

O MODELO QUAL2K COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – ESTUDO DE CASO: RIO JACUPIRANGUINHA, CAJATI – SP.

Juliana Moccellin⁽¹⁾

Bióloga pela FFCLRP/USP. Doutora em Ciências: Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Pesquisadora PRODOC do Núcleo de Hidrometria (CRHEA – SHS – USP)

Maria do Carmo Calijuri

Profa. Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC/USP

Frederico Fábio Mauad

Professor Doutor do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), SHS – EESC - USP

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador Sancarlense, 400 – Centro – São Carlos – SP – CEP: 13566-590 – Brasil – Tel: +55 (16) 3373-8255 – e-mail: jumocc@gmail.com.

ABSTRACT

Models are simplified representations of reality. An advantage of using mathematical models is that different scenarios can be simulated and the researcher can consider the worst possible situation. Since the creation of first water quality model, by Streeter and Phelps, several other models were elaborated and developed, introducing the nitrogen and phosphorous cycles, algae production and other components. All are elaborated to solve the several problems of water quality and they possess an objective in common, that is auxiliary managers of water resources on their decisions. The chosen model for this work was QUAL2K. It is applied in water quality simulation of streams and rivers. A simulation on Jacupiranguinha River was made, covering 24 km, which took into account mainly diffuse sources in rural and urban areas and domestic sewage. QUAL2K model was calibrated to dissolved oxygen and BOD. Simulations showed good agreement with the observed data. Scenarios have been suggested for visualization of possible future conditions of Jacupiranguinha River, which were targeted according to population growth. The scenarios have the ability to show how each variable can change the water quality. Scenarios of different treatment variables were evaluated and showed that treatment of domestic and industrial effluents is presented as a key element in maintaining the quality of Jacupiranguinha River.

Key-words: water quality models, QUAL2K, Jacupiranguinha River.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas relacionados aos recursos hídricos é o excesso de carga poluidora, doméstica ou industrial, lançada em rios e a crescente demanda que diminui as vazões e favorece as contaminações.

Hoje, as ações sobre o meio ambiente devem ser observadas em uma escala global, e não mais numa óptica local. A poluição de um rio devido ao lançamento de efluentes não ficará restrita ao trecho do rio onde ocorre o lançamento, mas comprometerá toda a bacia hidrográfica deste rio, bem como a região estuarina onde este rio lança suas águas (CUNHA, ROSMAN e MONTEIRO, 2003). Para isto, o monitoramento e o controle da poluição são ferramentas úteis e que podem ajudar a reduzir a degradação dos ambientes aquáticos, pois nos permite conhecer esses processos de degradação e mitigar seus efeitos, como uma forma de manter a sustentabilidade dos recursos hídricos.

A modelagem matemática da qualidade da água é uma das ferramentas que permite identificar a contribuição relativa das fontes difusas referentes a várias combinações de usos e manejos, e da sua distribuição na paisagem bem como avaliar os efeitos de cenários futuros (KARLSSON, 2005). Sua utilização em programas de gestão ambiental é cada vez mais disseminada, devido ao fato de seus resultados poderem embasar análises de problemas ambientais e proposições de ações preventivas.

Os objetivos deste trabalho foram calibrar e simular um modelo de qualidade de água como ferramenta para avaliar os impactos da poluição das águas do rio Jacupiranguinha, propor cenários que garantam os usos múltiplos da água e fornecer informações e subsídios que possam servir como base na tomada de decisões, para o interesse da comunidade do município de Cajati (comitê de bacia hidrográfica, agricultores, consumidores e usuários dos recursos naturais).

MATERIAL E MÉTODOS

Discretização do rio Jacupiranguinha

Para a simulação da qualidade da água do efluente industrial utilizou-se o QUAL2K versão 2.11b8, distribuído pela USEPA (United States Environmental Protection Agency). Dentre as variáveis disponíveis para simulação no QUAL2K optou-se apenas pelo oxigênio dissolvido e DBO. A taxa de oxidação foi utilizada como parâmetro de calibração para o ajuste do modelo aos dados coletados em campo. Esses dados e demais coeficientes estão na Tabela 1. O valor indicador da capacidade de autodepuração ou coeficiente de reaeração (K_2), foi calculado ao longo do perfil longitudinal do corpo hídrico pela variação da profundidade e velocidade utilizando a opção de cálculo interno que seleciona automaticamente, para cada segmento simulado, o modelo mais adequado entre O'Connor-Dobbins, Owens-Gibbs e Churchill de acordo com as características hidráulicas de cada trecho (COVAR, 1976).

