

Metodologia para estimativa das concentrações em cursos de água para vazões de referência: uma ferramenta de suporte e apoio ao sistema de gestão de bacias hidrográficas

Evelyn Zucco, Adilson Pinheiro,
Francisco Carlos Deschamps, Pétrick Anderson Soares

RESUMO: A definição da vazão de referência é etapa importante no processo de gestão de recursos hídricos e está mencionada na resolução CONAMA n° 430/2011. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para uma estimativa das concentrações em cursos de água para as vazões de referência. O estudo foi aplicado em duas bacias com diferentes usos de solo, uma com uso predominante rural e outra com uso urbano. Foram utilizados bancos de dados de qualidade das águas, com coletas mensais, em pontos distribuídos espacialmente. Na bacia urbana do ribeirão Garcia (SC), 4 pontos estão localizados ao longo do curso de água principal. Na bacia rural do ribeirão Concórdia (SC), os 6 pontos de monitoramento estão localizados no rio principal e em afluentes. São analisados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. As cargas foram determinadas com o uso de vazões simuladas por modelo hidrológico conceitual WIN_IPH2. As séries simuladas também foram usadas para estabelecer as vazões de referência $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{98\%}$. A concentração é determinada pela relação entre a carga média e a vazão de referência considerada. A análise das cargas específicas mostra que, na bacia urbana, ela cresce de montante para jusante, em resposta à evolução crescente da ocupação urbana. Na bacia rural, as cargas específicas nos afluentes e pontos localizados a montante são mais elevadas que aquelas obtidas nos pontos de jusante. Isto mostra que a bacia rural apresenta contribuição mais uniforme e os fenômenos de autodepuração influenciam no decaimento das concentrações de montante para jusante. A comparação das concentrações para as vazões de referência com os padrões de qualidade estabelecidos pela resolução CONAMA n° 357/2005 mostrou que a maioria dos parâmetros se encontra fora dos limites considerados aceitáveis. Apenas os parâmetros nitrito e nitrato, para a bacia rural atendem aos padrões para todas as vazões de referência consideradas. O lançamento de novas cargas deve considerar as condições existentes de modo a viabilizar uma evolução temporal das concentrações em acordo com os padrões de qualidade aceitáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Vazões de referência; gestão de recursos hídricos; bacias hidrográficas.

ABSTRACT: The definition of the reference flow is an important phase in the process of water resources management and is mentioned in the CONAMA resolution n° 430/2011. The objective of this paper is to present a methodology for estimation of concentrations in water courses to the reference flow. The study was implemented in two watersheds with different land uses, with a predominant use in rural and other urban use. We used databases of water quality, with monthly sampling at points distributed spatially. Urban river basin Garcia (SC), the four points are located along the main water course. In rural catchment of the stream Concórdia (SC), the six monitoring points are located on the main river and tributaries. We analyzed physical, chemical and microbiological contaminants. The loads were determined using simulated flows by WIN_IPH2 conceptual hydrological model. The simulated series were also used to establish the reference flow $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ and $Q_{98\%}$. The concentration is determined by the ratio of the average load and reference flows considered. The analysis shows that the specific loads in the urban watershed, it grows from upstream to downstream, in response to growing trend of urban occupation. In rural catchment, the specific loads in tributaries located upstream and points are higher than those obtained at points downstream. This shows that the rural catchment contribution has more uniform and the phenomena of self-purification influence the decay of concentrations from upstream to downstream. Comparison of concentrations for the reference flow with the quality standards established by CONAMA Resolution n° 357/2005 showed that most of the parameters is outside the acceptable limits. Only the parameters nitrite and nitrate, for the rural catchment meet the standards for all flow rates considered references. The launch of new loads should consider the existing conditions in order to allow a temporal evolution of concentrations in the standards of acceptable quality.

KEYWORDS: Reference flow; water resources management; watersheds.

INTRODUÇÃO

A resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece critérios para a classificação de corpos de água de acordo com seus usos preponderantes, permitindo efetuar o enquadramento, um dos cinco instrumentos dispostos na Política Nacional de Recursos Hídricos. Para tal devem ser obedecidas as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e finais, as quais, segundo a resolução, devem ser atingidas em regime de vazão de referência.

A outorga é outro instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos. A análise da outorga do direito de uso, para diluição de efluentes, deve estimar a concentração máxima para cada poluente ao ser lançado no corpo hídrico de forma que este continue, após o lançamento, respeitando a classe estabelecida pelo enquadramento (BRASIL, 2005). Entretanto, definir adequadamente a vazão de referência é uma das limitações para a análise dos processos de outorga de uso (Machado et al., 2003). A vazão de referência constitui-se em procedimento adotado para a proteção dos rios (Harris et al., 2000).

Diferentes métodos podem ser adotados para estabelecimento da vazão de referência, baseados em critérios hidrológicos, hidráulicos, habitat, holístico (Benetti et al., 2003), hidrograma ecológico (Collischonn et al., 2005; Souza et al., 2008) variabilidade de pulsos (Andreazza e Garcia, 2004) e alterações hidrológicas e de produção de atividades antrópicas (Souza, 2009). Entretanto, a vazão de referência tem sido estabelecida nas legislações estaduais (Santa Catarina, 2009) e pelos comitês de gerenciamentos de bacias hidrográficas (Jungblut, 2008; Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 2010), com base na vazão média mínima com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos (Silva et al., 2006; Baena et al., 2004; Euclides et al., 2001) ou nas vazões com frequência de permanência de 90% (Silva et al., 2006; Chaves et al., 2002; Studart et al., 1997) ou 95% (Baena et al., 2004).

Para a verificação de atendimento ao enquadramento no corpo receptor após o lançamento do efluente, devem-se considerar os processos de diluição do poluente e sua autodepuração ao longo do corpo de água (Roque et al., 2008). Esta avaliação deve ser realizada com base na mistura do despejo no corpo receptor, que ocorre a jusante do lançamento (Zorzal et al., 2009; Silva et al., 2009; Souza et al., 2009; Roque et al., 2008; Silveira et al., 2003; Ribeiro e Lanna, 2003).

A mistura deve considerar a concentração do corpo de água na seção de controle para a vazão de referência (Von Sperling, 2007). O valor desta concentração é específico de cada bacia e depende das condições ambientais nela existentes (Pinheiro e Deschamps, 2008). Embora a concentração de dados discretos seja útil para a comparação com padrões de qualidade de água existentes, elas não são suficientes (Quilbé et al., 2006). Torna-se necessário, do ponto de vista de gestão, determinar, a partir do monitoramento de parâmetros de qualidade e de vazão, o cálculo da carga de poluentes transportados (Chen et al., 2009; Quilbé et al., 2006; Salles et al., 2006; Kyllmar et al., 2006; Littlewood e Marsh, 2005).

