

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Solicitação de Bolsa de Produtividade em Pesquisa - Edital CNPq PQ 10/2008

Projeto: Bases Científicas e Tecnológicas para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos em Pequenas Bacias Hidrográficas

Solicitante: João Batista Dias de Paiva – PQ - 1 D.

Período: 2009-2011

1. Metas atingidas em relação à proposta anterior

Os objetivos da proposta anterior foram atingidos com as seguintes ações: 1. Execução do projeto: Enquadramento em Regiões com Carência de Dados. Bases Técnicas. Estudo de Caso. A bacia do Rio Vacacaí Mirim, com recursos do CTHidro (Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDROGRH 01-2004), como parte integrante da rede cooperativa de pesquisa no tema: “ Desenvolvimento de metodologias de enquadramento dos cursos d'água que assegurem ao longo do tempo a qualidade das águas adequada para os diversos usos”, coordenada pelo proponente; 2. Desenvolvimento do projeto de avaliação do impacto ambiental da atividade de mineração de ametista em São Martinho da Serra. 3. desenvolvimento de metodologia de reconstituição das vazões naturais em regiões com uso intenso de água para irrigação. Além das atividades previstas, o proponente atuou fortemente na discussão e divulgação para a população, das questões ambientais através da participação no Comitê da Bacia do Vacacaí e da Coordenação do Programa AMA- Rádio Jornal da Água e do Meio Ambiente, de frequência 1 hora por semana.

2. Introdução

O grupo de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (GHIDROS) da Universidade Federal de Santa Maria contribui, em termos gerais, para o aprimoramento e desenvolvimento, sob condições tipicamente brasileiras, de metodologias de avaliação de impactos ambientais do uso do solo, sobre a precipitação, as disponibilidades hídricas, as cheias, a produção, transporte e deposição de sedimentos e sobre a qualidade da água e resíduos sólidos em bacias hidrográficas e reservatórios, de forma a permitir a sua aplicação em regiões que não disponham de informações. Contribui com o desenvolvimento científico, nacional e regional nas áreas de Recursos Hídricos, Saneamento Básico e Educação Ambiental, atuando em nível de pós-graduação junto aos programas de pós-graduação nas áreas de Engenharia, Agronomia e Engenharia Agrícola da UFSM. Atua também junto aos órgãos públicos e organizações não governamentais buscando a sua inserção comunitária. É prática comum o seu envolvimento em projetos de pesquisa e extensão, em cooperação com órgãos da administração pública e empresas privadas, com a participação de professores e alunos. No âmbito nacional, o grupo participou e coordenou as sub-redes 1 e 3 da Rede Cooperativa de Pesquisas em Recursos Hídricos (REHIDRO) - Projeto RECOPE- FINEP e a Rede de pesquisa "Desenvolvimento de metodologias de enquadramento dos corpos d'água que assegurem ao longo do tempo a qualidade das águas adequada para os diversos usos", composta pelas instituições: AIIEGA, EMBRAPA-Pantanal, Poli-USP, UFBA, UFES, UFPR e UFSM. Dentre os projetos desenvolvido pelo grupo na área específica de recursos hídricos destacam-se: (1) "Monitoramento e modelagem dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim."; (2) "Bases tecnológicas para o gerenciamento dos recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas"; (3) "Impacto da urbanização nos recursos hídricos em Santa Maria"; (4) "Monitoramento e modelagem da qualidade da água e de redes de abastecimento"; (5) "Assessoramento ao comitê de gerenciamento das bacias hidrográficas dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim";

(6) "Rádio Jornal da Água e do Meio Ambiente"; (7) "Monitoramento do impacto da atividade de mineração de pedras preciosas sobre a produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. Estudo de caso." (8) "Programa de monitoramento dos recursos hídricos na área de garimpo da microrregião de São Martinho da Serra da região central do estado (controle de sedimentos e qualidade da água)".

A presente proposta se insere no projeto global do grupo e trata especificamente das atividades do pesquisador João Batista Dias de Paiva, líder do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (GHIDROS), da Universidade Federal de Santa Maria e envolve a temática de Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentométrica de Pequenas Bacias Hidrográficas; a avaliação de disponibilidades hídricas em termos quali-quantitativos para fins de aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos; a simulação e avaliação da produção de sedimentos em bacias hidrográficas e transporte de sedimentos que amplia as atividades desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim; medição, avaliação e simulação do transporte de sedimentos em rios e o desenvolvimento de software para o cálculo de sedimentos e para a transmissão remota de dados.

3. Objetivos

Esta pesquisa tem por objetivo geral o desenvolvimento e avaliação de metodologias de quantificação e controle do impacto da ação antrópica sobre a disponibilidade hídrica, as cheias, a produção, o transporte e a deposição de sedimentos e sobre a qualidade da água em pequenas bacias hidrográficas, visando ampliar a base tecnológica disponível para o gerenciamento dos recursos hídricos.

No próximo período de vigência da Bolsa de Produtividade solicitada, esses objetivos serão perseguidos através dos seguintes projetos específicos:

- Projeto Matasul: Rede de pesquisa em bacias representativas e experimentais no bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil. www.ufsm.br/projetomatasul
- Projeto Integra: Rede de pesquisa em disponibilidade hídrica para aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Quantidade e qualidade.
- Caracterização hidrossedimentométrica da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, com base em dados medidos de vazão e sedimentos

4. Projetos Específicos

A seguir é feita uma descrição sucinta dos projetos citados:

4.1 Projeto Matasul: Rede de pesquisa em bacias representativas e experimentais no bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil. www.ufsm.br/projetomatasul

Este projeto tem por objetivo geral obter uma melhor compreensão e representação dos processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço-temporais no bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil, através de rede de pesquisa envolvendo as instituições do Sul do Brasil (UFRGS/IPH, UFSM/HDS, FURB e UFPR). As bacias estudadas são Arroio Vacacaí Mirim, Potiribu, Ribeirão Concórdia, Arvorezinha e Rio Birigüi. Encontra-se em andamento e tem por objetivo geral obter uma melhor compreensão e representação dos processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço-temporais no bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil. Envolve instituições que tem tradição em pesquisas em pequenas bacias hidrográficas e resgata conhecimentos adquiridos em projetos desenvolvidos com financiamentos anteriores, que tem um acervo de dados e conhecimentos armazenados que permitirão dar respostas rápidas de forma eficiente e integrada.

Para atingir o objetivo geral foram definidas metas que serão atingidas dentro dos diferentes horizontes do projeto. São elas:

- Levantamento, análise e armazenamento de dados hidrossedimentológicos em bacias

hidrográficas embutidas;

- Avaliação do balanço hídrico em bacias de tamanhos diferenciados;
- Avaliação da produção de sedimentos em bacias de tamanhos diferenciados;
- Avaliação de parâmetros de qualidade da água em bacias de tamanhos diferenciados;
- Aplicação de modelos físicos e matemáticos para estudo dos processos avaliados nas escalas estudadas;
- Avaliação das incertezas nas estimativas dos parâmetros e processos;
- Divulgação dos dados, resultados e trabalhos científicos na internet.

A seguir é descrito o Projeto da UFSM:

4.1.1 PROJETO MATASUL – UFSM; Bacia do Arroio Vacacaí Mirim

4.1.1.1 Histórico

4.1.1.1.1 A bacia do rio Vacacaí Mirim

A bacia do rio Vacacaí Mirim está localizada no sul do Brasil, no centro do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 53° 46' 30" e 53° 49' 29" de longitude oeste e 29° 36' 55" e 29° 39' 50" de latitude sul e possui cerca de 1120 km², é responsável em sua cabeceira, por 40% do abastecimento público de água da Cidade de Santa Maria. É uma bacia que sofre os efeitos da expansão urbana e da atividade agrícola, com sérios problemas de qualidade e quantidade de água.

Na parte alta da bacia, está localizado o reservatório de abastecimento público, com área inundada de 0,74 km² e bacia contribuinte de aproximadamente 29 Km². Drena uma área característica de mata nativa, característica do Bioma Mata Atlântica, agricultura de cultivos anuais e permanentes, pecuária (em menor escala) e balneários. Há uma pequena, porém crescente área em fase de urbanização. Abaixo do reservatório, a bacia é característica de área urbana em sua margem direita e de área rural, com campo nativo e agricultura irrigada em sua margem esquerda. Nessa área foi equipada uma bacia em fase de urbanização, com duas estações fluviográficas e uma pluviométrica, de forma a permitir o monitoramento de sua parte rural e de sua área urbana.

Estudos anteriores abrangeram uma área de drenagem de aproximadamente 50 km², nas cabeceiras do Rio Vacacaí Mirim, onde foram instaladas 5 estações fluviográficas e 3 estações pluviométricas, operadas em períodos distintos (Figura 1).

4.1.1.1.2 Monitoramento

As variáveis hidrológicas monitoradas continuamente foram: precipitação, níveis de água, vazões e concentração de sedimentos em suspensão. Os parâmetros de qualidade da água monitorados, em escala mensal foram: temperatura do ar e da água, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, ferro, demanda bioquímica de oxigênio, cloretos, cor, alcalinidade, dureza, manganês, coliformes totais e fecais.

Com exceção das estações fluviográficas Cidade dos Meninos e Reservatório Vacacaí, em todas as estações foram feitas amostragem de concentração de sedimentos em suspensão, com amostrados AMS1 e com amostrador de nível ascendente. Na estação Sítio do Tio Pedro, foram feitas algumas medições de descarga de fundo utilizando amostrador Heley Smith e amostrador tipo fossa de sedimentos.

As medições de vazões líquidas para estabelecimento da curva chave vêm sendo feitas utilizando-se molinete fluviométrico universal por ocasião das cheias e sensor de velocidade nas medições feitas em período de águas baixas.

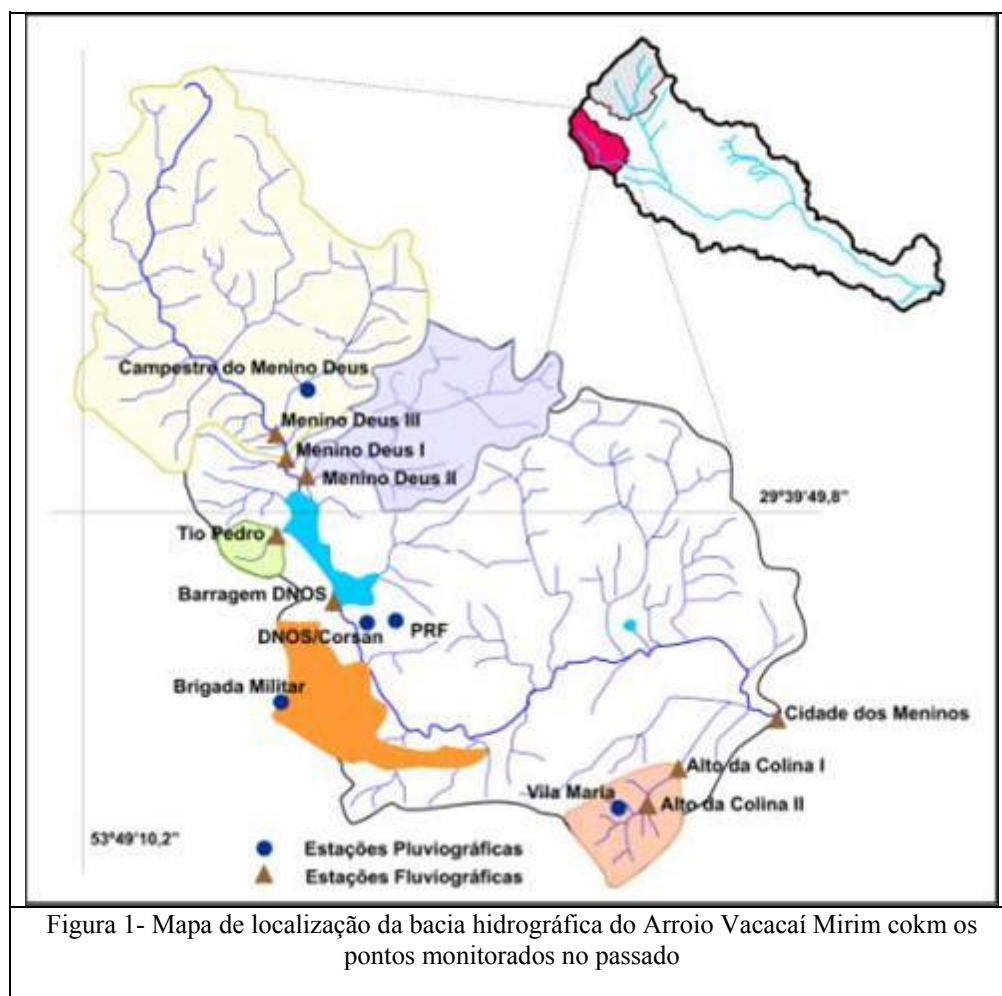
4.1.1.1.3 Bacias Monitoradas no passado

No início do projeto foram operadas 3 estações pluviométricas com equipamentos mecânicos, nos locais indicados na Figura (Brigada Militar, PRPF e DNOS-CORSAN). Essas estações foram desativadas, por problemas de vandalismo, mecânicos e de operação.

Atualmente, encontra-se em operação uma estação pluviométrica dotada de pluviômetro eletrônico, a estação pluviométrica Vila Maria.

Encontram-se também disponíveis os dados evaporimétricos e climatológicos da estação climatológica da UFSM.

A Figura 2 apresenta um mapa de localização da bacia hidrográfica do Arroio Vacacaí Mirim, contendo a rede de monitoramento operada no passado.



