

DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO PARA ANÁLISE DE ALTERNATIVAS LOCACIONAIS PARA EMISSÁRIOS DE EFLUENTES.

Rogério Zorzal¹; João Adolfo Camiletti Fassarella² & Antônio Sérgio Ferreira Mendonça³

RESUMO --- Este trabalho relata a concepção de uma interface, denominada QUAL-RIO, desenvolvida para o modelo de qualidade de água QUAL2E, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (U.S.E.P.A.). Esta interface visa à automatização da análise de alternativas locais para emissários de efluentes em rios, além de maior facilidade na entrada e melhor visualização de resultados de simulações do modelo QUAL2E. A interface QUAL-RIO está sendo utilizada para subsidiar o desenvolvimento do Sistema de Suporte a Decisão para Outorga de Lançamento de Efluentes em Rios. Esse SSD, em desenvolvimento, tem por objetivo o auxílio no processo de tomada de decisão para escolha do melhor local para implantação de uma nova fonte de lançamento pontual, considerando aspectos qualitativos e quantitativos dos corpos receptores, em consonância à legislação vigente (da Lei 9.433/97 e das resoluções: CONAMA nº357/05 e 274/200 e CNRH nº. 16).

ABSTRACT --- This paper presents the conception of an interface, named QUAL-RIO, for the QUAL2E model, developed by the United States Environmental Protection Agency (U.S.E.P.A.). QUAL-RIO interface objectives the automatization of the analysis of location alternatives for effluent outflow structures and the improvement of QUAL2E data input operations and results visualization. The interface is now being used for the development of a Decision Support System for helping the analysis of permission for location of new effluent outflows by considering any different river positions. The developed interface is capable of, automatically, varying the position of water outflows over the simulated river stretch and simulating corresponding river water quality conditions. The interface speeds up the choice of the best location places for these structures and the analysis of the authorization for the corresponding water uses.

Palavras-Chave: QUAL2E, modelo de qualidade de água, outorga.

1) Mestrando em Engenharia Ambiental da UFES. R. Engº. Alencar Araripe, 90/401, 29043-225 - Vitória/ES. E-mail rozorzal@hotmail.com

2) Bolsista de Iniciação Científica do Curso de Engenharia Civil da UFES. R. Vasco Alves de Oliveira, 181 – Vila Velha/ES. E-mail joao.adolfof@hotmail.com

3) Professor Associado, Ph.D. do DEA/UFES. Av. São Paulo, 1890/104 - Vila Velha/ES. CEP 29101-301 E-mail anserfm@terra.com.br

1 - INTRODUÇÃO

A Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu no Brasil a Política Nacional de Recursos Hídricos, é uma importante ferramenta legal para o gerenciamento da água, sugere a utilização de modelos matemáticos e computacionais no suporte à decisão entre alternativas de gestão ou de uso dos recursos hídricos.

O principal desafio para a nova política de recursos hídricos está relacionado com a busca de mecanismos e ferramentas de planejamento para garantir a sustentabilidade hídrica, tendo em vista a complexa teia de inter-relações existentes. É grande o número de interessados na definição da forma como a água é utilizada, incluindo grandes indústrias e hidroelétricas, usuários menos poderosos, poder público e as comunidades, Sousa Junior (2004).

Um dos principais instrumentos de gestão para redução e controle da poluição é a outorga para diluição de efluentes que, apesar de estar legalmente instituída, ainda não foi devidamente implantada em nível nacional. Para isso, será necessário definir critérios de outorga, organizar e manter base de dados de qualidade da água e desenvolver ferramentas adequadas para análise integrada dos aspectos de quantidade e qualidade da água, Azevedo *et al.* (2003).

Nesse cenário, foi desenvolvida uma interface em Visual Basic 6.0 para o modelo QUAL2E, denominada QUAL-RIO, que visa auxiliar a entrada de dados e a visualização de resultados de simulações para o modelo QUAL2E. Essa interface está atualmente sendo utilizada no desenvolvimento de um Sistema de Suporte a Decisão para análise da melhor localização de um novo lançamento de efluentes ao longo de cursos de água, levando em consideração aspectos qualitativos de corpos receptores.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

Porto e Azevedo (1997), ao descreverem Sistemas de Suporte a Decisão (SSD) apresentaram como seus principais componentes, a base de dados, a base de modelos e o módulo de diálogo. O módulo diálogo é responsável pela comunicação entre usuário e o computador. Esses autores salientam que a interface de diálogo entre computador e usuário deve ser capaz de estabelecer uma comunicação da forma mais apropriada possível. Braga *et al* (1998) mencionam que os resultados de um SSD devem ser expostos em um formato fácil de serem interpretados.

Azevedo *et al* (2003), em estudo realizado para avaliação da utilização de SSDs para outorga, evidenciaram alguns cuidados na implementação de interface de um SSD, abordando o tema em dois níveis de discussão. No primeiro nível, as informações da interface com o usuário devem estar prontamente disponíveis e serem facilmente entendidas pelo decisor. No segundo nível, devem permitir a identificação de facilidades específicas, tais como, inclusão de gráficos, textos e

comunicação, Azevedo *et al* (2003).

Roriz (2002), ao desenvolver o SSD denominado Sistema de Suporte à Decisão em Recursos hídricos que utiliza dois modelos computacionais (QUAL2E e GWLF) e Salim (2004) que desenvolveu um SSD utilizando a automatização do modelo computacional QUAL2E, considerando múltiplos lançamentos de efluentes, buscaram estabelecer ambientes amigáveis para utilização desses modelos. Tanto Salim (2004) quanto Roriz (2002) desenvolveram SSDs em linguagem de programação Delphi 5 e demonstraram a visualização dos resultados por meio de tabelas e gráficos. Roriz (2002) e Salim (2004) concluíram que o uso dessas ferramentas permite ao analista avaliação de resultados de forma rápida e interativa.

Rodrigues e Porto (2003) propuseram uma interface amigável para o modelo QUAL2E que auxilia o usuário no processo de inserção de dados e fornece uma saída gráfica amigável. Esta interface foi utilizada para subsidiar o desenvolvimento de um SSD. Na concepção do SSD foi empregada a linguagem de programação Visual Basic 6.0. Esses autores concluíram a importância de desenvolvimento de interfaces mais amigáveis para o uso de modelos matemáticos de forma a tornarem-se ferramentas de auxílio e planejamento no processo de gestão de recursos hídricos.