Tabela 1: Dados obtidos em campo e coeficientes calculados para o trecho simulado do rio Jacupiranguinha.

Trecho	1	2	3	4	5	6
Dist (km)	7,38	2,38	4,15	1,01	6,14	3,30
nº elementos	14	4	8	2	12	6
Altitude (m)	53	40	38	36	35	28
Declividade (m)	0,0010	0,0013	0,0049	0,0007	0,0001	0,0007
Largura do canal (m)	10	14,7	15	18	18	15
Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$)	2,24	3,48	*	*	*	3,8
Altura coluna (m)	0,36	0,46	*	*	*	0,56
Velocidade ($m \cdot s^{-1}$)	0,63	0,48	*	*	*	0,42
n Manning	0,024	0,046	0,111	0,044	0,0145	0,043
Reaeração (k_2)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4
Oxidação DBO (k_1)	0,6	0,6	0,1	0,1	0,8	0,6

Foram simulados 24 km do rio Jacupiranguinha, compreendendo a área urbana e regiões rurais antes e após o trecho urbano do município de Cajati, até seu encontro com o rio Jacupiranga. Cada trecho do rio foi subdividido em sub-trechos de 0,5 km que representam o comprimento dos elementos computacionais. Esses elementos são a unidade computacional fundamental do modelo, no qual o programa realiza as simulações através de balanços de massa e energia.

O diagrama unifilar do trecho simulado do rio Jacupiranguinha pode ser visto na **Figura 1**. Cada seta com uma marcação em quilômetros é o início de cada trecho e os quadrados numerados são os elementos computacionais de cada um. Também é possível observar o local de entrada da poluição pontual, representada pelo efluente da estação de tratamento de esgotos e os locais nos quais foram consideradas as poluições difusas.

Dados de entrada do modelo

Alguns dados foram inseridos para que se pudessem realizar as simulações. São eles: coordenadas geográficas, altitude, declividade e distância entre a foz do rio principal o cada trecho simulado, concentrações de oxigênio dissolvido, DBO, vazões nos pontos de coleta e nos trechos, velocidade e profundidade do rio, coeficientes cinéticos, como o coeficiente de remoção global de DBO e o coeficiente de reaeração. O modelo de integração adotado foi o de Runge-Kutta.

Calibração do modelo

Para as variáveis hidráulicas utilizou-se a vazão média, sendo que a diferença da vazão do trecho de jusante com o trecho de montante foi considerada como fonte difusa. A velocidade média de cada elemento foi inserida no modelo e sua calibração foi feita com base na declividade da bacia e do n de Manning para canais naturais; e para a altura da água utilizou-se a altura média de cada elemento e sua calibração era obtida com base na rugosidade de canal (n de Manning).

Para as variáveis limnológicas foram utilizados dados obtidos em campo na campanha de amostragem do rio Jacupiranguinha correspondente ao período seco (julho) do ano de 2005. A diferença entre dados de jusante e montante foi considerada como fonte difusa.

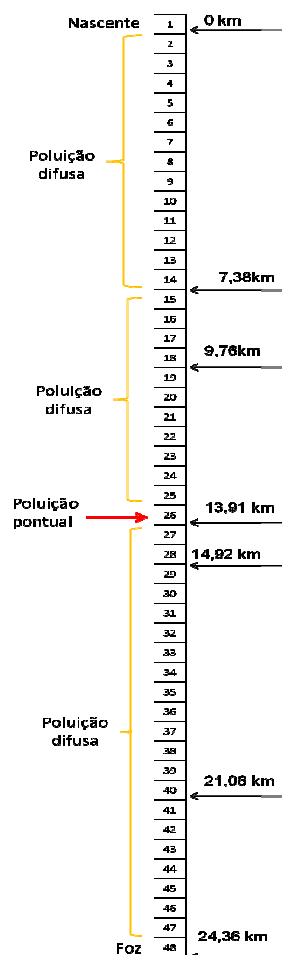


Figura 1 - Diagrama unifilar do trecho simulado do rio Jacupiranguinha, mostrando o tamanho de cada trecho e as fontes pontuais e difusas.

Simulação de cenários

A **Tabela 2** apresenta alguns valores característicos da urbanização e dados médios de descargas no rio Jacupiranguinha (CETESB, 2008) que foram utilizadas na elaboração dos cenários.

