

## Análise de Alternativas de Enquadramento do Rio Vacacaí Mirim Utilizando Modelo Matemático de Qualidade da Água

**Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, Lorenza Ferreira Oppa**

*Departamento de Hidráulica e Saneamento - Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria*

*mcarmo@pq.cnpq.br; lorenza@mail.ufsm.br*

*Recebido: 03/07/09 - revisado: 08/07/10 - aceito: 06/01/11*

---

### **RESUMO**

*O uso de modelos matemáticos que simulam as condições de qualidade da água é ferramenta importante para quantificar a capacidade de autodepuração do rio. O objetivo desta pesquisa é avaliar propostas de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, utilizando como ferramenta de apoio o modelo matemático de qualidade da água QUAL2E. Os usos preponderantes da água na bacia são o abastecimento público, agricultura de cultivo temporário ou permanente, pecuária e balneários. Os parâmetros simulados foram: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e coliformes termotolerantes. As simulações de prognóstico foram feitas para as vazões  $Q_{80}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , nas condições com demandas de água para irrigação. Na calibração verificou-se que a qualidade da água do rio Vacacaí Mirim apresenta boas condições, exceto nos trechos iniciais considerados na modelagem, onde os valores das concentrações ultrapassam os limites estabelecidos para a classe 2 e 3 da Resolução nº 357/05 do CONAMA, para todos os parâmetros. No prognóstico, os resultados excedem os limites das classes, principalmente com a vazão  $Q_{95}$ , em vários trechos. As alternativas de enquadramento sugeridas em função dos usos da água na bacia e simulações do modelo são: classe 3 para os três primeiros trechos do rio, indicando como principal medida o tratamento de esgoto nesses trechos, e classe 2 para o restante do rio; ou classe 2 para todo o rio.*

**Palavras-chave:** enquadramento, modelagem da qualidade da água, modelo QUAL2E.

---

### **INTRODUÇÃO**

A gestão dos recursos hídricos é assunto essencial a todos os usuários da água. A busca por alternativas viáveis para a solução dos problemas quali-quantitativos dos recursos hídricos, sem impedir o desenvolvimento econômico de uma região, é a rota para garantir às atuais e futuras gerações o acesso à água com quantidade e qualidade suficientes.

Para auxiliar na gestão, controle e proteção dos corpos hídricos podem ser utilizadas ferramentas que possibilitem a análise e o prognóstico dos mesmos. Os modelos matemáticos de qualidade da água são utilizados para esses fins, permitindo a simulação dos processos de autodepuração do rio e, consequentemente, auxiliando na tomada de decisões referentes ao gerenciamento desses recursos.

Modelos matemáticos são ferramentas originalmente desenvolvidas para auxiliar na solução de problemas. Além disso, possibilitam compreender o meio ambiente e visualizá-lo integrado, devido à sua capacidade de englobar os processos hidroló-

gico, físico, químico e biológico de forma simplificada e prática, ainda que esses processos sejam complexos. Para que tais ferramentas sejam eficientes e confiáveis, devem ser seguidas as etapas da modelagem: análise de sensibilidade, calibração e validação, também denominada de confirmação por alguns autores (Gastaldini *et al.*, 2002, Chapra, 1997, Silva, 2006).

O objetivo deste trabalho é analisar propostas de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, utilizando o modelo matemático de qualidade da água QUAL2E como ferramenta de apoio. As propostas de enquadramento foram obtidas da análise das condições atuais do rio e dos resultados das simulações para o tratamento da carga orgânica presente em alguns trechos do rio.

### **REVISÃO DA LITERATURA**

QUAL2E é um dos modelos de qualidade da água em sistemas fluviais mais conhecidos, devido à sua versatilidade, fácil compreensão e aplicação. Foi

desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) na década de 80, e ainda é amplamente utilizado.

A simulação pode ser feita com mais de 15 constituintes de qualidade da água e com qualquer combinação desejada pelo usuário. Os constituintes que podem ser simulados são: Oxigênio Dissolvido, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio orgânico, Amônia, Nitrato, Nitrito, Fósforo orgânico, Fósforo dissolvido, Algas, Coliformes Termotolerantes, Constituinte arbitrário não- conservativo, três constituintes arbitrários conservativos (Barnwell & Brown, 1986).

Esse modelo é aplicável a rios ramificados e bem misturados. O sistema é considerado unidimensional, estabelecendo relação com os principais mecanismos de transporte (advecção e dispersão) os quais são importantes apenas ao longo da direção principal do fluxo (eixo longitudinal do rio ou canal). Admite múltiplas descargas de esgoto, retiradas de água, afluentes tributários, afluências e efluências incrementais no sistema simulado.

Desde a sua publicação, em 1986, diversos autores utilizam o QUAL2E como ferramenta de auxílio e otimização do gerenciamento de recursos hídricos, permitindo diagnosticar e prognosticar a qualidade das águas de bacias hidrográficas.

Drolc e Koncan (1996) averiguaram a qualidade da água do rio Sava próximo a Ljubljana, Eslovênia. O modelo QUAL2E foi aplicado para estimar o impacto do esgoto na qualidade do rio Sava. A análise de sensibilidade foi realizada para determinar os fatores mais importantes que afetam a concentração de OD na água. Concluíram que no verão, período de vazão baixa, o esgoto deve ser tratado para manter o valor da DBO abaixo de 30mg/L, não ultrapassando os padrões de qualidade de água Eslovenos.

Ghosh e McBean (1998) calibraram o QUAL2E para o rio Kali, na Índia, no período de seca. Nesse rio são evidentes as contribuições primárias de esgoto. As limitações dos dados são as principais dificuldades associadas ao uso do modelo em rios como o rio Kali. Os dados gerados pelo modelo mostraram grande proximidade com os dados observados na estiagem.