Chapra e Pelletier (2003) apresentaram o modelo QUAL2K, que é uma versão melhorada do QUAL2E e que utiliza o Microsoft Excel (Windows) para a interface gráfica do software. Von Sperling (2007), por sua vez, desenvolveu o QUAL-UFMG, programa que também utiliza o Microsoft Excel (Windows) e que também teve como base o modelo de qualidade de águas QUAL2E. Segundo o autor, as planilhas do QUAL-UFMG tornam possível simulações simples e rápidas, até mesmo para usuários que desconheçam a utilização do QUAL2E.

3 - MODELO QUAL2E

O QUAL2E é um modelo de qualidade de águas já consolidado e com confiabilidade, com ampla utilização em estudos que abordam qualidade de água em rios de vários países (Chaudhury *et al* (1997); Roriz (2002); Rodrigues e Porto (2003); Salim (2004); Salvetti *et al* (2006), von Sperling (2007) e Mendonça *et al* (2007)).

3.1 - Descrição do modelo QUAL2E

A seguir, são descritos aspectos de maior relevância extraídos do manual do modelo desenvolvido QUAL2E The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual, elaborado por Brown e Barnwell (1987), e de Chapra (1997).

O QUAL2E é um modelo de qualidade de águas superficiais que permite a simulação de forma espacial de até 15 parâmetros associados à qualidade das águas: 1 - Oxigênio dissolvido

(OD); 2 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO); 3 - Temperatura; 4 - Concentração de biomassa algal (Clorofila a); 5 - Nitrogênio orgânico; 6 - Amônia; 7 - Nitrito; 8 - Nitrato; 9 - Fósforo Orgânico; 10 - Fósforo inorgânico dissolvido; 11 - Coliformes; 12 - Parâmetro não conservativo arbitrário e três parâmetros conservativos arbitrários.

O modelo é aplicável para rios ramificados e bem misturados. Utiliza uma solução de diferenças finitas para a equação de transporte de massa unidimensional do tipo advecção-dispersão, ou seja, considera os mecanismos de transporte apenas ao longo da direção principal do escoamento, o que simplifica o sistema para uma dimensão. Permite a incorporação de múltiplos pontos de descargas pontuais, captações, contribuições de tributários e vazões incrementais que podem ser relacionadas com fontes difusas. Hidraulicamente, limita-se à simulação em períodos de tempo onde são constantes as vazões ao longo do curso d'água, bem como as entradas e retiradas. Com esse modelo pode-se trabalhar em regime permanente (estado estacionário) ou não permanente (estado dinâmico). Na primeira opção, ele pode ser usado para avaliar os impactos provenientes de fontes poluidoras contínuas sobre a qualidade da água, tanto para fontes pontuais, como conjuntamente com um modelo de quantificação de poluição difusa, na avaliação das fontes não pontuais. A segunda modalidade permite a simulação dos efeitos das variações das condições meteorológicas sobre qualidade das águas.

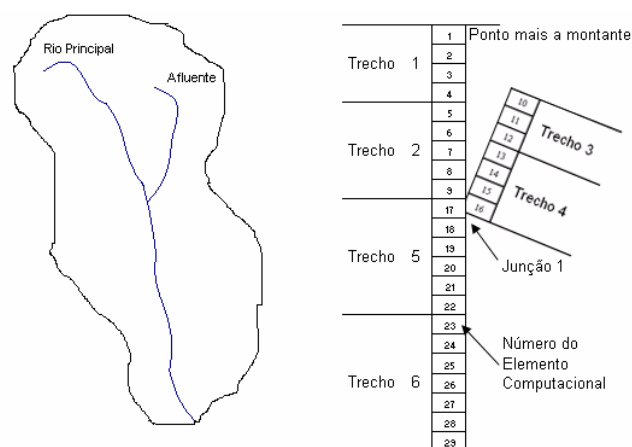


Figura 1-Esquema de divisão do Curso D'água

Fonte: Adaptada de Brown e Barnwell (1987).

A representação conceitual do QUAL2E envolve a representação esquemática de um modelo gráfico para um sistema hídrico unidimensional ramificado. O curso d'água em estudo é segmentado em trechos com características hidráulicas semelhantes, que por sua vez são subdivididos em elementos computacionais de igual comprimento, com as mesmas características hidrogeométricas e constantes físicas, químicas e biológicas. Todos os trechos devem conter um número inteiro de elementos computacionais, como mostrado na figura 1.

O QUAL2E permite até sete tipos de elementos computacionais, sendo que cada elemento pode ter uma única designação, dados por: 1 - Elemento de cabeceira (primeiro elemento do curso d'água e também dos tributários); 2 - Elemento padrão (inclui-se nessa classe todos os elementos que não se enquadram em nenhum dos outros tipos); 3 - Elemento anterior a uma junção (identifica o último elemento do curso principal antes de um tributário); 4 - Elemento de junção (elemento do curso principal que recebe entrada de um tributário); 5 - Elemento final (identifica o último elemento do sistema a ser considerado na simulação); 6 - Entrada de efluentes (elemento que recebe afluentes e/ou tributários não simulados); 7 - Captação (elementos onde ocorrem captações).

4 - INTERFACE QUAL-RIO

Neste estudo, buscou-se desenvolver uma interface mais amigável para o modelo QUAL2E, que considerasse os seguintes aspectos: cuidados citados por Azevedo et al (2003) na elaboração de uma interface; comunicação que deve existir entre usuário e computador na sua execução, enfatizados Porto e Azevedo (1997) e apresentação de resultados em formato de fácil interpretação, conforme mencionado por Braga et al (1998).

A idéia para desenvolvimento da interface QUAL-RIO surgiu na elaboração do projeto para desenvolvimento do Sistema de Suporte a Decisão Para Outorga de Lançamento e Captação de Efluentes Pontuais em Rios. Ela teve como base a interface AQUAL2E utilizada pelo modelo QUAL2E de Brown e Barnwell (1987), desenvolvido em linguagem de programação ANSI FORTRAN 77.