Tabela 2 – Dados médios de descargas no rio Jacupiranguinha

Parâmetros	Valores	Unidade
Número de habitantes	28.310	hab.
População urbana	20.824	hab.
Área	455,9	km ²
Densidade demográfica	62	hab.km ⁻²
Cobertura da rede sanitária	62	%
Porcentagem esgoto tratado	90	%
Eficiência	45	%
Carga poluidora domiciliar potencial	1.124	kg.DBO.dia ⁻¹
Carga polidora domiciliar remanescente	845	kg.DBO.dia ⁻¹
ICTEM	5,7	---

(ICTEM = Indicador de coleta e tratamento de esgoto da população urbana de município)

Feita a calibração, foram simulados alguns cenários considerando alguns fatores que influenciam a qualidade da água, como o crescimento populacional e mudanças nos usos da terra. Dentro destas condições foram avaliados futuros alternativos otimistas e pessimistas.

Os cenários foram elaborados considerando-se o período seco, por se tratar da situação mais crítica da qualidade das águas, devido às baixas vazões.

A seguir, breve descrição dos cenários elaborados:

Cenário atual: Poluição difusa e eficiência de coleta e tratamento de esgotos de 45%, referente ao ano de 2010.

Cenário 1: Tratamento de poluição difusa com remoção de 20% de sólidos inorgânicos, DBO, nitrato, fósforo orgânico e coliformes fecais e aumento da eficiência da coleta e do tratamento de esgotos domésticos de 45% para 90%.

Cenário 2: Tratamento de poluição difusa com remoção de 60% das mesmas variáveis do cenário 1 e mantendo o aumento da eficiência da coleta e do tratamento de esgotos domésticos para 90%.

Cenário 3: Estimativa de aumento da população do município de Cajati para 2020 sem qualquer tipo de tratamento.

Cenário 4: Estimativa de aumento da população do município de Cajati para 2035 sem qualquer tipo de tratamento.

Cenário 5: Estimativa de aumento da população do município de Cajati para 2060 sem qualquer tipo de tratamento.

Cenário 6: Estimativa de aumento da população do município de Cajati para 2020 com 60% de remoção da poluição difusa e eficiência do tratamento de esgoto de 90%

Cenário 7: Estimativa de aumento da população do município de Cajati para 2060 com 60% de remoção da poluição difusa e eficiência do tratamento de esgoto de 90%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Simulação das concentrações de oxigênio dissolvido e DBO

A **Figura 2** apresenta as simulações de oxigênio dissolvido e DBO e a **Tabela 3** mostra os valores simulados, observados e os resíduos em cada trecho do rio.

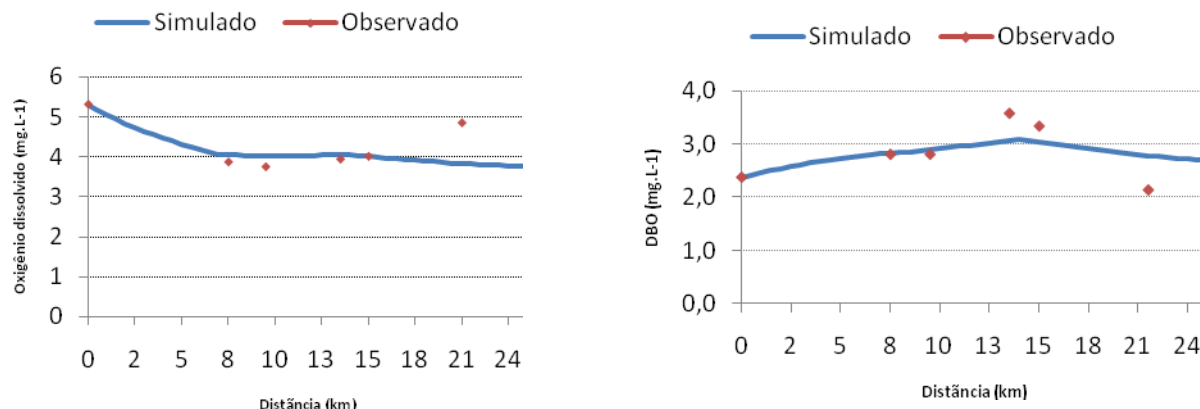


Figura 2 - Variação espacial simulada e observada de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e DBO (mg.L^{-1}), no período seco no rio Jacupiranguinha.

No período seco, as variáveis fósforo orgânico, sólidos inorgânicos e coliformes fecais foram as que apresentaram as maiores diferenças, respectivamente 43,9%, 37,8% e 32,8%. A variável coliformes fecais foi a mais sensível em relação ao efluente da ETE com aumento significativo de suas concentrações após seu lançamento, que ocorre aproximadamente no quilômetro 14 do trecho simulado do rio Jacupiranguinha.