Em 2002, Gastaldini *et al.* utilizaram o modelo QUAL2E com o objetivo de gerar uma ferramenta de apoio ao gerenciamento da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Ibicuí, Brasil. Simularam os parâmetros OD, DBO, nitrato, nitrito, fósforo, ferro, alumínio e coliformes termotolerantes. O diagnóstico atual mostrou elevados valores de OD, baixos valores de DBO e valores inferiores a 1000

NMP/100mL para coliformes termotolerantes. A previsão da qualidade da água foi baseada no cenário de vazão crítica  $Q_{7,10}$  e incremento das cargas poluidoras na bacia para um período de 10 anos. Como resultado da previsão, as concentrações dos parâmetros indicaram como medida preventiva o tratamento de efluentes domésticos lançados nas sub-bacias do rio Ibicuí.

Luca *et al.* (2003) utilizaram o modelo QUAL2E objetivando diagnosticar os impactos dos aproveitamentos hidrelétricos sobre os múltiplos usos da água na bacia do rio Ijuí, Brasil. Para a simulação do modelo, calcularam as cargas potenciais poluidoras pontuais e difusas. Os constituintes simulados foram: DBO, OD, fósforo dissolvido e orgânico, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato e coliformes termotolerantes. A análise da simulação de OD e DBO constata que a presença das sete pequenas centrais hidrelétricas aumenta a oxigenação das águas, sendo benéfico para o ecossistema. Verificaram que a montante da bacia, onde existe a maior densidade demográfica, os valores de fósforo orgânico e dissolvido ficaram acima do permitido, demonstrando a necessidade de tratamento do esgoto sanitário.

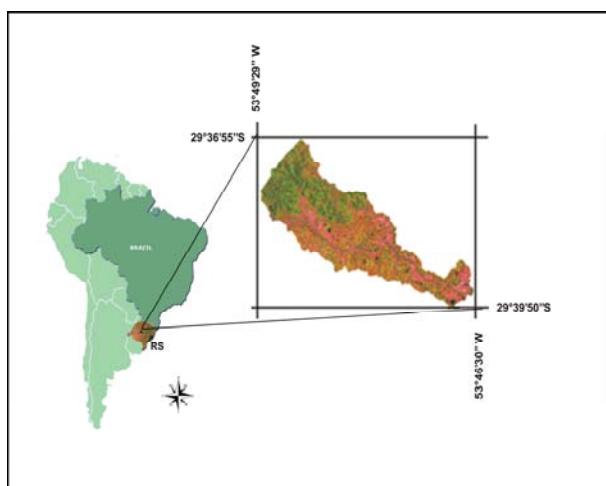
McAvoy *et al.* (2003) avaliaram o risco para o consumidor das águas superficiais que recebem esgoto não tratado. Utilizaram um traçador para estimar o tempo de viagem e a dispersão do rio, inseridas como entrada do QUAL2E. Os dados de saída do QUAL2E foram comparados com dados medidos em campanha para validação do modelo, para o rio Balatuin, Filipinas, no período de seca. Através da validação do QUAL2E, comprovaram que o mesmo é instrumento apropriado para avaliar o risco ao consumidor de água superficial que recebe esgoto não tratado.

Rodrigues (2005) propôs ferramenta de auxílio aos processos de outorga e cobrança pelo uso da água através de Sistema de Suporte a Decisão e modelo de qualidade das águas QUAL2E.

Palmieri e Carvalho (2006) aplicaram o modelo QUAL2E no rio Corumbataí, Brasil, objetivando prever a qualidade da água. As vazões, as profundidades, as temperaturas, as cargas, a posição de fontes de poluição, concentrações de OD e DBO foram medidas em campo e constituíram um banco de dados georeferenciados. O modelo foi calibrado com dados de 1999 e validado com dados de 2002. Esse estudo concluiu que na região do município de rio Claro é necessária a instalação de uma nova estação de tratamento de esgoto, ou que sejam aumentadas as capacidades das estações existentes.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área utilizada para a realização deste trabalho foi a bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul (figura 1). Possui área total de 1120 km<sup>2</sup>, abrangendo cinco municípios: Santa Maria, Restinga Seca, Itaara, São João do Polesine e Silveira Martins. Essa bacia está situada entre as coordenadas geográficas 53° 46' 30" a 53° 49' 29" de longitude Oeste e 29° 36' 55" a 29° 39' 50" de latitude Sul.



**Figura 1 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim.**

A bacia do rio Vacacaí Mirim sofre os efeitos da expansão urbana e da atividade agrícola. O fator agravante nessa bacia é a parcial disponibilidade de rede coletora e tratamento de esgoto nas áreas urbanas, aumentando a poluição dos recursos hídricos da região.

Outro fator que afeta qualitativamente as águas é a poluição difusa oriunda do meio rural.

As lavouras de arroz na bacia do rio Vacacaí Mirim ocupam grande parte das várzeas ao longo do rio principal e seus afluentes. A forma de cultivo de arroz na região exige uma demanda elevada de água. Os períodos de plantio dessa cultura coincidem com o período de estiagem, ocasionando uma vazão praticamente nula na parte mais baixa do rio. A causa dessa debilidade do rio está diretamente relacionada aos inúmeros bombeamentos para a lavoura de arroz, distribuídos ao longo de seu curso. Essa situação tende a agravar os problemas qualitativos do rio com o passar do tempo, propiciando a geração de conflitos de uso da água.

Paiva J. *et al.* (2006) estimaram que o consumo total de água na bacia do rio Vacacaí Mirim, no ano de 2005, foi de cerca de 142 milhões m<sup>3</sup>, considerando apenas abastecimento público e irrigação. Do total consumido, 92,47% foram destinados para irrigação das lavouras de arroz e somente 7,53% para abastecimento público.

Os problemas relacionados a recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Sul são gerenciados conforme a Lei N° 10.350/94, que institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Essa lei define em seu Art. 12 que um Comitê de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica será instituído para cada bacia. Suas disposições mais significativas são focalizar nas ações para o cumprimento das metas do Plano Estadual de Recursos Hídricos, objetivando a crescente melhoria da qualidade dos corpos hídricos.

A bacia em estudo possui um Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí Mirim. Esse Comitê foi instalado em 16 de setembro de 1999 baseado no Decreto Estadual 39.639, de 28 de julho de 1999, integrando o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e sendo administrado por regimento interno (Soares, 2003).

