



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO  
DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

Referência Processo 482124/2007-5

Edital MCT/CNPq 15/2007 - Universal - Faixa B.

**- RELATÓRIO FINAL-**

Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva

- Fevereiro de 2011 -

## Conteúdo

1. DADOS DE IDENTIFICAÇÃO .....	3
2. HISTÓRICO .....	3
3. REVISÃO DE ESTUDO ANTERIOR DE INTERESSE PARA O PRESENTE ESTUDO.....	4
3.1. A Bacia Estudada.....	4
3.2. Caracterização Físico Hídrica dos Solos da Bacia.....	6
3.3. Caracterização Quali –Quantitativa .....	8
3.4. MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOMÉTRICO AO LONGO DO CURSO DO RIO..	10
3.4.1. Coletas de sedimento em suspensão .....	10
3.4.2. Amostragem de material de leito .....	10
3.4.3. Análises de laboratório .....	11
3.4.4. Resultados do Monitoramento Hidrossedimentométrico .....	11
4. Modelagem Hidrossedimentométrica na Bacia do Rio Vacacaí Mirim com o Modelo Kineros 2. ....	12
4.1. Avaliação dos Parâmetros do Modelo Kineros 2 para Simulação Hidrossedimentológica Em Duas Pequenasbacias Hidrográficas .....	12
4.2. Hidrograma de Projeto Utilizando o Modelo Kineros 2 em uma Pequena Bacia de Encosta em Santa Maria .....	13
5. Caracterização Hidrossedimentométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim, com Base em Dados Medidos de Vazão e Sedimentos na secção de Restinga Seca	17
5.1. Metodologia .....	17
5.1.1. Medidas de vazão e coletas de sedimentos de fundo e em suspensão .....	17
5.1.2. Amostragem de material de leito .....	18
5.1.3. Análises de laboratório .....	18
5.1.4. Curva chave de vazões .....	18
5.1.5. Curva chave de sedimentos.....	18
5.1.6. Avaliação da produção anual de sedimentos na bacia .....	19
5.2. Resultados .....	19
5.2.1. Síntese dos dados de campo .....	19
7. CONCLUSÕES .....	22
8. Perspectivas Futuras.....	24
9. Referências Bibliográficas .....	29

## 1. DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título do Projeto: TÍTULO DO PROJETO: Caracterização Hidrossedimentométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim, com Base em Dados Medidos de Vazão e Sedimentos”

Referência Processo 482124/2007-5 - Edital MCT/CNPq 15/2007 - Universal - Faixa B Vigência: 27/12/2007 A 27/12/2009

Coordenador do Projeto: Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva

## 2. HISTÓRICO

Este projeto foi proposto ao Edital Universal 015/2007, com os seguintes objetivos específicos:

Monitoramento hidrossedimentométrico do rio Vacacaí Mirim, visando:

- quantificar a produção de sedimentos na bacia e o transporte de sedimentos em suspensão e por arraste de fundo;
- fazer a caracterização granulométrica dos materiais transportados;
- relacionar o transporte de sedimentos com as características geométricas da secção e do trecho de medição e das características hidráulicas do escoamento;
- indicar dentre os métodos de cálculo de transporte de sedimentos em rios o que melhor se adapta para o cálculo do transporte de sedimentos na secção e trecho considerado.

Este relatório foi elaborado utilizando os dados de campo coletado por alunos de Pós Graduação e de iniciação científica que participaram do projeto e por alunos da disciplina de Erosão e Sedimentação durante aulas de campo e laboratório. Assim, a equipe que participou da coleta de dados para este relatório foi:

João Batista Dias de Paiva – Orientador

Alessandro Ávila Noal

Cristiano Bredow Alves

Giuliano Crauss Daronco

Deise Caroline Albiero Marçal (aluna de Iniciação Científica)

Cristiana Aparecida Schons (aluna de Iniciação Científica)

Gabriela Cechin (aluna de Iniciação Científica)

Juliano Libraga (aluno de Iniciação Científica)

Fábio Beling (aluno de Iniciação Científica)

Ana Carolina Victória Ribeiro (aluna de Iniciação Científica)

Juliane dos Santos Pinto (aluna da disciplina Erosão e Sedimentação)

Rafael Rieger Ramos (aluno da disciplina Erosão e Sedimentação)

Alexandre Souza (aluno da disciplina Erosão e Sedimentação)

Andre Pelegrini (aluno da disciplina Erosão e Sedimentação)

Deise Michelotti (aluna da disciplina Erosão e Sedimentação)

José Antônio de Azevedo Gomes (aluno da disciplina Erosão e Sedimentação)

Marielle Medeiros de Souza (aluna da disciplina Erosão e Sedimentação)

Marilia Tamiosso (aluna da disciplina Erosão e Sedimentação)

Atualmente, a coleta e análise de dados continua em execução e será colocado outro aluno de mestrado para ampliar a coleta e análise dos dados.

### **3. REVISÃO DE ESTUDO ANTERIOR DE INTERESSE PARA O PRESENTE ESTUDO**

As informações apresentadas neste item foram obtidas do relatório final do projeto intitulado:

*“ENQUADRAMENTO EM REGIÕES COM CARÊNCIA DE DADOS. BASES TÉCNICAS. ESTUDO DE CASO. A BACIA DO RIO VACACAÍ MIRIM”, aprovado pelo CT – Hidro e pela FINEP, para compor a rede cooperativa de pesquisa no Tema Enquadramento dos Recursos Hídricos, nos termos da Chamada Pública MCT/FINEP/ CTHIDRO GRH 01/2004, que teve como objetivo geral a análise e o desenvolvimento de bases técnicas e metodológicas para o enquadramento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas com carência de dados, de maneira sustentável e tecnicamente embasadas, de forma a fornecer subsídios para a implantação dos mecanismos de gestão previstos no Sistema Nacional de Recursos Hídricos e nos Sistemas de Recursos Hídricos dos Estados.*

#### **3.1. A Bacia Estudada**

Este trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim localiza-se na região central do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo áreas de cinco municípios, Santa Maria, Restinga Seca, Itaara, São João do Polesine e Silveira Martins. Está situada entre as coordenadas geográficas 53° 46' 30" a 53° 49' 29" de longitude Oeste e 29° 36' 55" a 29° 39' 50" de latitude Sul, abrangendo uma área total de 1120 km<sup>2</sup>. Faz parte da bacia G60 – Vacacaí – Vacacaí Mirim, da Região Hidrográfica do Guaíba, do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, instituído nos termos da lei

10350/1994 e do decreto número 37034/1996, que regulamentam o Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Possui Comitê de Gerenciamento funcionando regularmente. A Figura 1 apresenta a sua localização.

Na parte alta da bacia, está localizado o reservatório de abastecimento público, com área inundada de 0,74 km<sup>2</sup>, volume de 3,8 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, com bacia contribuinte de aproximadamente 29 km<sup>2</sup>, característica de mata nativa, agricultura de cultivos anuais e permanentes, pecuária (em menor escala) e balneários.

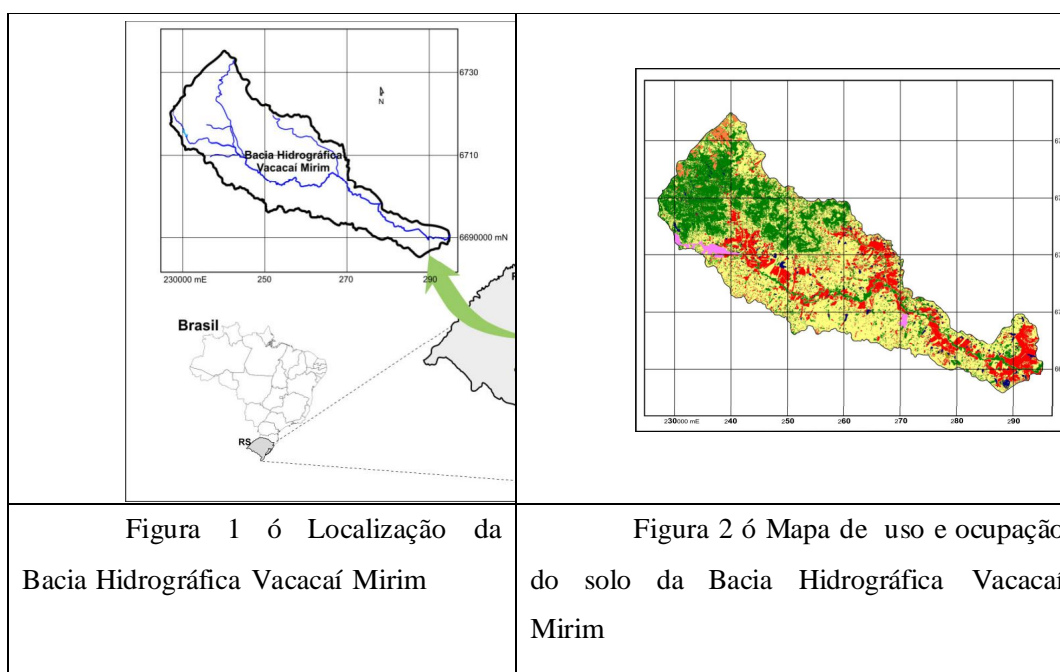
O reservatório da Vacacaí Mirim é responsável por 40% do abastecimento público de água da Cidade de Santa Maria. Sua bacia sofre os efeitos da expansão urbana e da atividade agrícola, com sérios problemas de qualidade e quantidade de água.

