

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

INTERFACE GRÁFICA SOB A UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY: A QUALIDADE DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS

GRAPHIC INTERFACE UNDER THE USE OF FUZZY LOGIC: WATER QUALITY IN RESERVOIRS

Paulo Henrique Pereira Borges¹
* Halana Karine Dias dos Santos¹
Camila Santiago Martins Bernardini²
Ingrid Fernandes de Oliveira Alencar¹
Débora Carla Barboza de Sousa¹
Raquel Jucá de Moraes Sales¹

Recibido el 10 de noviembre de 2018; Aceptado el 10 de octubre de 2019

Abstract

The scarcity of rainfall in several Brazilian regions, associated with long periods of drought and high evaporation rates, currently challenges water management models. The mathematical models of water quality are an alternative to improve the control of the management of these resources. Aiming at establishing a computational program that provides model responses, the research aims to develop a graphical interface capable of allowing data entry in the system in a simple and intuitive way, together with graphical tools to quickly analyze the processed data. Methodologically, Fuzzy logic was used for data processing and interface construction, in order to study the water quality in reservoirs. As a result, a quick and objective interface was obtained, combined with the analysis of results by means of graphs. It is concluded that the presented interface has feasibility of implementation, since it gives greater agility, practicality and greater amplitude in the analysis of the obtained results.

Keywords: interface, mathematical model, water quality.

¹ Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Brasil.

¹ Universidade Federal do Ceará (UFC), Brasil.

*Autor Correspondente: Universidade de Fortaleza, Av. Washington Soares, 1321, Salinas, Fortaleza/Ceará. Código Postal: 60811-905. Brasil. Email: halanakarine1@gmail.com

Resumo

A escassez de chuvas em diversas regiões brasileiras, associada a longos períodos de estiagem e altas taxas de evaporação, desafia os modelos de gestão dos recursos hídricos atualmente. Os modelos matemáticos de qualidade de água são uma alternativa para aprimorar o controle da gestão desses recursos. Visando estabelecer um programa computacional que forneça respostas do modelo, a pesquisa objetiva desenvolver uma interface gráfica capaz de permitir a entrada de dados no sistema de modo simples e intuitivo, em conjunto a ferramentas gráficas de análise rápida dos dados processados. Metodologicamente, se utilizou a lógica *Fuzzy* para tratamento dos dados e construção da interface, em prol do estudo da qualidade de água em reservatórios. Como resultado, foi obtida uma interface de uso rápido e objetivo, agregada à análise de resultados por meio de gráficos. Conclui-se que a interface apresentada possui viabilidade de implementação, visto que confere maior agilidade, praticidade e maior amplitude na análise dos resultados obtidos.

Palavras chave: interface, modelagem *fuzzy*, qualidade de água.

Introdução

A ausência de períodos chuvosos regulares sofrida por diversos estados brasileiros impulsiona a necessidade de uma eficiente gestão dos recursos hídricos. A escassez hídrica, além de afetar os níveis dos reservatórios, contribui para o comprometimento da qualidade da água neles armazenada (Amorim *et al.*, 2017; Gastaldini, 2002).

Associado ao quadro de escassez hídrica, as influências das ações antrópicas sobre o meio natural são determinantes para a boa saúde dos recursos hídricos. Segundo Tundisi & Tundisi (2005), ações antrópicas sobre o meio, a citar o desmatamento intenso, o uso excessivo do solo agrícola, a urbanização e a industrialização aceleradas resultam em graves impactos negativos aos recursos hídricos.

Amorim *et al.* (2017) aponta a necessidade crescente de apurar e identificar os fatores influenciadores da qualidade da água, bem como prever os impactos futuros em decorrência de determinados eventos ou condições específicas. Tal demanda visa uma administração dos recursos hídricos mais efetiva, com propostas e/ou alternativas realistas e eficientes para a melhoria das condições de vida (Gastaldini, 2002).

O estudo da qualidade da água tem como suporte científico disponível a utilização de modelos matemáticos. Estes, segundo Bittencourt (2014), tem o intuito de representar de maneira objetiva as condições encontradas na natureza e, posteriormente, auxiliar na definição dos seus usos e na tomada de decisões quanto à manutenção adequada.