Conforme Magalhães (2001) alguns fatores determinam o sucesso do processo decisório dos comitês. A quantidade e qualidade das informações são fatores que conferem confiança na formulação de cenários, pois a maioria das decisões é tomada em um contexto de muitas incertezas sobre o futuro, devido à escassez de dados.

Nesse sentido, este trabalho pode auxiliar ao comitê, fornecendo subsídios técnicos para o processo decisório no gerenciamento da bacia hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí Mirim, permitindo as ações necessárias para o enquadramento das águas dessa bacia.

## OBTEÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados quali-quantitativos foram obtidos em três campanhas completas. A primeira campanha realizou-se no mês de julho/2005, a segunda no mês de outubro/2005 e a terceira campanha em janeiro/2006.

Os pontos de monitoramento quali-quantitativos foram escolhidos visando buscar a melhor representatividade das características da região. Deste modo, foram escolhidos 12 pontos de qualidade (PQ), sendo oito pontos localizados no rio Vacacaí Mirim e quatro nos principais afluentes

(córrego da UFSM, arroio do Meio, arroio Grande e arroio Divisa), conforme figura 2.

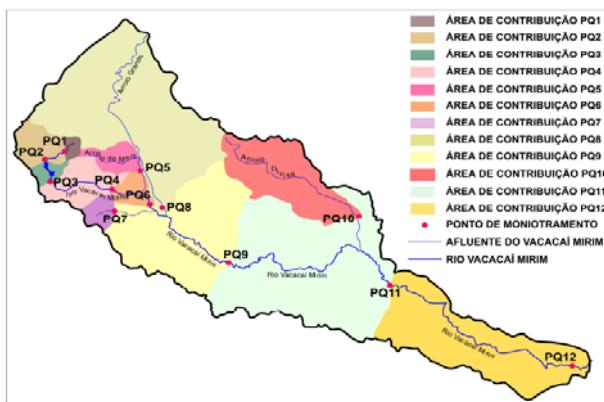


Figura 2 - Bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim  
pontos de monitoramento

### SEGMENTAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO

Para a simulação da qualidade da água foi utilizada extensão de 118 km do rio principal entre os pontos de monitoramento PQ3 e PQ12, figura 2. Recebendo contribuições do arroio do Meio, do córrego da UFSM, do arroio Grande e do arroio Divisa, sendo condizentes com a qualidade dos pontos PQ5, PQ7, PQ8 e PQ10, respectivamente. O monitoramento da qualidade da água do reservatório Vacacaí Mirim foi realizado por Gastaldini *et al.* (2001) e a simulação da qualidade da água desse reservatório foi realizada por Gastaldini *et al.* (2004).

O sistema fluvial foi dividido em 14 trechos, obedecendo aos limites do modelo e considerando os dados hidrológicos e de qualidade da água. A extensão dos elementos computacionais foi de 0,5 km, totalizando 236 elementos computacionais no sistema.

Os trechos foram caracterizados pela contribuição de suas fontes pontuais e não pontuais. Os afluentes do rio foram considerados como fontes pontuais, sendo utilizados seus respectivos dados de vazão e de qualidade. A vazão das fontes não pontuais foi obtida pelo saldo do balanço hídrico. Para a qualidade dessas fontes, foi considerado o tipo de poluição dos trechos. (Gastaldini *et al.*, 2001 e 2004)

### ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Esta análise determina a sensibilidade das previsões do modelo, relativas às mudanças nos valores dos parâmetros de calibração. Através dos resultados dessa análise, é possível determinar os vários comportamentos do modelo associados aos parâmetros.

A análise de sensibilidade realizada por Oppa *et al.* (2007), nessa bacia, demonstrou que as concentrações de oxigênio dissolvido dependem, principalmente, do coeficiente de reaeração ( $K_2$ ). Para a demanda bioquímica de oxigênio, a sensibilidade maior do modelo está na variação da taxa de decaimento da DBO ( $K_3$ ) e nas cargas incrementais. No caso do parâmetro de coliformes termotolerantes, o coeficiente de decaimento de coliformes ( $K_5$ ) possui influência significativa para esse parâmetro juntamente com as cargas incrementais.

### CALIBRAÇÃO

A calibração do modelo QUAL2E permite o ajuste dos parâmetros das equações matemáticas. Os parâmetros responsáveis pela previsão das concentrações de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes são: a) coeficiente de desoxigenação da matéria orgânica ( $K_1$ ); b) coeficiente de reaeração ( $K_2$ ); c) coeficiente de sedimentação ( $K_3$ ); d) demanda bentônica de oxigênio ( $K_4$ ); e) coeficiente de decaimento de coliformes ( $K_5$ ).

A adequação dos valores para os parâmetros foi baseada na literatura existente e nas condições do rio. Essas condições são analisadas com os resultados das amostras das campanhas realizadas.

Para a calibração do modelo foram utilizadas duas condições de vazão: vazão baixa, caracterizada pela média da 1<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> campanhas; e vazão alta, caracterizada pela 2<sup>a</sup> campanha. A figura 3 mostra as vazões do rio Vacacaí Mirim entre os pontos PQ3 e PQ12 para as três campanhas.

Neste trabalho é apresentada a calibração para a condição de vazão baixa, pois é mais importante para a análise do enquadramento do corpo hídrico estudado.

Foi utilizado o coeficiente de determinação para avaliar a relação das concentrações observadas e calculadas. Assim, obtém-se uma demonstração da

precisão favorável dos valores utilizados para os parâmetros e vazões incrementais.

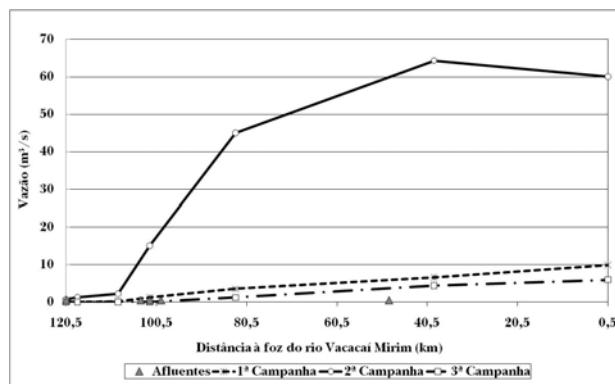


Figura 3 – Vazões do rio Vacacaí Mirim nas campanhas de monitoramento.