4.1.1.1.4 Dissertações desenvolvidas

Os dados resultantes do monitoramento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim, em Santa Maria-RS, tem dado sustentação as atividades de ensino e pesquisa do Departamento de Hidráulica e Saneamento-CT-UFSM, junto ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da UFSM e encontram-se publicados através de vários artigos em congressos regionais, nacionais e internacionais e revistas. Podendo-se destacar os

trabalhos de análise de dados, extensão de séries, modelagem hidrológica, sedimentométrica e de qualidade da água, que em que pese a pequena extensão do período de dados disponíveis, tem fornecido subsídios para decisões do Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Vacacaí e Vacacaí Mirim, integrante do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

4.1.1.2 Pontos de Monitoramento Previsto no Projeto Atual

A verificação dos possíveis locais para a instalação dos pontos de monitoramento foi feita percorrendo as localidades a montante da bacia do Rio Vacacaí Mirim. Os pontos de monitoramento foram escolhidos conforme o melhor acesso e percepção dos aspectos quantitativos e qualitativos da bacia e principalmente a sua relação com a Mata Atlântica.

Todas as bacias monitoradas são dotadas de pluviômetro eletrônico, linígrafo eletrônico de bóia, com data-logger, modelo A-OTT Thalimedes e amostradores de sedimentos em suspensão de fluxo ascendente.

4.1.1.2.1 Rancho do Amaral

A bacia do Rancho do Amaral possui 4,98 Km² e o comprimento do rio principal é de 2,1 Km, caracterizada pela grande área de mata nativa. A Figura 2 mostra o ponto de monitoramento do Rancho do Amaral. Além dos equipamentos instalados nos outros pontos de monitoramento, no Rancho do Amaral foi instalado um lizímetro para a medição da evapotranspiração.



Figura 2. Mapa das sub-bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno

4.1.1.2.2 Rincão do Soturno

A bacia em estudo possui área de 12,14 Km², comprimento do rio principal de 3,95 Km e diferença de cota entre a nascente e o exutório de 265,4m. É uma das sub-bacias contribuintes ao reservatório do Vacacaí Mirim. Este reservatório é responsável por 40% do abastecimento público da cidade de Santa Maria. Nesta bacia serão operadas duas estações fluviográficas. A bacia do Rincão do Soturno no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, possui coordenadas 29°38'37,5'' Latitude Sul e 53°48'3,3'' Longitude Oeste.

A Figura 1 mostra o ponto de monitoramento Rincão do Soturno.

4.1.1.2.3 Alto da Colina

A Bacia Alto da Colina possui 1,90 Km² de área, sendo esta predominantemente urbana. Está localizada nas coordenadas geográficas 54°43'37'' de latitude sul e 29°41'70'' de longitude oeste.

Essa bacia está sendo monitorada desde o ano 2000 e será utilizada para essa pesquisa. Será feita análise de qualidade da água através de amostrador automático (ANA) e coletas manuais. Na sub-bacia Alto da Colina existe um pluviômetro instalado na Vila Maria. A bacia Alto da colina é mostrada na figura 1.

4.1.1.3 Equipe

Prof.^a Dr.^a Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva - Coordenadora

Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva

Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

Eng. Civil. Msc. Lorenza Ferreira Oppa- Bolsista DTI

Íris Rodrigues Marcon - Eng.^a Civil e Aluna de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientadora; Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva.

Leandro de Freitas Pereira - Eng. Civil e Aluno de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientadora: Maria do Carmo Cauduro Gastaldini.

Rafael Matias Feltrin - Eng. Agrônomo e Aluno de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientador: João Batista Dias de Paiva.

Ricardo Ruwer Patatt - Acadêmico de Engenharia Civil - Bolsista de iniciação científica.

Luciano Faustino da Silva - Acadêmico de Engenharia Civil - Bolsista de iniciação científica.

José Astério Rosa do Carmo – AT – NS

Alcides Sartori – AT-NM

Nesse projeto o Prof. João Batista Dias de Paiva é o vice-coordenador e é responsável pela coordenação das atividades de campo, além de orientar o Eng. Agrônomo Rafael Feltrin, cujo projeto de pesquisa tem por objetivo específico avaliar o comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico (precipitação, vazão, escoamento superficial, drenagem profunda, umidade do solo e evapotranspiração) através do monitoramento da precipitação, vazão, evapotranspiração e umidade do solo. Será desenvolvido na bacia do rancho do Amaral, onde está sendo feito o monitoramento de vazão, precipitação, evapotranspiração e percolação. Para complementar o seu trabalho, serão realizados ensaios de capacidade de infiltração da água

no solo e serão instalados tensiômetros para medir a umidade do solo em 3 pontos característicos da área. Após a conclusão dos levantamentos experimentais, será aplicado um modelo matemático chuva-vazão para o fechamento do balanço hídrico.

4.1.1.4 Referências Bibliográficas

ABOUKHALED, A.; ALFARO, J.F.; SMITH, M. Los lisímetros. Estudos da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Riego y Drenaje paper 39, Roma, 1986, 60p.

AGUILAR, D.J., KRUKER, R.J.M., CALHEIROS, R. de O, et al. Determinação da evapotranspiração potencial e balanço hídrico de região da Grande Dourados. Dourados: EMBRAPA – UEPAE, 1986. 150 p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop e evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requeriments. Roma: FAO, 1998. 297p (FAO Irrigation and Drainager Paper, 56).

ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O. et al. (Ed.) Lysimeters for avapotranspiration and environmental measurements. New York: Americam Society of Civil Engineers, 1991, 444p.

ANDRADE, CAMILO DE L. T. DE, COSTA, ÉDIO L. DA AND ALBUQUERQUE, PAULO E. P. DE. Desenvolvimento e calibração de guias de onda para TDR. *Rev. bras. eng. agric. ambient.*, Jan./Apr. 2003, vol.7, no.1, p.173-176.

BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO/ Secretaria de Agricultura, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).

BURMAN, R.D.; NIXON, P.R.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.O. Water requirements. In: JENSEN, M.E. (Ed.) Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 1983. p.189-232.

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Bragantia*, v.21, p.163-213, 1962

CARMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97. 1997.

CAPOBIANCO, J. P. R. Dossiê Mata Atlântica. Disponível em: <.....> Acesso em: 04 jul. 2007.

DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO. 1977.179 p. (Irrigation and Drainage Paper 24).

FAO. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requeriments. Roma: FAO, 1990.

FILL, H. D. et al. Balanço hídrico da bacia do Rio Barigüi, PR. R. RA'E GA, Curitiba, n. 9, p. 59-67, 2005. Editora UFPR

FREITAS, M.M. Comportamento hidrológico e erosivo de bacia montanhosa sob uso agrícola: estação experimental do rio Boa Vista, Nova Friburgo - RJ. 1998. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <.....> Acesso em: 05 Jul. 2007.

JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; PRATT, B.J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transactions of the ASAE*, v.14, p.954-959, 1971

KLAR, A. E. A água no sistema-solo-planta-atmosfera. 2ª ed. São Paulo. Nobel 1988.

MATA ATLÂNTICA. Quem faz o que pela Mata Atlântica. Disponível em: <<http://www.mataatlantica.org.br/>>. Acesso em: 5 jul. 2007.

MOREIRA, H.J.C. Sistema Agroclimático para o Acompanhamento das culturas Irrigadas: manual prático para o manejo da irrigação. Secretaria Nacional de Irrigação, Brasília, 90p. 1993.

MORENO, J.A. O clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. 43p. 1961.

OLIVEIRA, N.T. Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. Porto Alegre, IPH/UFRGS. 88p. (Dissertação de mestrado), 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA - UNESCO. Guia metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur, 1982.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. Netherland Journal of Agriculture Science, Wageningen, v. 4., 1956.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 183p. 1997.

PINTO, N. L. DE S. et al. Hidrologia Básica. São Paulo: Editora Edgar Blücher; Rio de Janeiro, Fundação Nacional de Material Escolar, 1976.

SEDIYAMA, G. C. A. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. i-xii, 1996.

SENTELHAS, P. C. ; PEREIRA, A. R. ; MARIN, F. R. ; ANGELOCCI, L. R. ; ALFONSI, R. R. ; CARAMORI, P. H. ; SWART, S. . Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas, 1999 (Boletim Técnico). Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>> Acesso em: 22 Dez. 2007.

TOMMASELLI, J.T.G.; BACHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.9, p.1145-1154, 2001.

TOMASELLA, J., ROSSATO, L. Balanço Hídrico: Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas. INPE. São José dos Campos. 2005

TUCCI, C.E.M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Agência Nacional das Águas - ANA. Maio/2002.

TUCCI, C.E.M., CLARCK R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Volume 2, n.1, Jan/Jun 1997, p.135-152.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review, London, n. 38, p. 55-94, 1948.

4.2 Projeto Integra: Rede de pesquisa em disponibilidade hídrica para aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Quantidade e qualidade.

Este projeto tem por objetivo a formação de uma rede cooperativa em pesquisa em recursos hídricos, visando o estudo das disponibilidades hídricas em pequenas bacias hidrográficas, com vistas a outorga do direito do uso dos recursos hídricos, tanto em termos qualitativos quanto em quantitativos. Envolve as seguintes instituições: Universidade Federal de Santa Maria, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Universidade Federal do Paraná, Universidade de São Paulo e Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Os grupos envolvidos têm experiência de atuação em rede em nível nacional, tendo participado entre si nas seguintes redes:

1. Subrede1: "Monitoramento de Bacias Hidrográficas e Processamento de Dados", da Rede Cooperativa de Pesquisa em Recursos Hídricos - REHIDRO, enquadra-se na área prioritária de Engenharia e Gestão de Recursos Hídricos, do "Projeto de Redes Cooperativas de Pesquisa- RECOPE", do Programa de Desenvolvimento da Engenharia - PRODENGE, da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, com o objetivo geral desenvolver e aplicar metodologias de monitoramento e processamento de dados visando a obtenção de informações que permitam dar sustentação às atividades de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, nas várias regiões do Brasil. O projeto envolveu as seguintes instituições: a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, a Universidade de Campinas - UNICAMP, a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, a Universidade de Brasília - UNB, a Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, a Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Os estudos foram desenvolvidos em pequenas bacias hidrográficas nos estados do Ceará, Pernambuco, Distrito Federal, Espírito Santo, São Paulo e Rio Grande do Sul. No Rio Grande do Sul envolveu as bacias dos rios Vacacaí Mirim e Potiribú. O projeto da UFRGS foi coordenado pelo Professores Carlos André Bulhões Mendes e Joel A. Golddenfum. A subrede foi coordenada pelo Prof. João Batista Dias de Paiva.

2. Subrede 3: "Manejo e Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos", da Rede Cooperativa de Pesquisa em Recursos Hídricos - REHIDRO, enquadra-se na área prioritária de Engenharia e Gestão de Recursos Hídricos, do "Projeto de Redes Cooperativas de Pesquisa -RECOPE", do Programa de Desenvolvimento da Engenharia - PRODENGE, da Financiadora de Estudos e Projetos FINEP, tendo como objetivo geral o desenvolvimento e/ou aprimoramento de ferramentas de avaliação dos recursos hídricos, criar elementos técnicos que orientem o disciplinamento do uso do solo e desenvolver experiências específicas em bacias hidrográficas. O projeto envolveu as seguintes instituições: Universidade do Estado do Rio de Janeiro -UERJ, Universidade Federal do Ceará - UFC, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Universidade de Campinas - UNICAMP, Universidade de São Paulo - USP/EESC. A subrede foi coordenada pelos professores Carlos Eduardo Morelli Tucci, Arthur Mattos e Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva.

3. Rede 2: O ENQUADRAMENTO E SUA PERSPECTIVA A PARTIR DO USO DA ÁGUA, da CHAMADA PÚBLICA MCT/FINEP/CT-HIDRO-GRH - 01/2004.Tema Prioritário: Desenvolvimento de metodologias de enquadramento dos corpos d'água que assegurem ao longo do tempo a qualidade das águas adequada para os diversos usos de uma dada bacia. Esta rede de pesquisa encontra-se com os seus projetos específicos em fase final de avaliação dos resultados. Foi operalizada através de projetos específicos envolvendo as seguintes instituições de pesquisas nacionais: Universidade Federal de Santa Maria, Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal do Espírito Santo, o IIEGA- SC- SP e a Embrapa - Pantanal. Os estudos foram desenvolvidos nas bacias hidrograficas dis rios: Vacacaí-Mirim - RS, Iguaçu - Pr, São Francisco, Santa Maria da Vitória - ES, Tietê/Jacaré (São Paulo) e Miranda (MS). O projeto específico da USP e da UFPR, foi coordenado pela Prof. Mônica Porto e pelo Prof. Cristóvão Scapulatempo Fernandes. A rede foi

coordenada pelo Prof. João Batista Dias de Paiva.

4. Rede de pesquisa em bacias representativas e experimentais no bioma da Mata Atlântica, na região sul do Brasil - Mata Sul: Este projeto encontra-se em desenvolvimento, com financiamento da CHAMADA PÚBLICA MCT/FINEP/CT-HIDRO BACIAS REPRESENTATIVAS 04/2005, na forma de rede cooperativa de pesquisa, tendo como proponente a FAURGS - Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, tem como executora a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e como instituições co-executoras a Universidade Federal de Santa Maria, a Universidade Federal do Paraná e a Fundação Universidade Regional de Blumenau e como intervenientes a Universidade de Ijuí-RS, o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí e o Comitê de Gerenciamento da Bacia do Rio Vacacaí. Está sendo desenvolvido nas seguintes bacias: do arroio Vacacaí Mirim- RS, do rio Potiribu-RS, do Ribeirão Concórdia - Sc, de Arvorezinha - RS e do Rio Barigüi - Pr, com o objetivo de obter uma melhor compreensão e representação dos processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço-temporais no bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil. A rede tem a coordenação do Prof. Joel A. Goldenfum.

