	58	7,98	8,82	25	30,5	29,6

90	0,87	0,8	57	8,3	9,03	24	31,9	30,7
89	0,984	0,87	56	8,62	9,31	23	33	31,5
88	1,12	0,956	55	8,99	9,59	22	34	32,7
87	1,22	1,06	54	9,33	9,8	21	35,1	33,5
86	1,4	1,15	53	9,62	10,1	20	36,5	34,4
85	1,52	1,3	52	9,92	10,4	19	38,2	35,7
84	1,67	1,51	51	10,3	10,9	18	39,9	37,7
83	1,84	1,62	50	10,6	11,2	17	41,3	40,5
82	2,02	1,84	49	11	11,7	16	44	44,5
81	2,22	1,99	48	11,3	11,9	15	46,2	48,2
80	2,4	2,24	47	11,8	12,3	14	49	56,8
79	2,58	2,49	46	12,1	12,8	13	52,7	67
78	2,77	2,66	45	12,6	13,4	12	56,8	84
77	2,93	2,87	44	13,2	13,9	11	62,4	109
76	3,16	3,04	43	13,7	14,3	10	68	125
75	3,42	3,33	42	14,4	15	9	78	141
74	3,67	3,67	41	15	15,5	8	87	154
73	3,97	4,02	40	15,5	16	7	98	188
72	4,26	4,38	39	16,1	16,7	6	113	207
71	4,5	4,74	38	16,9	17,6	5	125	233
70	4,78	5,06	37	17,8	18,1	4	139	250
69	5,04	5,4	36	18,7	18,6	3	157	285
68	5,26	5,8	35	19,7	19,5	2	183	341
67	5,5	6,26	34	20,6	20,4	1	536	949



**Figura 4** – Curva de permanência das vazões nos períodos de 1976 a 2006 e 2006 a 2010.

**Tabela 5** - Cálculo da produção de sedimentos na bacia no período de 01/2007 a 09/2010.

Freq (%)	Q(t/dia)	N. Dias	Qst (t/ano)
50	136,64	182,5	24936,8
30	285,9	109,5	31306,05
10	1445,5	36,5	52760,75
5	2624,075	18,25	47889,37
3	3473,887	10,95	38039,06
2	4132,312	7,3	30165,88
Qst =			225098 t/ano
Área =			914 Km2

$$\begin{aligned} Qst &= 246 \quad t/Km2/ano \\ Qst &= 0,09 \quad mm/ano \end{aligned}$$

**Tabela 6** - Cálculo da produção de sedimentos na bacia nos período de 1976 a 2006 e de 2006 a 2010 à partir das curvas de permanência de vazões.

Freq. (%)	Período de 1976-2006				Período de 1976-2006			
	Q (m3/s)	Qst (t/d)	N. Dias	Qst(t/ano)	Q (m3/s)	Qst (t/d)	N. Dias	Qst(t/ano)
50	10,6	122,356	182,5	22329,93	11,2	129,282	182,5	23593,89
30	25	288,575	109,5	31598,96	23,9	275,878	109,5	30208,61
10	68	784,924	36,5	28649,73	125	1442,875	36,5	52664,94
5	125	1442,875	18,25	26332,47	233	2689,519	18,25	49083,72
3	157	1812,251	10,95	19844,15	285	3289,755	10,95	36022,82
2	183	2112,369	7,3	15420,29	341	3936,163	7,3	28733,99
		Qst	144176	t/ano		Qst	220308	t/ano
		Àrea	914	Km2		Àrea	914	Km2
		Qst	158	t/km2/ano		Qst	241	t/km2/ano
		Qst	0,06	mm/ano		Qst	0,09	mm/ano

## CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação de sedimentos na bacia do rio Vacacaí Mirim, a partir de dados medidos de vazões líquidas e sólidas, mostram que:

A produção de sedimentos obtida da curva de permanência de descargas sólidas, para o período de 2007 a 2010, foi equivalente a 0,09 mm/ano;

A mesma produção de sedimentos, 0,09 mm/ano, foi obtida para o período de 2006 a 2010, utilizando-se a curva de permanência de vazões;

A produção de sedimentos encontrada para o período de 1976 a 2006 foi de 0,06 mm/ano, indicando que houve um aumento nas vazões líquidas na seção considerada, uma vez que a curva chave de sedimentos utilizada foi a mesma para todos os períodos.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2 ed., rev., atual. e ampliada. – Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

COLBY, B.R. (1957). "Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity". Transactions, Amer. Geophy. Union, Vol. 38, n.5, oct., pp. 708-719.

PAIVA, J.B.D.; LAGO, N. TSR - 1.0. Software para o cálculo do transporte de sedimentos em rios. II Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Rio de Janeiro. Pag 127- 135. 1998.

PAIVA, J.B.D. DE; PAIVA, E.M.C. DE, GASTALDINI, M. C.C. et al. - "Enquadramento em regiões com carência de dados. Bases técnicas. Estudo de caso. A bacia do Rio Vacacaí Mirim"- Relatório Síntese do Projeto Enquadramento. 2007. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/paiva/download/SinteseEnquadra.rar>