Os três primeiros trechos, situados entre os pontos PQ3 e PQ6, são os que possuem maiores despejos de matéria orgânica por estarem na parte mais urbanizada da bacia. Dessa forma, os parâmetros utilizados foram adaptados a esta condição para os três primeiros trechos.

O  $K_1$  adotado foi de  $0,5 \text{ dia}^{-1}$ , para os três primeiros trechos, e  $0,1 \text{ dia}^{-1}$  para o restante do rio. A opção para cálculo de  $K_2$  utilizada foi a equação de Langbien & Durum para todos os trechos (Barnwell & Brown, 1986). Foi adotado para  $K_3$  o valor de  $0,3 \text{ dia}^{-1}$ , sendo apenas utilizados nos três primeiros trechos de simulação, onde há o despejo de esgoto doméstico bruto. Para  $K_4$  foi considerado  $6 \text{ gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$  para os três primeiros trechos. A calibração dos dados para coliformes termotolerantes teve melhor resposta com os valores de  $K_5$  variando de  $4 \text{ dia}^{-1}$ , nos trechos mais poluídos, dos pontos PQ3 a PQ6; a  $0,05 \text{ dia}^{-1}$  nos trechos finais após o ponto PQ11.

### Oxigênio Dissolvido (OD)

A figura 4 apresenta a calibração do oxigênio dissolvido da bacia em estudo.

Foram utilizadas, para a calibração, as percentagens do OD de saturação, devido às grandes diferenças de temperatura da água nas campanhas de monitoramento. As temperaturas médias nas campanhas 1, 2 e 3 foram, respectivamente, de  $10,5^\circ\text{C}$ ,  $18,6^\circ\text{C}$  e  $25,8^\circ\text{C}$ .

O coeficiente de determinação, entre as concentrações observadas e calculadas foi 0,89. Nos trechos 1 e 2, nas vazões baixas, as concentrações de

OD são baixas, uma vez que estão situados em regiões urbanas e recebem contribuições de esgoto *in natura*. Nos demais trechos, as concentrações de OD ficaram próximas aos valores de saturação.

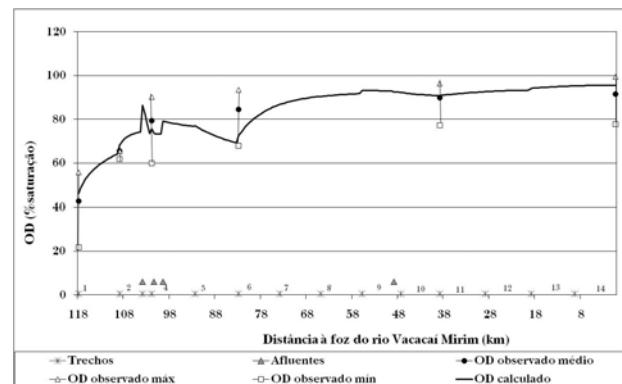


Figura 4 – Calibração do OD – vazões baixas.

### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A figura 5 apresenta o resultado da calibração da DBO. Para essa calibração os valores de DBO ultrapassam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para as Classes 2 e 3 apenas nos trechos 1 e 2. O coeficiente de determinação, entre as concentrações observadas e calculadas foi 0,90.

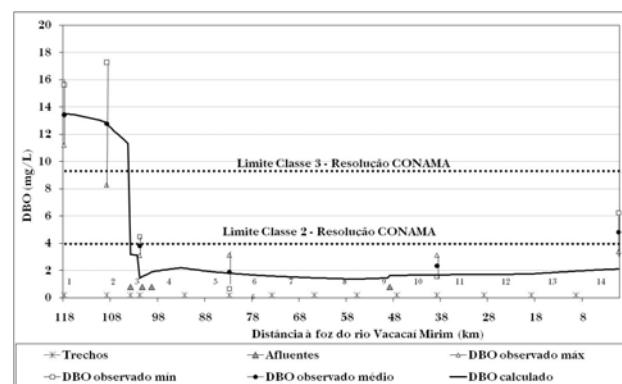
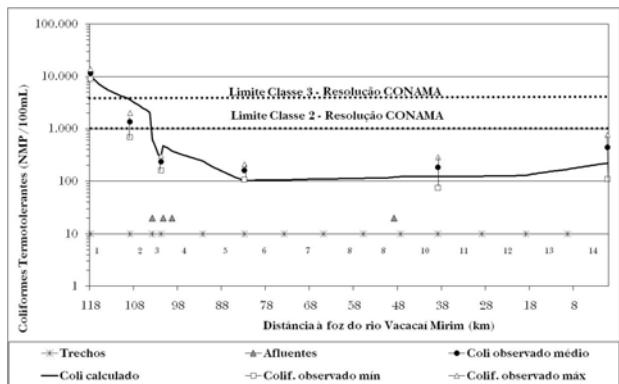


Figura 5 – Calibração da DBO – vazões baixas.

### Coliformes Termotolerantes

A calibração dos coliformes termotolerantes, apresentada na figura 6, foi satisfatória. Essa afirmação é confirmada pelo valor do coeficiente de determinação ser 0,94, indicando um bom ajuste da curva resposta do modelo.



**Figura 6 – Calibração de Coliformes Termotolerantes-vazões baixas.**

Os valores de coliformes termotolerantes nos dois primeiros trechos ultrapassam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para as classes 2 e 3.

## VALIDAÇÃO

Validação é a verificação do modelo já calibrado, utilizando uma série de dados de campo diferente daquela utilizada na calibração. A calibração do modelo é adequada quando os valores observados forem semelhantes no decorrer da série.