A atual rede cooperativa de pesquisa com o objetivo de aplicar, desenvolver e testar metodologias de avaliação de disponibilidade hídrica de pequenas bacias hidrográficas e estudo do comportamento do processo de autodepuração de corpos hídricos em condições degradadas de qualidade da água ou sujeitos a intensas cargas de poluição, a partir do desenvolvimento, calibração e aplicação de modelos de qualidade da água, é consequência natural das experiências anteriores que as instituições envolvidas têm de trabalhar em rede. Das seis instituições envolvidas, 5 já trabalharam em rede entre si. Apenas a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul ainda não participou em rede de pesquisa com as demais.

Os subprojetos e os responsáveis pela sua coordenação são:

Coordenação Geral: João Batista Dias de Paiva

Subprojeto 1: Disponibilidade e autodepuração de corpos hídricos – Região Central- RS . Sigla:

Mirim

Coordenação: Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva.

Subprojeto 2: Disponibilidade e autodepuração em microbacias agrícolas. Sigla: Micro-SC:

Coordenação: Adilson Pinheiro.

Subprojeto 3: IPH-ArvPot: Disponibilidade hídrica em pequenas bacias rurais no RS . Sigla:

IPH-ArvPot

Coordenação: Nilza Maria Castro dos Reis.

Subprojeto 4: Avaliação dos instrumentos de gestão (Outorga de lançamento e enquadramento de corpos hídricos) em duas bacias críticas. Sigla: GestãoQA-UFPR

Coordenação: Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes.

Subprojeto 5: Comportamento hidrológico e variabilidade espaço temporal do escoamento superficial em pequenas bacias visando a gestão de recursos hídricos. Sigla: Integra 5

Coordenação: Teodorico Alves Sobrinho.

Subprojeto 6: Avaliação dos instrumentos de gestão em bacias críticas. Sigla: GestãoQA-USP

Coordenação: Mônica Ferreira do Amaral Porto.

O projeto específico da UFSM é descrito a seguir:

4.2.1

4.2.2 Disponibilidade e autodepuração de corpos hídricos – Região central do Rio Grande do Sul.

Sigla: MIRIM

4.2.2.1 Objetivo

1. Desenvolver e analisar metodologias de avaliação da disponibilidade hídrica, com base em dados de monitoramento de pequenas bacias hidrográficas na região central do Rio Grande do Sul, embutidas nas bacias dos rios Vacacaí Mirim, Vacacaí e Ibicuí Mirim, para apoiar ações de planejamento, gestão e regulação de recursos hídricos.

2. Estudo da capacidade de autodepuração de corpos hídricos através do estudo de metodologias para avaliação dos coeficientes de desoxigenação K1 e de reaeração K2, calibração e aplicação de modelos de qualidade da água tendo em vista a outorga de direito de uso dos recursos hídricos e a diluição de efluentes.

4.2.2.2 Objetivos específicos:

- 1 Aquisição de informações hidrológicas, cartográficas, de uso e tipo de solo e demandas de água.
- 2 Estudo e síntese de dados das bacias monitoradas pelo GHIDROS;
- 3 Estudo e síntese de dados das bacias da rede nacional;
- 4 Avaliação da disponibilidade hídrica de pequenas bacias;
- 5 Avaliação do modelo proposto por Paiva et al. (2006) para na bacia do Vacacaí;
- 6 Avaliação da curva-chave da estação 85438000 (Restinga Seca) operada pela ANA (bacia do Vacacaí Mirim);
- 7 Avaliação da influência dos açudes no balanço hídrico da bacia do Vacacaí Mirim;
- 8 Estudo e síntese dos dados de qualidade da água das bacias monitoradas pelo GHIDROS;
- 9 Estudo e síntese dos dados de qualidade da água das bacias da rede nacional;
- 10 Avaliação do coeficiente de desoxigenação de trechos do rio Vacacaí Mirim;
- 11 Avaliação de cargas difusas de esgoto doméstico em trechos do rio Vacacaí Mirim;
- 12 Avaliação do coeficiente de reaeração em trechos do rio Vacacaí Mirim;
- 13 Realização de campanhas de coleta e análise de água na bacia do rio Vacacaí Mirim.

4.2.2.3 Metas Físicas

Meta Física UFSM 1: Aquisição de informações existentes

- 1 Aquisição de informações hidrológicas, cartográficas, de uso e tipo de solo e demandas de água nas bacias em estudo
- 2 Síntese de dados quantitativos das bacias monitoradas pelo GHIDROS;
- 3 Síntese de dados qualitativos das bacias monitoradas pelo GHIDROS;
- 4 Aquisição e análise dos dados de vazão das estações da rede nacional de informações hidrológicas existentes nas bacias em estudo;
- 5 Aquisição e análise dos dados de qualidade das estações da rede nacional de informações hidrológicas existentes nas bacias estudadas.

Meta Física UFSM 2: Desenvolvimento e Análise de Metodologias de Avaliação de Disponibilidade Hídrica

- 1 Ajuste de modelo matemático para extensão das séries de vazões observadas nas pequenas bacias monitoradas

- 2 Avaliação da relação água superficial com águas subterrâneas através da avaliação da Superfície Potenciométrica e fluxos subterrâneos em poços tubulares e escavados. Monitoramento com Divers Datalogger
- 3 Avaliação da disponibilidade hídrica das pequenas bacias monitoradas e sua relação com as suas características físicas;
- 4 Obtenção de indicadores regionais;
- 5 Avaliação da curva-chave da estação 85438000 (Restinga Seca) operada pela ANA (bacia do Vacacaí Mirim).
- 6 Avaliação da influência dos açudes no balanço hídrico da bacia do Vacacaí Mirim
- 7 Avaliação do modelo proposto por Paiva et al. (2006) na bacia do Vacacaí.

Meta Física UFSM 3: Avaliação Qualitativa da Disponibilidade Hídrica da Bacia do Rio Vacacaí Mirim

- 1 Avaliação do coeficiente de desoxigenação de trechos do rio Vacacaí Mirim;
- 2 Avaliação de cargas difusas de esgoto doméstico em trechos do rio Vacacaí Mirim;
- 3 Avaliação do coeficiente de reaeração em trechos do rio Vacacaí Mirim;
- 4 Realização de campanhas de coleta e análise de água na bacia do rio Vacacaí Mirim.

Meta Física UFSM 4: Divulgação dos Resultados

- 1 Apresentação dos Resultados em Seminário de Acompanhamento
- 2 Publicações de trabalhos em eventos
- 3 Defesas de Dissertações
- 4 Publicações em Periódicos
- 5 Divulgação dos Resultados na Internet
- 6 Criação e atualização da home page do projeto

4.2.2.4 Justificativa e Relevância:

A efetiva implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997, que regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, requer informações com um nível de confiança maior do que atualmente se dispõe, uma vez que se está migrando de um sistema que buscava assegurar informações para fins de planejamento global, visivelmente voltado ao setor energético, em nível de grandes bacias, para um sistema que necessariamente deverá fornecer um mínimo de garantias quanto às vazões outorgadas para usos desenvolvidos preponderantemente em pequenas bacias hidrográficas, como por exemplo, usos industriais, mineração, irrigação, abastecimento de água, diluição de efluentes, etc. Além de fornecer informações necessárias ao gerenciamento e minimização dos problemas de drenagem urbana, cuja gravidade é crescente nas grandes e médias cidades brasileiras.

Dentre os instrumentos de gestão previstos na lei, estão os planos de recursos hídricos, a outorga do direito de uso e a cobrança pelo uso da água. Não se pode pensar em planejar, outorgar e cobrar, sem conhecer. Nesse sentido, o conhecimento da disponibilidade hídrica de pequenas bacias hidrográficas é fundamental. No entanto, apesar da sua importância, não existe em nível nacional uma base de dados observados em pequenas bacias, a exemplo das bacias maiores, que permita a avaliação da disponibilidade hídrica na escala da pequena bacia. Os poucos exemplos de dados de monitoramento de pequenas bacias estão restritos a Universidades e institutos de pesquisa e, mesmo esses possuem dados descontínuos e em pequenos espaços de tempo. Assim, o desenvolvimento e avaliação de metodologias simplificadas de estimativa da disponibilidade hídrica de pequenas bacias, com base em pequenos períodos de monitoramento e/ou nas suas características físicas, se faz necessário para assegurar a efetiva implantação do instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos. Da mesma forma, é de alta relevância o conhecimento da capacidade de auto depuração dos cursos d'água para a definição de sua capacidade de diluição de efluentes e para o planejamento da outorga do uso dos corpos hídricos com essa finalidade, com a necessária sustentabilidade ambiental.

As atividades de monitoramento na bacia do Rio Vacacaí Mirim, têm fornecido informações importantes para subsidiar as decisões do Comitê de Gerenciamento das Bacias dos Rios Vacacaí e Vacacaí Mirim.

Recentemente foi concluído o projeto “Enquadramento em regiões com carência de dados. Bases técnicas. Estudo de caso. A bacia do Rio Vacacaí Mirim”. Este projeto faz parte da rede de pesquisa “O Enquadramento e sua perspectiva a partir do uso da água” (chamada pública MCT/FINEP/CT-HIDRO-GRH-01/2004). Os principais produtos obtidos neste estudo foram:

- implementação de metodologia de avaliação das vazões naturais, com base em cadastro de usuários da água e modelagem hidrológica, buscando obter informações sobre a disponibilidade dos recursos hídricos (Paiva et al 2006);
- calibração e validação do modelo QUAL2E, com dados de monitoramento quali-quantitativo, visando à simulação de cenários de enquadramento.

Com o objetivo de ajustar tais instrumentos de gestão pretende-se dar continuidade ao aprimoramento destas ações, tendo por base as principais limitações e recomendações sugeridas.

Com respeito à disponibilidade hídrica de pequenas bacias pretende-se ampliar a área de atuação, agregando à bacia do rio Vacacaí, que possui estações hidrológicas da rede oficial e sub-bacias do rio Ibicuí Mirim e Vacacaí Mirim, que estão sendo atualmente monitoradas pelo GHIDROS. Tais informações permitirão uma melhor compreensão dos processos físicos envolvidos, indispensáveis a implementação de metodologias de modelagem hidrológica.

Na modelagem hidrológica simplificada, implementada para a bacia do rio Vacacaí Mirim, foram observadas algumas limitações, devido principalmente a não consideração da influência dos açudes e da propagação do rio. Além disto, informações de entrada como ajuste da curva-chave da estação fluviográfica oficial e valores utilizados na demanda de irrigação podem representar incertezas nos resultados obtidos. Neste sentido, pretende-se aprimorar o modelo a partir de tais considerações.

No estudo da autodepuração, a análise de sensibilidade do modelo QUAL2E aplicado para o rio Vacacaí Mirim, realizada anteriormente, demonstrou grande dependência do coeficiente de reaeração e das cargas difusas de esgoto doméstico nas respostas do modelo. Pretende-se avaliar experimentalmente coeficientes de decaimento de DBO (k_1), de oxigenação (k_2), bem como estudar metodologias de avaliação das cargas difusas de esgoto doméstico lançadas na bacia.

4.2.2.5 Estado da arte e experiência prévia na(s) área(s) temática(s) prioritária(s)

A avaliação da disponibilidade hídrica de pequenas bacias em geral é feita ou por regionalização hidrológica, muitas vezes a partir de dados de bacias maiores, ou por metodologias que consideram a depleção do escoamento de base ou por modelos hidrológicos calibrados e validados a partir de pequenas séries de dados observados.

As metodologias baseadas na depleção do escoamento subterrâneo, não tem tido grande desenvolvimento, uma vez que a quantificação da fração da vazão em um curso d'água proveniente das águas subterrâneas pode ser uma tarefa muito complicada. Para tanto existem diversas abordagens, como métodos experimentais, uso de traçadores, análise do hidrograma da bacia com métodos gráficos, filtros digitais recursivos, etc. Segundo Paiva (2006) os parâmetros dos filtros dependem das características da bacia, sendo na maioria dos casos não mensuráveis.

O alto custo envolvido no monitoramento hidrológico e a necessidade de obter informações não observadas tornam a modelagem hidrológica uma ferramenta essencial na otimização dos dados observados. Neste sentido, tem surgido uma série de modelos, cada vez mais sofisticados, que tentam reproduzir o ambiente físico de forma o mais realística possível. DeVries e Hromadka (1993) apresentam um resumo dos programas disponíveis que tratam da quantidade e qualidade da água superficial. Eles agrupam o modelo nas seguintes classes: modelos chuva-vazão para eventos individuais, modelos de simulação contínua do escoamento, modelos hidráulicos de cheia e modelos de qualidade da água. Os modelos de simulação

continua do escoamento, que representam a classe de interesse neste plano, computam toda a água precipitada na bacia, durante o período analisado, bem como seu movimento à saída. Nos períodos sem precipitação, a ênfase é a depleção da água armazenada no solo, e conseqüentemente a determinação da umidade do solo, evapotranspiração e escoamento subsuperficial nas zonas não saturadas e saturadas. Estes modelos apresentam uma complexidade variável entre muito simples a complexos, utilizando os parâmetros distribuídos no caso de modelos complexos. Os parâmetros distribuídos podem ser baseados em leis físicas, que governam os processos hidrológicos. Também a variabilidade na vertical pode ser considerada através da representação de camadas verticais.