A estimativa das cargas poluentes é de interesse crucial para identificar o nível de qualidade da água, entender os processos e identificar as fontes de poluição (Quilbé et al., 2006). Estas cargas devem ser transferidas para o regime da vazão de referência. Na maioria dos programas de monitoramento da qualidade das águas, são avaliadas as concentrações dos parâmetros da qualidade das águas, mas não é realizado o monitoramento de vazão. Isto dificulta a realização de estimativas das cargas transportadas ao longo das bacias hidrográficas.

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia para estimar as concentrações em cursos de águas para as vazões de referência em uma bacia de uso predominante rural e outra com uso urbano. Nessas bacias, foram realizados os monitoramentos da qualidade das águas, distribuídos espacialmente, ao longo de vários anos.

METODOLOGIA

Área de estudo

Foram coletados dados em duas bacias hidrográficas. A bacia do ribeirão Garcia está localizada no município de Blumenau (SC) e possui características urbanas. Ela deságua no rio Itajaí-açu, e possui uma extensão de 41,9 km e área de drenagem de 158 km². A parte superior da bacia está inserida no Parque da Serra do Itajaí, que constitui uma unidade de conservação de proteção integral. A área urbana ocupa a parte inferior da bacia, com aproximadamente 22,7 km², sendo que a maior parte da população residente encontra-se na porção central do ribeirão em direção à foz. A bacia é afetada por áreas industriais, comerciais e residenciais.

A bacia do ribeirão Concórdia é caracterizada pelo uso e ocupação do solo agrícola e está localizada no

município de Lontres (SC), onde deságua no rio Lontres e, este, no rio Itajaí-açu. Possui uma área de drenagem de 30,74 km². A vegetação original da área consiste de Floresta Ombrófila Densa. Entre os principais usos do solo encontrados na bacia destacam-se a mata nativa com 47,61%, a pastagem com 20,35% e as lavouras, como o milho, com 9,29%.

Avaliação qualitativa

Para a bacia do ribeirão Garcia, foram utilizados dados de qualidade de água provenientes do monitoramento realizado pela FAEMA – Fundação Municipal do Meio Ambiente de Blumenau, durante o período de 1998 a 2004. Para a bacia do ribeirão Concórdia foram utilizados os dados do monitoramento realizado pela EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, no período de 2004 a 2008. As séries amostrais apresentam frequência de coleta mensal.

Os parâmetros monitorados pela FAEMA são oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e temperatura. Além dos parâmetros citados anteriormente, a EPAGRI monitora, na bacia do ribeirão Concórdia, coliformes totais, alcalinidade, nitrito, nitrato, dureza, nitrogênio amoniacal, condutividade, ortofosfato, potássio, demanda química de oxigênio e ferro total.

Os pontos de coleta na bacia do ribeirão Garcia estão localizados ao longo do rio principal, totalizando quatro pontos de monitoramento. Na bacia do ribeirão Concórdia foram monitorados seis pontos, sendo que quatro deles estão localizados no curso de água principal, e os demais em seus afluentes, um no arroio Braço do Concórdia e outro no arroio Dona Lúcia. As localizações dos pontos de coleta e as áreas de drenagem de cada ponto estão apresentadas na Figura 1.

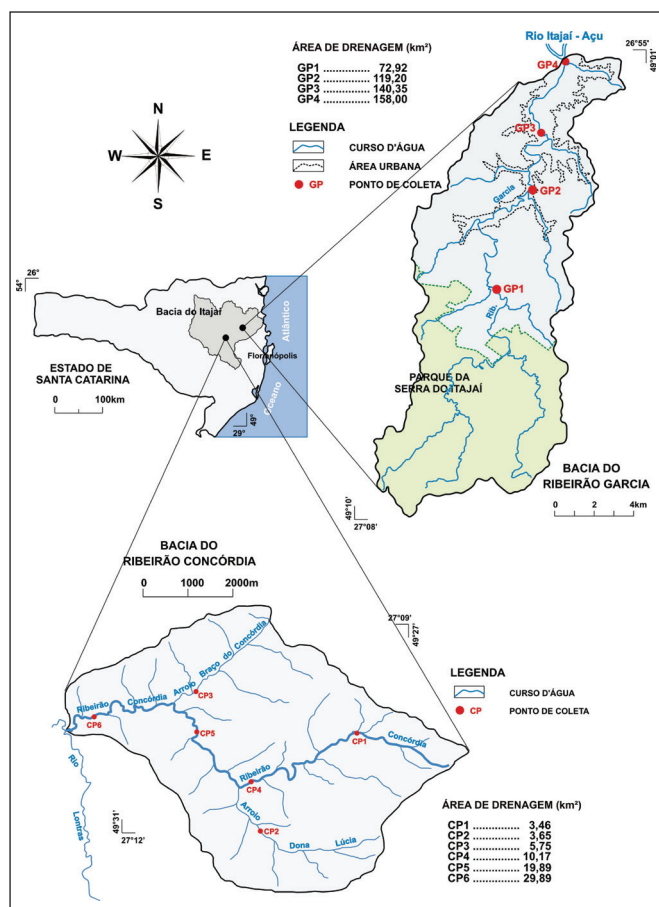


FIGURA 1: Áreas de estudo.

Avaliação quantitativa

As vazões para o período de coleta foram simuladas pelo modelo hidrológico WIN_IPH2 (BRAVO et al., 2006). Este modelo acopla três algoritmos, o modelo IPH II (Tucci, 1998), o algoritmo SCE-UA (*Shuffled Complex Evolution – University of Arizona*; Duan et al., 1992) e o algoritmo MOCOM-UA (*Multi-Objective Complex Evolution Method – University of Arizona*, Yapo et al., 1998). O modelo IPH II é do tipo conceitual, concentrado, composto pelos algoritmos de perdas de evaporação e interceptação, separação do escoamento e propagação dos escoamentos superficiais e subterrâneos.

Para a bacia do ribeirão Garcia, o modelo hidrológico foi calibrado com a estação do Garcia (código 2649009, latitude - 26° 58' 05.99" e longitude - 49° 04' 27.99"), que operou até o ano de 1966. Esta estação foi utilizada visto a inexistência nas proximidades de outras estações fluviométricas com pequena área de drenagem e considerando que o crescimento da urbanização nesta bacia não foi muita elevada em relação à área total da mesma. Nesta bacia, cerca de 82% da área de drenagem possui cobertura vegetal (Refosco, 2000). A bacia do ribeirão Concórdia possui monitoramento de vazão em três pontos, a partir de 2006. Apenas os pontos de monitoramento da qualidade da água situados próximos ao exutório, em ambas as bacias, coincidem com a seção de medição de vazão. O modelo hidrológico foi calibrado com estes dados fluviométricos e utilizado para simular a vazão em cada ponto de coleta de água. O período de simulação coincide com o período das análises de concentrações dos parâmetros de qualidade da água.