A interface QUAL-RIO foi desenvolvida em linguagem Visual Basic 6.0, composta por três telas. A primeira possui seis formulários, para entrada de dados relativos ao modelo QUAL2E e substitui a interface (AQUAL2E). A segunda tela possui um único formulário para cadastramento dos dados da nova fonte a ser simulada. A terceira tela é composta por dois formulários principais e oito formulários gráficos, para apresentação dos resultados das simulações.

Como no modelo de qualidade de águas QUAL2E, a interface QUAL-RIO possui a limitação de que cada elemento computacional só pode representar um tipo de elemento, a simulação da nova fonte será realizada em todos os elementos que forem do tipo “Padrão (2)”, não sendo feita nos outros elementos do tipo: cabeceira; junção; elemento anterior a junção; captação; lançamento e elemento final.

A seguir, é apresentada uma descrição detalhada do funcionamento da interface QUAL-RIO.

4.1 - Entrada de dados

A interface QUAL-RIO, apresenta tela de “Cadastro de Informações” (Figura 2), composta por seis formulários, que são: Entrada Principal; Qualidade e Temperatura; Dados Climáticos e

Geográficos; Condição Inicial, Fluxo Incremental e Dados de Cabeceira; Constante de Reação e Coeficientes; Cargas de Lançamentos, Captações e Dados Hidráulicos.

Esses seis formulários substituem a entrada de dados feita pelo AQUAL2E no módulo original QUAL2E e permitem maior interatividade entre usuário e modelo.

Para o desenvolvimento da interface, algumas simplificações foram consideradas, relacionadas com a simulação com o modelo QUAL2E. A interface QUAL-RIO não simula a variável “alga” e a variável temperatura só é simulada no estado estacionário. Por esse motivo, tais variáveis não são apresentadas no módulo de interface com o usuário.

Figura 2-Formulário para entrada de dados

4.1.1-Entrada de dados Principal

Após inicialização da interface QUAL-RIO, o formulário de entrada de dados fica disponível (Figura 2). No caso de uma nova simulação, o QUAL-RIO requer a entrada de uma série de informações, tais como: nome da bacia que será simulada; nome do rio principal; número de trechos nos quais o rio será dividido e comprimentos dos elementos.

Após a inserção dos dados citados anteriormente, é realizada a validação desses pelo QUAL-RIO, que é informado por meio de uma caixa de mensagem. Com a validação realizada, as grades “Trechos” e “Elementos Computacionais” são automaticamente divididas de acordo com o número de trechos definido pelo usuário. A interface solicita então, a entrada de dados relativos aos comprimentos dos trechos que comporão o rio principal e seus afluentes na grade “Trechos”:

O preenchimento da grade “Trechos” necessita atender certos pré-requisitos, alguns deles inerentes às limitações do modelo QUAL2E:

1. Trecho 01 será sempre a cabeceira do rio principal.
2. O valor da cota de distância “Início” deve ser maior do que a cota do “Fim”.
3. O valor da distância entre o “Início” e o “Fim” deve ser um múltiplo do comprimento do elemento.
4. O valor da distância entre o início e o fim dividido pelo comprimento do elemento deve ser igual ou menor que 20.
5. Para um trecho ser considerado como a continuidade do outro, o valor da cota final do trecho anterior deve ser igual ao valor da sua cota inicial.
6. Para iniciar um tributário (afluente) ao rio, deve-se digitar o valor da cota inicial diferente da cota final do último trecho digitado. Caso contrário, ocorrerá a condição citada anteriormente (5). Após a digitação da cota inicial, uma mensagem solicitará confirmação da manutenção de um nome de cabeceira sugerido pelo sistema ou a digitação de outro nome.
7. Se um tributário estiver iniciado e o usuário quiser que o mesmo possua mais de um trecho, é só respeitar a condição (5)
8. A distância “Fim” do último trecho de um tributário deve ter ser menor que o valor “Início” e maior que o valor “Fim” do elemento de junção do rio principal, onde será inserido o tributário.
9. Para retornar ao trecho principal basta iniciá-lo com o valor digitado relativo ao “Fim” do último trecho do rio principal.
10. O último trecho digitado deve ser referente ao rio principal.

Todas essas condições são validadas à medida que é feita a digitação, caso ocorra alguma digitação que não atenda aos pré-requisitos estabelecidos, uma caixa de mensagem é aberta, avisando ao usuário da não conformidade da operação realizada, figura 3 (A e B). Após a digitação do último trecho, uma mensagem é enviada ao usuário pelo programa, questionando se ele deseja concluir a digitação dos trechos, figura 3 (C). Caso afirmativo é ativado o botão “Calcula Elementos”.



Figura 3-Exemplos de mensagens enviadas ao usuário pelo sistema

Ao se clicar no botão “Calcula Elementos”, o QUAL-RIO calcula o número de elementos por trecho e preenche essa grade com os respectivos elementos, que podem apresentar as seguintes designações:

1. “Elemento de cabeceira” Primeiro elemento do trecho inicial de rio ou tributário.
2. “Elemento Padrão” (incluem-se nessa classe todos os elemento que não se enquadram em qualquer dos outros tipos)
3. “Elemento anterior a uma junção” (identifica o último elemento do curso principal antes de um tributário)
4. “Elemento de junção” (elemento do curso principal que recebe entrada de um tributário)
5. “Elemento final” (identifica o último elemento do sistema a ser considerado na simulação)
6. “Entrada de efluentes” (elemento que recebe afluentes e/ou tributários não simulados)
7. “Captação” (elemento onde ocorre captação).

Ao clicar no botão “Calcula Elemento”, essa rotina já posiciona os elementos de: cabeceira; anterior a uma junção; elemento de junção e elemento final, na grade, e esses não poderão ser alterados posteriormente pelo usuário. Pelo fato de já terem sido definidos de acordo com o preenchimento feito na grade “Trechos” e, assim, calculados automaticamente pelo programa. Cada elemento da grade “Elementos Computacionais” pode apresentar uma única designação.

Com a grade “Elementos Computacionais” ativa, após clicar no botão “Calcula Elemento”, o usuário passa a inserir as fontes de lançamento e captações. Para tanto, basta que o usuário clique no “elemento padrão (2)”, onde irá inserir a fonte. Uma barra de rolagem se abrirá (figura 1), com

as opções dos tipos de elementos que estão disponíveis para alteração, “(2) Padrão”; “(6) Lançamento” e “(7) Captação”. Depois de inseridas todas as captações e lançamentos, o usuário clica no botão “Calcula Lan/Cap” e a grade “Lançamento e Captação” será ativada para inserção dos respectivos nomes dessas fontes, ver figura 2.