Apesar da grande variedade de modelos existentes, muitas vezes esbarramos em dificuldades referentes à escolha do modelo e posteriormente da obtenção de informações suficientes que possam estar à altura da estrutura do modelo proposto. Parsons, Thomas e Huffman (2004) apresentam uma compilação dos principais modelos de qualidade de água e suas aplicações. Estes autores comentam que, normalmente, os modelos foram originalmente desenvolvidos para simular somente a hidrologia, sendo os componentes de qualidade da água inseridos posteriormente. Uma vez que o sedimento e as características químicas são transportados através da água, se a resposta hidrológica não é aceitável, as demais características também não são. Desta forma, um entendimento da fundamentação hidrológica é essencial. Eles apresentam 41 modelos, classificando-os na escala espacial, temporal e dos processos simulados. São apresentados 26 modelos de simulação contínua, podendo-se destacar o ANSWERS-2000, BASINS, CREAMS, SWAT, SWRRBWQ, WEPP.

Dentre os modelos de simulação contínua em uso atualmente, destaca-se o SWAT, pelo detalhamento matemático dos processos físicos envolvidos. Vale salientar a aplicação no Brasil deste modelo em Oliveira et al. (2005), Machado et al. (2003), Pereira et al. (2005) e Paiva & Paiva (2006). Apesar das grandes vantagens deste modelo, vêm sendo constatadas grandes dificuldades de aplicação no Brasil, devido às necessidades de dados de entrada, que não estão normalmente disponíveis.

Neste sentido, é importante a implementação de metodologias simplificadas, que permitam a obtenção de respostas rápidas, dentro do cenário de dados disponíveis. Com esta orientação pode-se destacar o trabalho de Paiva et al. (2006), que propõe, aplica e avalia metodologia de determinação de vazões tendo por fim obter informações para enquadramento dos cursos d'água em regiões com carência de dados hidrológicos observados. É apresentado modelo distribuído em sub-bacias, implementado em ambiente MATLAB, que utiliza o SMAP para simular a vazão nas sub-bacias, o algoritmo SCE-UA para ajuste dos parâmetros e propagação dos volumes de forma simplificada, considerando as retiradas de água. Este modelo aplicado à bacia do Rio Vacacaí Mirim mostrou-se eficiente, indicando graves problemas referentes à demanda de irrigação, confirmando o cenário que se repete periodicamente na bacia, que é do rio principal quase “seco” na época de irrigação da lavoura de arroz.

Modelos de qualidade da água de rios visam descrever as alterações espaciais e temporais de constituintes selecionados. Desde o desenvolvimento do clássico modelo de OD e DBO de Streeter e Phelps, em 1925, vários componentes ou variáveis de estado foram gradualmente incorporadas nos modelos seguindo a evolução dos problemas de qualidade da água. Estes modelos podem caracterizar oxigênio dissolvido/carga orgânica, nutrientes/eutrofização, materiais tóxicos, etc. Incluem extensa faixa dos mais simples, tipo Streeter-Phelps com duas variáveis de estado até o QUAL2E e semelhantes que descrevem ciclos de O, N e P, modelos de ecossistemas, que podem considerar sólidos suspensos, várias espécies de algas zooplâncton, invertebrados, plantas e peixes.

A escolha do modelo depende de muitos fatores tais como: os objetivos da análise, a disponibilidade de dados e o tempo de resposta. Dentre os objetivos, duas categorias gerais são distinguidas: entendimento/pesquisa e gerenciamento/prática. Rauch (1998) compara os programas de computador, disponíveis atualmente, os parâmetros de qualidade da água modelados, e suas limitações. Um dos modelos mais utilizados, dentro da nova geração, é o modelo QUAL2E (BROWN & BARNWELL, 1987), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), o qual representa em maior profundidade os ciclos do oxigênio, nitrogênio e fósforo na água.

O modelo QUAL2E foi utilizado, pelo grupo GHIDROS, na simulação da qualidade da água dos rios Ibicui (Gastaldini et al, 2002) e Vacacaí Mirim (Gastaldini et al, 2007).

Modelos matemáticos são ferramentas desenvolvidas para auxiliar na solução de problemas. Entretanto, para que sejam eficientes e confiáveis, deve-se dispor de dados experimentais confiáveis para a calibração dos mesmos, além de utilizar coeficientes de decaimento/crescimento dos parâmetros de qualidade

da água legítimos.

Dentre os coeficientes utilizados para avaliar as concentrações de oxigênio dissolvido, o de reaeração (k_2) tem demonstrado grande influência nos processos de autodepuração. É avaliado, normalmente, através de equações empíricas, função das características hidráulicas dos escoamentos. Algumas destas equações são baseadas em poucas e imprecisas avaliações experimentais (Melching & Flores, 1999).

O coeficiente de reaeração de um escoamento pode ser determinado através da técnica do balanço de oxigênio dissolvido, da técnica do equilíbrio perturbado e da técnica dos traçadores. A técnica dos traçadores baseia-se na relação existente entre a velocidade de desabsorção de um gás traçador na água e a velocidade de absorção do oxigênio, é a mais utilizada e não necessita determinação de outras fontes e sumidouros de oxigênio dissolvido.

Barbosa e Giorgetti (1995) mostram metodologia para a avaliação da reaeração com o uso de traçadores. Roldão (1990) apresenta métodos para determinar o coeficiente de reaeração em rios sugerindo aparato para injetar gás traçador junto com traçador fluorescente.

4.2.2.6 Metodologia

O estudo será realizado nas bacias hidrográficas dos rios Vacacaí, Vacacaí Mirim e Ibicuí Mirim., nas Bacias do Vacacaí Mirim e Ibicuí Mirim. Serão utilizadas informações resultantes de pequenas bacias hidrográficas embutidas, monitoradas pelo GHIDROS e uma estação oficial da Ana existente próximo ao seu exutório. Na bacia do Rio Vacacaí, serão utilizadas informações existentes do Estudo de Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia do Rio Vacacaí” realizado pelo DRH- RS, para, juntamente com os dados de vazões, da rede de informações hidrológicas da ANA existentes na Bacia, avaliar ao Modelo de Reconstituição de Vazões Naturais desenvolvido por Paiva et. al (2006).

4.2.2.6.1 Bacia do Vacacaí Mirim

A bacia do rio Vacacaí Mirim está localizada no sul do Brasil, no centro do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas $53^{\circ} 46' 30''$ e $53^{\circ} 49' 29''$ de longitude oeste e $29^{\circ} 36' 55''$ e $29^{\circ} 39' 50''$ de latitude sul e possui cerca de 1120 km^2 . É responsável, em sua cabeceira, por 40% do abastecimento público de água da Cidade de Santa Maria. É uma bacia que sofre os efeitos da expansão urbana e da atividade agrícola, com sérios problemas de qualidade e quantidade de água. Como principais problemas, destacam-se:

a) O crescimento da urbanização em sua parte média, tem 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 para a lavoura de arroz, distribuídos ao longo de seu curso. Situação que tende a agravar-se com o tempo, havendo, portanto, um forte componente de geração de conflitos de uso da água.

Na parte alta da bacia, está localizado o reservatório de abastecimento público, com área inundada de $0,74 \text{ km}^2$ com bacia contribuinte de aproximadamente 29 km^2 . Drena uma área característica de mata nativa, agricultura de cultivos anuais e permanentes, pecuária (em menor escala) e balneários. Há uma pequena, porém crescente, área em fase de urbanização. Abaixo do reservatório, a bacia é característica de área urbana em sua margem direita e de área rural, com campo nativo e agricultura irrigada em sua margem esquerda. Na parte baixa da bacia, há predominância do cultivo de arroz irrigado por inundação, com elevadas taxas de consumo de água.

A bacia em estudo, 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, no qual a UFSM tem assento, no Grupo Instituições e Ensino e Pesquisa. O o Prof. João Batista Dias de Paiva, coordenador deste projeto é atualmente membro do Comitê representando a Sessão Sindical dos Docentes da UFSM.

Esta bacia vem sendo monitorada em suas cabeceiras e área urbana pela equipe envolvida neste projeto, de forma que dispõe de informações suficientes para permitir o desenvolvimento, a avaliação e validação de metodologias e modelos a serem utilizados para a avaliação de disponibilidades hídricas.

Para a calibração dos modelos a serem aplicados, serão utilizados os dados obtidos através do monitoramento dos recursos hídricos na bacia do em projetos anteriores, pela equipe deste projeto, envolvendo as cabeceiras e a área urbana da bacia do Rio Vacacaí Mirim, especificamente a bacia do Arroio Vacacaí - Mirim, com 50 Km² e a do Arroio Grande, com 125,9 km². Serão utilizados os dados das estações que se encontram desativadas e das que estão atualmente em operação e da estação fluviométrica 85438000, operada pela ANA próximo a saída da bacia, na qual existe uma série de dados de cotas e vazões que será utilizada para caracterizar a disponibilidade hídrica da bacia como um todo e para a calibração de modelos de simulação hidrológica. ,

4.2.2.6.2 Bacia do Vacacaí

A bacia do Rio Vacacaí localiza-se entre as latitudes de 29° 37' e 30° 45' Sul e longitudes 54° 33' e 53° 05' Oeste, abrangendo uma área total de 9.866,10 km², nas regiões Agroecológicas da Campanha e Depressão Central.

O rio Vacacaí nasce nas encostas da Serra da Meia Lua, no Escudo Sul Riograndense, município de São Gabriel, nas proximidades da RS-156, na cota 300. Desagua no Rio Jacuí, 20 km à montante da cidade de Cachoeira do Sul, na cota de 100 m, após percorrer uma distância de 250 km.

Seus principais afluentes pela margem esquerda são o Rio dos Corvos e o Arroio Arenal.

No Rio dos Corvos localiza-se o Banhado de Santa Catarina; importante ecossistema, hoje ocupado pela atividade agrícola. Através desse rio, existe projetada uma ligação entre as bacias do Rio Ibicuí e do Rio Jacuí, se prevalecer algum dia a idéia de construção de uma hidrovía ligando estas duas importantes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.

O Arroio Arenal tem como principais formadores os Arroios Passo das Tropas, Sarandi e Cadena.

O Arroio Cadena tem a qualidade das suas águas seriamente comprometida em função do alto índice de urbanização da sua bacia, resultando na ocupação inadequada de suas margens com elevado lançamento de resíduos sólidos.

O Arroio Cadena apresenta sérios problemas de erosão e sedimentação no seu leito e margens. Importantes obras, pontes e canais, no seu leito, já foram perdidas por essa razão.

Próximo ao exutório do Arroio Arenal existe uma intensa atividade extrativa de areia para a construção civil.

Pela margem direita, os principais afluentes são o Arroio do Salso, o Rio São Sepé e o Arroio Acangupá.

O rio São Sepé fornece água para abastecimento da cidade de São Sepé e para irrigação das lavouras de arroz hoje existentes em suas várzeas. Por essa razão, há uma séria preocupação da comunidade local, com uma possível contaminação de suas águas por metais pesados, em função da lavra de ouro em suas cabeceiras.

Ainda pela margem direita, merece destaque o Arroio das Canas onde localiza-se um conjunto de barragens e canais de distribuição de água para irrigação, que juntamente com a barragem e sistema de canais do Rio Vacacaí, são considerados pela população local, como a redenção da cidade de São Gabriel, uma vez que após a sua construção, acabaram-se os problemas de cheia e seca na cidade, garantindo o abastecimento d'água, a regularização das vazões e a produção agrícola do município. O rio Vacacaí e seus afluentes fornecem água para o abastecimento das cidades de São Gabriel, São Sepé, Formigueiro e Vila Nova do Sul e para a agricultura irrigada praticada em sua bacia.

O Zoneamento Agroecológico do Rio Grande do Sul relata déficits hídricos, no período de desenvolvimento das lavouras tradicionais da região, ou seja, nos meses de novembro, dezembro, janeiro,

fevereiro e março, na bacia do Rio Vacacaí, indicando a necessidade de irrigação para garantir a produção.

4.2.2.6.3 Bacia do Ibicuí Mirim

O Rio Ibicuí Mirim, tem as suas nascentes no município de Júlio de Castilhos e possui área de drenagem de 1263 km² até a estação Passo São Lucas, próximo a sua junção com o rio Toropi, para formar o Rio Ibicuí,, principal afluente da margem esquerda do rio Uruguai em território brasileiro, que localiza-se entre as latitudes de 28° 30'S e 31°S e longitudes de 53° 30' e 57°W, abrangendo uma área total de 47740 km², no Estado do Rio Grande do Sul e que compõem a bacia hidrográfica U-50 – Rio Ibicuí, do Sistema de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul.

O relevo da bacia do Rio Ibicuí Mirim é caracterizado por uma parte serrana no seu terço superior, onde se desenvolve atividade de pecuária e de mineração de pedras preciosas e de material para construção civil. Na sua parte baixa, se desenvolve atividade agrícola, com predomínio da lavoura de arroz, com alto consumo de água.

Na sua parte alta, está localizado a Barragem Rodolfo da Costa e Silva, responsável por 65% do abastecimento de água da cidade de Santa Maria.