Os modelos matemáticos têm se tornado importante instrumento para a construção de bases quantitativas de apoio ao gerenciamento dos recursos hídricos, a partir do uso de ferramentas computacionais para simulação de cenários futuros. Para Silva (2014), a modelagem matemática é

comumente utilizada no planejamento dos recursos hídricos em bacias norte-americanas. Por meio do cálculo da carga máxima total diária (TMDL - *Total Maximum Daily Load*), é estipulada a quantidade máxima de lançamento de um determinado poluente sobre o corpo receptor, em conformidade com as normas ambientais estabelecidas (Larentis, 2004).

A relevância dos modelos matemáticos se dá por serem considerados um dos mais eficazes procedimentos científicos disponíveis nas tomadas de decisões. Ademais, dá suporte à busca por novos métodos que possibilitem a evolução no planejamento e na gestão dos sistemas hídricos (Jesus, 2006; Romero *et al.*, 2003).

Devido a sua complexidade e grande volume de dados a serem manipulados, os programas computacionais demandam o desenvolvimento de uma interface gráfica mais amigável. Ou seja, uma plataforma computacional que promova maior facilidade e praticidade na entrada e posterior análise dos dados inseridos no programa computacional, no sentido de construir gráficos automatizados a partir do cruzamento dos dados já inseridos no programa anteriormente.

Nesse sentido, se faz relevante pensar em suportes computacionais que otimizem o tratamento dos modelos matemáticos voltados à qualidade da água, como forma de obter maior precisão nos dados coletados e avanços nas medidas de contenção dos danos nos corpos hídricos.

Logo, a presente pesquisa objetiva desenvolver uma interface gráfica para dar suporte à entrada de dados de um programa computacional de qualidade de água para reservatórios, a partir da teoria dos conjuntos *Fuzzy*.

Tendo como foco as operações em reservatórios em série, foram associados modelos hidrológicos a modelos de transporte de natureza *Fuzzy*. Dados empíricos coletados anteriormente verificaram como a disponibilidade hídrica e o regime hidrológico podem ser afetados por variações climáticas. A partir dessa verificação, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma interface gráfica com maior eficiência na entrada e análise de dados do programa computacional de análise de risco em sistemas de reservatórios.

Materiais e métodos

O desenvolvimento da interface gráfica adotou uma modelagem computacional, a qual tem como linguagem de programação algorítmica o C#, com o auxílio do programa *Visual Studio*, e que facilita a entrada de dados para a simulação do programa desenvolvido em linguagem FORTRAN. O programa computacional em FORTRAN tem como referência a análise das variáveis de controle do sistema em relação ao risco de contaminação de reservatórios, sob uma função de pertinência

metodológica “fuzzy” (Alencar, 2017). O fluxograma abaixo explicita as etapas envolvidas no processo de simulação computacional do modelo de qualidade da água estabelecido em FORTRAN.

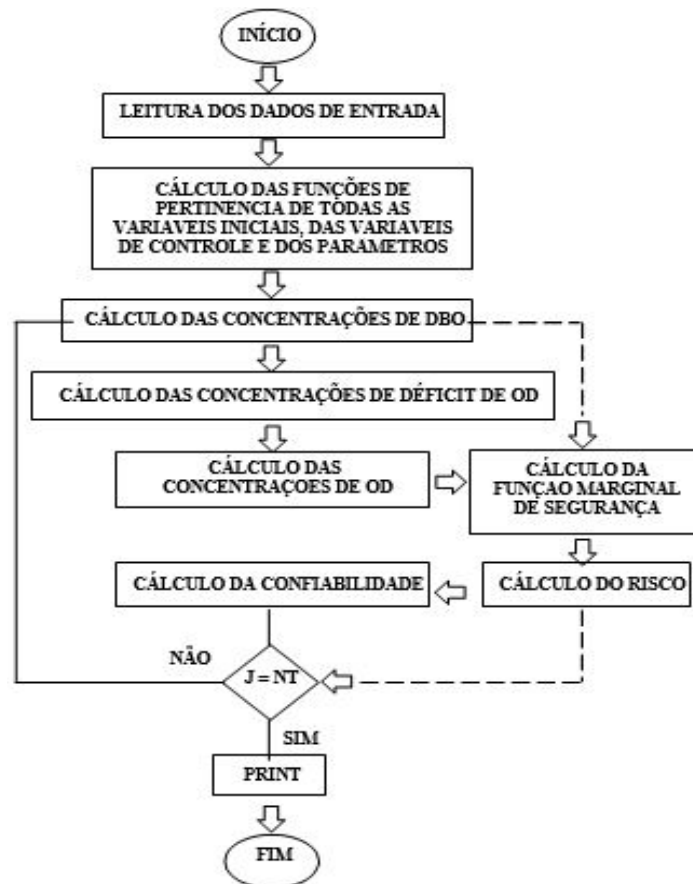


Figura 1. Elaborado por Alencar, 2017.