Com esses dados inseridos, o controle dos demais formulários ficam disponíveis para a entrada de dados.

4.1.2-Qualidade e Temperatura

No formulário qualidade e temperatura (Figura 4) são definidas quais variáveis serão consideradas para a simulação da bacia hidrográfica, e o usuário deve marcar as opções que serão simuladas. As variáveis presentes, para simulação, são: OD; DBO; Fósforo; Coliforme fecal; Temperatura (simulação estática); Nitrogênio; 03 variáveis conservativas e 01 Variável não conservativa. Esse formulário possui ainda a opção de converter os dados de saída de DBO5 para DBO última.

Figura 4-Formulário “Qualidade e Temperatura”

Caso o usuário queira alterar o valor “default” do fator de correção de temperatura, é feita uma verificação e enviada uma mensagem informando se o mesmo quer fazer a alteração do fator de correção de temperatura, figura 2 (D), e qual o valor limite para a variável. Na tabela 1 são apresentados esses valores limites, bem como o valor “default” adotado para cada variável.

No que diz respeito à cinética global, o valor limite para consumo de OD pela oxidação da amônia está entre 3 a 3,5 (mg O/mg N) , sendo seu valor “default” de 3,43 (mg O/mg N). Já para o

consumo de OD, pela oxidação do nitrito, esse valor fica entre 1 e 1,2 (mg O/mg N) e seu valor default é de 1,14 (mg O/mg N). O coeficiente de inibição da nitrificação está entre os valores limites de 0 a 10, com valor “default” 10. O coeficiente de conversão de DBO5 para DBOu possui o valor “default” 0,23. Todos esses valores “default” são carregados automaticamente pelo modelo.

Tabela 1-Valores limites para os coeficientes para OD, DBO, nitrogênio, fósforo, coliforme fecal e variável não conservativa em rios.

Coeficientes	Descrição	Unidade	Limites aceito	Valor "Default"	Coeficiente de temperatura θ (adimensional)	
					Limites aceito	Valor "Default"
OD	Taxa de OD do sedimento	g/m ² -dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.060
	Coeficiente de reaeração	-	0 a 100	1	1 a 1,1	1.024
	Tipo de reaeração	-	1 a 8	0	-	-
	Coeficiente (a) para opção 07	-	Variável	0	-	-
	Coeficiente (b) para opção 07	-	Variável	0	-	-
	Coeficiente "c" de Tsivoglou e Wallace para opção 08	1/m	Variável	0	-	-
	Declividade para opção 08	m/m	0 - 1	0	-	-
DBO	Decaimento	1/dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.047
	Sedimentação	1/dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.024
Nitrogênio	Hidrólise do nitrogênio orgânico	1/dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.047
	Sedimentação do nitrogênio orgânico	1/dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.024
	Oxidação da amônia	1/dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.083
	Taxa liberação da amônia do sedimento de fundo	mg/m ² -dia	Variável	0	1 a 1,1	1.074
	Oxidação do nitrito	1/dia	0 a 10	2	1 a 1,1	1.047
Fósforo	Decaimento do fósforo orgânico	1/dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.047
	Sedimentação do fósforo orgânico	1/dia	Variável	0	1 a 1,1	1.024
	Taxa liberação do fósforo dissolvido do Sedimento	mg/m ² -dia	Variável	0	1 a 1,1	1.000
Não Conservativo	Decaimento da variável não conservativa	1/dia	Variável	0	1 a 1,1	1.000
	Sedimentação da variável não conservativa	1/dia	Variável	0	1 a 1,1	1.024
	Taxa liberação da variável não conservativa do Sedimento	mg/m ² -dia	Variável	0	1 a 1,1	1.000
Coliforme Fecal	Decaimento do coliforme	1/dia	0 a 10	0	1 a 1,1	1.047

4.1.3- Dados Climáticos e Geográficos

A figura 5 apresenta formulário que é composto pelos dados geográficos e climatológicos da bacia simulada.

O formulário relativo a dados geográficos tem como entrada os seguintes campos: latitude; longitude; meridiano padrão (graus); elevação da bacia (m); coeficiente de atenuação de poeira, coeficiente de evaporação, data e hora. Para dados climatológicos são consideradas as seguintes entradas: temperatura bulbo seco; temperatura bulbo úmido, nebulosidade, pressão barométrica (mbar) e velocidade do vento (m/s).

A tabela 2 apresenta os valores limites e “default” do formulário “Dados Climatológicos e Geográficos”, bem como as unidades utilizadas para cada variável.

Figura 5-Formulário “Dados Climáticos e Geográficos”

Tabela 2-Dados entrada - variáveis geográficas e climatológicas

Dados	Descrição	Unidade	Valor "Default"	Limites
Geograficas	Latitude	Graus	0	0 a 90
	Longitude	Graus	1	0 a 180
	Meridiano padrão	Graus	75	0 a 180
	Elevação da Bacia	m	800	-120 a 3650
	Coeficiente atenuação de poeira	-	0.06	0,01 a 0,15
	Coeficiente de evaporação AE	(m/hr)/mbar	0.000094	0,000005 a 0,000062
	Coeficiente de evaporação BE	(m/hr)/mbar-m/s	0.000032	0,0000032 a 0,0000055
Climatologicas	Temperatura bulbo seco	°C	15	1 a 38
	Temperatura bulbo úmido	°C	15	1 a 38
	Nebulosidade	-	0	0 a 1
	Pressão barométrica	mbar	1017	900 a 1100
	Velocidade do vento	m/s	0	0 a 36

4.14- Condição inicial, Fluxo Incremental e Dados de Cabeceira

Esse formulário possui três grades (figura 6). A primeira trata das condições iniciais do rio, estando presentes todas as variáveis selecionadas no formulário Qualidade e Temperatura: OD; DBO; Cons 1; Cons 2; Cons 3; Não conser.; Coliforme (n./ml), N-org (mg/l), Amônia (mg/l), Nitrito (mg/l), Nitrato (mg/l), P-Org. (mg/) e P-Dis. (mg/), que representam as condições do rio antes do recebimento de cargas de lançamento. As variáveis não selecionadas ficam ocultas.