Tabela 3 - Resultados das simulações para as variáveis analisadas no rio Jacupiranguinha

Distância (km)	OD			DBO		
	Sim.	Obs.	Resíduo (%)	Sim.	Obs.	Resíduo (%)
0,0	5,3	5,3	0	2,37	2,37	0
7,65	4,05	3,86	4,7	2,83	2,80	0,98
10,20	4,02	3,74	6,9	2,89	2,80	3
12,78	4,04	3,93	2,7	3,07	3,57	16,3
14,34	4,01	4,0	0,18	3,04	3,33	9,5
21,46	3,82	4,84	26,6	2,79	2,13	23,6
24,36	3,76	4,01	6,6	2,71	2,80	3,4
Resíduo médio			6,85			8,12

Nota: OD = oxigênio dissolvido; sim. = simulado e obs. = observado

Cenários ambientais

Nos resultados destes cenários são mostradas variações longitudinais das variáveis analisadas no período seco, cujos dados foram obtidos em julho de 2005. Colocou-se nos gráficos o padrão estabelecido para rios classe 2 da Resolução 357/05 do CONAMA para melhor visualização dos resultados.

O crescimento populacional demanda maior quantidade de água que os dias atuais e conseqüentemente, produz maior quantidade de esgoto. Esses incrementos de esgoto, considerados como fontes pontuais podem ser visualizados com maior clareza no período seco, pois não há influência do efeito de diluição das chuvas. Os cenários apresentados mostram a degradação das variáveis analisadas.

A **Figura 3** mostra os cenários relativos ao oxigênio dissolvido. Esta variável que atualmente encontra-se em estado insatisfatório no período seco, com alguns trechos enquadrada como classe 3 e em outros em classe 4, tende a piorar se não for tomada nenhuma providência.

Um tratamento imediato de 60% da poluição difusa (cenário 2) melhoraria em 15,3% as concentrações de oxigênio dissolvido no rio Jacupiranguinha. Com o crescimento populacional, esta situação tende a se agravar. O Cenário 6 mostra melhora nas concentrações em 2020, porém, em 2060 a situação voltaria a ser crítica mantendo-se o mesmo tratamento (Cenário 7). Para que esta situação se reverta em 2060 seriam necessárias maiores eficiências que aquelas que foram consideradas nestes cenários.

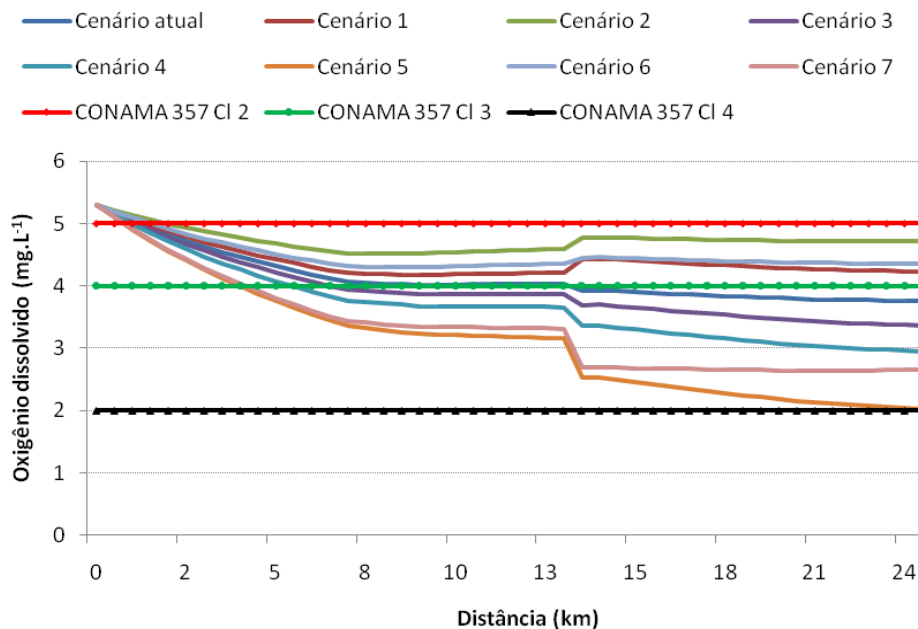


Figura 3 - Resultados das simulações dos cenários propostos para as concentrações de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) no período seco no rio Jacupiranguinha.

Para a DBO a situação é menos crítica, porém deve-se ter o mesmo cuidado do oxigênio dissolvido. Se não houver tratamento nenhum, em 10 anos as concentrações poderão se elevar em 9,3% (Cenário 3), em 25 anos, 24,5% (Cenário 4) e em 50 anos aumentarão, em média, 59,8% (Cenário 5), como pode ser visto na **Figura 4**. Caso haja os tratamentos sugeridos nos cenários, em 10 anos poderá haver uma redução de 27% (Cenário 6) em relação às concentrações atuais e redução de até 12% em 2060 (Cenário 7).