A calibração do modelo hidrológico foi realizada através de procedimento manual, sendo utilizados os coeficientes de eficiência disponíveis no programa, principalmente o de Nash-Sutcliffe. A calibração dos parâmetros do modelo WIN_IPH2 foi realizada com as séries de dados observados de vazão e de precipitação. O monitoramento fluviométrico na bacia do ribeirão Garcia foi de 1934 a 1966 e para o ribeirão Concórdia de 2006 a 2009. A partir das séries de precipitações, que são mais longas nas bacias estudadas, foi realizada a extensão das séries de vazões diárias. A simulação de longo período foi de 1941 a 2004. Essas séries longas de vazões foram usadas na determinação das vazões de referência, a partir da curva de permanência, a qual correlaciona a vazão e a porcentagem de tempo em que ela é superada ou igualada ao longo do período histórico utilizado (Cruz e Tucci, 2008). Foram estimadas as vazões de

referência para as permanências de 90% ($Q_{90\%}$), 95% ($Q_{95\%}$) e 98% ($Q_{98\%}$) do tempo.

Com os dados de concentração e vazão, para cada coleta realizada pelo monitoramento de qualidade, foi determinada a carga transportada na seção fluviométrica considerada. A carga transportada no instante de tempo i do elemento considerado (F_i) é estimada pela expressão:

$$F_i = C_i \cdot Q_i \quad (1)$$

onde

C_i é a concentração (mg L^{-1}) e Q_i é a vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

Os parâmetros de qualidade das águas utilizados para o cálculo da carga na bacia do ribeirão Garcia são nitrogênio total, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes. Para a bacia do ribeirão Concórdia os parâmetros são coliformes totais, coliformes termotolerantes, fósforo total, nitrato, nitrito e amônia, ortofosfato, potássio, demanda química de oxigênio e ferro total.

Determinação da concentração do rio

A concentração de um dado constituinte presente no rio (C_r) para o regime de vazão de referência foi determinada pela expressão:

$$C_r = \frac{\bar{F}}{Q_r} \quad (2)$$

onde

\bar{F} é a carga média, em Kg s^{-1} e Q_r é a vazão de referência em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

A carga média foi determinada através da média aritmética dos valores estimados nas datas de coletas de amostras de qualidade das águas. Não foi empregado um método de integração, como aqueles apresentados por Littlewood e Marsh (2005), visto que a frequência de dados disponíveis é mensal e devido à existência de falhas nestas séries.

Conforme Carpenter et al. (1998), as entradas difusas de nutrientes são difíceis de medir e regular, porque derivam de atividade dispersa por grandes áreas de terra e são variáveis no tempo. De acordo com Silveira et al. (2003), nas vazões maiores que a vazão média, pode-se ter a interferência de cargas de origem difusa, as quais são provenientes do esco-

amento superficial. Neste trabalho, o objetivo foi a estimativa da carga transportada de origem pontual. Deste modo, considera-se que ela ocorra para vazões inferiores à vazão média de longo período. Assim, no cálculo da carga média, não foram consideradas as cargas calculadas para vazões superiores ao valor médio de longo período.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vazão média

Na simulação do modelo WIN-IPH2 nas bacias do ribeirão Garcia e do ribeirão Concórdia foi adotado o intervalo de tempo diário, visto que as séries temporais disponíveis eram diárias. A calibração do modelo às séries de dados do período selecionado apresentou coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,80 para a bacia do ribeirão Garcia (período entre 1934 a 1963) e de 0,62 para a bacia do ribeirão Concórdia (período entre 2006 a 2008).

Na etapa de verificação do modelo WIN_IPH2 foram obtidos coeficientes de 0,54 para a bacia do ribeirão Garcia (período entre 1964 a 1966) e de 0,40 para a bacia do ribeirão Concórdia (ano de 2009). Na Figura 2 são apresentados hidrogramas observados e simulados da calibração e verificação do modelo para as bacias do ribeirão Garcia e do ribeirão Concórdia.

Na Tabela 1 são apresentadas as vazões médias dos períodos simulados, nas datas de coletas de qualidade e das vazões observadas para as duas bacias. As vazões médias observadas e simuladas de longo período na bacia do ribeirão Garcia são similares. O modelo WIN_IPH2 reproduziu adequadamente a vazão média. Na bacia do ribeirão Concórdia, a vazão simulada de longo período é cerca de duas vezes superior à vazão média observada. A diferença entre os valores médios simulados e observados pode estar relacionada aos dados utilizados para a calibração do modelo, onde existe um curto período de observação da vazão.

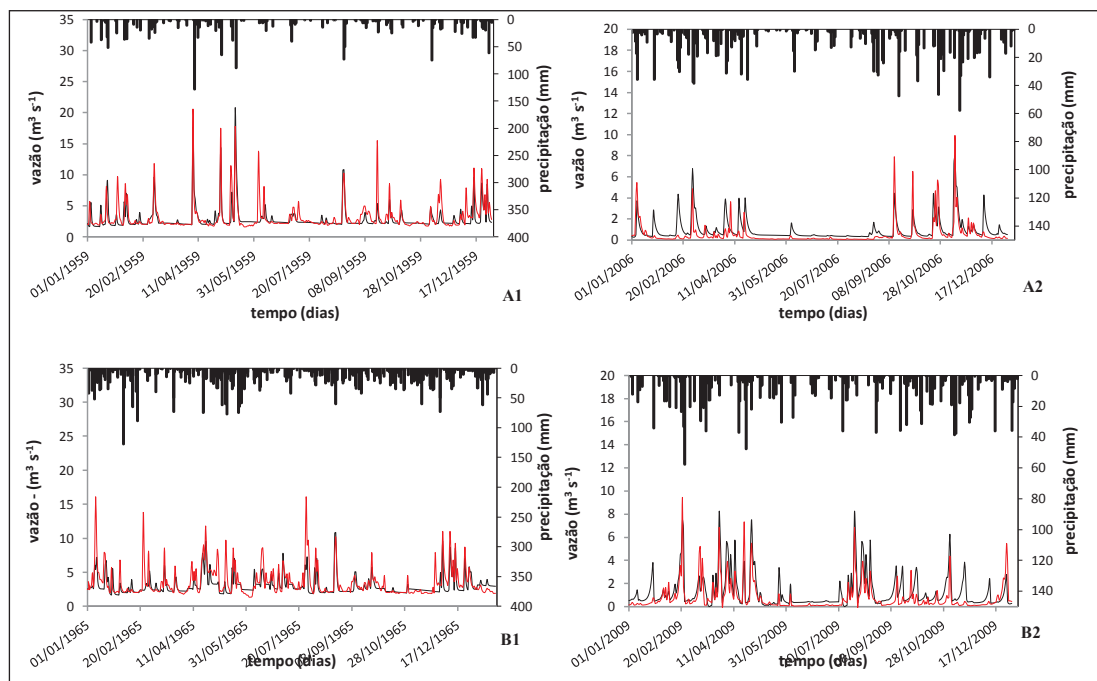


FIGURA 2. Hidrogramas observados e simulados na calibração (A) e verificação (B) na bacia do ribeirão Garcia (1) e do ribeirão Concórdia (2). A linha vermelha representa a vazão observada, enquanto que a linha preta representa a vazão calculada.