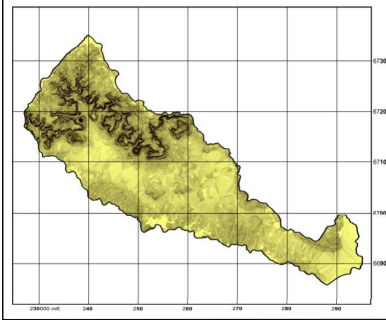
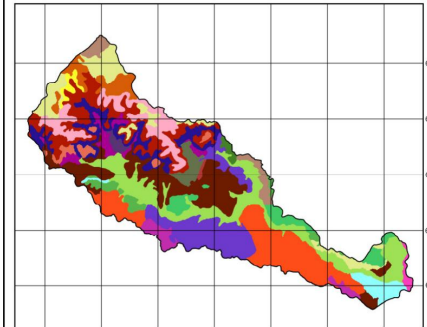
Como principais problemas na bacia do rio Vacacaí Mirim, destacam-se:

a) O crescimento da urbanização em sua parte média, vem contribuindo para o agravamento dos problemas de enchente, interditando estradas municipais e causando prejuízos para a produção agrícola e transtornos para a população ribeirinha;

b) Nos períodos de estiagem, quando aumenta a demanda de água para irrigação, o rio em sua parte baixa praticamente seca face aos inúmeros bombeamentos localizados ao longo de seu curso para a irrigação da lavoura de arroz. Situação que tende a agravar-se com o tempo, havendo, portanto, um forte componente de geração de conflitos de uso da água.

As figuras Figura 2, Figura 3 e Figura 4 apresentam os mapas de uso e ocupação do solo, classes de declividade e tipo de solo, obtidos por Casagrande (2004) e utilizados neste trabalho.



	
<p>Figura 3 ó Mapa de classes de declividade da bacia do rio Vacacaí Mirim</p>	<p>Figura 4 ó Mapa de tipo de solo da Bacia Hidrográfica Vacacaí Mirim</p>

### 3.2. Caracterização Físico Hídrica dos Solos da Bacia

Foram feitos trabalhos de campo e laboratório para a determinação de propriedades físico-químicas dos solos, necessárias à aplicação dos modelos hidrológicos planejados para serem utilizados na bacia, com o objetivo de determinar as seguintes características: Espessura das camadas, Peso específico aparente seco ( $\rho$ ), Porcentagem de matéria orgânica, granulometria, capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente. A capacidade de campo (FC) e ponto de murchamento permanente (WP) foram obtidos através do ensaio da Técnica do papel filtro para medição de sucção, pela qual se obtém a relação entre a sucção e a umidade do material poroso. A granulometria foi obtida através de ensaios de peneiramento e sedimentação.

Foram amostrados 5 pontos, a partir do tipo de solo encontrado na região:

A primeira amostra foi coletada na entrada do PAINS, tendo como coordenadas geográficas  $53^{\circ} 42' 21,3''$  de longitude Oeste e  $29^{\circ} 43' 25,3'$  de latitude Sul. Esse solo possui um horizonte A com espessura de 50 a 60 cm e um horizonte B ou C, maior do que 1 m. O solo estava bastante seco, por isso tivemos dificuldade em coletar boas amostras.

A segunda amostra foi coletada em Itaara, a 100 m da estrada principal, tendo como coordenadas geográficas  $53^{\circ} 45' 57,09''$  de longitude Oeste e  $29^{\circ} 37' 46,04''$  de

latitude Sul. Esse solo possui um horizonte A com espessura 40 a 60 cm e um horizonte B, com espessura de 30 cm. Seu solo foi classificado como Terra Bruna Estruturada.

P1. A terceira amostra foi coletada também em Itaara, tendo coordenadas geográficas 53° 45' 56,2" de longitude Oeste e 29° 34' 58" de latitude Sul. Esse solo é constituído de um horizonte A com espessura de 30 cm, um horizonte B com espessura de 60 cm e abaixo, um horizonte C. Seu solo foi classificado com P.E. Vermelho Escuro.

P2. A quarta amostra foi coletada na UFSM, próximo ao curso de Agronomia, tendo como coordenadas Geográficas 53° 42' 30,7" de longitude Oeste 29° 43' 02,2" de latitude Sul. Possui um horizonte A de 15 cm e um horizonte B e 60 cm. Seu solo foi classificado como Podzólico Vermelho Amarelo.

P3. A quinta amostra foi coletada em três Barras, tendo como coordenadas Geográficas 53° 41' 39,6" de longitude Oeste e 29° 36' 03,5" de latitude Sul. Possui apenas um horizonte A de 60 cm seguido por rocha. Este solo foi classificado como solo Litólico R.E.

P4. A sexta amostra foi coletada em Silveira Martins, tendo como coordenadas Geográficas 53° 34' 57" de longitude Oeste e 29° 38' 44,4" de latitude Sul.

P5. A sétima amostra foi coletada em uma propriedade particular (Guidolin), tendo como coordenadas Geográficas 53° 40' 26,4" de longitude Oeste e 29° 40' 12,4" de latitude Sul.

P6. A oitava amostra foi coletada na Faixa Nova de Camobi, tendo como coordenadas Geográficas 53° 44' 28,6" de longitude Oeste e 29° 42' 20,5" de latitude Sul.

A Figura 5 apresenta a localização dos pontos amostrados e apresenta o resumo dos resultados.