A tabela 3 apresenta os valores limites e “default” do formulário “Condições iniciais, Fluxo Incremental e Dados de Cabeceira” das variáveis.

QUAL- RIO - Cadastro de Informações - Versão 1.0

Arquivo Créditos

Entrada Principal Qualidade e Temperatura Dados Climáticos e Geográficos

Cond. Inicial, Fluxo Incr. e Dados Cab. Const. de Reação e Coef. Cargas Lanc./ Cap. e Dados Hidráulicos

Condição Inicial

Trecho	Temperatura(°C)	OD (mg/l)	DBO(mg/l)	N-org.(mg/l)	Amônia(mg/l)	Nitrato(mg/l)	Nitrato(mg/l)	P - Org.(mg/l)	P - C
1	21	7.1	2	1	1	0	0	0	0
2	21	7.1	2	1	1	0	0	0	0
3	21	7.1	2	1	1	0	0	0	0
4	21	7.1	2	1	1	0	0	0	0
5	21	7.1	2	1	1	0	0	0	0
6	21	7.1	2	1	1	0	0	0	0

Fluxo Incremental

Trecho	Vazão(m³/s)	Temperatura(°C)	OD (mg/l)	DBO(mg/l)	N-org.(mg/l)	Amônia(mg/l)	Nitrato(mg/l)	Nitrato(mg/l)	P - Org
1	0.130	21	7.5	2	1	1	0	0	0.01
2	0.195	21	7.5	2	1	1	0	0	0.01
3	0.052	21	7.5	2	1	1	0	0	0.01
4	0.052	21	7.5	2	1	1	0	0	0.01
5	0.078	21	7.5	2	1	1	0	0	0.01
6	0.052	21	7.5	2	1	1	0	0	0.01

Dados de Cabeceira:

Trecho	Nome Cabeceira	Vazão(m³/s)	Temperatura(°C)	OD (mg/l)	DBO(mg/l)	N-org.(mg/l)	Amônia(mg/l)	Nitrato(mg/l)	Nitr
1	Cab. Principal	1.26	21	7.1	2	1	1	0	0
3	Cab. Tributário	0.75	21	7	2	1	1	0	0

Figura 6-Formulário “Condição inicial, Fluxo Incremental e Dados de Cabeceira”

Tabela 3-Dados entrada relativos a condições iniciais, fluxo incremental e dados de cabeceira

Descrição Variável	Unidade	Valor "Default"	Limites
Temperatura	°C	21	2 a 55
OD	mg/l	0	0 a 15
DBO	mg/l	0	0 a 1000
Vazão	m³/s	-	-999 a 999
Coliforme fecal	Número/100ml	0	variável
Conservativo 1, Conservativo 2, Conservativo 3 e Não conservativo.	Definida pelo usuário	0	variável
Notas: As demais variáveis: nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico fósforo dissolvido possuem valores limites maior e igual a zero e unidade em mg/L.			

4.1.5-Constantes de Reação e Coeficientes

Na primeira grade desse formulário são inseridos dados referentes às variáveis OD e DBO (figura 7). Os dados de entrada relativos ao parâmetro DBO são: coeficiente de decaimento e coeficiente de sedimentação. Para a variável OD são utilizados os seguintes dados: taxa de OD do sedimento (demanda bentônica); tipo de reaeração; coeficiente de reaeração, coeficiente K2 (a) ou Coeficiente TSIVOGLOU e WALLANCE.TSIV e Expoente K2 (b) ou Declividade.

O tipo de reaeração a ser considerado pelo sistema pode ser escolhido por meio de coeficientes já estabelecidos, conforme tabela 4. Essas opções são referentes às equações utilizadas

pelo modelo QUAL2E. Outra alternativa é a escolha dos valores pelo usuário da interface.

Figura 7-Formulário “Constantes de Reação e Coeficientes”

Tabela 4-Equações para estimativa do coeficiente de reaeração (base e, 20°C)

Opção	Autores	Equação no SI
2	Churchil et. Al (1962)	$5,03 \frac{U^{0,969}}{H^{1,673}}$
3	O'Connor e Dobbins (1958)	$3,93 \frac{U^{0,5}}{H^{1,5}}$
4	Owens et. Al (1964)	$5,34 \frac{U^{0,67}}{H^{1,85}}$
5	Trackston e Krenkel (1966)	$\frac{24,9(1 + F^{0,5})u}{H}$
6	Langbein e Durum (1967)	$5,14 \frac{U}{H^{1,33}}$
8	Tsivoglou e Wallance(1972)	86400.c.S.U
U = velocidade média no trecho, (m/s); Q = vazão, (m³/s); c = coeficiente de descarga (1/m). Para vazões entre 0,42 m³/s a 84,96 m³/s, => c = 0,177 m-1;		H = altura da lamina d'água no trecho, (m); S= declividade no trecho; F = numero de Froude (adimensional); u = velocidade de cisalhamento, (m/s).

Fonte: Siqueira e Cunha (1997)

Para a opção 7 ou 8, a interface requer o preenchimento das as colunas "Coef.K2 (a) ou Coef.TSIV (1/m)" e "Exp.K2 (b) ou Declividade (m/m)". Pela opção 7, os dados são relativos às

constantes empíricas obtidas com o método de ajuste que utiliza a equação 1: coeficiente (a) e expoente (b). Pela opção 8, os dados são relativos ao coeficiente “c”, da fórmula de TSIVOGLU e WALLANCE, e a declividade do canal, de acordo com a tabela 4.

$$K_2 = a.Q^b \quad (1)$$

Onde, Q é a vazão do curso de água; a e b são os coeficientes de ajuste linear e exponencial, respectivamente.

Na segunda grade, “Coeficientes N e P”, é requerida a inserção dos dados referentes aos coeficientes de nitrogênio e fósforo: hidrólise do nitrogênio orgânico, sedimentação do nitrogênio orgânico, oxidação da amônia (NH₃), taxa liberação da amônia do sedimento, oxidação do nitrito, decaimento do fósforo orgânico, sedimentação do fósforo orgânico, taxa de liberação do fósforo dissolvido do sedimento.

Na terceira grade, “Coeficientes Coliformes e Variável Não Conservativa”, são inseridos coeficientes relativos a estas variáveis: decaimento do parâmetro coliforme, decaimento da variável não conservativa, sedimentação da variável não conservativa e taxa de liberação da variável não conservativa.