O programa computacional que embasa a construção da interface gráfica é composto pelas seguintes sub-rotinas: A leitura dos dados de entrada (parâmetros do modelo matemático); o cálculo das Funções de Pertinência das variáveis iniciais dos parâmetros; o cálculo dos parâmetros como variáveis de controle; o cálculo da confiabilidade do modelo; e a impressão dos resultados do modelo.

A partir daí, metodologicamente, a pesquisa se divide em três etapas: a coleta de dados e compreensão das dificuldades no uso de uma programação computacional para análise de qualidade de água, a escolha da linguagem de programação e, por fim, o desenvolvimento da plataforma gráfica. Em seguida, foram estabelecidos dois parâmetros de qualidade da água para realização de simulações: a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD). A

seguir, é aplicada a *fuzzificação* aos dados matemáticos. Os testes com os parâmetros são indicadores da eficiência na aplicação dos dados matemáticos na interface elaborada.

Coleta e registro de dados

A coleta de dados se iniciou pelo levantamento de informações acerca do desenvolvimento do programa base. Visou-se entender: o objetivo do programa, o conteúdo e as tarefas a serem executadas pelos usuários frente à entrada de dados e a análise dos resultados gerados. Fundamental também a identificação de possíveis dificuldades no manuseio do programa. A exemplos: falhas na digitalização dos dados, demanda de tempo para a entrada manual de dados, dificuldades na elaboração de gráficos a partir dos resultados alimentados, dentre outros.

A posterior, foram identificadas as variáveis já adotadas na entrada de dados do programa e registradas as informações correspondentes a cada uma delas, com o propósito de facilitar a sua identificação. Essa etapa, baseou a formulação de um contexto norteador para o desenvolvimento da nova interface, visando a praticidade e maior assertividade na construção de análises desses dados. O contexto gerado apresentou a necessidade de uma interface simples, com elementos gráficos visando a usabilidade do sistema.

Escolha da linguagem de programação e IDE

A linguagem de programação adotada foi a C# (lê-se: c sharp). Segundo Deitel *et al.* (2003), a linguagem C# é considerada como a evolução do C e C++. Portanto, sua escolha se deu em face da sua atualização e do fornecimento de recursos gráficos de interação com o usuário.

O ambiente de desenvolvimento selecionado para a criação da interface foi o *Visual Studio 2015*. Também chamado de *Integrated Development Environment (IDE)*, os ambientes de desenvolvimento são softwares que auxiliam na edição de códigos, no gerenciamento de arquivos e nas publicações de um projeto. Através de um IDE, um programador pode criar, executar, testar e depurar códigos rapidamente (Deitel *et al.*, 2003). A utilização de IDE possibilitou um ganho considerável de tempo no desenvolvimento do projeto da interface.

Desenvolvimento da interface

Após traçadas as relações entre os dados coletados e as variáveis utilizadas anteriormente, realizou-se a construção de modelos matemáticos capazes de realizar simulações de variáveis de controle, a fim de avaliar a qualidade de água em um sistema de reservatórios.

Para realizar a análise dos dados coletados, o usuário deve salvá-los em um arquivo de texto com extensão do tipo “txt”. O preenchimento do arquivo com os dados deve obedecer a uma sequência específica, de modo a permitir uma leitura também sequenciada, conforme Figura 2.