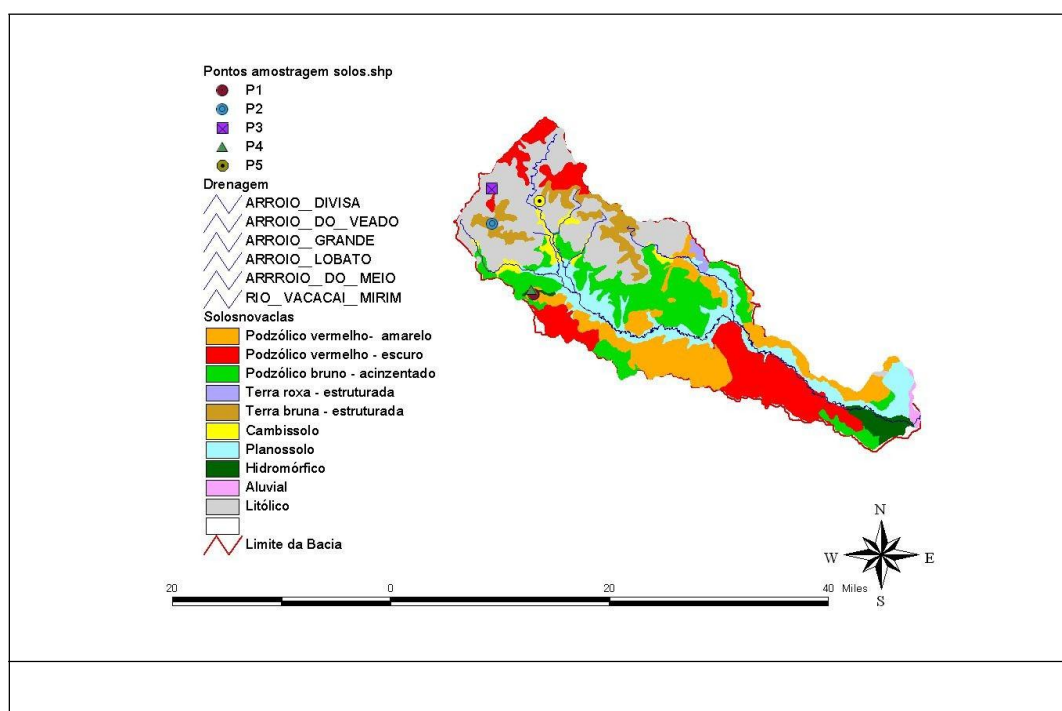


Figura 5 ó Localização dos pontos amostrados

Tabela 1. Parâmetros Físico Hídricos dos Solos da Bacia do Vacacaí Mirim

Local	(g/cm <sup>3</sup> )	FC (%)	WP (%)	(%) MO	K(m/s)	Granulometria
PAINS	1,445	10,40	5,80	1,2	3,59 x 10 <sup>-4</sup>	Areia média a fina
ITAARA 1	1,265	18,23	11,61	1,9	1,73 x 10 <sup>-4</sup>	Silte argiloso
ITAARA 2	1,374	17,46	13,62	2,5	3,11 x 10 <sup>-4</sup>	Silte argiloso
UFSM	1,681	8,85	4,90	0,9	3,61 x 10 <sup>-5</sup>	Areia fina a média
TRÊS BARRAS	1,494	9,53	5,27	1,2		Silte arenoso
SILVEIRA MARTINS				1,7		Silte arenoso
GUIDOLIN				1,6		Silte arenoso
FAIXA NOVA CAMOBI				1,6	3,12 x 10 <sup>-4</sup>	Silte arenoso

Legenda:  
= Peso específico aparente seco (g/cm<sup>3</sup>)  
FC= Capacidade de campo (%)  
WP: ponto de Murchamento Permanente (%)  
(%) MO: Porcentagem de Matéria orgânica  
K: condutividade Hidráulica (m/s)

### 3.3. Caracterização Quali -Quantitativa

Foram realizadas três campanhas completas de monitoramento, onde foram obtidos dados de vazão, sedimentos e qualidade da água. A primeira campanha realizou-se no mês de julho/2005, a segunda no mês de outubro/2005, e a terceira campanha em janeiro/2006, onde são identificados os maiores problemas quanto à disponibilidade de água, devido a grande demanda de água para irrigação.

Os pontos de monitoramento quali-quantitativos foram escolhidos visando buscar a melhor representatividade das características da região. Deste modo, foram escolhidos 12 Pontos de Monitoramento Quali-Quantitativo (PQ), sendo oito pontos localizados no Rio Vacacaí Mirim e quatro nos principais afluentes: Córrego da UFSM, Arroio do Meio, Arroio Grande e Arroio Divisa.

Os pontos de monitoramento quali-quantitativo na bacia hidrográfica do rio

Vacacaí Mirim foram determinados buscando a maior representatividade da região.

A tabela 2 descreve a localização dos pontos na bacia e a Figura 6 mostra os pontos de monitoramento da bacia com suas áreas de contribuição.



Tabela 2. Descrição dos pontos de monitoramento na bacia

PONTO	LOCALIZAÇÃO	CORPO D'ÁGUA
PQ 1	Cabeceira da bacia - próximo vinícula Velho Amâncio	Vacacaí Mirim
PQ 2	Montante do reservatório DNOS - próx. Cl. Prof. Gaúcho	Vacacaí Mirim
PQ 3	Jusante do reservatório DNOS - próx. Mercado Beltrame	Vacacaí Mirim
PQ 4	Camobi - Olária Kipper - no 1º bueiro	Vacacaí Mirim
PQ 5	Estrada Arroio Grande - placa Ar. Grande/Ar. Meio	Arroio do Meio
PQ 6	RS 509 - passando entr. p/ São Sebastião	Vacacaí Mirim
PQ 7	UFSM - Calha Pains	Córrego UFSM
PQ 8	RS 509 - passando entr. p/ Vila Fighera	Arroio Grande
PQ 9	Estrada p/ Arroio do Só - 6 km do trevo	Vacacaí Mirim
PQ 10	Próximo posto Fuzer - RS 509 - km 212	Arroio Divisa
PQ 11	Restinga Seca - após parada de ônibus	Vacacaí Mirim
PQ 12	Próximo ao exutório da bacia	Vacacaí Mirim

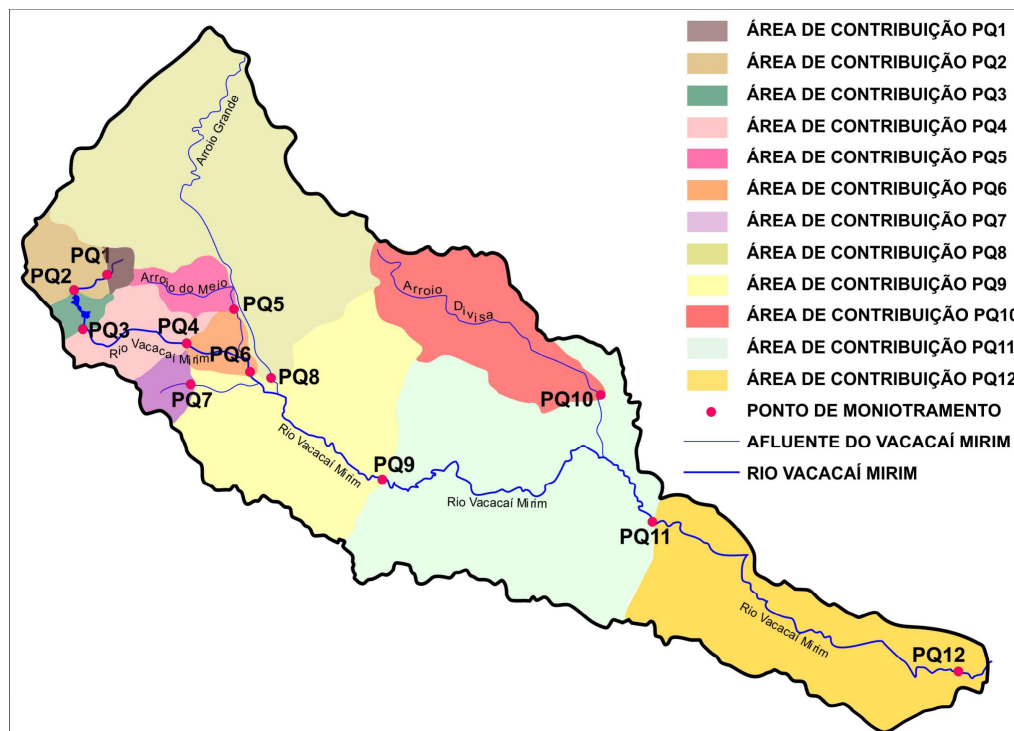


Figura 66 Localização dos pontos de monitoramento da bacia hidrográfica  
Vacacaí Mirim

### 3.4. MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO AO LONGO DO CURSO DO RIO.

#### 3.4.1. Coletas de sedimento em suspensão

As medições de vazão e coletas de sedimentos em suspensão para determinação da concentração foram realizadas nos 12 pontos de monitoramento.

A vazão foi obtida através da medição de velocidade, com a utilização de molinetes hidrométricos, para os pontos de maior vazão, e sensor magnético (Nautilus) para os pontos de menor vazão.

As coletas de sedimentos em suspensão objetivaram a determinação da concentração dos sedimentos em suspensão na seção de medição. As amostragens de concentração de sedimentos em suspensão foram feitas com amostrador de sedimentos em suspensão USDH-48, com o objetivo de coletar amostras integradas na profundidade durante as medições de descargas líquidas. As amostragens foram feitas a 1/6, 1/2 e 5/6 da largura da seção de medição.

#### 3.4.2. Amostragem de material de leito

Foram realizadas coletas de sedimento de leito em 9 pontos para a caracterização granulométrica dos materiais no dia 01/06/05. Nos pontos PQ1, PQ2 e PQ3 não foram coletados material de leito devido ao fato do leito dos rios nesses pontos ser constituído por rochas.

A coleta de amostras para a caracterização do material de leito foi feita com um amostrador US-BMH-53, tipo pistão manual de penetração vertical, construído em PVC.

### 3.4.3. Análises de laboratório

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 e para a determinação da granulometria do material de leito foram realizados ensaios de peneiramento e sedimentação.

### 3.4.4. Resultados do Monitoramento Hidrossedimentométrico

O material de leito, dos pontos de monitoramento, foi classificado de acordo com a ABNT/NBR 6502/95 - Terminologia Rochas e Solos. Os resultados para os doze pontos monitorados foram os seguintes:

- “ PQ1, PQ2 e PQ3 – material do leito constituído por rochas;
- “ PQ4 - areia média;
- “ PQ5 - areia fina a média;
- “ PQ6 - silte arenoso fino;
- “ PQ7 - areia média;
- “ PQ8 - areia fina siltosa;
- “ PQ9 - areia fina siltosa;
- “ PQ10 - areia fina a média;
- “ PQ11 - areia fina a média;
- “ PQ12 - areia fina a média com pedregulho.