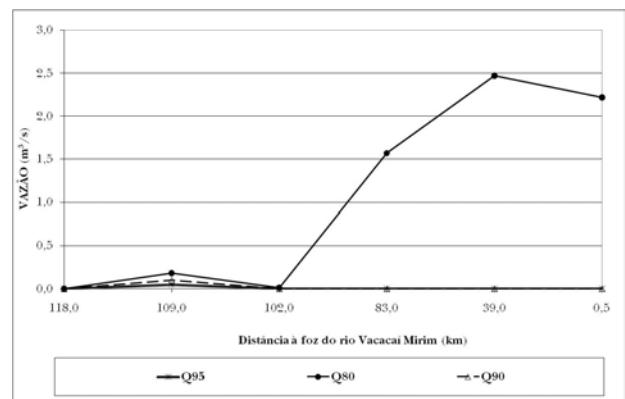
A validação foi realizada utilizando os dados da campanha preliminar realizada em junho de 2005. A concordância entre os valores observados e calculados validou a calibração realizada (Oppa *et al.*, 2007). Os coeficientes de determinação foram 0,65 para o OD e 0,9 para a DBO e os coliformes termotolerantes.

## SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE VAZÃO

Os cenários para simulação são as vazões de permanência  $Q_{80}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , obtidas do trabalho de Paiva R. *et al.* (2006). A figura 7 mostra as vazões de permanência nas condições com demanda de água para irrigação.

No período de vazões baixas, que correspondem ao período de irrigação, as vazões mostradas na figura 7 indicam vazão nula após a distância 102 km. Estes resultados são observados em campanhas de monitoramento. Para viabilizar as simulações do modelo foi necessária a utilização de uma

vazão mínima de  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ . As figuras 8, 9 e 10 mostram as simulações para os parâmetros OD, DBO e coliformes termotolerantes, respectivamente.



**Figura 7 - Vazões de permanência do rio Vacacaí Mirim.**  
Fonte: Paiva R. *et al.* (2006)

Verificou-se uma relação regular entre as vazões  $Q_{80}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ . Ocorreu ausência de OD entre os trechos 4 e 5 nas vazões  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ , devido à carga orgânica lançada no Vacacaí Mirim e contribuição do córrego da UFSM, aliada à baixa condição de aeração no trecho, devida à reduzida velocidade e elevada profundidade. No trecho 6, as condições hidráulicas favorecem a reaeração, resultando em aumento do coeficiente de reaeração, e portanto, da concentração de OD. Esta elevação chega a ser mais acentuada na vazão  $Q_{95}$  devido à baixa profundidade da lâmina d'água neste caso. Porém, a vazão  $Q_{80}$ , para todos os trechos, fornece as melhores condições de OD. Essa vazão somente ultrapassa o limite da classe 2 no trecho 4 da figura 8, onde há a presença significativa de matéria orgânica devido ao despejo de esgoto doméstico e baixa vazão.

As simulações da DBO identificaram grande concentração de material orgânico nos trechos 1 e 2 da figura 9, devido à maior urbanização, e também, por estar situada logo a jusante do reservatório, cuja vazão efluente é muito baixa na estiagem. Entretanto, em direção a jusante, os valores de DBO decaem, mas ainda ultrapassam os limites estabelecidos para as classes 2 e 3 da Resolução nº 357/05 do CONAMA, para as vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ . Estes resultados confirmam, portanto, os problemas relativos à estiagem e excessiva demanda de irrigação, que pela diminuição da vazão dificulta a diluição da matéria orgânica, aumentando os níveis de concentração no verão.

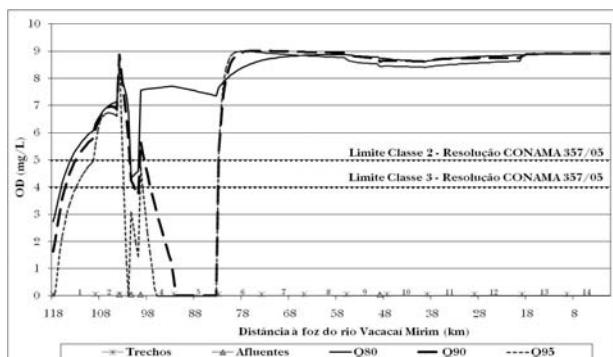


Figura 8 - Simulação de OD para diferentes vazões de permanência

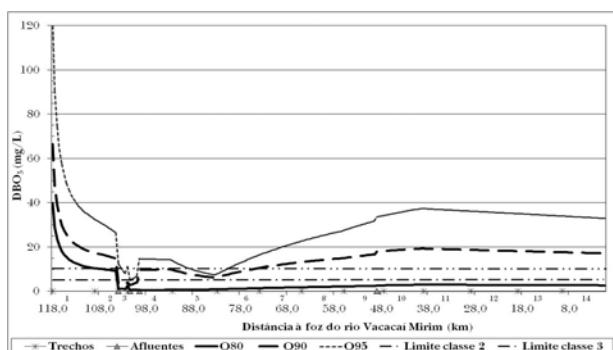


Figura 9 - Simulação da DBO para diferentes vazões de permanência

A contagem de coliformes termotolerantes ultrapassa os limites da classe 3 da Resolução nº 357/05 do CONAMA, para todos os cenários de vazão estudados, nos trechos 1 e 2. Estes trechos são os que mostram pior qualidade, devido à maior urbanização, ao lançamento de esgotos domésticos *“in natura”* aliada à baixa vazão. A jusante, a menor contribuição de esgotos conduz à sua redução a valores inferiores aos limites impostos pela classe 2, exceto para a vazão Q<sub>95</sub>.

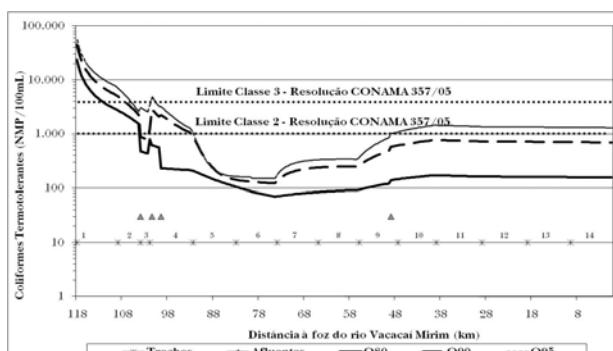


Figura 10 - Simulação de coliformes termotolerantes para diferentes vazões de permanência

## SUGESTÕES PARA ENQUADRAMENTO

O enquadramento é o instrumento integrador da qualidade e quantidade de água da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Esse instrumento é definido de acordo com os padrões ambientais, estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA.