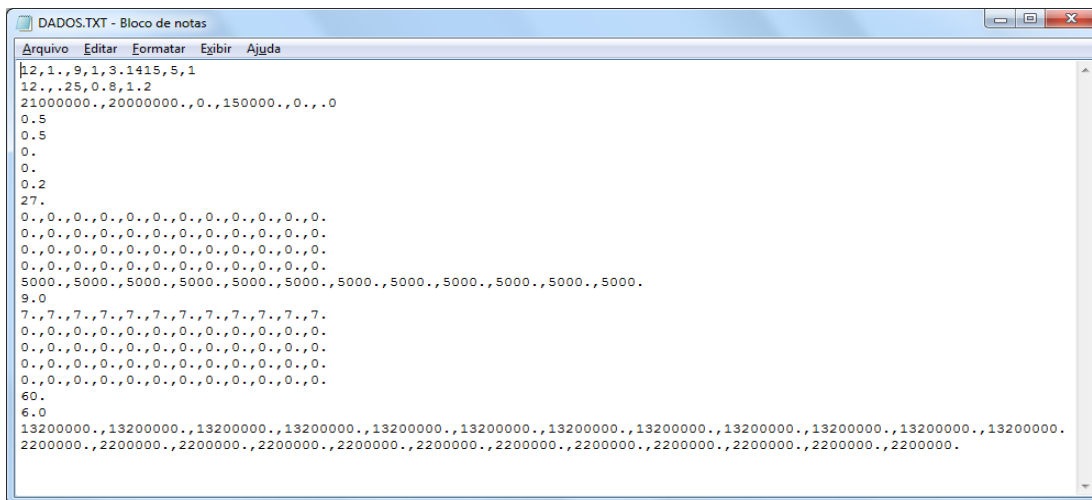


Figura 2. Entrada de dados para o programa de risco antes da elaboração da interface.

Após a criação do arquivo de dados, o programa pode ser executado. Nele, é solicitado, como entrada, o nome do arquivo de dados e, como saída, um nome para o novo arquivo onde são salvos automaticamente os dados processados. A Figura 3 ilustra esta última etapa.

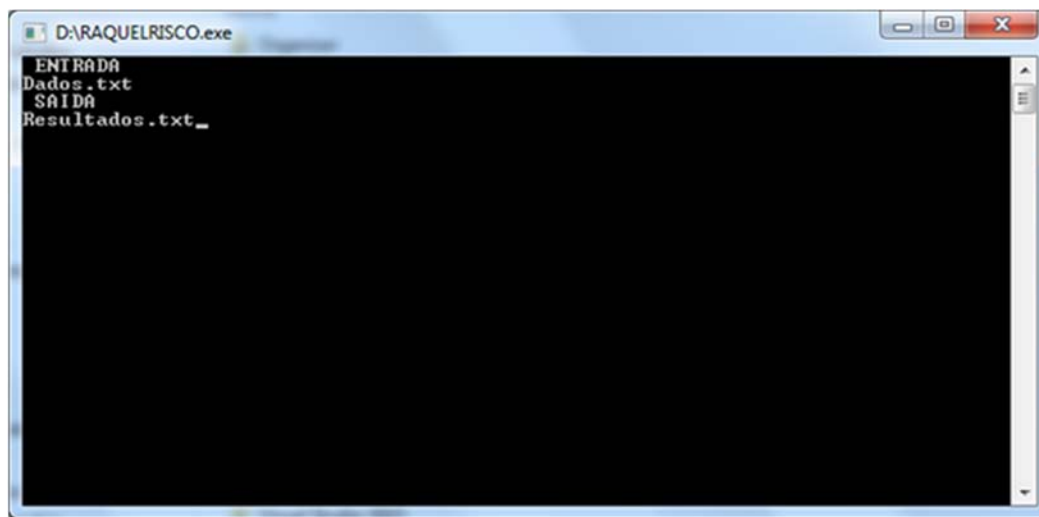
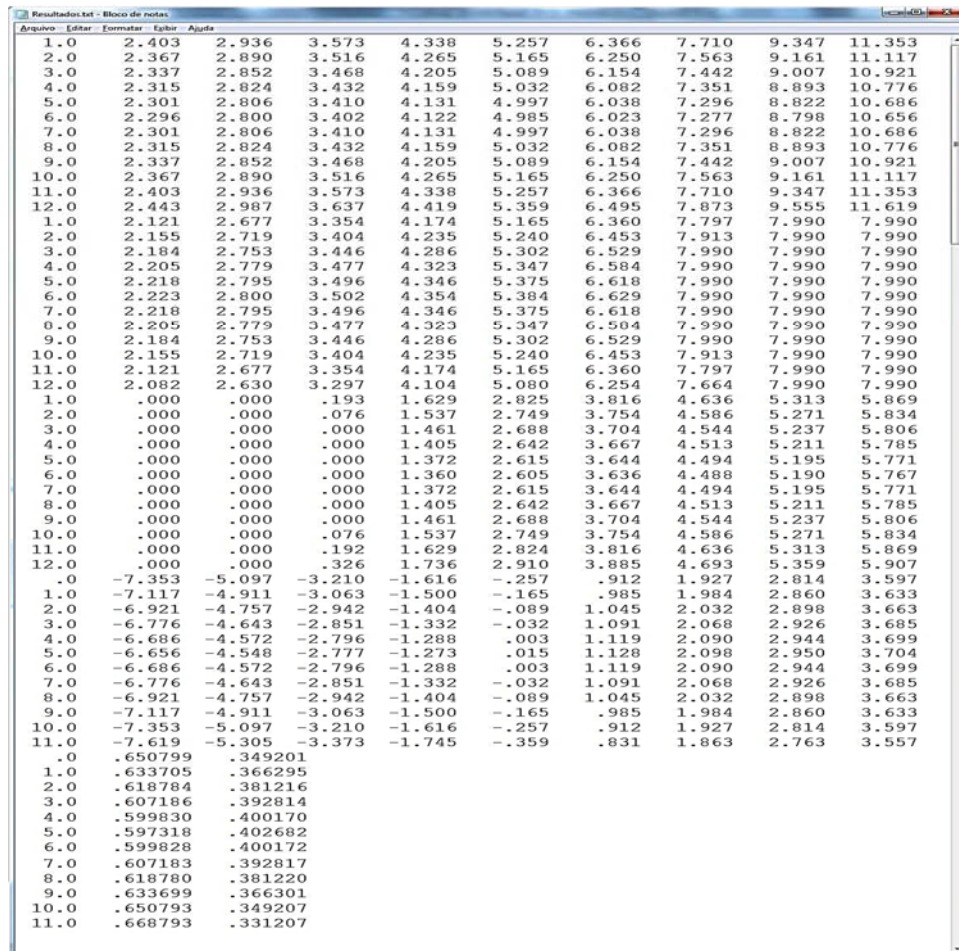