Os valores obtidos para descarga líquida (Q), concentração de sedimentos em suspensão

(C) e descarga de sedimentos em suspensão (Qs), durante as três campanhas realizadas encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3** - Resultado de descarga líquida e concentração de sedimentos em suspensão ao longo do curso do rio.

Ponto	Q (m³/s)			C (mg/L)			Qs (ton/dia)		
	20/07/05	20/10/05	30/01/06	20/07/05	20/10/05	30/01/06	20/07/05	20/10/05	30/01/06
PQ1	0,05	0,26	0,01	5,50	15,40	0,97	0,02	0,35	0,00
PQ2	0,17	0,79	0,02	5,00	83,17	3,96	0,07	5,68	0,01
PQ3	0,05	1,33	0,03	15,25	15,75	11,46	0,07	1,81	0,03
PQ4	0,22	2,20	0,06	15,75	44,92	6,62	0,30	8,54	0,03
PQ5	1,68	9,93	0,24	7,00	28,88	12,53	1,02	24,78	0,26
PQ6	1,24	15,06	0,07	9,75	14,03	5,25	1,04	18,26	0,03
PQ7	0,05	0,25	0,04	13,50	31,20	6,41	0,06	0,67	0,02
PQ8	0,98	4,37	0,03	6,25	17,74	10,60	0,53	6,70	0,03
PQ9	3,54	45,01	1,22	12,00	17,96	21,80	3,67	69,84	2,31
PQ10	0,48	3,22	0,05	8,00	54,23	10,07	0,33	15,09	0,05
PQ11	6,59	64,38	4,46	17,75	28,44	24,97	10,10	158,20	9,62
PQ12	9,90	60,09	5,99	29,25	15,67	32,76	25,01	81,37	16,95

## 4. Modelagem Hidrossedimentométrica na Bacia do Rio Vacacaí Mirim com o Modelo Kineros 2.

### 4.1. Avaliação dos Parâmetros do Modelo Kineros 2 para Simulação Hidrossedimentológica Em Duas Pequenas bacias Hidrográficas

Este trabalho foi desenvolvido como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil por Giuliano Craus Daronco sob o orientação do Prof. João Batista Dias de Paiva. Pode ser encontrado na íntegra em:

[http://w3.ufsm.br/ppgec/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=60&Itemid=72](http://w3.ufsm.br/ppgec/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=60&Itemid=72)

O resumo desta dissertação é apresentado a seguir:

## RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO KINEROS 2 PARA SIMULAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA EM DUAS PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.**

AUTOR: GIULIANO CRAUSS DARONCO

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de outubro de 2008.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os parâmetros do modelo Kineros2 para as bacias hidrográficas periurbanas Alto da Colina II e Sítio do Tio Pedro, pequenas sub-bacias do rio Vacacaí-Mirim, em Santa Maria-RS, através da variação dos parâmetros envolvidos na calibração, buscando a melhor representação dos processos envolvidos no escoamento pluvial. As bacias Alto da Colina II e Sítio do Tio Pedro têm áreas de 1,44, e 0,39 km<sup>2</sup> e porcentagens de áreas impermeáveis de 3,82 e 13,09% respectivamente. A bacia Sítio do Tio Pedro foi discretizada em 10 elementos, sendo destes 7 planos e 3 canais. A bacia Alto da Colina II, por sua vez, foi discretizada em 22 elementos, sendo destes 15 planos e 7 canais. O enfoque principal do trabalho foi a calibração de eventos selecionados para as respectivas bacias e o entendimento dos parâmetros envolvidos nas simulações. Foram

selecionados 5 eventos chuvosos para cada uma das duas bacias estudadas, correspondendo a eventos utilizados por Bastos (2007), obtidos de Belló (2004) e Carvalho (2003) para a avaliação do modelo SWMM. Foram utilizadas as características físicas e do uso e ocupação do solo obtidas por Bellinaso (2003) e Carvalho (2003). As seções transversais representativas dos trechos de arroio, foram obtidas de levantamento topográfico realizado por Meller (2004). Os resultados obtidos na calibração dos parâmetros foram satisfatórios. Para a discretização adotada na bacia hidrográfica Alto da Colina II foi obtido um coeficiente de determinação médio entre os valores calculados e observados de 0,92 para a vazão e 0,78 para sedimentos totais. Na discretização aplicada à bacia hidrográfica Sítio do tio Pedro o coeficiente de determinação médio encontrado foi de 0,78 para a vazão e para sedimentos totais não se pode calcular o coeficiente de determinação devido às dimensões diminutas da bacia.

As publicações resultantes deste trabalho foram:

1. Daronco, G. C., PAIVA, J. B. D. de

Avaliação do Modelo Kineros- 2 para Simulação Hidrossedimentológica em duas Bacias Hidrográfica In: XXIV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, 2010, Punta del Este. **CDRom**. IAHR-AIRH, 2010.

2. Daronco, G. C., PAIVA, J. B. D. de

Avaliação dos Parâmetros do Modelo Kineros- 2 para Simulação Hidrossedimentológica em uma Pequena Bacia Hidrográfica In: VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2010, Porto Alegre. **CDRom**. Porto Alegre: , 2010.

3. Daronco, G. C., PAIVA, J. B. D. de

Avaliação do Modelo Kineros2 para a Simulação Hidrossedimentológica em Duas Pequenas Bacias Hidrográficas no Sul do Brasil. IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. **CDRom**. ABRH. Brasília 2010.

## **4.2. Hidrograma de Projeto Utilizando o Modelo Kineros 2 em uma Pequena Bacia de Encosta em Santa Maria**

Este trabalho foi desenvolvido como trabalho de conclusão de curso do acadêmico Fábio Alex Beling, bolsista de Iniciação Científica do CNPq, ligado ao projeto. Seu resumo é apresentado a seguir:

## RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Engenharia Civil

Centro de Tecnologia

Universidade Federal de Santa Maria

HIDROGRAMA DE PROJETO UTILIZANDO O MODELO

KINEROS2 EM UMA PEQUENA BACIA DE

ENCOSTA EM SANTA MARIA

AUTOR: FÁBIO ALEX BELING

*ORIENTADOR: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA*

*Data e local da defesa: Santa Maria, 20 de dezembro de 2010.*

*Este trabalho aplica o modelo hidrológico Kineros2 a uma pequena bacia de 17,7 km<sup>2</sup> nas cabeceiras do Rio Vacacaí Mirim, em Santa Maria, a fim de obterem-se condições de estimar os hidrogramas de projeto para um período de retorno de 100 anos na seção de seu exutório. Os parâmetros característicos da bacia e necessários para a execução do modelo foram inicialmente estimados a partir de ensaios de laboratório e das recomendações bibliográficas. Os parâmetros do Kineros2 foram calibrados a partir da comparação com 9 eventos observados de precipitação/vazão, obtendo-se índice de eficiência de Nash-Sutcliffe com média de 0,7, com a vazão de pico variando em média  $\pm 8,3\%$  e o volume escoado variando  $\pm 20\%$ . Na fase de validação, o índice médio de eficiência Nash-Sutcliffe não foi bom, ficando em 0,1. Já o erro médio na vazão de pico ficou em  $\pm 39,2\%$  e, no volume escoado,  $\pm 30\%$ . Com o uso dos parâmetros médios obtidos da fase de calibração, obteve-se o hidrograma de projeto com recorrência de 100 anos, tomando-se uma precipitação de projeto com igual tempo de retorno. A vazão de pico do hidrograma para o período de retorno adotado foi de 306 m<sup>3</sup>/s.*

**Palavras-chave:** *Kineros2, modelo hidrológico, hidrograma de projeto, hidrologia.*

Encontra-se aceito para publicação na “12th International Conference on Urban Drainage”, a ser realizada em Porto Alegre 2011, o artigo de autoria de Fábio Alex Beling, Giuliano Craus Daronco, João Batista Dias de Paiva e Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva, intitulado “Evaluation of Kineros 2 Model for Hydrological and for yield and sediment transport simulation based on observed data from two Small Watersheds on urbanizing process.”