A gestão é planejada com definições de metas de racionalização do uso, aumento de quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos. O estabelecimento de metas, através do enquadramento, objetiva garantir qualidade às águas, conforme os usos mais exigentes e reduzir os custos de combate à poluição, de acordo com ações estruturais ou não estruturais (Diniz, 2006).

A sugestão para enquadramento do rio Vacacaí Mirim foi desenvolvida objetivando auxiliar o Comitê de gerenciamento da bacia dos rios Vacacaí e Vacacaí Mirim no plano de ações estratégicas e na tomada de decisão para o enquadramento das águas dessa bacia.

Os usos preponderantes da bacia do rio Vacacaí Mirim são: abastecimento público, agricultura de cultivo temporário ou permanente, pecuária e balneários. Ao longo da bacia foram identificadas fontes de poluição que degradam a qualidade da água e consequentemente os usos. As principais fontes de poluição encontradas na bacia são provenientes de esgoto doméstico e da poluição difusa advinda da drenagem rural.

Gastaldini *et al* (2006) avaliaram a presença de pesticidas na água da bacia do rio Vacacaí Mirim. Foram quantificados os princípios-ativos dos pesticidas utilizados na lavoura de fumo e na lavoura de arroz, principal cultivo da região. As análises foram feitas para os seguintes princípios-ativos: Atrazina, Carbofuran, Clomazone, Flumetralin, Imazetapir, Imidacloprid, Iprodione, Quinclorac, e Simazina. Foram realizadas quatro campanhas de monitoramento em seis pontos, sendo a primeira realizada em outubro/2005 e as outras três realizadas nos dias 21 e 28 de dezembro/2005 e 31 janeiro/2006, essas três coincidindo com o período de irrigação e maior atividade de aplicação de pesticidas. Concluíram que com relação aos herbicidas, fungicidas, inseticidas e regulador de crescimento, a bacia do rio Vacacaí Mirim possui concentrações inferiores aos limites estabelecidos para as classes 2 e 3 da Resolução CONAMA 357/05.

Com relação à presença de metais pesados nas águas do rio Vacacaí Mirim, Gastaldini *et al.* (2006) mostraram que suas concentrações apresen-

tam valores inferiores aos limites das classes 2 e 3 da Resolução CONAMA 357/05. Apenas as concentrações de ferro e alumínio apresentam valores mais elevados devido às características geológicas e pedológicas da região.

Nas condições atuais, os pontos PQ3, PQ4 e PQ7 podem ser classificados na classe 4, sendo os parâmetros OD, DBO e coliformes termotolerantes mais elevados, levando a essa classificação. Os demais pontos da bacia podem ser considerados na classe 2. A figura 11 mostra o mapa das atuais condições do rio Vacacaí Mirim.

Nas simulações realizadas observou-se que o maior problema qualitativo do rio Vacacaí Mirim é o despejo de esgoto doméstico nos três primeiros trechos, após o reservatório. Esses trechos recebem esgoto doméstico da região ribeirinha, de forma difusa; e uma carga pontual de esgoto através do córrego que atravessa o Campus da UFSM.

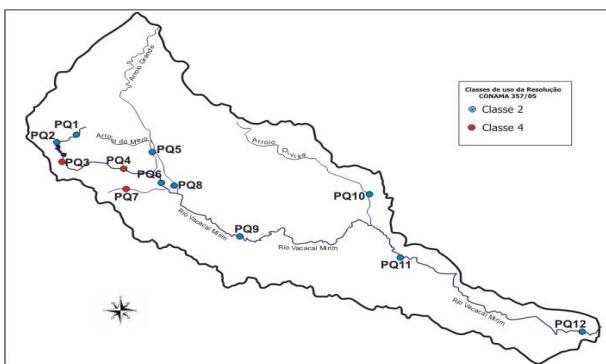


Figura 11 - Condições atuais do rio Vacacaí Mirim.

Para esses trechos, uma das sugestões seria enquadrá-los na classe 3, objetivando ações estruturais, como a construção de rede coletora e estação de tratamento de esgoto ou a ampliação da estação existente.

As águas dos rios enquadradas na classe 3 podem ser destinadas ao abastecimento público (após tratamento convencional ou avançado), à irrigação de cereais e árvores, à pesca não profissional, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais.

Para o restante do rio, a qualidade é satisfatória, nas condições de monitoramento, podendo ser enquadrado na classe 2. Nesse trecho, o grande problema é quantitativo, observado nas campanhas de monitoramento, principalmente no período da irrigação. Os rios enquadrados na classe 2, podem ter suas águas utilizadas para abastecimento público (após tratamento convencional), recreação de contato primário (natação), irrigação de hortaliças e

plantas frutíferas, e criação de peixes. A Figura 12 mostra o mapa da primeira sugestão de enquadramento.

Outra sugestão de enquadramento é considerar classe 2 para todo o rio, melhorando ainda mais, a médio e longo prazo, a qualidade da água nos primeiros trechos após o reservatório do rio Vacacaí Mirim. A figura 13 apresenta o mapa da bacia do rio Vacacaí Mirim com esta sugestão de enquadramento.

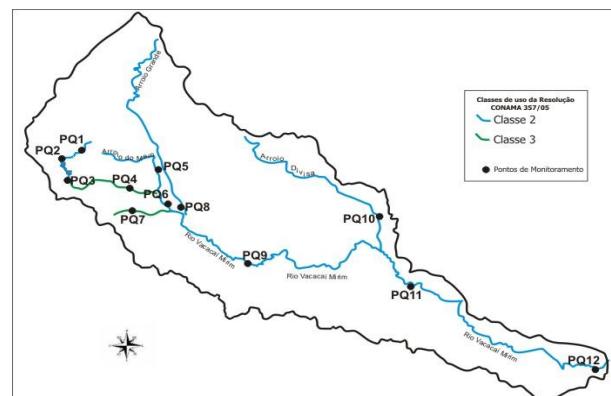


Figura 12 - Primeira sugestão de enquadramento da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim.