Figura 3. Programa de risco.

No arquivo criado, automaticamente após o processamento dos dados, são armazenados os resultados gerados pelo programa. A partir da figura 4, observa-se que a análise dos resultados exige atenção por parte do usuário. A falta de identificação dos dados faz necessária a utilização de um guia que permita identificar o que cada um dos valores exibidos representa.



Arquivo	Editar	Formatar	Editar	Ajuda															
1.0	2.403	2.936	3.573	4.338	5.257	6.366	7.710	9.347	11.353										
2.0	2.367	2.890	3.516	4.265	5.165	6.250	7.563	9.161	11.117										
3.0	2.337	2.852	3.468	4.205	5.089	6.154	7.442	9.007	10.921										
4.0	2.315	2.824	3.432	4.159	5.032	6.082	7.351	8.893	10.776										
5.0	2.301	2.806	3.410	4.131	4.997	6.038	7.296	8.822	10.686										
6.0	2.296	2.800	3.402	4.122	4.985	6.023	7.277	8.798	10.656										
7.0	2.301	2.806	3.410	4.131	4.997	6.038	7.296	8.822	10.686										
8.0	2.315	2.824	3.432	4.159	5.032	6.082	7.351	8.893	10.776										
9.0	2.337	2.852	3.468	4.205	5.089	6.154	7.442	9.007	10.921										
10.0	2.367	2.890	3.516	4.265	5.165	6.250	7.563	9.161	11.117										
11.0	2.403	2.936	3.573	4.338	5.257	6.366	7.710	9.347	11.353										
12.0	2.443	2.987	3.637	4.419	5.359	6.495	7.873	9.555	11.619										
1.0	2.121	2.677	3.354	4.174	5.165	6.360	7.797	7.990	7.990										
2.0	2.155	2.719	3.404	4.235	5.240	6.453	7.913	7.990	7.990										
3.0	2.184	2.753	3.446	4.286	5.302	6.529	7.990	7.990	7.990										
4.0	2.205	2.779	3.477	4.323	5.347	6.584	7.990	7.990	7.990										
5.0	2.218	2.795	3.496	4.346	5.375	6.618	7.990	7.990	7.990										
6.0	2.223	2.800	3.502	4.354	5.384	6.629	7.990	7.990	7.990										
7.0	2.218	2.795	3.496	4.346	5.375	6.618	7.990	7.990	7.990										
8.0	2.205	2.779	3.477	4.323	5.347	6.584	7.990	7.990	7.990										
9.0	2.184	2.753	3.446	4.286	5.302	6.529	7.990	7.990	7.990										
10.0	2.155	2.719	3.404	4.235	5.240	6.453	7.913	7.990	7.990										
11.0	2.121	2.677	3.354	4.174	5.165	6.360	7.797	7.990	7.990										
12.0	2.082	2.630	3.297	4.104	5.080	6.254	7.664	7.990	7.990										
1.0	.000	.000	.193	1.629	2.825	3.816	4.636	5.313	5.869										
2.0	.000	.000	.076	1.537	2.749	3.754	4.586	5.271	5.834										
3.0	.000	.000	.000	1.461	2.688	3.704	4.544	5.237	5.806										
4.0	.000	.000	.000	1.405	2.642	3.667	4.513	5.211	5.785										
5.0	.000	.000	.000	1.372	2.615	3.644	4.494	5.195	5.771										
6.0	.000	.000	.000	1.360	2.605	3.636	4.488	5.190	5.767										
7.0	.000	.000	.000	1.372	2.615	3.644	4.494	5.195	5.771										
8.0	.000	.000	.000	1.405	2.642	3.667	4.513	5.211	5.785										
9.0	.000	.000	.000	1.461	2.688	3.704	4.544	5.237	5.806										
10.0	.000	.000	.076	1.537	2.749	3.754	4.586	5.271	5.834										
11.0	.000	.000	.192	1.629	2.824	3.816	4.636	5.313	5.869										
12.0	.000	.000	.326	1.736	2.910	3.885	4.693	5.359	5.907										
.0	-7.353	-5.097	-3.210	-1.616	-.257	.912	1.927	2.814	3.597										