Em ambas as bacias, as vazões encontradas nas datas de monitoramento são menores que as vazões médias de longo período, indicando que as coletas de amostras são realizadas em períodos com baixos escoamentos. Desta forma, o monitoramento é mais representativo da poluição de origem pontual.

Determinação da Vazão de Referência

Na Tabela 2 são apresentadas as vazões de referência 90 ($Q_{90\%}$), 95 ($Q_{95\%}$) e 98 ($Q_{98\%}$). As vazões na bacia do ribeirão Garcia são superiores às da bacia do ribeirão Concórdia na ordem de 4,98, 3,81 e 3,20 vezes, para as permanências de $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{98\%}$, respectivamente. Enquanto a relação de área é de 5,27 vezes. Segundo Euclydes et al. (2001), as curvas de permanência constituem um instrumento valioso de comparação entre diferentes características de bacias hidrográficas, colocando em evidência os efeitos do relevo, vegetação, precipitação e uso da terra sobre a distribuição das vazões. Baena et al. (2004) concluíram que a área de drenagem foi a variável mais expressiva para a representação das vazões de referência $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$.

Tabela 2

VAZÕES DE REFERÊNCIA 90 ($Q_{90\%}$), 95 ($Q_{95\%}$) E 98 ($Q_{98\%}$), ($M^3 S^{-1}$), PARA AS BACIAS DOS RIBEIRÕES GARCIA E CONCÓRDIA.

Bacia	Ponto	$Q_{90\%}$	$Q_{95\%}$	$Q_{98\%}$
Garcia	GP1	0,8049	0,6394	0,5613
	GP2	1,1099	0,8022	0,6378
	GP3	1,3630	0,9557	0,7171
	GP4	1,5456	1,0796	0,7870
Concórdia	CP1	0,0359	0,0328	0,0285
	CP2	0,0379	0,0346	0,0300
	CP3	0,0597	0,0544	0,0473
	CP4	0,1055	0,0963	0,0836
	CP5	0,2064	0,1883	0,1636
	CP6	0,3102	0,2830	0,2458

Determinação da Carga

Na Tabela 3 são apresentados os valores da carga média diária, para a bacia do ribeirão Garcia. Os valores apresentados foram maiores que os obtidos em outros estudos (Madruga et al., 2008). O aumento

de carga do ponto GP1 ao ponto GP4 pode ser associado às fontes de poluição pontuais, como esgoto doméstico e resíduos industriais, as quais aumentam consideravelmente ao longo do corpo hídrico (Silveira et al., 2003; Brites e Gastaldini, 2007; Silva e Jardim, 2007; Von Sperling, 2007). As diferenças de valores relatados em outros estudos podem estar relacionadas à diferença da área de estudo das bacias e pelas fontes distintas de poluição, uma vez que os valores encontrados pelos autores consideraram somente a carga difusa.

Tabela 3

CARGA MÉDIA PARA A BACIA DO RIBEIRÃO GARCIA

Pontos	Nitrogênio total $kg d^{-1}$	Fósforo total $kg d^{-1}$	DBO $kg d^{-1}$	Coliformes termotolerantes NMP d^{-1}
GP1	47,44	4,11	481,6	$1,45 \times 10^{12}$
GP2	109,85	9,49	908,7	$1,49 \times 10^{13}$
GP3	217,95	17,99	1284,8	$4,18 \times 10^{13}$
GP4	358,55	33,60	1752,1	$4,83 \times 10^{13}$

Na Figura 3 são apresentadas as evoluções das cargas específicas anuais determinadas para a bacia do ribeirão Garcia. Observa-se que a carga específica é crescente com a área de drenagem da bacia. Quanto maior a área de drenagem, maior também é a carga, significando que existe aumento das contribuições ao longo da bacia. A ocupação urbana é mais intensa na parte inferior da bacia, assim os pontos situados mais a jusante recebem maior contribuição das atividades antrópicas.

Nota-se um expressivo gradiente de acréscimo da carga nos pontos GP3 e GP4, para todos os constituintes. Isso se deve ao fato de que a área urbana apresenta maior densidade habitacional, comercial e industrial a partir do GP3. A montante de GP1 tem-se uma unidade de conservação integral e, entre esse ponto e o GP2, a densidade habitacional é baixa e não existem indústrias instaladas.

As cargas médias para a bacia do ribeirão Concórdia estão apresentadas na Tabela 4, dispostas em ordem crescente de área de contribuição. Os valores de carga média foram menores que os encontrados

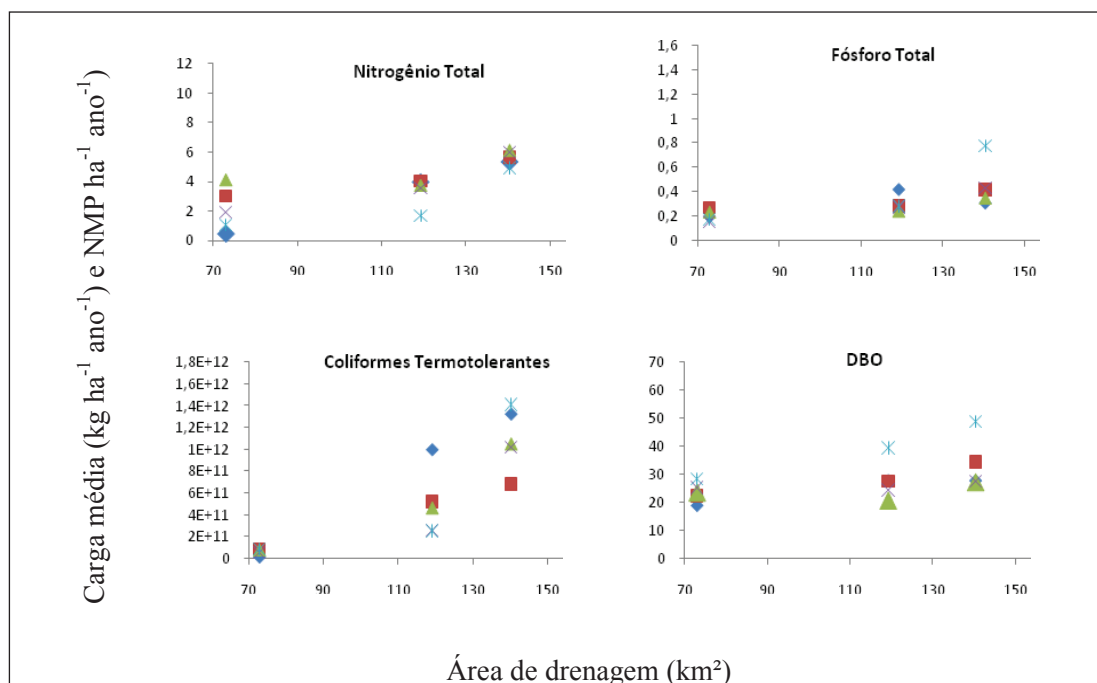


FIGURA 3. Carga média nos pontos de monitoramento da bacia do ribeirão Garcia.