A efetivação do enquadramento do rio Vacacaí Mirim será concretizada somente se forem realizadas significativas ações estruturais nos trechos 1, 2 e 3 que conduzam à coleta e ao tratamento dos esgotos domésticos lançados nestes trechos. Para ilustrar o resultado destas medidas, foram simuladas as concentrações de OD, DBO e coliformes termotolerantes para uma porcentagem de coleta e tratamento dos esgotos de 50%. As figuras 14, 15 e 16 mostram os resultados destas simulações comparando-os com valores médios obtidos nas campanhas de monitoramento e com os limites fixados para as classes 2 e 3 da Resolução CONAMA 357/05.

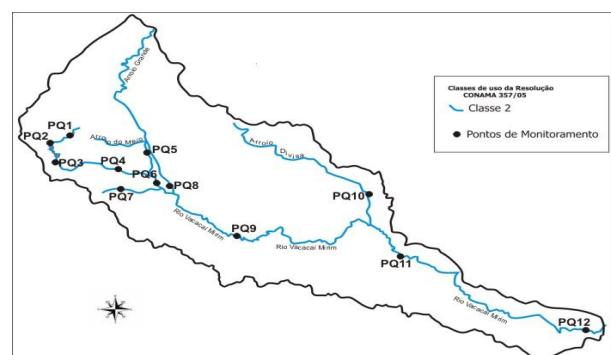


Figura 13 - Segunda sugestão de enquadramento da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim.

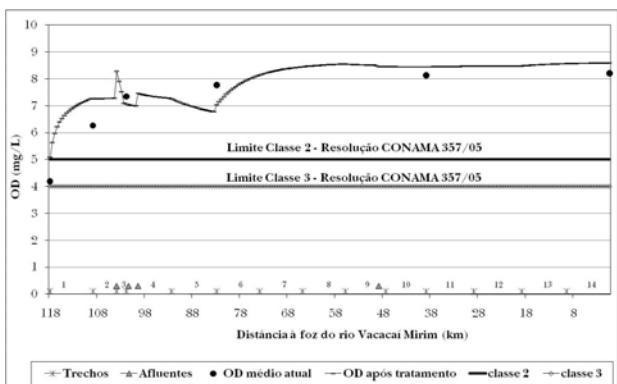


Figura 14 – Simulação do OD para coleta/tratamento de esgotos de 50%

A figura 14 mostra que, em termos de OD, 50% de coleta/tratamento dos esgotos são suficientes para conduzir o rio Vacacaí Mirim aos padrões fixados para a classe 2. Por outro lado, para DBO e coliformes termotolerantes, figuras 15 e 16, esta percentagem de tratamento é insuficiente, necessitando de maior eficiência para que o corpo hídrico atinja valores fixados para a classe 3.

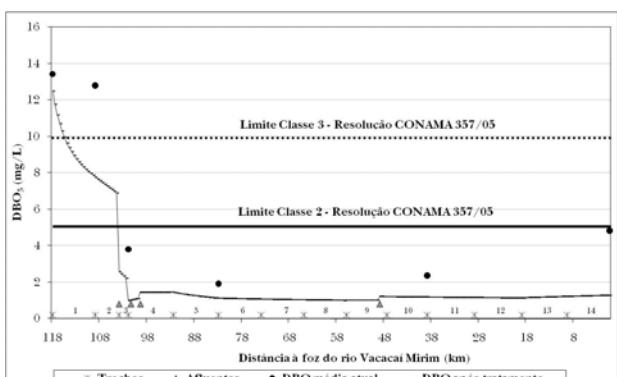


Figura 15 – Simulação da DBO para coleta/tratamento de esgotos de 50%

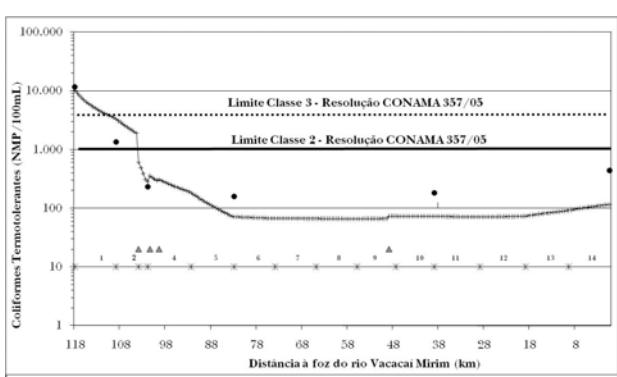


Figura 16 – Simulação dos coliformes termotolerantes para coleta/tratamento de esgotos de 50%

Sugere-se, portanto, para a efetivação do enquadramento na classe 2, que sejam atingidas metas progressivas intermediárias através da coleta/tratamento de 50% dos esgotos domésticos principalmente nos trechos 1, 2 e 3 e sub-bacia do córrego da UFSM. Para o alcance da meta final é necessário aumentar a eficiência destes serviços para valores superiores a 70%.

## CONCLUSÕES

A degradação da qualidade da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim é resultado de ações antrópicas. A urbanização e a atividade agrícola têm conduzido à poluição e demanda elevada de água, ambas comprometendo a qualidade dos recursos hídricos.

Resultados de monitoramento da qualidade da água desta bacia foram utilizados para calibração e validação do modelo QUAL2E, objetivando a simulação de cenários. A calibração apresentou resultados satisfatórios, mostrados pela concordância entre os resultados observados e calculados, e elevados coeficientes de determinação.

Foram simulados parâmetros de qualidade da água (OD, DBO e coliformes termotolerantes), para diferentes cenários de vazão de permanência ( $Q_{80}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) nas condições com demanda de água para irrigação, que coincide com o período de estiagem na região, situação mais crítica da qualidade da água. As simulações conduziram a concentrações dos parâmetros, calculadas pelo modelo, inferiores aos limites fixados para a classe 3 da Resolução CONAMA 357/05 para todas as vazões estudadas, para os trechos 1, 2 e 3. A baixa qualidade da água resultante ocorre devido ao lançamento de esgotos domésticos *in natura* aliada aos problemas relativos à estiagem e excessiva demanda de irrigação.