1.0	-7.117	-4.911	-3.063	-1.500	-.165	.985	1.984	2.860	3.633										
2.0	-6.921	-4.757	-2.942	-1.404	-.089	1.045	2.032	2.898	3.663										
3.0	-6.776	-4.643	-2.851	-1.332	-.032	1.091	2.068	2.926	3.685										
4.0	-6.686	-4.572	-2.796	-1.288	.003	1.119	2.090	2.944	3.699										
5.0	-6.656	-4.548	-2.777	-1.273	.015	1.128	2.098	2.950	3.704										
6.0	-6.686	-4.572	-2.796	-1.288	.003	1.119	2.090	2.944	3.699										
7.0	-6.776	-4.643	-2.851	-1.332	-.032	1.091	2.068	2.926	3.685										
8.0	-6.921	-4.757	-2.942	-1.404	-.089	1.045	2.032	2.898	3.663										
9.0	-7.117	-4.911	-3.063	-1.500	-.165	.985	1.984	2.860	3.633										
10.0	-7.353	-5.097	-3.210	-1.616	-.257	.912	1.927	2.814	3.597										
11.0	-7.619	-5.305	-3.373	-1.745	-.359	.831	1.863	2.763	3.557										
.0	.650799	.349201																	
1.0	.633705	.366295																	
2.0	.618784	.381216																	
3.0	.607186	.392814																	
4.0	.599830	.400170																	
5.0	.597318	.402682																	
6.0	.599828	.400172																	
7.0	.607183	.392817																	
8.0	.618780	.381220																	
9.0	.633699	.366301																	
10.0	.650793	.349207																	
11.0	.668793	.331207																	

Figura 4. Saída de dados do programa.

A fim de tornar a análise dos resultados otimizada e aprimorar o entendimento dos dados expostos, é considerável transportá-los para um software de planilha eletrônica. Essa operação permite sua melhor identificação e a criação de gráficos facilitadores do estudo dos resultados.

Utilizando o ambiente de *software* IDE, o desenvolvimento da interface gráfica se iniciou pela criação de um projeto, do tipo *Windows Form Application*. Ao criá-lo, automaticamente, foi gerado um componente *Windows form* - formulário, no formato de janela do sistema operacional, para a modelagem de interfaces. O *Windows form* é um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento de uma aplicação *Windows*. Nele, são adicionados os componentes que proporcionam a interação com o usuário. Os formulários são como telas em branco, nas quais o desenvolvedor adiciona controles para criar uma interface com o usuário, além de códigos para manipular informações.

Durante o processo de desenvolvimento, foram adicionados campos para preenchimento de valores referentes às variáveis de entrada para o programa. A criação das caixas de texto e dos rótulos se deram por meio dos componentes *TextBox* e *Label*, respectivamente. A utilização desses componentes em conjunto permitiu uma fácil identificação e um rápido preenchimento dos campos onde cada variável de entrada deveria ser alocada. Para o desenvolvimento do formulário principal, foram usados 170 pares dos componentes *TextBox* e *Label*, representando cada uma das variáveis de entradas do programa. O uso desses componentes tornou o processo de preenchimento de dados intuitivo e mais rápido.