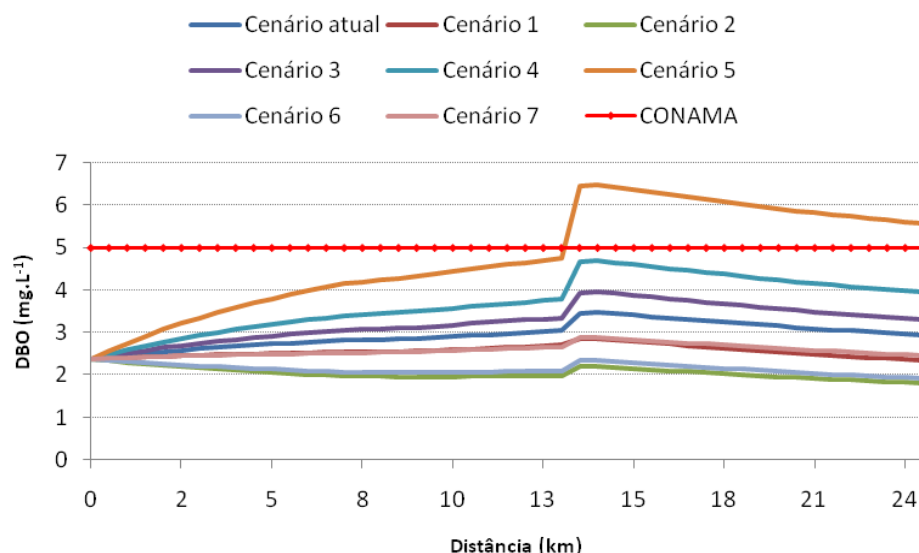


Figura 4 - Resultados das simulações dos cenários propostos para a DBO (mg.L^{-1}) no período seco no rio Jacupiranguinha.

CONCLUSÕES

O processo de desenvolvimento local afeta fortemente a qualidade da água do rio Jacupiranguinha e têm como prováveis conseqüências alguns desequilíbrios ecológicos. Este rio encontra-se em um estágio de poluição que, em alguns trechos, supera os limites estabelecidos para um rio classe 2.

A sub-bacia na qual este rio se insere necessita de algumas intervenções em saneamento para a melhoria da qualidade de suas águas principalmente em relação ao escoamento difuso que gera degradação significativa da qualidade e que o crescimento populacional seguido de estagnação na área do saneamento poderá trazer a degradação dos recursos hídricos na região.

Os cenários 3, 4 e 5 mostram que o crescimento populacional acompanhado pela despreocupação dos tomadores de decisões tanto das questões ambientais quanto das questões sociais, resultam em graves impactos sobre a qualidade do rio Jacupiranguinha. A poluição associada a estes cenários supera a capacidade de autodepuração do rio, levando a uma degradação, muitas vezes irreversível.

Por outro lado, os cenários 1, 2, 6 e 7 que propõem alguns tratamentos, mostram que políticas públicas preocupadas com a degradação dos recursos hídricos têm grande efeito na manutenção do ecossistema aquático e que mudanças de paradigmas da sociedade podem reverter esta situação.

O modelo QUAL2K pode ser uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, juntamente com outras ferramentas. Os resultados mostrados através dos cenários fornecem subsídios às políticas públicas voltadas à manutenção da qualidade e à garantia dos múltiplos usos dos recursos hídricos na região.

REFERÊNCIAS

BRASIL (2005) Resolução CONAMA 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial de República Federativa do Brasil*. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em 29 abr 2005.

CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. e TAO, H. *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality*, Version 2.11: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA. 2008. Steven.Chapra@tufts.edu

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/publicacoes.asp>. Acesso em 26 dez 2009.

COVAR, A.P. 1976. Selecting the proper reaeration coefficient for use in water quality models. Presented at the U.S. EPA Conference on Environmental Simulation Modeling, April 19-22, Cincinnati, OH.

CUNHA, C.L.N., ROSMAN, P.C.C e MONTEIRO, T.C.N. Avaliação da poluição em rios usando modelagem computacional. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2003, v. 8, n. 3, jul-set, p. 126 – 134.

KARLSSON, O.M., RICHARDSON, J.S. e KIFFNEY, P.M. Modelling organic matter dynamics in headwater streams of south-western British Columbia, Canada. *Ecological Modelling*, v. 183. 2005. p. 463 – 476.