Tabela 4
CARGA MÉDIA PARA A BACIA DO RIBEIRÃO CONCÓRDIA

Ponto	Fósforo total kg d^{-1}	Ortofosfato kg d^{-1}	Nitrito kg d^{-1}	Nitrato kg d^{-1}	Amônia kg d^{-1}	DQO kg d^{-1}	Ferro total kg d^{-1}	Potássio kg d^{-1}	Coliformes NMP d^{-1}	
									Totais	Termotolerantes
CP1	0,45	0,20	0,08	1,45	9,30	101,73	1,20	6,85	$2,57 \times 10^{12}$	$1,71 \times 10^{11}$
CP2	0,64	0,33	0,12	2,39	11,25	97,54	2,32	11,83	$2,86 \times 10^{12}$	$1,73 \times 10^{11}$
CP3	1,12	0,55	0,22	6,05	19,94	147,37	5,38	22,04	$1,87 \times 10^{15}$	$1,09 \times 10^{12}$
CP4	1,19	0,62	0,24	2,06	19,65	132,57	2,99	15,54	$4,83 \times 10^{12}$	$1,85 \times 10^{11}$
CP5	1,26	0,65	0,26	4,02	19,28	146,14	6,70	22,34	$1,05 \times 10^{13}$	$1,18 \times 10^{12}$
CP6	2,10	1,07	0,40	6,57	30,08	220,34	13,13	34,46	$1,54 \times 10^{13}$	$4,04 \times 10^{11}$

por outros autores (Medeiros et al., 2009; Kyllmar et al., 2006). O tamanho da área e o índice de urbanização podem justificar valores discrepantes em relação aos encontrados neste trabalho. Há exceção para os coliformes termotolerantes, uma vez que os valores encontrados foram superiores aos apresentados por Vanzela et al. (2009). As atividades de pecuária, bem como as moradias rurais, presentes na bacia em estudo, apresentam risco à qualidade de corpos de água, elevando os valores de DBO e coliformes termotolerantes (Merten e Minella, 2002).

O ponto CP1 é o mais próximo da nascente e não recebe contribuições de outras áreas, enquanto o ponto CP6 está localizado próximo ao exutório da bacia, a qual recebe contribuições da bacia inteira. Esse fato evidencia os maiores valores de carga encontrados no ponto CP6 e os menores valores encontrados no ponto CP1.

As cargas específicas médias anuais para a bacia do ribeirão Concórdia são apresentadas na Figura 4. Observa-se que a carga específica é maior nas áreas menores, enquanto nas áreas de contribuição maior, a carga diminui e atinge valores relativamente estáveis.

Quilbé et al. (2006), estudando uma bacia que apresenta características agrícolas, encontraram resultados estáveis de carga específica no monitoramento.

Os resultados apresentados na área rural demonstraram uma contribuição de carga mais uniforme do que na área urbana. A urbanização, sendo mais intensa na parte inferior da bacia provoca o aumento das cargas específicas com o aumento da área de drenagem. Na bacia rural, os fatores intervenientes no processo de autodepuração dos cursos de água (Von Sperling, 2005), como degradação química e biológica e sedimentação, atuam promovendo uma redução da carga específica transportada em direção ao exutório da bacia.

Determinação da concentração do rio

Com a carga média e as vazões de referência foram determinadas as concentrações dos parâmetros de qualidade da água para cada ponto monitorado. A concentração foi obtida para as vazões de referência $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{98\%}$. Na Tabela 5 são apresentadas as concentrações dos parâmetros de qualidade da água para a bacia do ribeirão Garcia.

Tabela 5:
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS OBSERVADAS E PARA AS VAZÕES DE REFERÊNCIA NA BACIA DO RIBEIRÃO GARCIA

Ponto	Vazão de diluição $m^3 s^{-1}$	Nitrogênio Total $mg L^{-1}$	Coliformes Termo- tolerantes NMP 100 mL^{-1}	Fósforo Total $mg L^{-1}$	DBO $mg L^{-1}$
GP1	Média	$1,03 \pm 0,77$	$0,09 \pm 0,03$	$10,06 \pm 0,52$	3893 ± 5321
	$Q_{90\%}$	0,68	$2,08 \times 10^3$	0,06	6,92
	$Q_{95\%}$	0,86	$2,62 \times 10^3$	0,07	8,72
	$Q_{98\%}$	0,98	$2,98 \times 10^3$	0,08	9,93
GP2	Média	$1,06 \pm 0,93$	$0,10 \pm 0,02$	$12,29 \pm 5,96$	13540 ± 6000
	$Q_{90\%}$	1,15	$1,55 \times 10^4$	0,10	9,48
	$Q_{95\%}$	1,58	$2,15 \times 10^4$	0,14	13,11
	$Q_{98\%}$	1,99	$2,70 \times 10^4$	0,17	16,49
GP3	Média	$2,17 \pm 1,08$	$0,18 \pm 0,10$	$12,81 \pm 5,34$	48400 ± 38264
	$Q_{90\%}$	1,85	$3,55 \times 10^4$	0,15	10,91
	$Q_{95\%}$	2,64	$5,06 \times 10^4$	0,22	15,56
	$Q_{98\%}$	3,52	$6,75 \times 10^4$	0,29	20,74
GP4	Média	$2,55 \pm 1,35$	$0,26 \pm 0,21$	$14,35 \pm 9,20$	44063 ± 36794
	$Q_{90\%}$	2,69	$3,62 \times 10^4$	0,25	13,12
	$Q_{95\%}$	3,84	$5,17 \times 10^4$	0,36	18,78
	$Q_{98\%}$	5,27	$7,10 \times 10^4$	0,49	25,77

Carga média ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e NMP $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)