Além dos dois componentes supracitados, foi usado também o *RadioButton* para o preenchimento de variáveis. Este componente foi utilizado em variáveis que possuíssem apenas dois valores possíveis, como, por exemplo: “1” ou “2”. Também foi adicionado ao formulário um botão intitulado “Gerar dados”, com a finalidade de salvar os dados preenchidos em um arquivo de texto. Esse botão permite abrir uma caixa de diálogo para dar nome ao arquivo e, em seguida, salvá-lo com os dados contidos no formulário. Após salvo, o conteúdo do arquivo é exibido em uma caixa de texto para rápida verificação. Ademais, também foram adicionados os botões “Limpar” e “Analisar”. A seguir, é demonstrado o formulário de entrada de dados em sua interface gráfica final. Nele, foram adicionadas todas as entradas de dados necessárias para a execução do programa de qualidade de água, conforme expressa a Figura 5.

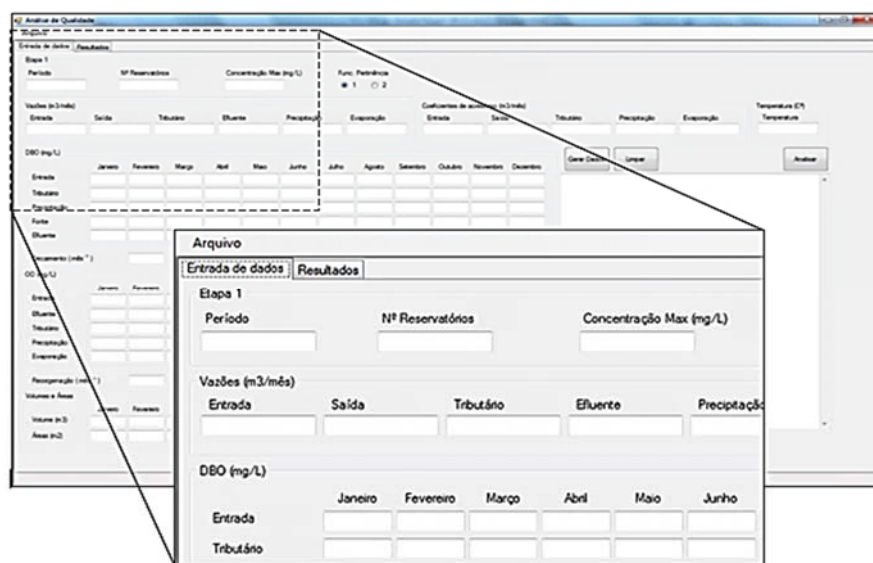


Figura 5. Formulário de entrada de dados.

Posteriormente, se iniciou a criação do formulário de análise de resultados. Para visualizá-los de forma mais direcionada, foram adicionadas abas para separá-los de acordo com seu grupo de representação. Dessa forma, a visualização dos resultados foi dividida em: DBO, OD, Déficit de OD, Função Marginal de Segurança e Risco/Garantia.

Tomou-se uso da inter-relação entre teorias da Engenharia Hidráulica, como: Teoria de Transporte em reservatórios, Teoria do Balanço Hídrico para cada bacia, Teoria de Conservação de massa para cada bacia e para o conjunto integrado e a Teoria *Fuzzy*. Na teoria clássica de conjuntos, um elemento pertence ou não a um determinado conjunto. Dado um universo U e um elemento $x \in U$, o grau de pertinência $\mu_A(x)$, com relação a um conjunto $A \subseteq U$, é dado por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

Sua função característica é dada por $\mu_A(x): U \rightarrow \{0,1\}$. Assim, um conjunto *Fuzzy* A em um universo U é definido por uma função de pertinência μ_A , que assume valores em um intervalo $[0,1]$, com função dada por $\mu_A(x): U \rightarrow \{0,1\}$. Seguem os modelos matemáticos formulados para as seguintes variáveis de controle:

DBO:

$$\frac{dL}{dt} + \frac{L(Q_e + Q_t + Q_w + PA_s - E_v A_s + \forall K_r)}{\forall} = \frac{Q_e L_e + Q_t L_t + Q_w L_w + PA_s L_p + L_d \forall}{\forall}$$