O resumo estendido desse artigo é apresentado a seguir:

## **Evaluation of Kineros 2 Model for Hydrological and for yield and sediment transport simulation based on observed data from two Small Watersheds on urbanizing process.**

F. A. Beling<sup>1</sup>, G. C. Daronco<sup>1</sup>, J.B.D. de Paiva<sup>1</sup> and E. M.C.D. de Paiva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal University of Santa Maria, Av. Roraima , 1000, 97060-250, Santa Maria, RS, Brazil

### Extended Abstract

There is an increasing use of Kineros2 Model (1990) in Brazil. However, most of the work using this model has been carried out without the necessary calibration of the model response in terms of predicting sediment transport. Due to this fact, the aim of this study was to analyze the calibration parameters of the Kineros2 Model (1990), as an element for understanding the processes involved in estimating the response of two small watersheds on urbanizing, in Santa Maria - RS, regarding production and sediment transport and water flow in flood events, based on data of sediment and water flow measurements.

The Kineros2 Model (1990) is a modified version of the Kineros Model (Woolhiser et al., 1990). Kineros2 (1990) is a physically based model, distributed and event-driven, that simulates the processes of infiltration, runoff and soil erosion.

The model divides the studied watershed in plans and channels, with distributed parameters and global parameters which control its operation. Global parameters refer to the physical characteristics of the basin as a whole, i.e. they are homogeneous for the entire basin. The distributed parameters refer to the plans and channels.

The model uses the concept of wave kinematics by simplifying the equations of Saint Venant, for calculating the flow in the drainage plans .

For the modeling of erosion in the plans and in the channel flow the model uses the formula of the carrying capacity of Engelund and Hansen (Engelund and Hansen, 1967), with the inclusion of a critical threshold value of the power unit of current equal to 0.004 m / s in order to extend its applicability to shallow streams.

Two small basins in the urbanization process were used in this study to verify how effective the model is in adverse geographical and physical conditions. The two studied basins are embedded in the Vacacaí-Mirim River Basin, in Santa Maria - RS. The basins of Alto da Colina II (ACII) and Sítio do Tio Pedro (STP), (shown in Figure 1) were studied.

The main features of the basin ACII are: area of 1.44 square kilometers, main river length of 1,035 m, average slope of 0.06 m / m and rural characteristics in terms of land use. The STP basin has the following characteristics: area of 0.39 km <sup>2</sup>, length of main river 463 m, average slope of 0.26 m / m and it is semi-urbanized.

The characteristics of land use in the basin ACII are as follows: 59.74% fields, 1,3% roads, 20.72% trees among others, 3.82% comprise impermeable areas. The basin of Sítio do Tio Pedro: has the following land uses: 10.43% fields, streets and trees 2.65% and 60.84%, respectively. In this basin the impermeable areas comprise 13.09%

For the discretization, each basin was divided into "plains" and "channels" and each "plain" includes a flow area and was defined according to the homogeneity of the characteristics of soil, slope, and line flow. The ACII basin was divided into 22 elements, of which 15 are flat and 7 are channels. The STP basin was divided into 10 elements, of which 7 are flat and 3 are channels.

Five rainfall events were used to model flow and sediment, for each basin. We conducted the calibration of each event for flow and subsequently repeated the simulation of the same events through an iterative process, based on the mean of parameters obtained in the calibration. The same procedure was used for modeling sediment.

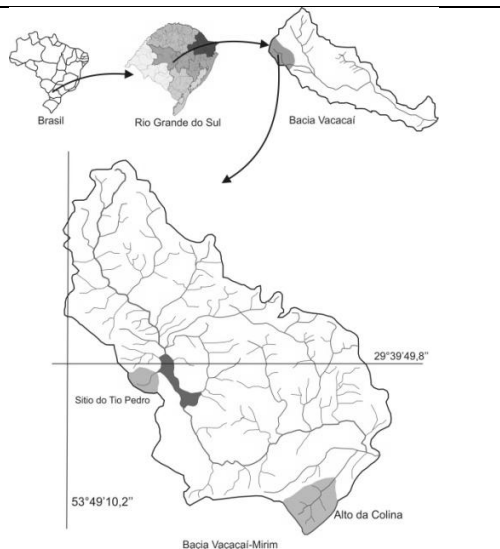


Figure 1 .- Location of the River Basin Vacacaí Mirim highlighting the sub watersheds studied.

In the ACII basin, the results obtained in the parameters calibration for the events analyzed showed good outcomes represented by the coefficient of determination and also taking into account the average error in runoff volume and peak flow. Rainfall events of the days 06/05/2001, 11/13/2001, 11/15/2001, 03/25/2002 and 07/19/2001 were used for calibration. The values of the coefficient of determination ( $R^2$ ) for the simulation of flow, with the average values for the five events studied, varied from 0.83 to 0.95.

For the simulation of flow in the basin STP the results supplied satisfactory adjustments, represented by the coefficient of determination and also taking into account the average error in runoff volume and peak flow. They were used to calibrate rainfall events of the days 05/22/2003, 07/24/2003, 11/12/2003, 11/16/2003 and 12/08/2003.

The values of the coefficient of determination ( $R^2$ ) for the simulation of flow with the average values for the five events studied for the STP basin varied from 0.47 to 0.73.

In the simulation of sediment yield with the average parameters of the basin ACII, the error in production in absolute terms ranged from 7.43% to 253.5% and for STP basin errors varied from 24.65% to 81.41%. These errors although very large, are consistent with estimates of sediment in rivers using formulas or other sediments models. This fact can be explained by the difficulty of accurate measurement of sediment yield, especially in small watersheds.

## Conclusions

The modeling results of the calculated flow for the basin ACII, were good when compared with the observed runoff. For STP basin, the results were satisfactory considering that it is a very little watershed. For simulating sediment yield the model showed reasonable results. The model was effective in converting rainfall into runoff and can be considered a useful tool in helping the process of decision making for water resources.

## References

- Daronco, G. C. Avaliação dos parâmetros do modelo Kineros 2 para simulação hidrossedimentológica em duas pequenas bacias hidrográficas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil
- Engelund, F. & Hansen, E. A monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag. Copenhagen, 1967.
- Woolhiser, D. A., Smith, R. E. & Goodrich, D.C. Kineros, a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 1990.



## 5. Caracterização Hidrossedimentométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim, com Base em Dados Medidos de Vazão e Sedimentos na secção de Restinga Seca

### 5.1. Metodologia

As medições foram realizadas no município de Restinga Seca, na estação fluviométrica de código 85438000 sob responsabilidade da ANA e operação a cargo da CPRM, tendo 914 km<sup>2</sup> de área de drenagem, localizada na RS-149, latitude -29o48'03" e longitude -53o: 22': 7", sob a primeira ponte no sentido de quem vai da BR-287 ao centro da cidade de Restinga Seca (Figura 7).

#### 5.1.1. Medidas de vazão e coletas de sedimentos de fundo e em suspensão

A vazão foi obtida através da medição de velocidade, com a utilização de molinetes hidrométricos.

As coletas de sedimentos em suspensão objetivaram a determinação da concentração dos sedimentos em suspensão na seção de medição. As amostragens de concentração de sedimentos em suspensão foram feitas com amostrador de sedimentos em suspensão USDH-48, com o objetivo de coletar amostras integradas na profundidade durante as medições de descargas líquidas. As amostragens foram feitas pelo método de igual incremento de largura.



**Figura 7.** RLocalização da secção de medição. Fonte: Google Earth

### 5.1.2. Amostragem de material de leito

A coleta de amostras para a caracterização granulométrica do material de leito foi feita com um amostrador material de leito US-BMH-60.

### 5.1.3. Análises de laboratório

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. 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.

### 5.1.4. Curva chave de vazões

Com os dados medidos de vazões, coletados no período, foram lançados em um mesmo gráfico com os dados de resumo das descargas, disponíveis na página da ANA ([www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br)), verificando-se que os mesmos estão coerentes com os registros oficiais da estação. Optando-se por não se construir uma nova Curva- Chave de Vazões.

Desta forma, os dados de vazão disponíveis no site da ANA, foram considerados adequados para serem transformados em dados de descarga sólida, através da utilização da Curva Chave de Sedimentos

### 5.1.5. Curva chave de sedimentos

Com base nos dados de concentração de sedimentos, das 19 medições realizadas na secção, foi calculada a descarga total de sedimentos, correspondente a cada concentração, pelo método de Colby (1957), utilizando -se o TSR1.0 ( 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, ou seja:

$$Q_{st} = a.Q^b$$

Onde:

$Q_{st}$ : é a descarga sólida total, em ton/dia ( toneladas por dia),  $Q$  é a descarga líquida (m<sup>3</sup>/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 a série de vazões correspondente ao 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 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.