A qualidade da água atual da bacia do rio Vacacaí Mirim possui alguns trechos (PQ3, PQ4 e PQ7) na classe 4; e os demais podem ser considerados na classe 2.

Foram propostas sugestões para o enquadramento baseadas nos usos da bacia do rio Vacacaí Mirim, que são: abastecimento público, agricultura de cultivo temporário ou permanente, pecuária e balneários, sugerindo classes 2 e 3. A efetivação do enquadramento será concretizada somente se forem realizadas significativas ações estruturais nos trechos 1, 2 e 3 e sub-bacia do córrego da UFSM, que conduzam a coleta e o tratamento dos esgotos domésticos.

cos lançados nestes trechos com eficiência superior a 50%.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CT-HIDRO pelo financiamento à pesquisa; a CAPES e ao CNPq pelas bolsas de mestrado e de pesquisa concedidas aos autores do trabalho e à bolsista de iniciação científica Débora Missio.

## REFERÊNCIAS

- BARNWELL, T. O.; BROWN, L. C. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual. 189f. 1986.
- CHAPRA, S. C. Surface water-quality modeling. WCB – McGraw-Hill. Boston, 844p, 1997.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 17 de março de 2005.
- DINIZ, L. T.; YAZAKI, L. F. O.; MORAES, J. M.; PORTO, M. F. A. O enquadramento de cursos d'água na legislação brasileira. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2006, Curitiba. ABRH, 2006.
- DROLIC, A.; KONCAN, J. Z. Water quality modeling of the river Sava, Slovenia. Water Resources, vol. 30. Nº 11, p. 2587-2592. 1996.
- GASTALDINI, M. C. C.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Inter-relações entre dados de monitoramento de qualidade da água e hidrológico - Aplicação ao reservatório do Arroio Vacacaí-Mirim. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 6, n.1, p. 24-30, 2001.
- GASTALDINI, M. C. C.; SEFFRIN, G. F. F.; PAZ, M. P. Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do Rio Ibicuí utilizando o modelo QUAL2E. Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 8, nº 3 e 4, p. 33-42, 2002.
- GASTALDINI, M. C. C. ; PAZ, M. F. ; KRAEMER, M. C. N. ; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Aplicação de Modelo Matemático a Dados de Ciclos de Estratificação Térmica e de Qualidade da Água do Reservatório do Vacacaí-Mirim. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 27-35, 2004.
- GASTALDINI, M. C. C., BRITES, A. P. Z., OPPA, L. F. Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim In: XXX Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2006, Punta del Este. Montevideo: AIDIS, 2006.
- GHOSH, N. C.; MCBEAN, E. A. Water quality modeling of the Kali river, India. Water, Air, and Soil Pollution 102, p. 91-103, 1998.
- LUCA, S. J.; SANTOS, Z. S.; FURTADO, R. D.; PEREIRA, D. Impacto nos recursos hídricos. PCHs da bacia hidrográfica do Rio Ijuí. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: ABRH, 2003. CD-ROM.
- MAGALHÃES, A. Variáveis e desafios do processo decisório no contexto dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Brasil. Ambiente e Sociedade, nº 8, 2001.
- McAVOY, D. C.; MASSCHELEYN, P.; PENG, C.; MORRALL, S. W.; CASILLA, A. B.; LIM, J. M. U.; GREGORIO, E. G. Risk assessment approach for untreated wastewater using the QUAL2E water quality model. Chemosphere 52, p. 55-66, 2003.
- OPPA, L. F., GASTALDINI, M. C. C., MISSIO, D. Análise da sensibilidade em modelo de qualidade da água aplicado à bacia do Rio Vacacaí Mirim/RS. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2007, São Paulo. ABRH, 2007.
- PAIVA, J. B. D.; GARCIA, J. B.; BRITES, A. P. Z.; SCAPIN, J.; HAGEMANN, S. E.; BELING, F.; ABELIN, S.; CARMO, J. A. R. Demandas de água na bacia do Rio Vacacaí Mirim. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2006, Curitiba. ABRH, 2006.
- PAIVA, R. C. D.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Estimativas das vazões nas sub-bacias do Vacacaí Mirim através de modelo simplificado. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2006, Curitiba. ABRH, 2006.
- PALMIERI, V.; CARVALHO, R. J. QUAL2E model for the Corumbataí River. Ecological Modelling 98, p. 269-275, 2006.
- RODRIGUES, R. B. "SSD RB - Sistema de Suporte a Decisão proposto para a gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água." 2005. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- SILVA, H. L. G. "Modelagem bidimensional do fósforo com vistas a gestão de bacias hidrográficas – estudo de caso: Reservatório de Fiú, Paraná." 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SOARES, E. M. F. Proposta de um modelo de sistema de gestão das águas para bacias hidrográficas – SGA-BH: Microbacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim, a montante da RS 287/Santa Maria/RS. 220f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

***Analysis of Alternatives for the Classification of Vacacaí Mirim River Using a Mathematical Model of Water Quality***

***ABSTRACT:***

*The use of mathematical models, which simulate the water quality conditions, is a key tool to quantify the river self depuration capacity. This research aims to analyze classification proposals for the Vacacaí Mirim river basin, using the mathematical model of water quality QUAL2E as a supporting tool. The main water utilizations in this region were public supply, temporary and stable agriculture, livestock and recreation. Simulated parameters were: dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD) and thermotolerant coliforms. The prognostic simulations were made for flows  $Q_{80}$ ,  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$  under conditions with water demands for irrigation. In the calibration, it was found that the water quality of the Vacacaí Mirim river is good, except in the initial reaches considered in the model, where the concentration values surpass the established limits for class 2 and 3 of CONAMA Resolution nº357/05 for all parameters. In the prognosis the results exceeded the class limits, mostly with flow  $Q_{95}$ , in several reaches. The classification alternatives suggested regarding water use in this hydrographic region and model simulations are: class 3 for the first three portions of the river, indicating wastewater treatment as the main solution for these reaches, and class 2 for the rest of the river; or class 2 for the entire river.*

***Key-words:*** *classification of water bodies, water quality modeling, QUAL2E model.*