A tabela 1 apresenta coeficientes relativos a OD, DBO, nitrogênio, fósforo, coliforme fecal, variável não conservativa e temperatura θ .

4.1.6- Cargas de lançamentos, Captações e Dados Hidráulicos

Esse formulário (figura 8) possui duas grades, uma relativa à entrada de dados das fontes de lançamento e captações cadastradas no formulário “Entrada de Dados” e a outra relativa a entrada dos dados hidráulicos para cada trecho. Para entrada de dados da grade “Cargas e Lançamentos” são incluídas as seguintes variáveis: Tratamento; Vazão; Temperatura; OD; DBO; Cons.-1, Cons.-2, Cons.-3, Não Cons., Coliformes, N-org (mg/l), Amônia (mg/l), Nitrito (mg/l), Nitrato (mg/l), P- Org. (mg/l) e P-Dis. (mg/l). Apareceram nesta grade as variáveis que foram selecionadas para simulação no formulário “Qualidade e Temperatura”.

A segunda grade é referente aos dados hidráulicos. No formulário “Entrada de Dados”, a interface permite a opção relativa à consideração da forma geométrica das seções transversais de. Caso a opção indicada seja considerar as seções trapezoidais, os dados de entrada serão: Constante de Dispersão; Declividade do Talude 1 (m/m); Declividade do Talude 2 (m/m); Largura (m); Declividade longitudinal (m/m); Coeficiente de Manning. Caso contrário, a simulação será realizada considerando a vazão, sendo as características hidráulicas determinadas utilizando-se os coeficientes de descargas, conforme equações 2, 3 e 4. Os dados de entrada para essa opção são:

Constante de Dispersão; Vel. (coef.Q); Vel (Exp.Q); Prof. (coef. Q); Prof. (exp. Q); Coeficiente de Manning.

$$\bar{u} = aQ^b \quad (2)$$

$$A = \frac{Q}{u} \quad (3)$$

$$d = \alpha Q^\beta \quad (4)$$

Onde, Q = vazão, (m³/s), $\bar{u}$ = velocidade média, (m/s), d = profundidade média do curso d'água, (m), A = área da seção transversal, (m²); a, b, α e β = constantes empíricas, (podem ser determinadas por curvas de regressão que relacionam vazão e cota, ou seja, curvas chave)

Após a entrada de dados nos 06 formulários e validação, a interface requer a entrada de dados relativos ao efluente cujo lançamento no curso d'água esteja sendo analisado.

Trecho	Nº. do Elemento	Tipo	Nome	Tratamento(%)	Vazão(m³/s)	Temperatura(°C)	OD(mg/l)	DBO(mg/l)	Cons-1
1	3	Lançamento	Esgoto Bruto 1	80	0.114	25	0	341	0
3	2	Lançamento	Esgoto Bruto 2	80	0.04	25	0	300	0

Trecho	Constante Dispersão	Lado 1 (m/m)	Lado 2 (m/m)	Largura (m)	Decliv. (m/m)	N. Manning
1	6	1.5	1.5	12	0.001	0.025
2	6	1.5	1.5	12	0.001	0.025
3	6	1.5	1.5	8	0.001	0.025
4	6	1.5	1.5	8	0.001	0.025
5	6	1.5	1.5	12	0.001	0.025
6	6	1.5	1.5	12	0.001	0.025
7	6	1.5	1.5	12	0.001	0.025
8	6	1.5	1.5	12	0.001	0.025

Figura 8-Formulário “cargas de lançamentos e captações e dados hidráulicos”

4.2 - Entrada de dados relativos à fonte (efluente) a ser simulada

Nesta tela (figura 9) a interface permite o cadastramento do efluente cujo lançamento está sendo avaliado, por meio das seguintes informações: Tipo de Fonte; Nome; Eficiência Tratamento; Temperatura; Vazão; OD; DBO; Cons1; Cons2; Cons3; NCons; Coliformes; Norg; Amônia; Nitrito; Nitrato; Porg e Pdis. A interface disponibiliza células para entrada de variáveis habilitadas no formulário de entrada “Qualidade e temperatura”.

Figura 9-Tela “fonte a ser simulada”

4.3 - Saída de dados

A tela da interface relativa à apresentação de resultados é composta por uma grade e dois formulários. Na grade, denominada “Elementos simulados”, aparecem os trechos e elementos discretizados através da tela de entrada. Ela permite a escolha, com o uso de “mouse”, com um simples clique em qualquer elemento, a apresentação de gráficos e tabelas mostrando os parâmetros simulados ao longo dos cursos d’água, correspondentes ao lançamento do efluente considerado no elemento escolhido. Desta forma, a interface permite, através do clique em um elemento da grade “Elementos simulados”, a ativação dos formulários “qualidade de água” e “parâmetros hidráulicos”. Os elementos da grade “elementos simulados” apresentando notação NS correspondem àqueles nos quais não é permitido lançamento, devido às limitações inerentes à operação do modelo QUAL2E.

Nos formulários “qualidade de água” e “parâmetros hidráulicos” são apresentados diversos gráficos e uma grade, mostrando os valores simulados (Figuras 10 e 11), ou seja, os valores dos resultados correspondentes ao lançamento considerado. Na grade, o local onde foi alocado o novo lançamento é identificado por um marcador (>>), sendo que a linha correspondente ao local de lançamento fica em destaque, aparecendo, em cima da grade do lado esquerdo, o trecho e o elemento escolhido. Esses dados podem ser exportados para o Microsoft Excel, por meio de um botão localizado acima da grade elementos simulados.

Abaixo da grade aparecem formulários gráficos, os quais apresentam os resultados simulados, por meio de gráficos correspondentes aos parâmetros de qualidade de água do corpo receptor.

4.3.1- Formulário “qualidade de água”

Nesse formulário (Figura 10), são apresentados os parâmetros: OD; DBO; fósforo (P-orgânico, P-dissolvido, P-total), nitrogênio (N-orgânico, amônia, nitrito, nitrato, N-total) ; Coliforme fecal; Temperatura (simulação estática); 03 variáveis conservativa e 01 Variável não conservativa. Os parâmetros que são mostrados no formulário “qualidade de água” são aqueles selecionados no formulário “qualidade e temperatura”.