#### **5.1.6. Avaliação da produção anual de sedimentos na bacia**

A produção anual de sedimentos para o período, 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 o período de 2007 a 2010, correspondente ao período em que foram feitas as medições de sedimentos na secção.

Também foram calculadas as produções de sedimentos obtidas à partir das curvas de permanência de vazões calculadas à partir 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

A segunda, correspondente ao período de abril de 2006 a setembro de 2010, constituída de dados brutos

Nesses dois casos, foram obtidas as vazões correspondentes às permanências de 2, 3, 5, 10, 20 e 50% do tempo, para os períodos considerados, feita a transformação de vazões líquidas em sólidas, utilizando-se a Curva Chave de Sedimentos e posteriormente feita a integração para a obtenção da produção média anual de sedimentos.

## **5.2. Resultados**

### **5.2.1. Síntese dos dados de campo**

Ao todo foram realizadas 30 medições de vazão, das quais 19 com amostragem da concentração de sedimentos em suspensão e do material do leito.

A tabela 4 apresenta um resumo das medições. Nessa tabela também são apresentados valores de oxigênio dissolvido e temperatura e da descarga sólida total de sedimentos, calculada pelo método de Colby (1957), a partir dos dados medidos de velocidade, vazão, parâmetros geométricos da secção e concentração de sedimentos em suspensão.

A tabela 5 apresenta o resumo das medições de concentração de sedimentos em suspensão, a tabela 6 apresenta a granulometria do material em suspensão e a tabela 7. apresenta a granulometria do material de leito.

**Tabela 4.** Resumo da medições de vazão, concentração de sedimentos, oxigênio dissolvido e temperatura

Data	Ordem	Cota	L	H	A	V	Q	Css	OD	T	Qss	Qts
		m	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(ppm)		°C	t/dia	t/dia
29/05/2007	1	2,57	16,70	1,19	19,64	0,47	9,290					
12/06/2007	2	5,09	24,70	2,97	72,14	0,54	39,000	89		17,0	300,838	424,310
13/06/2007	3	5,21	24,30	3,14	75,94	0,51	39,006		7,43	17,0		
14/06/2007	4	5,26	24,30	3,50	70,39	0,53	37,506		6,64	17,7		
19/06/2007	5	4,63	23,00	2,73	61,93	0,50	31,027	22			58,520	107,870
26/06/2007	6	2,56	16,50	1,16	19,07	0,48	9,138		8,84	13,6		
03/07/2007	7	3,17	17,98	1,66	29,80	0,53	15,698	36			48,284	93,460
17/07/2007	8	2,92	17,50	1,41	24,42	0,52	12,729	5	8,45	11,0	5,763	21,600
31/07/2007	9	2,76	16,30	1,28	20,80	0,53	10,961	16	10,15	10,2	14,849	43,950
09/08/2007	10	4,58	22,10	2,54	56,10	0,52	29,309	26	10,91	12,7	64,675	198,920
21/08/2007	11	3,16	18,40	1,60	29,09	0,51	14,786		10,83	12,9		
28/08/2007	12	4,18	21,10	2,44	50,31	0,55	27,835		8,61	13,0		
11/09/2007	13	2,13	14,50	0,86	12,33	0,43	5,310	68	7,40	20,4	31,041	54,760
25/09/2007	14	6,89	114,90	3,76	420,59	0,59	247,173	97	6,87	16,6	2071,507	2885,780
08/10/2007	15	2,90	18,20	1,82	32,96	0,37	12,038	58	7,42	19,8	60,429	84,540
16/10/2007	16	3,63	19,40	2,39	45,31	0,43	19,422	158	8,48	19,0	264,479	331,020
30/10/2007	17	4,40	21,20	2,86	58,98	0,54	32,079	179	7,14	20,3	494,874	629,860
13/11/2007	18	2,54	16,20	1,28	20,62	0,33	6,789	30	7,69	19,5	17,591	27,370
27/11/2007	19	1,81	13,24	0,83	10,94	0,17	1,850	23			3,599	4,920
15/09/2008	20	5,82	34,00	3,14	106,69	0,35	37,183			16,5		
01/10/2008	21	2,10	13,00	1,26	16,36	0,36	5,846					
08/10/2008	22	1,96	12,50	0,84	10,47	0,27	2,794			17,0		
15/10/2008	23	5,00	20,50	3,48	71,36	0,55	39,419	105		19,0	357,269	427,880
23/10/2008	24	5,78	33,50	2,80	93,94	0,39	36,273			21,0		
20/11/2008	25	2,03	14,00	1,02	14,31	0,26	3,685			17,0		
19/03/2009	26	2,36	15,00	1,18	17,74	0,43	7,585	36		23,0	23,789	43,060
26/03/2009	27	1,95	13,79	0,91	12,50	0,26	3,276	25			6,963	10,940
02/04/2009	28	1,90	15,00	0,74	11,04	0,30	3,308	105		21,0	29,982	41,400
14/01/2010	29	5,73	82,50	3,55	292,90	0,22	64,250	19			104,809	133,650
03/10/2010	30	1,72	13,50	0,64	8,27	0,23	1,896	26			4,295	6,890
<b>Legenda:</b> Cota: Leitura da régua (m) L: Largura da secção transversal do escoamento (m) H: Profundidade média do escoamento (m) A: Área da secção transversal do escoamento (m <sup>2</sup> ) V : Velocidade média do escoamento (m/2) Q: Vazão( m <sup>3</sup> /s)							Css: Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l) OD : Oxigênio dissolvido (mg/l)  T; Temperatura ( °C) Qss: descarga sólida em suspensão Qst: Descarga sólida total calculada pelo método de Colby (1957)					

**Tabela 5.** Resumo das medições de concentração de sedimentos em suspensão

<b>1) Método de filtração</b>	
Data de coleta	C (mg/L)
08/10/07	58,10
16/10/07	157,61
30/10/07	178,55
13/11/07	29,99
27/11/07	22,51
<b>2) Método do tubo de retirada pela base</b>	
Data de coleta	C (mg/L)
12/06/07	89,28
19/06/07	21,83
03/07/07	35,6
17/07/07	5,24
31/07/07	15,68
09/08/07	25,54
11/09/07	67,66
25/09/07	92,89
25/09/07	106,46
08/10/07	77,23
16/10/07	314,73
30/10/07	276,84
13/11/07	66,90
27/11/07	42,56
<b>3) Método de evaporação</b>	
19/03/20	36,3
02/04/2009	13,5
15/10/2008	104,9
26/03/2009	24,6
01/10/2008	61,1

**Tabela 6.** Granulometria do material em suspensão

Data da coleta	Classificação granulométrica (%)		
	Argila	Silte	Areia
12/06/07	13,00	87,00	0,00
19/06/07	49,10	50,90	0,00
03/07/07	63,7	27,7	8,6
17/07/07	0,20	51,10	48,70
31/07/07	20,3	63,6	16,1
09/08/07	13,30	33,40	53,30
21/08/07	0,00	78,70	21,30
28/08/07	1,30	86,60	12,10
11/09/07	48,60	48,00	3,40
25/09/07	31,00	66,30	2,70
25/09/07	61,80	33,00	5,20
08/10/07	5,50	87,40	7,10
16/10/07	26,70	69,30	4,00
30/10/07	30,90	59,10	10,00
13/11/07	5,80	87,90	6,30
27/11/07	5,90	89,10	5,00

## **6. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA À PARTIR DOS DADOS MEDIDOS DE VAZÕES E SEDIMENTOS**

A figura 7 apresenta a curva chave de sedimentos .

A tabela 8 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 9 apresenta a curva de permanência correspondente.

A tabela 9 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 8 apresenta as curvas de permanência correspondentes.

A tabela 10 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 a tabela 11 apresenta o mesmo cálculo para os períodos de 1996 a 2006 e de 2006 a 2010.

## **7. 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) 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;
- (b) 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;

- (c) 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.