Atualmente, encontra-se em andamento, nas cabeceiras no Rio Ibicuí Mirim, com apoio do CT-Hidro, o projeto “Monitoramento do Impacto da Atividade de Mineração de Pedras Preciosas sobre a Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas. Estudo de Caso”. Processo CNPq n. 503755/2005-2, tendo como objetivo geral o desenvolvimento e a avaliação de metodologias de monitoramento e simulação do impacto da atividade de mineração de pedras preciosas sobre a produção de sedimentos, a qualidade da água e a sua propagação para os rios. Na bacia Experimental do Lageado Grande, localizada no município de São Martinho da Serra., entre os meridianos 53°52'46” e 53°57'14”, de longitude oeste, e os paralelos 29°30'16”e 29°35'04”, de latitude sul.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico, Cfa, isto é, subtropical úmido sem estação seca, onde a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C, enquanto a do mês mais frio é inferior a 18°C.

Com relação ao uso atual do solo, na área de estudo não existem assentamentos populacionais, apenas atividade de agricultura e garimpos de pedras preciosas (ágatas e ametistas). A cobertura vegetal predominante é a mata nativa, ciliar, plantada e cultivada com diversos tipos de culturas, como milho, soja, feijão, arroz, mandioca, melancia, cana. etc.,

Nessa bacia, o monitoramento vem sendo realizado através de uma estação pluviográfica e de duas estações fluviográficas, uma localizada à montante e a outra à jusante da área de garimpo.,

A estação pluviográfica localiza-se na região central da bacia, foi instalada na latitude – 29° 33' 23,3” e longitude 53o54'39,2' ,sendo composta de um pluviógrafo digital com data logger..

A estação fluviográfica de montante, localizada 218400 e 6729430, fuso -22, drena uma área de 17,87 km². Está equipada com um vertedor triangular de soleira curta (V Notched weir), uma régua linimétrica e um registrador eletrônico tipo “data logger”, com sensor de nível do tipo bóia e contrapeso e um amostrador de nível ascendente (ANA), conforme descrito por Umesawa (1979).

A estação fluviográfica de jusante localizada nas coordenadas UTM: 218390 e 6726100, fuso -22, drena uma área de 33,2 km². Está equipada com um vertedor triangular de soleira curta (V Notched weir), uma ponte para auxiliar nas medições de vazão, uma régua linimétrica, um registrador eletrônico tipo “data logger”, com sensor de nível do tipo bóia e contrapeso, dois amostradores de nível ascendente (ANA) e um amostrador de nível descendente (AND). A declividade média da bacia é de 19,9%.

Os dados disponíveis serão utilizados, juntamente com os dados das bacias embutidas na bacia do rio Vacacaí Mirim, para a avaliação de metodologias de avaliação da disponibilidade hídrica de pequenas bacias.

Também serão utilizados os dados da estação fluviométrica da ANA, código 76395000 - Passagem BR-287, latitude -29o 39' 54” e longitude -54o 06' 24” , instalada em abril de 2000, com área de drenagem de 524 km².

4.2.2.6.4 O modelo simplificado proposto por Paiva et Al (2006)

O modelo de simulação hidrológica foi implementado em ambiente MATLAB e sua concepção geral foi baseada no sistema PROPAGAR, que faz parte do SAGBAH 2000 (Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas) descrito em Viegas Fº e Lanna (2003). No modelo utilizado, a bacia é simulada como um sistema hidrológico composto por diversas sub-bacias e pontos característicos (PCs). A idéia geral, é gerar séries de vazão em cada sub-bacia através do modelo chuva-vazão SMAP e propagá-las pelos PCs, onde na saída de cada sub-bacia e de cada PC são descontados as demandas e retornos difusos e concentrados respectivamente.

Os parâmetros do modelo SMAP para as sub-bacias são calibrados a partir de séries de vazões observadas na bacia e do algoritmo de otimização global SCE-UA.

4.2.2.7 Equipe

Prof. Dra. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva

Prof. Dra. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

Prof. Dr. Gelson Lauro Dal’Forno

Prof. Dra Ana Beatris Souza de Deus Bruasa

Eng. Agron. Alessandro Ávila Noal: Aluno de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientador: João Batista Dias de Paiva

Eng. Civil Ana Lúcia Denardim da Rosa: Aluna de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientadora: Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Eng.^a Agric., José Carlos Guimarães: Aluno de Mestrado em Engenharia Agrícola. Orientador: João Batista Dias de Paiva

Quim. Thiago Formentini. Aluno de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientadora: Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

Adm. José Astério Rosa do Carmo – AT - NS

Alcides Sartori – AT-NM

Além da equipe listada acima, o projeto, pela sua magnitude, prevê a contratação de 2 Bolsistas DTI, para atuar em tempo integral e, de bolsistas de Iniciação Científica e apoio técnico.

A mestrande Ana Lúcia Denardim da Rosa, orientada da Prof. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva, desenvolverá o seu trabalho de mestrado utilizando e avaliando a metodologia de restabelecimento das vazões naturais em áreas sujeitas a grandes demandas para irrigação, desenvolvida para a bacia do Rio Vacacaí Mirim, na Bacia do Rio Vacacaí.

O mestrando Thiago Formentini desenvolverá o seu trabalho, sob a orientação da Prof. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, no tema “Avaliação Qualitativa das Disponibilidades Hídricas na Bacia do Rio Vacacaí Mirim”.

Os mestrando José Carlos Guimarães e Alessandro Ávila Noal desenvolverão seus trabalhos de mestrado, sob a orientação do Prof. João Batista Dias de Paiva, no tema: “Avaliação quantitativa das disponibilidades hídricas de pequenas bacias hidrográficas”

Esse projeto está em fase de assinatura do contrato com a FINEP, devendo ter o seu início efetivo no II semestre de 2008. Novos alunos de mestrado irão sendo incorporados à medida que forem ingressando nos Programas de Pós Graduação aos quais os pesquisadores estão ligados.

4.2.2.8 Referências Bibliográficas

- ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M.; MUTTIAH, R.; BERNHARDT, G. (1995). “Automated base flow separation and recession analysis techniques”. *Ground Water* 33(6), pp. 1010-1018.
- CHAPMAN, T. G. (1991). “Comment on ‘Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses’ by R. J. Nathan and T. A. McMahon”. *Water Resources Research* 27: pp. 1783–1784.
- DEVRIES, J.J. & HROMADKA, T.V. (1992) Computer models for surface water. in: *Handbook of hydrology*. McGRAW-HILL, INC. pp.21.1-21.39.
- MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; CRUCIANI, D.E. (2003) Simulação de Escoamento em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8 (1), pp. 147-155.
- ECKHARDT, K. (2005). “How to construct recursive digital filters for base flow separation”. *Hydrological Processes* 19: pp. 507–515.
- FUREY, P. R.; GUPTA, V. K. (2001). “A physically based filter for separating base flow from stream flow time series”. *Water Resources Research* 37(11), pp. 2709-2722.
- NATHAN, R. J.; MCMAHON, T. A. (1990). “Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses”. *Water Resources Research* 26(7), pp. 1465-1473.
- OLIVEIRA, R.C.; OLIVEIRA, M.Q.C.; MEDEIROS, Y.D.P. (2005) Aplicação do modelo SWAT em região semi-árida. in *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, 11 p.
- PARSONS, J.E.; THOMAS, D.L. & HUFFMAN, R.L. (2004) Agricultural non-point source water quality models: their use and application. 200p. Disponível em <<http://www3.bae.ncsu.edu/Regional-Bulletins/Modelling-Bulletin/>>, 2005.
- PAIVA, R.C.D. (2006) Impacto da urbanização nos recursos hídricos em Santa Maria. Relatório de pesquisa. CNPq.
- PAIVA, R.C.D., PAIVA, E.M.C.D. (2006) Simulação hidrológica com modelo SWAT na Bacia Menino Deus I, representativa da Mata Atlântica. In: *I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste*, Curitiba: ABRH, 12p.
- PAIVA, R.C.D., PAIVA, E.M.C.D., PAIVA, J.B.D. (2006) Estimativa das vazões naturais nas sub-bacias do Vacacaí Mirim através de modelo simplificado. In: *I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste*, Curitiba: ABRH, 18p.
- PEREIRA, J.M.G.; CAMPANHA, N.A.; EID, N.J. (2005) Processamento de dados para utilização de modelo matemático de simulação à bacia do Rio Jiquiriçá-Bahia. in *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, 20 p.
- SPONGBERG, M. E. (2000). “Spectral analysis of base flow separation with digital filters”. *Water Resources Research* 36: pp. 745–752.
- VIEGAS Fº, J. S.; LANNA, A. E. L. (2003). O paradigma da modelagem orientada a objetos aplicado a sistemas de recursos hídricos (II) Modelo de objetos aplicado ao planejamento de uso da água Propagar MMO. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8(3), pp. 91 – 103.
- PEREIRA, J.M.G.; CAMPANHA, N.A.; EID, N.J. (2005) Processamento de dados para utilização de modelo matemático de simulação à bacia do Rio Jiquiriçá-Bahia. in *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, 20 p.
- VIEGAS Fº, J. S.; LANNA, A. E. L. (2003). O paradigma da modelagem orientada a objetos aplicado a sistemas de recursos hídricos (II) Modelo de objetos aplicado ao planejamento de uso da água Propagar MMO. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8(3), pp. 91 – 103.

4.3 Caracterização e modelagem hidrossedimentométrica da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, com base em dados medidos de vazão e sedimentos

4.3.1 Introdução

Os processos de erosão e sedimentação numa bacia hidrográfica podem trazer muitos problemas. Na área agrícola a erosão remove a camada superficial do solo, reduzindo a produtividade. O sedimento é transportado para os corpos de água, prejudicando a qualidade das águas superficiais, além de servir como veículo a outros poluentes, que são adsorvidos a estes materiais.

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios, é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, uma vez que os danos causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza dos sedimentos, as quais por sua vez dependem dos processos de erosão transporte e deposição de sedimentos. Dentre os problemas causados pelos sedimentos transportados pelos rios, pode-se destacar dentre outros:

- Assoreamento de rios, diminuindo a sua navegabilidade e aumentando as dimensões das enchentes;
- Assoreamento de reservatórios, diminuindo a sua vida útil ou, provocando a necessidade de dragagens periódicas de alto custo;
- Inviabilidade, em alguns casos, de aproveitamento do rio para abastecimento e até mesmo para irrigação, dependendo da quantidade de sedimentos transportados.
- A contaminação do leito e das águas dos cursos d'água até a grandes distâncias dos pontos onde foram gerados em virtude de atuarem como vetores no transporte de contaminantes neles aderidos;

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

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

A quantidade total de sedimentos transportados por um curso d'água pode ser expressa como:

$$Q_{st} = Q_{sf} + Q_{ss} + Q_{sb}$$

onde:

Q_{st} = descarga total de sedimentos (total load)

Q_{sf} = descarga de sedimentos, proveniente do leito do rio, transportada por arrasto de fundo (bed load)

Q_{ss} = descarga de sedimentos, proveniente do leito do rio, transportada em suspensão (suspended load)

Q_{sb} = descarga de sedimento transportada em suspensão proveniente da bacia hidrográfica (wash load ou deplúvio)

O transporte por arrasto de fundo, usualmente se dá por saltos, rolamento ou deslizamento no interior de uma fina camada do escoamento, próxima ao fundo, usualmente definida como camada de fundo (espessura usualmente considerada igual 2 vezes o diâmetro característico do material de fundo).

A quantidade de sedimentos transportada, proveniente do leito do rio, é altamente dependente da composição do material do leito e das características geométricas e hidráulicas da secção e do trecho do rio. Por essa razão qualquer intervenção que altere o equilíbrio natural do rio pode trazer sérias consequências em termos de erosão e deposição de sedimentos.

A quantidade de sedimentos, proveniente da bacia hidrográfica, transportada em suspensão (deplúvio ou wash load) é altamente dependente das características físicas da bacia hidrográfica e da sua ocupação. Assim, os desmatamentos, construções, asfaltamentos e outras ações antrópicas têm consequências imediatas sobre a produção de sedimentos e o seu transporte e deposição nos cursos d'água

4.3.2 Previsão da produção de sedimentos na bacia hidrográfica.

A previsão da produção de sedimentos em bacias hidrográficas usualmente é feita pela equação universal de perda de solos e suas derivações (USLE (Wischmeier e Smith, 1978), MUSLE (Williams, 1975), RUSLE (Regnard, 1997)), ou por modelos matemáticos que a utilizam em seu desenvolvimento. Dentre as metodologias de previsão pode-se destacar as metodologias propostas por Williams e Berndt (1977), Leite e Mouchel (1990), Goldenfum (1991), entre outras, na forma de modelos concentrados, aplicadas às pequenas bacias hidrográficas. Atualmente, os sistemas de informações geográficas (SIG) estão se colocando como ferramentas importantes no auxílio de obtenção, armazenamento e tratamento dos dados hidrológicos, incluindo a produção de sedimentos em bacias hidrográficas. Desta forma, tendo em vista as facilidades de obtenção de informações e a eficiência na representação dos processos, os modelos distribuídos têm se mostrado em grande evidência. Dentre os modelos distribuídos mais utilizados, pode-se destacar: 1. Modelo de Onstad e Foster (1975), a metodologia integrada para avaliação de bacias, proposta por Llano e Baro (1983), Modelo de Williams (1975), o AGNPS – Agricultural Non- Point- Source Pollution Model proposto por Young et al (1987), o KINEROS – Kinematic Runoff and Erosion Model, proposto por (Woolhiser, Smith e Goodrich (1990), O SWRRB-WQ - *Simulator for Water Resources in Rural Basins-Water Quality*, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura e Pesquisas Agrícolas dos EUA (Gabele, 2002). o WEPP - *Water Erosion Prediction Project* (NSERL, 2002); O EPIC - *Erosion-Productivity Impact Calculator* (Mitchell et al., 1998), o SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*, USDA/ESCS, 1972; o ANSWERS-2000 - *Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation* (Dillaha, 2002) e, o AnnAGNPS (*Annualized Agricultural Non-Point Source Model*) (USDA ARS/NRCS, 2001).