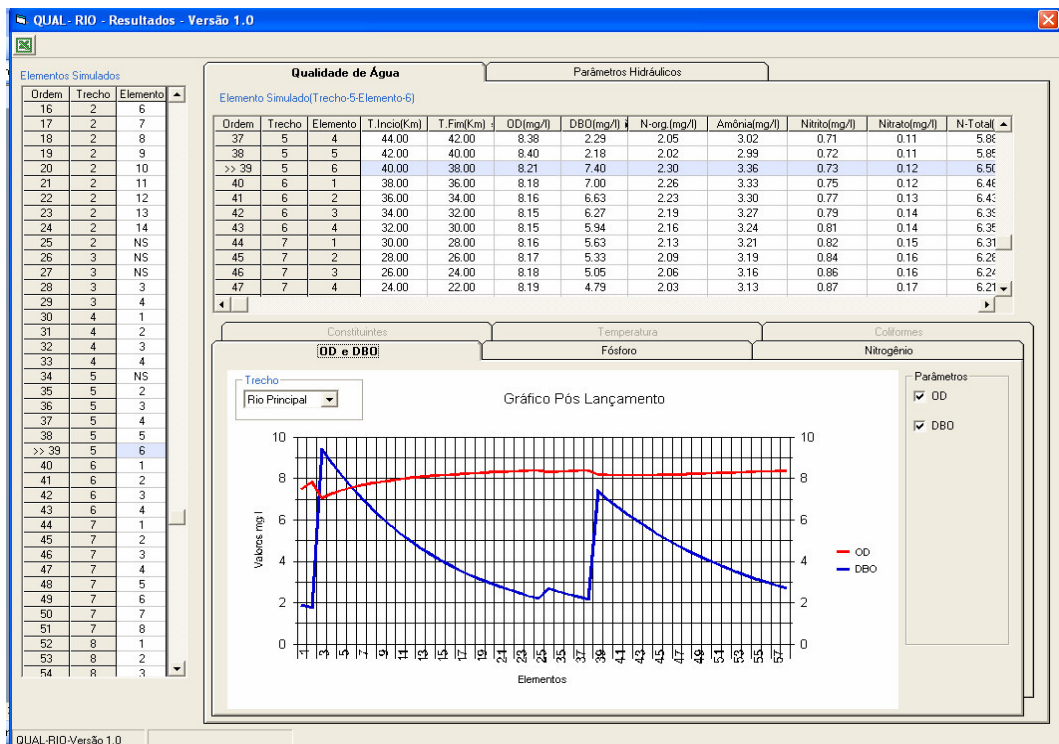


Figura 10-Formulário relativo aos resultados de simulações de qualidade de água

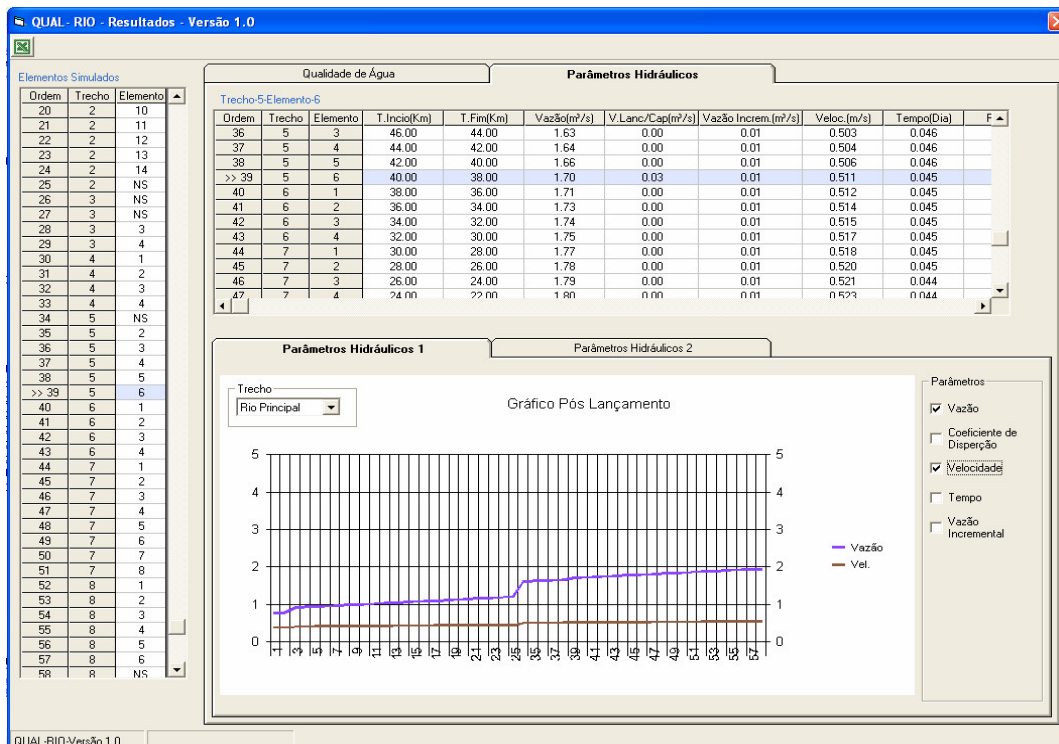


Figura 11-Formulário relativo aos parâmetros hidráulicos

4.3.1-Formulário parâmetros hidráulicos.

Esse formulário disponibiliza os dados hidráulicos relativos ao rio, considerando o lançamento analisado. A figura 11 apresenta exemplo desse formulário, apresentando as seguintes variáveis:

vazão, fluxo incremental, velocidade, tempo, profundidade, largura volume, área do leito, área seção transversal, coeficiente de dispersão.

Os parâmetros hidráulicos podem ser visualizados em dois formulários gráficos: “Parâmetros hidráulicos 1” (vazão, velocidade, coeficiente de dispersão, tempo e vazão incremental) e “Parâmetros hidráulicos 2” (volume, largura, profundidade, área do leito e área seção transversal)

5 - DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O Sistema de Suporte a Decisão para Outorga de Lançamento e Captação de Efluentes Pontuais em Rios, que utiliza a interface QUAL-RIO, apresentada neste artigo, está sendo concebido considerando a existência de base de dados, base de modelo e um módulo de diálogo.