**Tabela 7.** Granulometria do material de leito

Data da coleta	Posição da Amostra	Granulometria (%)					
		Argila	Silte	Areia			Pedregulho
				Fina	Média	Grossa	
13/6/07	1/2	0	0	5,9	93,5	0,6	0
	1/6	0	0	13,4	83,4	2,4	0,8
	5/6	0	0	5	93	2	0
14/6/07	1/2	0	0	16	82,2	1,5	0,3
	xxx	0	0	12,7	83	3,7	0,6
	5/6	0	0	26,5	72,9	0,5	0,1
19/6/07	1/2	0	0	5,7	94,1	0,2	0
	1/6	0	0	20	64,1	15,9	0
	5/6	0	0	3,2	96,5	0,3	0
26/6/07	1/2	0	0	10,9	88,9	0,2	0
	1/6	0	0	3,8	96,1	0,1	0
	5/2	0	0	15,1	84,8	0,1	0
17/7/07	1/6	0	0	12,4	86,3	1,3	0
	5/6	0	0	21,6	76,3	2,1	0
31/7/07	1/2	0	0	6,8	92,6	0,6	0
	1/6	0	0	10	87,5	2,5	0
	5/6	0	0	10,8	83,6	5,6	0
9/8/07	1/2	0	0	8,2	89,2	2,6	0
	1/6	0	0	8,9	89,9	1,2	0
	5/6	0	0	7,3	90,7	2	0
21/8/07	1/2	0	0	7,1	92,9	0	0
	1/6	0	0	28,6	65,7	5,7	0
	5/6	0	0	11,6	88,4	0	0
28/8/07	1/2	0	0	5,5	92,8	1,7	0
11/9/07	1/2	0	0	12,5	87	0,5	0
	1/6	0	0	22,3	76	1,7	0
25/9/07	7/12	0	0	1,5	59,9	37,2	1,4
16/10/07	1/2	0	0	6,7	41,3	49,3	2,7
	1/6	0	0	20,9	26,6	4,1	48,4
	5/6	0	0	11,5	70,8	17,7	0
30/10/07	1/2	0	0	2,8	95,2	2	0
	1/6	0	0	36,9	58,9	2,5	1,7
	5/6	0	0	16	83,8	0,2	0
13/11/07	1/2	0	0	3,3	82	14,7	0
	1/6	0	0	9,6	90	0,4	0
27/11/07	1/2	0	0	8,9	80,4	10,7	0
18/12/07	N30	0	0	56	37,5	6,5	0
	N32	0	0	27,5	56,2	16,2	0,1



**Tabela 8.** Permanência das descargas sólidas no período de 01/2007 a 09/2010

Bloco	Ocorrências	Ocorrências	Freq (%)	Freq Acumulada	Prob	Qst (t/dia)
1,604	28	28	2,051282051	2,051282051	100	1,604
2,494859	43	15	1,098901099	3,15018315	97,94872	2,495
3,879347	71	28	2,051282051	5,201465201	96,84982	3,879
6,032137	120	49	3,58974359	8,791208791	94,79853	6,032
9,379588	183	63	4,615384615	13,40659341	91,20879	9,380
14,58466	235	52	3,80952381	17,21611722	86,59341	14,585
22,67822	311	76	5,567765568	22,78388278	82,78388	22,678
35,26318	380	69	5,054945055	27,83882784	77,21612	35,263
54,832	480	100	7,326007326	35,16483516	72,16117	54,832
85,26026	668	188	13,77289377	48,93772894	64,83516	85,260
132,5743	840	172	12,6007326	61,53846154	51,06227	132,574
206,1445	997	157	11,5018315	73,04029304	38,46154	206,145
320,5416	1137	140	10,25641026	83,2967033	26,95971	320,542
498,4217	1185	48	3,516483516	86,81318681	16,7033	498,422
775,0139	1209	24	1,758241758	88,57142857	13,18681	775,014
1205,097	1257	48	3,516483516	92,08791209	11,42857	1205,097
1873,849	1310	53	3,882783883	95,97069597	7,912088	1873,849
2913,716	1345	35	2,564102564	98,53479853	4,029304	2913,716
4530,642	1361	16	1,172161172	99,70695971	1,465201	4530,642
7044,86	1365	4	0,293040293	100	0,29304	7044,860
10954,31	1365	0	0	100	0	10954,307

## 8. Perspectivas Futuras

O trabalho continua em andamento, objetivando ampliar a coleta e análise de dados, visando uma melhor caracterização hidrossedimentométrica da bacia.

Recentemente foi instalado um linígrafo eletrônico com data logger na estação de medição, em Restinga Seca, configurado para registro de níveis de hora em hora, de forma a permitir o entendimento do desenvolvimento da onda de cheia.



**Tabela 9.** 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

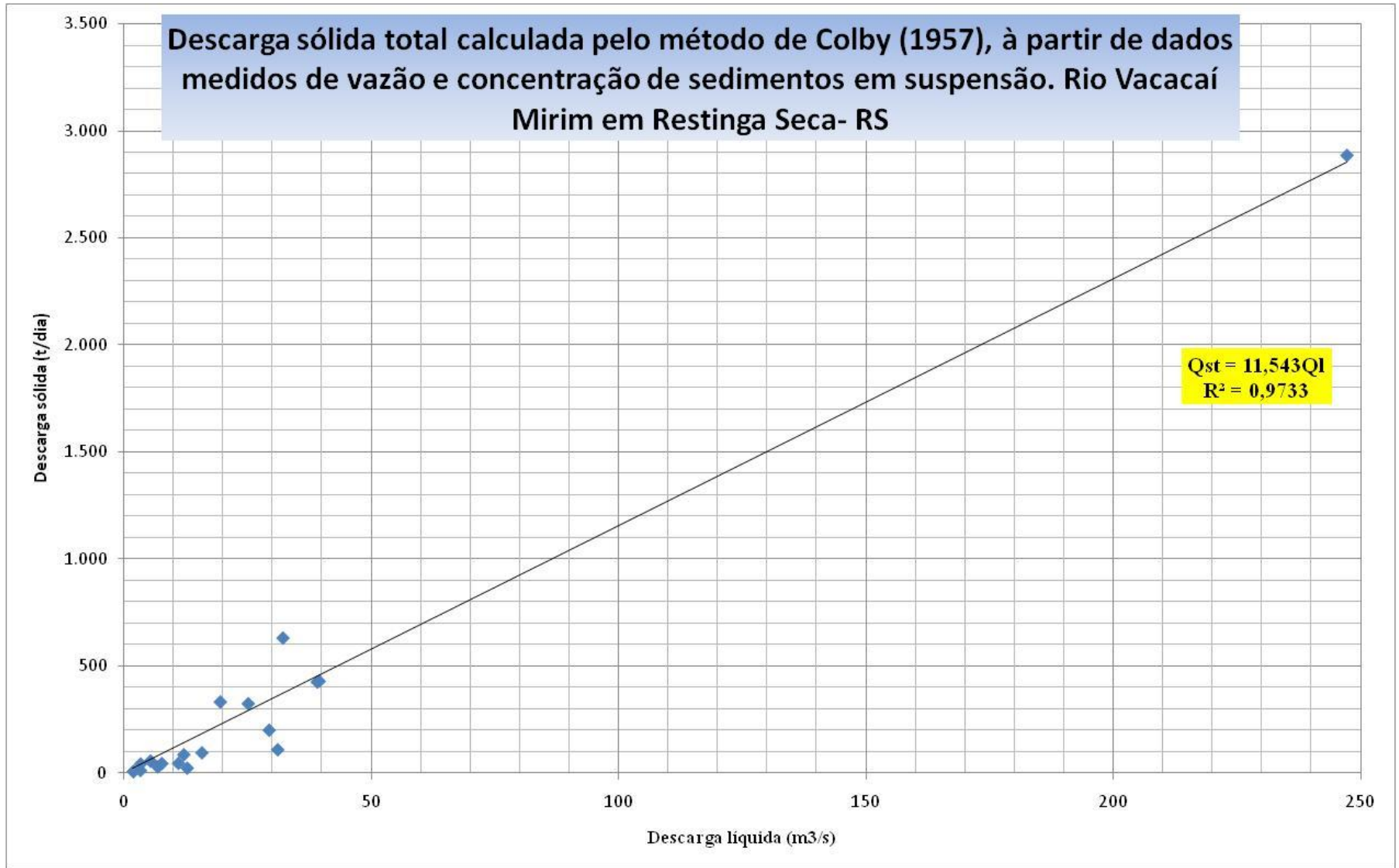
**Tabela 10.** Cálculo da produção de sedimentos na bacia no período de 01/2007 a 09/2010