Embora os modelos de previsão da produção de sedimentos em bacias hidrográficas venham crescendo significativamente, a experiência brasileira no desenvolvimento e utilização de modelos de simulação da produção de sedimentos em bacias hidrográficas é pequena, possivelmente, em virtude da baixa disponibilidade de dados para a calibração e validação dos modelos. Dessa experiência pode-se destacar:

Leite e Mouchel (1990) apresentaram um modelo para o cálculo da produção de sedimentos e da perda de nutrientes em pequenas bacias hidrográficas, que usa a equação universal de perda de solos modificada para o cálculo da produção de sedimentos e um hidrograma triangular modificado para o cálculo da vazão de pico e do volume de escoamento superficial com base no método da curva número do Soil Conservation Service.

Goldenfum (1991), apresentou o modelo IPH2-SED, que combina o modelo chuva vazão IPH2, com a equação Universal de perda de solos modificada, tendo como opção da utilização do método da curva número do Soil Conservation Service para a geração das vazões de pico e do volume de escoamento superficial.

Paiva et al (1995) aplicaram o modelo de Williams (1975), em combinação com o Modelo IPH2 e com o modelo de propagação de vazões de Chen (1973), para a avaliação da descarga de sedimentos afluente à captação da estação elevatória I do projeto de transposição das águas do rio São Francisco.

Oliveira e Baptista (1997) utilizaram a equação universal de perda de solos modificada (MUSLE), para analisar a evolução da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e para a avaliação do assoreamento do reservatório. Utilizaram dados batimétricos do reservatório para calibração e verificação do modelo.

Srinivasan e Pereira (1997) avaliaram a aplicabilidade do modelo hidro-sedimentológico WESP (Watershed Erosion Simulation Program) para a região semi-árida da Paraíba, utilizando os dados coletados nas parcelas e em uma microbacia, desmatadas, da Bacia Experimental de Sumé, entre 1987 e 1991. A verificação do modelo como um instrumento de quantificação da produção de escoamento superficial e de erosão foi feita através da simulação numa outra microbacia desmatada localizada próxima à calibrada. Os resultados mostram que o modelo é bastante satisfatório.

O AGNPS, Agricultural Nonpoint Source Pollution Model, desenvolvido por Young et al.(1987,1995) e atualizado por Garbrechet (2000), é um modelo baseado em eventos, os parâmetros são tomados de forma distribuída, onde a bacia é representada por células quadradas. Utiliza o método da Curva Número do SCS para o cálculo do volume de escoamento. A vazão de pico é calculada para cada célula

através de uma equação empírica e a produção de sedimentos é determinada pela MUSLE. Determina, também, a concentração de nitrogênio e fósforo. Segundo (Bosh, 1998), citado por Dias (2003), o AGNPS foi largamente aplicado em todo o mundo na investigação de vários problemas de qualidade da água. No Brasil foi aplicado com sucesso por Silveira (1995) na Bacia do Rio Jundiá-Mirim para a modelagem da poluição difusa, carreamento de solo e de nutrientes; por Dalcanale (2001) em uma bacia rural no estado de Santa Catarina, com área de 25,05 km², para simular a produção de sedimentos e fósforo e por Dias (2003) a uma pequena bacia nas cabeceiras do rio Vacacaí Mirim para simular o volume escoado e a produção de sedimentos, considerando dois esquemas de discretização da bacia e um período de tempo de aproximadamente 17 meses de dados.

Paranhos (2003) aplicou o modelo de Williams (1975) em uma pequena bacia na cabeceira do rio Vacacaí Mirim, obtendo resultados satisfatórios e melhores que os obtidos pela Equação Universal de Perda de Solos (MUSLE), quando comparados com dados medidos.

Santos et al (2003) aplicaram o modelo Hidrossedimentológico KINEROS para a simulação dos processos de escoamento superficial e erosão na bacia do rio Pirapama – PE, obtendo resultados que, segundo os autores “mostraram que o modelo KINEROS pode ser considerado também uma ferramenta promissora para a simulação dos processos de escoamento superficial e erosão na Bacia do Rio Pirapama e, possivelmente, de grande valia no acoplamento de modelos de previsões climatológicas e hidrológicas”. Suas conclusões, no entanto, não estão baseadas em dados medidos.

Cruz et al (2003) utilizaram o modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project), orientado a eventos, na bacia experimental de Sumé-PB como o objetivo de quantificar o escoamento superficial e a erosão do solo na região semi-árida do Estado da Paraíba através de um modelo que pode ser aplicado a nível de bacias hidrográficas, obtendo resultados que, segundo os autores, demonstraram a eficácia do modelo WEPP como um instrumento da simulação.

Lopes et al (2003) utilizaram os modelos KINEROS e WESP com dados da bacia de Sumé, na Paraíba, para analisar o efeito de escala na parametrização dos modelos.

Davi et al (2003) apresentaram a estrutura de um modelo de simulação hidrossedimentológica contínua, que simula o escoamento superficial e erosão, que considera na sua estrutura a chuva natural, parâmetros físicos do sistema da bacia e as condições antecedentes a um evento.

Silva et Al (2004) utilizaram o modelo SWAT para a simulação da produção de sedimentos na sub-bacia experimental Fazenda Cachim, da EMBRAPA, em São Carlos – SP, utilizando os dados disponíveis. A principal limitação desse estudo é a falta de dados de erosão e produção de sedimentos necessários para a validação do modelo.

4.3.3 Cálculo da descarga de sedimentos proveniente do leito do rio.

A literatura internacional apresenta vários métodos para ao cálculo da descarga de sedimentos proveniente do leito do rio. Desses métodos uns estimam apenas a carga de fundo, outros a carga de sedimento em suspensão, obtendo pela soma de descarga de fundo com a descarga em suspensão a descarga total de material de fundo. Alguns métodos fazem a estimativa da quantidade de sedimentos transportada pela corrente de maneira indireta, à partir de parâmetros hidráulicos da corrente em uma seção ou trecho do rio e das características do material de fundo, enquanto outros, fazem essa estimativa à partir da medição direta da concentração de sedimentos em suspensão, das características hidráulicas da seção ou trecho de rio e das características do material de fundo.

Shen (1971), citado por Simons & Senturk(1977) sugere o seguinte procedimento para analisar dados de campo:

a) Quando são disponíveis dados medidos:

- usar o método Modificado de Einstein (1955) para estimar a descarga em suspensão não medida e a descarga de fundo;
- separar descarga de material de fundo de "wash load" e analisar separadamente;
- decidir qual equação, disponível, de transporte sedimentos melhor concorda com os dados medidos e usar para estimar o transporte de sedimentos para o escoamento do projeto, quando não for

possível fazer medições sob essas condições.

b) Quando não se dispõe de dados medidos:

- usar o método de Einstein (1950) se a descarga de fundo for uma porção significativa da descarga total de material de fundo;
- usar o método de Colby (1964) para os rios com profundidade de escoamento menor ou em torno de 10 ft (3,0 m);
- usar os métodos de Shen e Hung (1971) para calhas e pequenos rios (bom somente para pouca profundidade uma vez que não inclui a profundidade como uma variável);
- usar o método de Toffaleti (1969) para grandes rios de fundo de areia.

Segundo o TaskCommittee(1982),Alonso(1980) utilizando resultados de 205 testes individuais, comparou as relações de discrepância entre o transporte de sedimento calculado e o transporte de sedimento medido, produzido pelos métodos de: Ackers e White (1973), Engelund e Hansen (1967), Laursen (1958), Meyer-Peter-Muller(1948),para o cálculo da descarga de fundo,combinado com o Método Modificado de Einstein(1955),para o cálculo da descarga em suspensão, Yang (1973), Bagnold(1956), Meyer-Peter-Muller (1948) e Yalin (1963). Da análise, concluiu que a fórmula de Yang (1973) é a melhor equação para ser aplicada sobre toda a faixa de condições de escoamento.

Referindo-se aos assuntos, em transporte de sedimentos, ainda abertos à pesquisa, o Task Committee (1982), afirma: ..." Linhas orientativas compreensivas para a seleção e aplicação de fórmulas apropriadas de transporte de sedimentos para uso em canais de rios naturais não existem. Há uma urgente necessidade de testar as fórmulas propostas sob uma variedade de condições como as encontradas na prática da engenharia. Uma sistemática análise das considerações requeridas para cada fórmula e para cada faixa de condições onde cada fórmula é aplicável, é necessária. De maior importância pode ser uma listagem das condições sob as quais cada fórmula não deve ser aplicada, ou porque essas condições violam as considerações estabelecidas da fórmula, ou, porque se conhece que a fórmula produz estimativas irrealísticas sob dada condição.

Tais linhas orientativas deveriam ao menos restringir a faixa de opções disponíveis ao engenheiro e, talvez, ajudar no desenvolvimento de relações melhoradas. Uma vez que os esforços para relacionar a morfologia do canal e a produção de sedimentos, deve, ou usar uma relação de transporte de sedimentos ou confiar nas implicações de uma relação assumida, a falta de uma fórmula de transporte de sedimentos apropriada tende a limitar o progresso no desenvolvimento de relações, com bases físicas, entre a morfologia do canal e a produção de sedimentos. Também, a falta de uma relação apropriada para os rios naturais, faz as interpretações de relações empíricas tênues e dependentes das considerações requeridas por cada fórmula de transporte de sedimentos. Se as condições não são encontradas na corrente natural, então as interpretações frequentemente tem pouca relação com o processo que ocorre no rio..."

Paiva (1988), com base em 22 medições de campo no rio Mogi Guaçu e em 353 séries de dados experimentais dos canais do Paquistão, fez uma avaliação dos principais métodos disponíveis na ocasião, a saber: Meyer Peter & Müller (1948), Einstein (1950), Einstein & Brown (1950), Einstein Modificado pr Colby & Hembree (1955), Colby (1957), Laursen (1958), Colby (1964), Bishop(1965), Engelund & Hansen (1967), Toffaleti (1969), Shen & Hung (1971), Einstein & Abdel Aal (1972), Yang(1973), Ackers & White(1973), Ranga Raju (1983) e Van Rijn (1984). Concluiu que para o rio Mogi Guaçu, na secção e condições testadas:

- 1 Nenhum dos métodos avaliados estimou a descarga de fundo dentro de uma precisão aceitável. Todos os métodos seperestimaram muito a descarga transportada por arraste de fundo.
- 2 Dos métodos de estimativa indireta da descarga de sedimentos em suspensão, o método de Toffaleti (1969) apresentou o melhor desempenho seguido do método de Van Rijn(1984);
- 3 Dos métodos de estimativa indireta da descarga total de material de fundo, os melhores resultados foram apresentados pelo método de Yang (1973), seguido pelos métodos de Toffaleti (1969), Bishop(1965), Ackers & White (1973) e Van Rijn (1984) que apresentaram desempenhos semelhantes.

Cogollo Ponce (1990) com base em 36 experimentos de campo realizados no Rio Mogi Guaçu, em Santa Eudóxia, São Carlos- SP, somados aos 21 experimentos realizados por Paiva (1988), na mesma secção e, com 111 conjuntos de dados sedimentométricos coletados pelo DAEE- SP, avaliou 10 fórmulas de cálculo

da descarga de sedimentos por arraste de fundo, a saber: Meyer- Peter e Muller (1948), Einstein (1950), Einstein Modificado por Colby e Hembree(1955), Yalin(1963), Bagnold(1966), Toffaleti(1969), Einstein e Abdel Aal(1972), Van Rijn (1984) e Van Rijn Simplificado(1984c). Da análise o autor concluiu que:

- 1 nenhum dos métodos de cálculo avaliados, apresentou resultados satisfatórios para todas as faixas de taxas de transporte;
- 2 para o caso do Rio Mogi Guaçu, nenhum dos métodos apresentou bons resultados para baixas taxas de transporte de sedimentos, o método de Toffaleti(1969) apresentou bons resultados para taxas médias e altas e o método de Yalin(1963) para taxas médias;
- 3 para o caso do Rio Paraíba do Sul, o método de Toffaleti(1969) apresentou bons resultados para baixas taxas de transporte de sedimentos por arraste de fundo, o método de Yalin(1973) apresentou resultados aceitáveis para taxas médias e o método de Bagnold(1966) apresentou bons resultados para altas taxas de transporte de sedimentos de fundo.

Paiva(1995) avaliou 10 fórmulas para o cálculo da descarga total de sedimentos, com base em 24 medições realizadas no Rio Atibaia-SP. As fórmulas avaliadas foram: Laursen(1958), Garde e Dattatri(1963), Bagnold(1963), Bishop-Simons e Richardson(1965); Shen e Hung(1972), Maddock(1976), Karim-Kennedy(1985), Ackers e White(1973) e, Engelund e Hansen (1967). Concluiu que para as condições testadas, todos os métodos apresentaram diferenças percentuais relativas aos dados medidos superiores a 50% e que para a descarga total de sedimentos calculada a partir do diâmetro d_{50} do grão, o método que apresentou o melhor resultado foi o de Engelund e Hansen(1967) seguido do método de Bagnold(1966) com desempenho semelhante.

Maza y García (1996), citados por Aguirre-Pe et al.(2006), compilaram mais de 50 metodologias relacionadas ao cálculo de transporte de sedimentos até aquela data.