O SSD visa subsidiar a escolha do melhor local, ao longo de cursos d’água, para lançamento de um determinado efluente. Os valores dos resultados simulados para cada lançamento, com o uso da interface QUAL-RIO, serão armazenados na base de dados e, em seguida, o SSD fará a comparação dos resultados com os valores limites estabelecidos para cada trecho, de acordo com a resolução CONAMA 357/07 ou pelo usuário. Uma tabela disponibilizará os resultados, indicando os possíveis locais para lançamento previsto, para os quais não ocorreriam violações dos limites fixados.

O SSD em desenvolvimento terá um módulo de controle de fontes pontuais. Esse módulo possibilitará a alteração de parâmetros de qualidade dos efluentes simulados, de forma automática, até que os parâmetros do corpo receptor atendam aos limites, em todos os seus trechos.

Desta forma, o sistema em desenvolvimento está sendo desenvolvido de forma a subsidiar o processo de tomada de decisão para escolha do melhor local para implantação e na análise de solicitação de outorga de um novo lançamento de efluentes, considerando os aspectos qualitativos e quantitativos do corpo receptor, em consonância com a legislação vigente, incluindo a Lei 9.433/97 e as resoluções CONAMA nº357/05 e 274/200 e CNRH nº. 16).

6 - CONCLUSÃO

A interface desenvolvida permite boa comunicação com usuário, tanto com relação à entrada de dados como à verificação dos resultados simulados pelo modelo QUAL2E. Mostrou-se como uma alternativa versátil e eficiente, pois possibilita ao usuário visualização imediata dos resultados obtidos nas simulações realizadas.

A interface QUAL-RIO disponibiliza valores simulados em grades e gráficos que apresentam fácil visualização, nos quais o usuário pode verificar os valores os resultados obtidos antes e depois

do lançamento da nova fonte considerada. Esses gráficos podem ser visualizados para o rio principal, afluente ou trechos específicos. Outra facilidade alcançada pela interface desenvolvida é a possibilidade da escolha das variáveis que serão visualizadas, facilitando a análise individualizada.

Com os resultados disponibilizados pelo SSD (em desenvolvimento), o gestor poderá, em uma única rodada do sistema, verificar em quais trechos dos cursos de água seria possível alocar novo lançamento de efluentes, sem comprometimento dos padrões de qualidade de água estabelecidos para o corpo receptor, possibilitando ao gestor uma visão geral do corpo de água. Desta forma, o decisor poderá escolher, dentre os diversos cenários simulados, a melhor alternativa para localização da nova fonte pontual a ser outorgada.

O módulo controle de fontes do SSD (também em desenvolvimento) mostra-se como uma alternativa para gestão, não só relativa à nova fonte a ser implantada, mas também às fontes existentes, pois permite aos usuários avaliação das diferentes alternativas de gestão para os diferentes cenários, de forma rápida e interativa. O sistema não apenas permitirá a definição do melhor local para a outorga, mas também auxiliará na avaliação das condições qualitativas dos corpos de água, considerando as fontes existentes, permitindo ao gestor maior flexibilidade na gestão dos recursos hídricos.

De uma forma geral o SSD, em desenvolvimento, facilitará a análise de solicitações de outorga de lançamento de efluentes ao permitir visão global e rápida de aspectos relacionados com a qualidade de água dos corpos receptores, por meio de grande variedade de cenários simulados.

BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, L.G.T. *et al.* (2003). *Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil*. In Série Água Brasil. Org. por AZEVEDO, L. G. T e MEJIA, A. Banco Mundial, Brasília, 48p.
- BRAGA, B.; BARBOSA, P.S.F.; NAKAYAMA, P.T. (1998). “*Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.3, n.3, pp. 73 - 94.
- BROWN, L.C., BARNWELL, Jr. T.O. (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*. Georgia: EPA, 1987, 189p.
- CHAPRA, S.C. (1997). *Surface water-quality modeling*. MacGraw-Hill Colorado- USA, 843p.
- CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. (2003). *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and Users Manual*. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

- CHAUDHURY, R.R. et al. (1998). “*Dissolved oxygen modeling of the Blackstone River (Northeastern United States)*”. Wat. Res. v.32, n.8, pp.2400-2412.
- MENDONÇA, A. S. F.; RORIZ, G. M.; ZORZAL, R. (2007) “*Decision Support System for Analysis of Authorization for Effluent Discharges – Point And Diffuse Sources*”, in 11TH International Conference on Diffuse Pollution - 1st Joint Meeting of the IWA Diffuse Pollution and Urban Drainage Specialist Groups, Belo Horizonte – MG, Ago. 2007. CD Rom.
- PORTO, L.L.R., AZEVEDO, L.G.T., (1997). “*Sistema de Suporte a Decisão Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos*”, in *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*. Org. por PORTO, R.L.L, ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, pp. 42-95
- RODRIGUES, R. B.; PORTO, M. (2003) “*Interface proposta para o modelo QUAL2E (QUAL2R) visando a gestão integrada de recursos hídricos*”, in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos, Paraná-Curitiba, Dez. 2003. CD Rom
- RORIZ, G.M. (2002) *Desenvolvimento de sistema de suporte à decisão em recursos hídricos através da automatização dos modelos QUAL2E E GWLF*. Vitória- ES, 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo.
- SALIM, F.P.C. (2004) *Desenvolvimento de sistema de suporte à Decisão para o Gerenciamento da Qualidade das águas em rios Considerando Múltiplas Fontes*. Dissertação Vitória- ES, 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo.
- SALVETTI, R.; AZZELLINO, A.; VISMARA, R. (2006) “*Diffuse source apportionment of the Po river eutrophying load to the Adriatic sea: Assessment of Lombardy contribution to Po river nutrient load apportionment by means of an integrated modelling approach*”. Chemosphere 65, pp. 2168–2177.
- SIQUEIRA, E. Q.; CUNHA, A. C. (1997) “*O coeficiente de desoxigenação no modelo QUAL2E: metodologia de previsão*” in Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, Paraná, Set. 1997. Anais.
- SOUZA JÚNIOR, W. C. *Gestão das águas no Brasil: Reflexões, diagnósticos e desafios*. IEB Peirópolis-SP, 164 p.
- VON SPERLING, M. (2007). *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. DESA/UFMG Belo Horizonte- MG, 588 p.