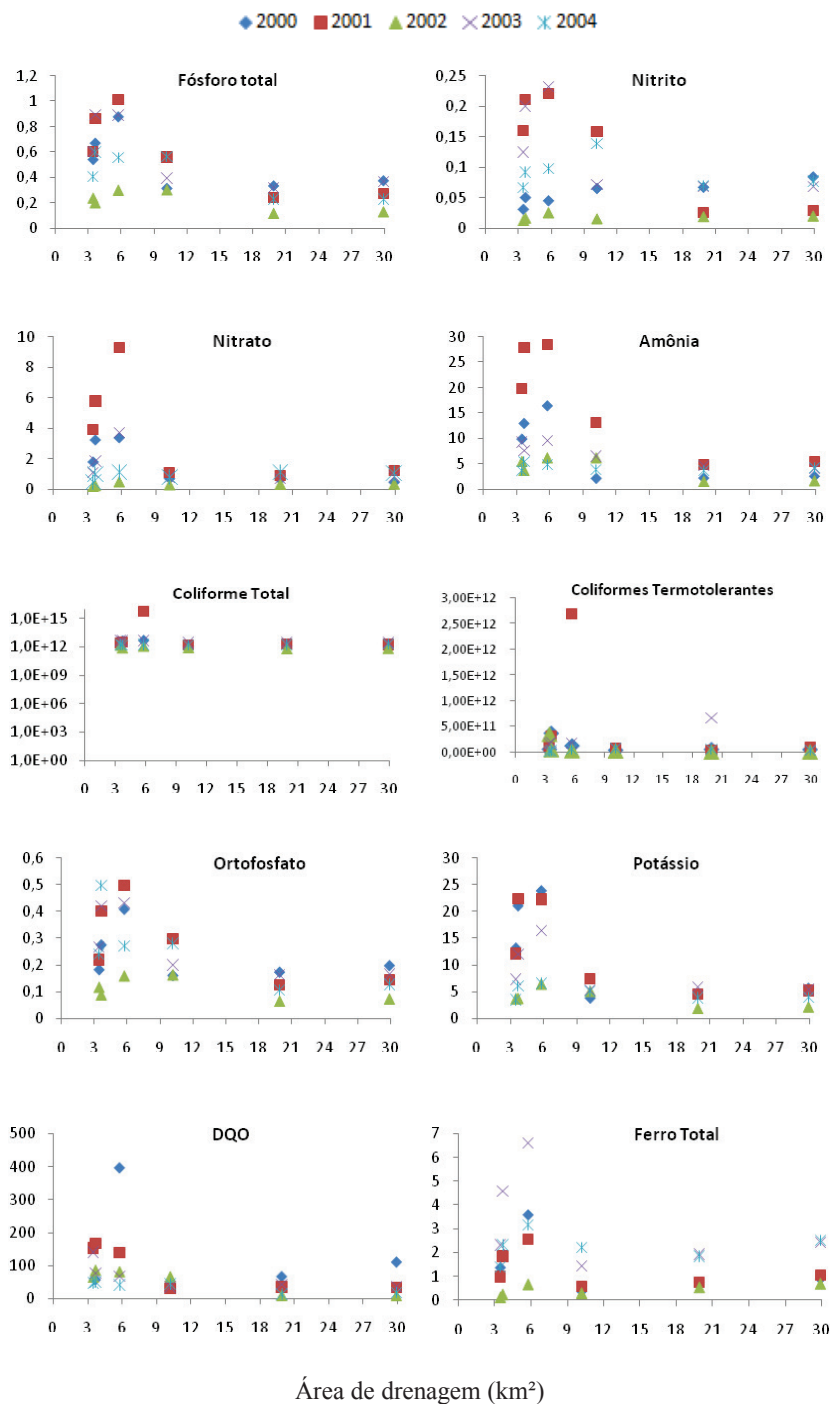


FIGURA 4. Cargas específicas médias anuais na bacia do ribeirão Concórdia.

Pela Resolução CERH 02/2008 todos os cursos de água do Estado de Santa Catarina foram enquadrados na classe 2, até que sejam reenquadrados com base em propostas dos comitês de bacia hidrográfica. Com base nos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA n° 357/2005, os valores de DBO para a classe 2 devem respeitar concentrações de até 5 mg/L O₂. O maior valor de DBO encontrado foi para a vazão Q_{98%} para o ponto GP4, de 25,77 mg L⁻¹. Resultados superiores foram encontrados por Pereira e Gastaldini (2008) 43,97 mg L⁻¹.

O nitrogênio total representa os compostos nitrogenados exigidos pela resolução (nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal), mais o nitrogênio

orgânico. O menor valor encontrado para nitrogênio total foi de 0,68 mg L⁻¹, para a vazão Q_{90%} e o maior para o ponto GP4 de 5,27 mg L⁻¹, para a vazão Q_{98%}.

Para a concentração de fósforo total, o ponto GP1 atende ao padrão da classe 2 (0,1 mg L⁻¹), para todas as condições de vazões. A partir do ponto GP2, o ribeirão não atende ao padrão de qualidade estabelecido, exceto para a vazão Q_{90%} (CONAMA 357/2005). Observa-se que as concentrações de coliformes termotolerantes na condição de vazão de referência são superiores ao limite estabelecido pela resolução, apresentando valores em desacordo com o padrão de qualidade de água da classe 2 (CONAMA 357/2005).

Tabela 6
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS OBSERVADAS E PARA AS VAZÕES DE REFERÊNCIA
NA BACIA DO RIBEIRÃO CONCÓRDIA.

Ponto	Vazão de diluição m ³ s ⁻¹	Nitrito mg L ⁻¹	Nitrato mg L ⁻¹	Amônia mg L ⁻¹	Fósforo Total mg L ⁻¹	Coliformes Termotolerantes NMP 100 mL ⁻¹
CP1	Média	0,01±0,01	0,23±0,25	1,64±0,86	0,09±0,03	1291±2848
	Q _{90%}	0,024	0,47	2,99	0,14	5,51x10 ³
	Q _{95%}	0,026	0,51	3,28	0,16	6,04x10 ³
	Q _{98%}	0,030	0,59	3,78	0,18	6,95x10 ³
CP2	Média	0,02±0,01	0,29±0,28	1,75±0,98	0,11±0,04	2254±3502
	Q _{90%}	0,037	0,73	3,44	0,20	5,28x10 ³
	Q _{95%}	0,040	0,80	3,77	0,22	5,79x10 ³
	Q _{98%}	0,046	0,92	4,34	0,25	6,67x10 ³
CP3	Média	0,02±0,02	0,58±0,60	1,83±0,89	0,14±0,05	2471±1882
	Q _{90%}	0,043	1,17	3,86	0,22	2,11x10 ⁴
	Q _{95%}	0,047	1,28	4,24	0,24	2,31x10 ⁴
	Q _{98%}	0,054	1,48	4,88	0,27	2,66x10 ⁴
CP4	Média	0,02±0,01	0,34±0,37	1,74±0,87	0,11±0,03	1617±1598
	Q _{90%}	0,027	0,23	2,15	0,13	2,03x10 ³
	Q _{95%}	0,029	0,25	2,36	0,14	2,23x10 ³
	Q _{98%}	0,033	0,28	2,72	0,16	2,56x10 ³
CP5	Média	0,02±0,01	0,38±0,34	1,85±0,95	0,12±0,03	5479±2103
	Q _{90%}	0,015	0,22	1,08	0,07	6,59x10 ³
	Q _{95%}	0,016	0,25	1,18	0,08	7,22x10 ³
	Q _{98%}	0,018	0,28	1,36	0,09	8,31x10 ³
CP6	Média	0,02±0,01	0,41±0,40	1,94±1,13	0,13±0,04	2371±3450
	Q _{90%}	0,015	0,24	1,12	0,08	1,51x10 ³
	Q _{95%}	0,016	0,27	1,23	0,08	1,65x10 ³
	Q _{98%}	0,019	0,31	1,42	0,10	1,90x10 ³