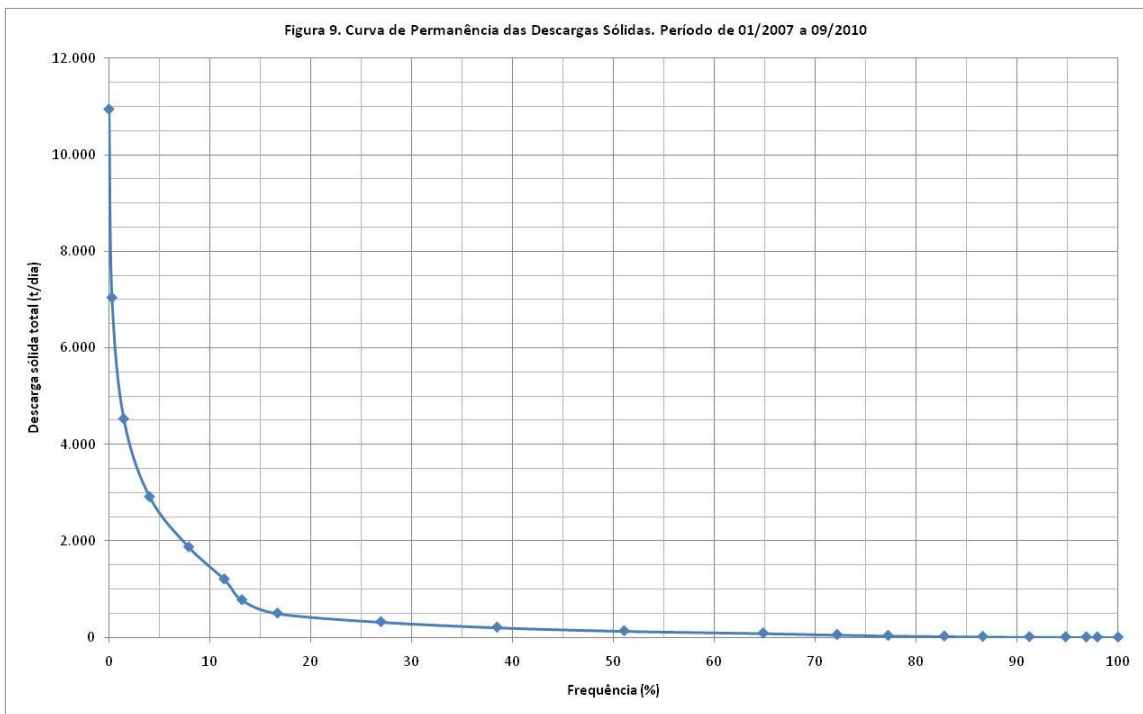
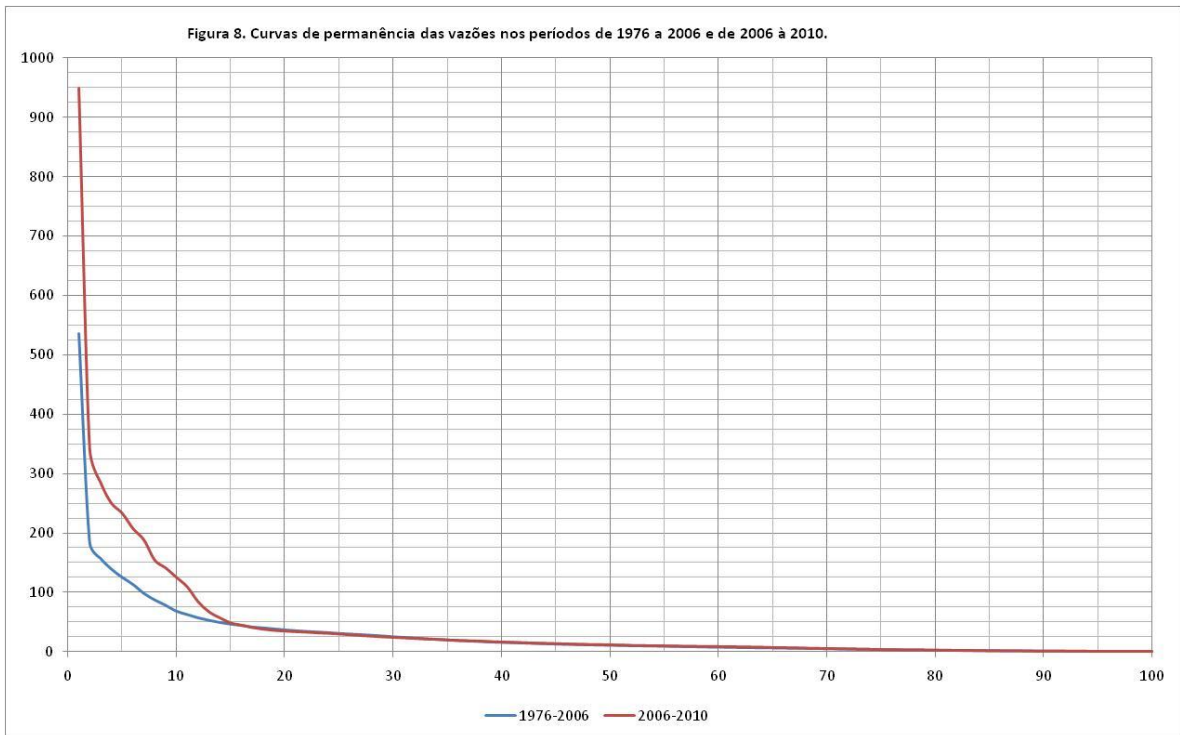
Freq (%)	Q(t/dia)	N. Dias	Qst(t/ano)	
50	136,64	182,5	24936,8	
30	285,9	109,5	31306,05	
10	1445,5	36,5	52760,75	
5	2624,075	18,25	47889,37	
3	3473,887	10,95	38039,06	
2	4132,312	7,3	30165,88	
		Qst	225098	t/ano
		Àrea	914	Km <sup>2</sup>
		Qst	246	t/Km <sup>2</sup> /ano
		Qst	0,09	mm/ano

**Tabela 11.** 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.

Período de 1976-2006					Período de 1976-2006			
Frequência (%)	Q (m3/s)	Qst (t/dia)	N. Dias	Qst(t/ano)	Q (m3/s)	Qst (t/dia)	N. Dias	Qst(t/ano)
50	10,6	122,356	182,50	22329,93	11,20	129,282	182,50	23593,89
30	25	288,575	109,50	31598,96	23,90	275,878	109,50	30208,61
10	68	784,924	36,50	28649,73	125,00	1442,875	36,50	52664,94
5	125	1442,875	18,25	26332,47	233,00	2689,519	18,25	49083,72
3	157	1812,251	10,95	19844,15	285,00	3289,755	10,95	36022,82
2	183	2112,369	7,30	15420,29	341,00	3936,163	7,30	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
		<b>Qst</b>	<b>0,06</b>	<b>mm/ano</b>		<b>Qst</b>	<b>0,09</b>	<b>mm/ano</b>

Figura 7. Curva Chave de Sedimentos. Período de 2007-2010.





## 9. Referências Bibliográficas

- Beling, F.A.- Hidrograma de Projeto Utilizando o Modelo Kineros2 em uma Pequena Bacia de Encosta Em Santa Maria. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria. 2010. (Orientador: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA)
- Carvalho, N.O. "Hidrossedimentologia Prática". CPRM- ELETROBRÁS. 1994
- Colby. B.R. (1957)."Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity". Transactions, Amer. Geophy. Union, Vol. 38, n.5, oct., pp. 708-719.
- Daronco, G. C. - Avaliação dos parâmetros do modelo Kineros 2 para simulação hidrossedimentológica em duas pequenas bacias hidrográficas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil. (Orientador: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA)
- Daronco, G. C., PAIVA, J. B. D. de - Avaliação dos Parâmetros do Modelo Kineros- 2 para Simulação Hidrossedimentológica em uma Pequena Bacia Hidrográfica In: VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2010, Porto Alegre. **CDRom**. Porto Alegre: , 2010.
- Daronco, G. C., PAIVA, J. B. D. de - Avaliação do Modelo Kineros2 para a Simulação Hidrossedimentológica em Duas Pequenas Bacias Hidrográficas no Sul do Brasil. IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. **CDRom**. ABRH. Brasília 2010.
- Daronco, G. C., PAIVA, J. B. D. de -Avaliação do Modelo Kineros- 2 para Simulação Hidrossedimentológica em duas Bacias Hidrográfica In: XXIV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, 2010, Punta del Este. **CDRom**. IAHR-AIRH, 2010.
- Engelund, F. & Hansen, E. - A monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag. Copenhagen, 1967.
- 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. Pp127-135. 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://jaraca.ufsm.br/websites/paiva/download/SinteseEnquadra.rar>
- Woolhiser, D. A., Smith, R. E. & Goodrich, D.C. - Kineros, a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 1990.