Aguirre-Pe et al (2006) com base em informações de bancos de dados internacionais, analisaram 4000 fluxos de 45 canais de laboratório e rios e avaliaram o desempenho de 15 métodos distintos de previsão do transporte de sedimentos de fundo e concluíram que “os modelos de transporte que apresentam uma melhor reprodução do transporte real em canais de laboratório e rios são os de Engelund y Hansen (1967), Aguirre-Pe et al. (2003), Sato, Kikkawa y Ashida (1958) e Karim (1998), considerando como critério de avaliação o índices de dispersão (ID) apresentado por Aguirre-Pe et al(2004).

Scapin e Paiva (2006) apresentaram resultados da avaliação do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria, RS, a partir de treze medições de descargas líquidas e sólidas realizadas entre Dezembro de 2003 a Novembro de 2004 em que compararam dados de descarga total de sedimentos medida com dados de descarga total de sedimentos estimada pelos métodos de Engelund e Hansen (1967), Yang (1973), Ackers e White (1973), Van Rijn (1984), Karim (1998) e Cheng (2002). Concluíram que o método de Yang (1973) apresentou os melhores resultados, seguido pelos métodos de Karim (1998), Ackers e White (1973) e Van Rijn (1984), considerando como critério de avaliação o índices de dispersão (ID) apresentado por Aguirre-Pe et al(2004). Pelo mesmo critério, concluíram que os métodos de Engelund e Hansen (1967) e Cheng (2002), não se aplicam à sessão estudada.

Os resultados conflitantes nas diversas avaliações mostram que não é possível simplesmente aplicar um método de cálculo qualquer para uma determinada sessão de rio. Antes disso porém é necessário proceder-se a levantamentos de campo, por um período determinado, que permitam definir qual o método que melhor se aplica a cada caso e a partir daí usa-lo para a estimativa do transporte de sedimentos a partir das características hidráulicas da sessão e do escoamento.

Para a avaliação e ou adequação de um método de cálculo e ou modelo matemático para a estimativa da produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica e seu transporte no curso d'água, são necessárias medições diretas da descarga líquida e sólida. Essas medições diferem de acordo com o modo de transporte.

As principais medidas necessárias são:

- medidas de vazão;
- a amostragem do material de leito;
- medidas diretas da descarga de fundo;
- a amostragem do material em suspensão;
- análise de laboratório.

Os métodos e equipamentos para a realização dessas medidas são descritos com detalhe em Martins e

Paiva (2001), Carvalho (1994) e Coiado, Paiva e Simões (2001).

Este projeto será desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, localizada entre as latitudes de 29°36'55" e 29°39'50" S e as longitudes de 53°46'30" e de 53°49'29" W, na qual encontra-se em fase final de desenvolvimento o 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.

A bacia em questão apresenta um elevado grau de ocupação, conflitos de uso da água, setores com elevado grau de degradação ambiental e escassez de dados hidrológicos, sedimentológicos e de qualidade da água, se constituindo em um bom laboratório para o desenvolvimento e avaliação de metodologias de enquadramento de recursos hídricos em regiões com carência de dados.

O Rio Vacacaí Mirim, cuja bacia hidrográfica tem área aproximada de 1000 km², é responsável em sua cabeceira, por 40% do abastecimento público de água da Cidade de Santa Maria. É uma bacia que sofre os efeitos da expansão urbana e da atividade agrícola, com sérios problemas de qualidade e quantidade de água. Como principais problemas, destacam-se:

a) O crescimento da urbanização em sua parte média, tem 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 para a lavoura de arroz, distribuídos ao longo de seu curso. Situação que tende a agravar-se com o tempo, havendo, portanto, um forte componente de geração de conflitos de uso da água.

Esta bacia, vem sendo monitorada em suas cabeceira e área urbana, pela equipe do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, de forma, que mesmo sendo uma área com carência de dados, dispõe de informações suficientes para permitir o desenvolvimento, a avaliação e validação de metodologias e modelos a serem utilizados em regiões com carência de dados. Dispõe de uma estação fluviométrica próximo a sua saída, com uma série de vazões líquidas, consistida, disponível no Hidro Web (www.ana.gov.br) no período de novembro de 1976 a abril de 2004, com falhas em alguns períodos. Não dispõe no entanto de dados de descarga sólida em sua saída ou próximo desta que permitam avaliar os modelos hidrossedimentométricos aplicados nem relacionar os dados de vazão com dados sedimentométricos. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de trabalho experimental que permita obter correlações entre vazões líquidas e sólidas de forma a aferir as metodologias utilizadas para a previsão da produção de sedimentos na bacia hidrográfica e a sua transferência para fora desta através da calha fluvial. É este o objetivo deste trabalho.

Na parte alta da bacia, está localizado o reservatório de abastecimento público, com área inundada de 0,74 km² com bacia contribuinte de aproximadamente 29 km². Drena uma área característica de mata nativa, agricultura de cultivos anuais e permanentes, pecuária (em menor escala) e balneários. Há uma pequena, porém crescente, área em fase de urbanização. Abaixo do reservatório, a bacia é característica de área urbana em sua margem direita e de área rural, com campo nativo e agricultura irrigada em sua margem esquerda. Na parte baixa da bacia, há predominância do cultivo de arroz irrigado por inundação, com elevadas taxas de consumo de água.

A bacia em estudo, 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, no qual a UFSM tem assento, no Grupo Instituições e Ensino e Pesquisa.

4.3.4 Objetivos

O Objetivo deste trabalho é a obtenção de informações que permitam estabelecer relações entre a descarga líquida e sólida na saída da bacia do rio Vacacaí Mirim, de forma a subsidiar a definição de método de cálculo do transporte de sedimentos que permitam transformar a série de vazões existentes na estação fluviométrica Restinga Seca (85438000), operada pela ANA próximo a saída da bacia, em série de dados sedimentométricos para possibilitar a caracterização hidrossedimentométrica da bacia e aferir a validade dos modelos matemáticos de cálculo da produção de sedimentos em aplicação na bacia, como parte 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 tem 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.

4.3.5 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 seção 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 seção e trecho considerado.

4.3.6 Metodologia

4.3.6.1 Monitoramento Hidrológico e Sedimentológico

O monitoramento será feito utilizando-se métodos tradicionais de medição de vazões líquidas e sólidas e precipitações. Será feito na estação fluviométrica Restinga Seca (85438000), operada pela ANA próximo a saída da bacia, com área de drenagem de 914 Km². Esta estação dispõe de régua hidrométrica e as medições são atualmente feitas de cima da ponte. Será instalada nova sessão de medição montante da ponte e serão instalados amostradores automáticos de sedimentos em suspensão e mais duas sessões de régua, de forma a permitir a medição da declividade de linha d'água.

As medições de vazão para a determinação da curva chave serão feitas utilizando Molinete Fluviométrico Universal, nas cheias e, sensor de velocidades modelo A-OTT NAUTILUS, nas águas baixas.

Para as medições de descarga de fundo serão utilizados amostrador modelo Heley Smith (US-BL-84).

As amostragens de concentração de sedimentos em suspensão serão feitas com amostradores de estágio único modelo US-U-59 (montados como amostradores de nível ascendente e de nível descendente (AND), conforme modelo descritos por Umesawa (1979), instalados com o objetivo de coletar amostras superficiais durante a subida e a descida da onda de cheia e, com amostrador de sedimentos em suspensão AMS1(USDH 59) com o objetivo de coletar amostras integradas na profundidade durante as medições de descargas líquidas e sólidas para a definição das curvas chave de vazão e sedimentos. A determinação da concentração de sedimentos em laboratório será feita por filtração e as análises granulométricas, por

peneiramento, sedimentação.

A coleta de amostras para a caracterização do material de leito será feita com um amostrador tipo pistão manual de penetração vertical (US-BMH-53) e raspador de fundo US-BMH-60.

A amostragem de sedimentos em suspensão será feita pelo método de igual incremento de descarga e a coleta de sedimentos em suspensão será feita a cada incremento de 10% da vazão e a coleta de material do leito e a medição da descarga de leito a cada 20% de incremento da descarga líquida.

4.3.6.2 Tratamento e Utilização dos Dados Obtidos

Os dados obtidos no campo serão utilizados para a confecção das curvas chave de vazões e sedimentos, para a estimativa da produção de sedimentos na bacia e para a avaliação dos métodos de cálculo do transporte de sedimentos em rios.

Serão utilizadas planilhas eletrônicas e o software TSR 1.0 desenvolvido por Paiva e Lago (1995), atualmente em fase de atualização para ambiente Windows.

4.3.6.3 Simulação Hidrossedimentométrica com o Modelo Kineros 2.

Inicialmente, com os dados de caracterização física da bacia do rio Vacacaí Mirim e os dados hidrossedimentométricos de duas pequenas bacias embutidas na bacia do rio Vacacaí Mirim, operadas no passado, a Bacia Sítio do Tio Pedro e a Bacia Alto da Colina II, será feita a simulação hidrossedimentométrica dessas duas bacias, com o objetivo de se obter os parâmetros do modelo para as características da região e, em um segundo momento, será feita a sua utilização para simular as condições hidrossedimentométricas da bacia do rio Vacacaí Mirim, tendo como base as medições feitas na estação fluviométrica de Restinga Seca.

4.3.7 Cronograma de Atividades do Projeto.

Este projeto está previsto para ser realizado em 24 meses à partir do início do projeto, inicialmente fazendo parte dos programas de Mestrado do Engenheiro Cristiano Bredow Alves, aluno regularmente matriculado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFSM desde março de 2007. Após a sua conclusão de curso outro aluno dará continuidade ao projeto. Os mestrandos contam com o auxílio de 02 bolsista de iniciação científica e de um técnico de campo.

4.3.8 Equipe

João Batista Dias de Paiva - Coordenador
 Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva.
 Cristiano Bredow Alves (Mestrando)
 Cristiano Claus Daronco (Mestrando)
 Cristiana A. Schons (FAPERGS)
 Deise Caroline Albiero Marçal (IC-CNPQ)

4.3.9 Referências Bibliográficas

- ACKERS, P. & WHITE, W.R. (1973). "Sediment Transport: New Approach and Analysis". *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, vol. 99, No. HY 11, November, pp.2041-2060.
- AGUIRRE-PE, J.; MONCADA, A.T. e OLIVERO, M.L. (2004). "Transporte de Sedimentos en Rios y Canales", in: *XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica*, IAHR, Outubro, São Pedro, SP (Brasil). 10p.
- AGUIRRE-PE J., MACHADO D. A., MONCADA A. T. E OLIVERO M. L. (2006). "Los Mejores Modelos de Transporte de Sedimentos." *XXII Congresso Latinoamericano de Hidráulica*. IAHR .Ciudad Guayana, Venezuela, Out. 2006. 10 p. (Anais em CDrom)
- ALONSO, C. V. (1980), "Selecting a Formula to Estimate Sediment Transport Capacity in Non-Vegetated Channels" *CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, Erosion from Agricultural Management Systems*, Conservation Research Report no. 26, United States Department of Agriculture, pp. 426-435.
- BAGNOLD, R. A. (1966), "An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics", U. S. Geological Survey, Proc. Paper 442.I, Washington.
- BISHOP, A. A. , SIMONS, D. B. & RICHARDSON, E. V. (1965), "Total Bed-Material Transport", *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, vol. 91, no. HY2, March, pp. 175-191.
- BOSCH, D.D.; THEURER, F. D.; BINGNER, R. L.; FELTON, G.; CHAUBEY, I. Evaluation of the AnnAGNPS Water Quality Model. ASAE Annual International Meeting. Orlando, Florida, USDA. Paper nº 982195. Julho, 1998.
- BROWN, C.B. - Engineering Hydraulics, edited by H. Rouse, John Wiley & Sons. Inc. 1950.
- CARVALHO, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM: ELETROBRÁS, 372p.
- CHEN, Y.H. 1973. Mathematical Modelling of Water and Sediment Routing in Natural Channels. Colorado State University, 253p.
- CHENG, N. S. "Exponential Formula for Bedload Transport". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 128, n.10, Oct., pp.942-946. 2002.
- CRUZ, E.S.; SRINIVASAN, V.S. e SANTOS, L.L. "Aplicação do modelo WEPP para simulação do escoamento superficial e erosão do solo na bacia experimental de Sumé". XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais em CD-ROM; Desafios à Gestão da Água no Limiar do Século XXI. Curitiba. 2003.
- COGOLLO PONCE, Ricardo José - Análise da Aplicabilidade e Modificações de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimento por Arraste de Fundo em Rios de Médio Porte . SHS-EESC-USP.(Tese de Doutorado) 1990.
- COIADO, E.M.; PAIVA, J.B.D. de & SIMÕES, S.J.C. Monitoramento da Erosão e do Transporte de Sedimentos. In: PAIVA, J.B.D. & PAIVA, E.M.C.D. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas . Cap. 21. pp. 587-625. Porto Alegre. ABRH. 2001.
- COLBY, B.R. - Practical Computations of Bed Material Discharge , *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, vol. 90, No. HY2. 1964.
- DALCANALE, F. Simulação de Cargas Difusas em Bacias Rurais. 2001. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- DAVI, H.H.R.C.; FIGUEIREDO, E.E. de & FURTUNATO, O. M. – "Um modelo para simulação hidrossedimentológica em pequena escala". XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais em CD-ROM; Desafios à Gestão da Água no Limiar do Século XXI. Curitiba. 2003.
- DIAS, Janaína Rios. "Aplicação do modelo hidrológico Agnps2001 utilizando dados observados na Bacia do arroio Vacacaí-Mirim". 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal

de Santa Maria, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva.