Na Tabela 6 são apresentadas as concentrações dos parâmetros de qualidade da água para a bacia do ribeirão Concórdia, para as vazões $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{98\%}$.

Para nitrito e nitrato, nenhuma das concentrações nas vazões de referência ultrapassou os limites para a classe 2. Para o nitrogênio amoniacal o ponto GP1, para a vazão $Q_{98\%}$, o GP2, para as vazões $Q_{95\%}$ e $Q_{98\%}$ e o GP3 para todas as vazões, apresentaram valores acima do estabelecido para sua classe, conforme a resolução CONAMA n° 357/2005.

As concentrações de fósforo total diminuíram dos pontos mais próximos à nascente até a foz. As amostras dos pontos CP5 e CP6 apresentaram menores concentrações de fósforo total (0,07 a 0,08 mg L⁻¹) do que as dos pontos CP1, CP2, CP3 e CP4, as quais apresentaram valores acima do limite estabelecido para águas de classe 2, para todas as condições de vazão.

As concentrações de coliformes termotolerantes mantiveram-se sempre elevadas, acima do padrão da classe 2. O lançamento inadequado de esgotos domésticos e de resíduos sólidos e, principalmente, a criação de animais, propiciam elevadas concentrações de poluentes nos corpos hídricos. Este fato, aliado a condições de vazões mínimas, eleva os valores de indicadores fecais na água.

O ponto CP3 apresentou os maiores valores para a bacia do ribeirão Concórdia. Este ponto está localizado no Braço do Concórdia, afluente do rio principal. Da sua área total, a pastagem é responsável por 18,10% e o milho e o fumo, por 18,10% e 18,69%, respectivamente.

CONCLUSÃO

O monitoramento da qualidade de água deve subsidiar a gestão dos recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável nas bacias hidrográficas. Atualmente, da maneira como é realizada a análise das concentrações dos parâmetros de qualidade das águas, é dificultada a comparação com os padrões

estabelecidos para o regime de vazões de referência. O uso de modelos de simulação hidrológica permitiu avaliar as vazões nas datas das coletas de amostras e as vazões de permanência, em pontos distribuídos da bacia.

As cargas transportadas pela bacia urbana mostraram-se crescentes ao longo da área de drenagem. As áreas de jusante, com maior densidade habitacional, apresentaram os maiores valores de carga. A urbanização mais intensa no trecho de jusante provoca o aumento das cargas de montante para jusante. Os valores encontrados para as cargas transportadas pela bacia rural apresentam comportamento uniforme ao longo da área do sistema de drenagem, sendo os maiores valores observados nas áreas de montante. Na bacia rural ocorre a degradação dos constituintes analisados ao longo do corpo de água, causando uma redução da carga transportada de montante para jusante.

Este tipo de avaliação demonstra a importância de um monitoramento quali-quantitativo para a compreensão dos impactos, principalmente devido à variabilidade das áreas analisadas.

A metodologia aplicada, para determinação das concentrações em regime de vazão de referência mostrou-se um sistema simplificado e útil para ser utilizado como ferramenta de suporte e apoio ao sistema de gestão em bacias hidrográficas. Ela deve ser incorporada na determinação das concentrações dos cursos de águas nas vazões de referência no processo de licenciamento ambiental do lançamento de cargas poluidoras.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao MCT/FINEP/CT-Hidro-CNPq, edital 04/2005 Bacias Representativas, convênio 3490/05 e MCT/FINEP/ AÇÃO TRANSVERSAL – Previsão Clima e Tempo 04/2008, convênio 1406/08, pelo financiamento da pesquisa, à CAPES pelas bolsas de mestrado e a FAEMA e EPAGRI pelo fornecimento dos dados de qualidade das águas.

Referências

- ANDREAZZA A.M.P.; GARCIA, L.A.V. (2004) Estabelecimento de vazões ambientais efluentes de barragens: sugestão metodológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 9(2), p 5-18
- BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L. (2004) Especialização da $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ visando a gestão dos recursos hídricos: Estudo de caso para a bacia do Rio Paraíba do Sul. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.12, n.1, p. 24-31.

- BENETTI, A.D.; LANNA, A.E.; COBALCHINI, M.S. (2003) Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 149-160.
- BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- BRAVO, J. M.; ALLASIA, D.; TASSI, R.; MELLER, A.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. (2006) Manual de usuário do modelo hidrológico WIN_IHP2. 63p.
- Brites, A. P. Z.; GASTALDINI, M. do C. C. (2007) Avaliação da carga poluente no sistema de drenagem de duas bacias hidrográficas urbanas. *Revista brasileira de recursos hídricos*, v. 12, n.4, p. 211-221.
- CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORREL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHAPLEY, A. N.; SMITH, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v.8, n.3, p. 559–568.
- COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; PRIANTES, G. R.; TASSI, R.; SOUZA, C. F. (2005) Em busca do hidrograma ecológico. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Anais. Rio de Janeiro: ABRH.
- CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. (2002) Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.7, n.3, p.43-52.
- CHEN, D.; LU, Jun; SHEN, Y.; DAHLGREN, R. A.; JIN, S. (2009) Estimation of critical nutrient amounts based on input-output analysis in an agriculture watershed of eastern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.134, p.159-167.
- CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. (2008) Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n.1.
- DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. (1992) Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, v. 28, p. 1015-1031.
- EUCLYDES, H.P.; FERREIRA, P.A., RUBERT, O.A., SANTOS, R.M. (2001). Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, MG. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n.2, p. 81-105.
- FUNDAÇÃO AGÊNCIA DE ÁGUA DO VALE DO ITAJAÍ (2010) Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. Disponível em: http://www.comiteitajai.org.br/dspace/bitstream/123456789/1165/52/13_CapituloB1.4CargaPoluidora.pdf. Acesso em: 28 de maio de 2010.
- HARRIS, N.M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D.M.; PETTS, G. E. (2000) Classification of river regimes: a context for hydroecology. *Hydrological Processes*, v.14, p. 2831-2848.
- JUNGBLUT, M. (2008) Relatório temático B.2 – Proposta de enquadramento dos recursos hídricos superficiais da bacia do rio Cai. Disponível em http://www.comitecai.com.br/plano/down_RTb2.html. Acesso em: 20 jan. 2010.
- KYLMAR, K.; CARLSSON, C.; GUSTAFSON, A.; ULE'N, B.; JOHNSON, H. (2006) Nutrient discharge from small agricultural catchments in Sweden Characterization and trends. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v.115, p. 15-26.
- LITTLEWOOD, I. G.; MARSH, T.J. (2005) Annual freshwater river mass loads from Great Britain, 1975–1994: estimation algorithm, database and monitoring network issues. *Journal of Hydrology*, v.304, p. 221-237.
- MACHADO E. S., et al. (2003) *Um avanço na gestão da qualidade da água: a outorga para diluição de efluentes*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, v.15, 2003, Curitiba. Anais. Rio de Janeiro: ABRH.
- MADRUGA, F. V.; REIS, F. A. G. V.; MEDEIROS, G. A. de; GIRDANO, L. do C. (2008) Avaliação da influência do córrego dos macacos na qualidade da água do rio Mogi Guaçu, no município de Mogi Guaçu – SP. *Engenharia Ambiental*, v.5, n.2, p.152-168.
- MEDEIROS, G. A.; ARCHANJO, P.; SIMIONATO, R.; REIS, F. A. G. V. (2009) Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do córrego recanto, em americana, no estado de São Paulo. *Geociências*, v.28, n.2, p. 181-191.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. (2002) Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 3, n. 4.
- PEREIRA, L. de F.; GASTALDINI, M. do C.C. (2008) *Poliuição difusa em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos*. In: II SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE. Rio de Janeiro, CD-ROM.
- PINHEIRO, A.; DESCHAMPS, F. C. (2008) Transporte de ortofosfato e de nitrato na microbacia do Ribeirão Fortuna, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.3, p.318–325.
- QUILBÉ, R.; ROUSSEAU, A. N.; DUCHEMIN, M.; POULIN, A.; GANGBAZO, G.; VILLENUEVE, J.P. (2006). Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beaurivage River (Québec, Canadá). *Journal of hydrology*, p. 1-16.
- REFOSCO, J. C. (2000) Análise do uso e cobertura do solo em Blumenau-SC, utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 2, n. 2 e 3, p. 57-67.
- RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. (2003) A Outorga integrada das vazões de captação e diluição. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 1, n. 3, p. 151-168.
- ROQUE, T. V. P.; ANDRADE, L. N. de; ZORZAL, R. e MENDONÇA, A. S. F. (2008) Metodologia para apóia à análise de solicitação de outorga de diluição de efluentes – análise e aplicação. In: II SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2008, Rio de Janeiro, CD-ROM.
- SALLES, C.; TOURNOUD, M. G.; CHU, Y. (2006) Estimating nutrient and sediment flood loads in a small Mediterranean river. *Hydrological Processes*, p. 1-43.

- SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. (2006) Vazões mínimas e de referência para a outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Geraia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n.2, p. 374-380.
- SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. (2007) Aplicação do método da carga máxima total diária (CMTD) para a amônia no rio Atibaia, região de Campinas/ Paulínia- SP. *Revista Engenharia Sanitária ambiental*, v. 12, n.2, p. 160-168.
- SILVA, L. M. C.; CARVALHO, G. B. B.; THOMAS, P. T. (2009) *Cobrança pela diluição de efluente – Parte II: Aplicação no rio Paraíba do sul*. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande, CD-ROM.
- SILVA, S. C.; RIBEIRO, M. M. R. (2006). Enquadramento dos corpos de água e cobrança pelo uso da água na bacia do rio pirapama – PE. *Revista Eng. Sanitária e Ambiental*, v.11, n.4, pág. 371-379.
- SILVEIRA, G. L.; SILVA, C. E.; IRION, C. A. O.; Cruz, J. C.; RETZ, E. F. (2003) Balanço de cargas poluidores pelo monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos em pequena bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.1, p.5-11.
- SANTA CATARINA (Estado). Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009. *Institui o Código Estadual de Meio Ambiente e estabelece outras providências*. Disponível em: <http://www.institutohorus.org.br/download/marcos_legais/codigo_ambiental_SC.pdf>. Acesso em: 09 set. 2010.
- SOUZA, W. G.; SALIM, F. P. C.; SILVA, M. C. (2009) *Aplicação de metas progressivas de melhoria de qualidade de água no processo de outorga para diluição de efluentes*. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande, CD-ROM.
- SOUZA, C.F. (2009) Vazões ambientais em hidrelétricas: Belo Monte e Manso. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009, 163 p.
- SOUZA, C.; AGRA, S.; TASSI, R. COLLISCHONN, W. (2008) Desafios e oportunidades para a implementação do hidrograma ecológico. *REGA*. v. 5, n. 1, p. 25-38.
- STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B.; COSTA, A. M. (1997) A alocação e o uso dos recursos hídricos no Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória. Anais. Vitória: ABRH.
- TUCCI, C.E.M. (1998) *“Modelos Hidrológicos”*. Porto Alegre. Editora da Universidade. ABRH/UFRGS 678p.
- VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. (2009) Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Ciência agrotecnologia*, Lavras, v.33, n.4, p. 1142-1152.
- von SPERLING, M. (2007). *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais.
- von SPERLING, M. (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 243p.
- ZORZAL, R.; FASSARELLA, J. A. C.; ANDRADE, L. N.; COSER, M. C.; MENDONÇA, A. S. F. (2009) *Uso da interface qual-rio na análise de localização de uma nova fonte pontual de poluição em rios considerando aspectos de qualidade de água*. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande, CD-ROM.
- YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. (1998) Multi-objective global optimization for hydrologic models. *Journal of hydrology*, v 204.

Evelyn Zucco Universidade Regional de Blumenau. E-mail: evelynzucco@gmail.com.

Adilson Pinheiro Universidade Regional de Blumenau. E-mail: pinheiro@furb.br.

Francisco Carlos Deschamps Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Universidade do Vale do Itajaí. E-mail: xicodsc@hotmail.com.

Pétrick Anderson Soares Universidade Regional de Blumenau. E-mail: petrickps@gmail.com.