- DILLAHA, T.; WOLFE, M. L.; SHIRMOHAMMADI, A.; BYNE, F. W. ANSWERS-2000. International ASAE Meeting. Orlando, FL. 1998. Disponível em: <http://www3.bae.ncsu.edu/s273/ModelProj/index.html> Acesso em: dez. 2002.
- EINSTEIN, H.A.. The bed load function for sediment transportation in open channel flows . U.S. Dept. Agric., S.C.S., T.B. n. 1026. 1950.
- EINSTEIN, H.A. & ABDEL-AAL, F.M. - Einstein Bed Load Function at High Sediment Rates , J. of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 98, No. HY1, Jan., pp.137-152. 1972.
- ENGELUND, F. & HANSEN, E. - A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams , Teknisk Verlag, Copenhagen. 1967.
- GABELE, T. General Model Information - SWRRBWQ. Disponível em: <http://www.wiz.uni-kassel.de/model_db/mdb/swrrbwq.html>. 2002. Acesso em: dez. 2002.
- GARBRECHET, J.; MARTZ, L.; BINGNER, R. TopAGNPS User Manual. Version 3.1. 2000.
- GARDE, R. J. & DATTATRI, J. (1963), Investigations of the Total Sediment Discharge of Alluvial Streams, Res. J. University of Roorkee.
- GOLDENFUM, J.A. 1991. Simulação hidrossedimentológica em pequenas bacias rurais. Dissertação de Mestrado, IPH/UFRGS. 113p.
- KARIM, F. "Bed Material Discharge Prediction for Nonuniform Bed Sediments". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 124, n. 6, Jun., pp.597-604. 1998.
- KAUARK LEITE, L. A.; MOUCHEL, J. M. Contribuição à Modelagem da Poluição Difusa de Origem Agrícola: Transporte de Sólidos em Suspensão e de Nitrogênio em Pequenas Bacias Hidrográficas. RBE – Caderno de Recursos Hídricos, v. 8, n° 1, p.5-20, 1990.
- KAUARK LEITE, L.A.; MOUCHEL, J.M. 1990. Contribuição à modelagem da poluição difusa de origem agrícola: transporte de sólidos em suspensão e de nitrogênio em pequenas bacias hidrográficas. RBE – Caderno de Recursos Hídricos. V.8, n.1, pp.5-20.
- LAURSEN, E.M. - The Total Sediment Load of Streams , Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 84, No. HY1. 1958.
- LLANO, F.L.C.; BARO, A.P.S. 1983. Metodologia Integrada para la Evaluacion de Cuencas. Seminario sobre erosion y sedimentacion en cuencas de montaña. CIHRSA, Villa Carlos Paz, Republica Argentina, 188p.
- LOPES, W.T.A.; SIRINIVAZAN, V.S. & FIGUEIREDO, E.E. "Modelagem hidrossedimentológica na região semi-árida da Paraíba e análise do efeito de escala na parametrização". XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais em CD-ROM; Desafios à Gestão da Água no Limiar do Século XXI. Curitiba. 2003.
- MARTINS, E.S.P.R. & PAIVA, J.B.D. – Quantidade dos Recursos Hídricos . In: PAIVA, J.B.D. & PAIVA, E.M.C.D. – Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas . Cap. 19. pp. 531-566. Porto Alegre. ABRH. 2001.
- MEYER-PETER, E. & MULLER, R. - Formulas for Bed Load Transport , Proceedings, 3rd Meeting of Intern. Assoc. Hydraulic Res., Stockholm, pp. 39-64. 1948.
- MITCHELL, G.; GRIGGS, R. H.; BENSON, V.; WILLIAMS, J. EPIC. 1998. Disponível em: <<http://www.brc.tamus.edu/epic/>>. Acesso em: dez. 2002.
- NSERL - National Soil Erosion Research Laboratory. WEPP Software Water Erosion Prediction Project. 2002. Disponível em: <<http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html>>. Acesso em: set. 2002.

- OLIVEIRA, M.G.B. de e BAPTISTA, M.B. “Análise da Evolução Temporal da Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica da Pampulha e Avaliação do Assoreamento do Reservatório”. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória-ES .1997.
- ONSTAD, C.A.; FOSTER, G.R. 1975. Erosion Modeling on a Watershed. Transactions of the ASAE. 18(2), pp.288-292.
- PAIVA, Luiz Evaristo Dias de - Aplicação de Métodos Macroscópicos na Determinação da Carga Sólida Total Transportada em Rios . DHS-FEC-UNICAMP.(Dissertação de Mestrado) 1995.
- PAIVA, J. B. D.(1988). “Avaliação dos Modelos Matemáticos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios”. *Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento)*. Universidade de São Carlos, São Paulo, 315p.
- PARANHOS, Raquel Maldaner. “Avaliação de metodologia para estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta” . 2003. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Bolsista CNPq – CTHidro. Orientador: Joao Batista Dias de Paiva.
- RAJU, K.G.R., GARDE, R.J. & BHARDWAJ, R.R. - Total Load Transport in Alluvial Channels , Journal of Hydraulics Division, ASCE, vol.106, No.HY2, February. 1983.
- REGNARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook N° 703. U. S. Department of Agriculture, 1997.
- SCAPIN, Juliana e PAIVA, Joao Batista Dias de. Avaliação da Eficiência de Métodos de Cálculo para o Transporte de Sedimentos em um Córrego Urbano de Santa Maria-RS. XXII Congresso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad Guayana, Venezuela, Out. 2006. 10 p. (Anais em CDrom).
- SHEN, H. W. & HUNG, C. S. (1971), “An Engineering Approach to Total Bed Material Load by Regression Analysis”, Proceedings, Sedimentation Sym., Berkeley.
- SILVA, F.G.B.; MINOTI, R.T.; REIS, J.A.T.; TSHUAKO, E.M.; ANGELOTTI NETO, A. & CRESTANA, S. 2004. “ SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL COM O MODELO SWAT. VI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. pp.17-20. Vitória.
- SILVEIRA, R. E. I. Projeto Gerenciamento da Bacia do Rio Junidaí-Mirim. Relatório da Etapa I - Implantação. São Paulo: CPRM/SMA/DAE, 1995. 39p.
- SILVEIRA, R. E. I. Relatório da Etapa I – Implantação. Projeto Gerenciamento da Bacia do Junidaí-Mirim. São Paulo, 1995.
- SIMONS, D. B. & SENTURK, F. (1977), ”Sediment Transport Technology”. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- SRINIVASAN, V. e PEREIRA, J. de A. “Modelagem do Escoamento Superficial e da Erosão em Microbacias na Bacia Experimental de Sumé – PB”. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória-ES - 16/11/1997.
- TOFFALETI, F.B. Definitive computation of sand discharge in rivers . Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol 95, HY1, Jan., pp. 225-246. 1969.
- USDA ARS/NRCS. AnnAGNPS Version 2: User Documentation. Outubro, 2001.
- USDA-SCS. Hydrology Section 4. National Engineering Handbook, cap.4-10. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Washington, DC, USA. 1972.
- VAN RIJN, L. C. (1984). “Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport”. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, n.10, October., pp.1431-1456.
- VAN RIJN, L. C. (1984). “Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport”. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, n.11, November, pp.1613-1641.

- VAN RIJN, L. C. (1984). "Sediment Transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, n.12, December, pp.1733-1754.
- WILLIAMS,J.R. 1975. Sediment routing for agricultural watersheds. *Water Resources Bulletin*. V.11, n.5, pp.965-974.
- WILLIAMS,J.R.; BERNDT,H.D. 1977. Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology. *Transactions of the ASAE*, vol. 20, n. 6, pp;1100-1104.
- WISCHMEIER,W.H.; SMITH,D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. *Agriculture Handbook*, no 537. Washington, U.S.D.A. Departament of Agriculture, 58p.
- WOOLHISHER,D.A.; SMITH,R.E.; GOODRICH,D.C. 1990. KINEROS, a Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. ARS-77, 130p.
- YALIN, M. S. (1963), "An Expression for Bed-Load Transportation", *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 89, no. HY3, May, pp. 221-249.
- YANG, C.T. Incipient motion and sediment transport . *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, vol.99, HY10, Paper 1679-1701. 1973.
- YANG, C.T. (1973)."Incipient Motion and Sediment Transport". *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol.99, n. HY10, Oct., pp.1679-1701.

4.4 Desenvolvimento de Softwares Computacionais para Monitoramento de Pequenas bacias Hidrográficas: Coleta, transmissão, processamento e armazenamento de dados.

Sigla: HidroSoft

4.4.1 Introdução

Todos os projetos de pesquisa desenvolvidos pelo GHidros, envolvem monitoramento hidrológico, sedimentológico e de qualidade da água, que requer a implementação de estruturas de medição no campo, instrumentadas com equipamentos eletrônicos para registro de dados e sua posterior coleta e transmissão.

Atualmente nas bacias monitoradas pelo GHidros são utilizados dois tipos de equipamentos com data logger: linigrafos eletrônicos, A-OTT modelo Thalimedes, para medição de níveis d'água e pluviômetros eletrônicos, A-OTT modelo Pluvio, para a medição de precipitação pluviométrica. Os dados registrados nesses equipamentos são coletados utilizando uma unidade operacional fornecida pela A-OTT ou através de um Laptop, com o auxílio de sensores infravermelhos e posteriormente transferidos para um banco de dados que depende do Software Hidrs II de origem alemã, que apesar da sua alta qualidade, não se adapta bem às necessidades do GHidros em termos de formatação, análise e geração de resultados, uma vez que não dá acesso aos códigos fonte, o que permitiria proceder as adaptações necessárias.

Desta forma tem-se como meta o desenvolvimento de um software local, para a substituição gradual do atual programa em uso.

Por outro lado, a coleta de dados através dos sensores IRDA que requer a presença do operador nos locais de coleta, impede a detecção de eventuais problemas com os equipamentos causando seguidas vezes a perda de informações. Por essa razão faz-se necessária a implementação de um sistema de transmissão remota de dados, com o objetivo de otimizar a coleta e de possibilitar o acompanhamento do funcionamento dos equipamentos instalados nos locais mais distantes e permitir a rápida mobilização das equipes que necessitam fazer medições durante a ocorrência de eventos chuvosos.

4.4.2 Objetivos

O objetivo deste projeto é a coleta, transmissão, processamento e armazenamento dos dados registrados nos equipamentos eletrônicos instalados e a serem instalados nas estações de medição em operação na Bacia Experimental do arroio Lajeado Grande, em São Martinho da Serra, onde se desenvolve o projeto de avaliação dos impactos da atividade de mineração sobre os recursos hídricos e na Bacia Experimental do Campestre do Menino Deus onde está sendo desenvolvido o projeto MATasul e na saída da bacia do Vacacaí Mirim, onde se encontra em desenvolvimento o projeto de avaliação hidrossedimentométrica da bacia do Rio Vacacaí Mirim, com base em dados medidos de vazão e sedimentos.

As metas a serem atingidas são:

- Desenvolvimento de unidade remota de telemetria de dados hidrométricos via telefonia celular GSM;
- Desenvolvimento de Software computacional para coleta, transmissão e, processamento e análise dos dados e a organização de um banco de dados que permita a substituição do software atualmente utilizado.

4.4.3 Metodologia

O sistema de transmissão de dados encontra-se em desenvolvimento utilizando-se modems de transmissão GSM/GPRS.

Para desenvolvimento do software de gerenciamento dos dados está sendo utilizada a linguagem Pascal.

4.4.4 Equipe

João Batista Dias de Paiva: Coordenador

Fábio Alex Beling (PBIC- CNPq)

Rodrigo Domingues (BIC- CNPq)

4.4.5 Referências Bibliográficas

OTT Hydrometry, Operation Instructions. Shaft Encoders with Data Loggers Thalimedes.

OTT Hydrometry, Getting Started HYDRAS 3. Application Software for Hydrology, Meteorology and Environmental Protection.

OTT Hydrometry, Operation Instructions. Raingauge using weighing principle – with integral data logger or pulse output – Pluvio.

OTT Hydrometry – Modules for OTT-LOG and OTT-GATE 55.505.00.TE. Operating Manual.

PAIVA, J.B.D.;PAIVA, E.M.C.D. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Editora ABRH. Porto Alegre, 2001.

5. Conograma geral de desenvolvimento dos trabalhos

Durante o próximo período de vigência da bolsa de produtividade e pesquisa, as atividades do bolsista, além das atividades didáticas e administrativas serão assim distribuídas:

ATIVIDADE	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Desenvolvimento do Projeto Matasul: Rede de pesquisa em bacias representativas e experimentais no bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil	X		
- Projeto Integra: Rede de pesquisa em disponibilidade hídrica para aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Quantidade e qualidade	X	X	
- Caracterização hidrossedimentométrica da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, com base em dados medidos de vazão e sedimentos	X	X	X
Execução do Projeto; Desenvolvimento de Software para Monitoramento de Pequenas bacias Hidrográficas: Coleta, transmissão, processamento e armazenamento de dados.	X	X	X
Publicações em eventos e periódicos	X	X	X
Orientação de alunos de mestrado e Doutorado	X	X	X
Orientação de alunos de Iniciação Científica	X	X	X
Orientação de Bolsista DTI	X	X	X
Orientação de Bolsistas AT	X	X	X
Participação no Comitê da Bacia do Rio Vacacaí Mirim	X	X	X
Implantação do Curso de Doutorado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil- PPGEC.	X	X	X