Equação 1

Onde:

L : Concentração de BDO [mg/L];

Q_e : Vazão de entrada [m^3/s];

Q_t : Vazão do tributário [m^3/s];

Q_w : Vazão do efluente [m^3/s];

P : Taxa de precipitação [mm];

A_s : Área de superfície [m^2];

E_v : Taxa de evaporação [mm];

K_r : Coeficiente de decaimento [dia^{-1}];

\forall : Volume [m^3];

L_e : Concentração de BDO na entrada [mg/L];

L_t : Concentração de BDO no tributário [mg/L];

L_w : Concentração de BDO no efluente [mg/L];

L_p : Concentração de BDO na precipitação [mg/L];

L_d : Concentração de BDO em uma fonte difusa [mg/L];

OD:

$$\frac{dC}{dt} + \frac{C(Q_e + Q_t + Q_w + PA_s - E_v A_s + K_d A_s)}{\forall} = \frac{Q_e C_e + Q_t C_t + Q_w C_w + PA_s C_p + K_d A_s C_s - E_v A_s C_v - \forall K_d L}{\forall}$$

Equação (2)

Onde:

C: Concentração de OD [mg/L];
 K_a : Coeficiente de reoxigenação [dia⁻¹];
 C_e : Concentração de OD na entrada [mg/L];
 C_t : Concentração de OD no tributário [mg/L];
 C_w : Concentração de OD no efluente [mg/L];
 C_p : Concentração de OD na precipitação [mg/L];
 C_s : Concentração de OD de saturação [mg/L];
 C_v : Concentração de OD na evaporação [mg/L];
 K_d : Coeficiente de degradação [dia⁻¹];

Déficit de Oxigênio Dissolvido

$$D = C_s - C$$

Equação (3)

Dando sequência ao desenvolvimento da pesquisa, foram encontradas as seguintes soluções para os modelos anteriormente citados:

DBO:

$$L = \frac{Q_e L_e + Q_t L_t + Q_w L_w + P A_s L_p + L_d \bar{V}}{Q_e + Q_t + Q_w + P A_s - E_v A_s + \bar{V} K_r}$$

Equação (4)

OD:

$$C = \frac{Q_e C_e + Q_t C_t + Q_w C_w + P A_s C_p + K_a A_s C_s - E_v A_s C_v - \bar{V} K_d L}{Q_e + Q_t + Q_w + P A_s - E_v A_s + K_a A_s}$$

Equação (5)

Para que a metodologia *Fuzzy* pudesse ser aplicada às variáveis de controle, todos os parâmetros dessas variáveis foram “fuzzificados”. Dessa maneira, as soluções dos modelos passaram a ser representadas da seguinte forma:

DBO:

$$\tilde{L} = \frac{\tilde{Q}_e \tilde{L}_e + \tilde{Q}_t \tilde{L}_t + \tilde{Q}_w \tilde{L}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s \tilde{L}_p + \tilde{L}_d \tilde{V}}{\tilde{Q}_e + \tilde{Q}_t + \tilde{Q}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s - \tilde{E}_v \tilde{A}_s + \tilde{V} \tilde{K}_r}$$

Equação (6)

OD:

$$\tilde{C} = \frac{\tilde{Q}_e \tilde{C}_e + \tilde{Q}_t \tilde{C}_t + \tilde{Q}_w \tilde{C}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s \tilde{C}_p + \tilde{K}_a \tilde{A}_s \tilde{C}_s - \tilde{E}_v \tilde{A}_s \tilde{C}_v - \tilde{V} \tilde{K}_d \tilde{L}}{\tilde{Q}_e + \tilde{Q}_t + \tilde{Q}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s - \tilde{E}_v \tilde{A}_s + \tilde{K}_a \tilde{A}_s}$$

Equação (7)

Déficit de Oxigênio Dissolvido

$$\tilde{D} = \tilde{C}_s - \tilde{C}$$

Equação (8)

Tais modelos serviram de base para o desenvolvimento do programa computacional responsável por agilizar o processo de cálculo. Para cada aba, foram adicionados componentes de visualização dos resultados correspondentes à sua categoria. A exibição dos resultados foi disposta com o uso do componente *DataGridView*, visualizados em formato de tabela. Ademais, foi utilizado o componente *Chart* para a criação de gráficos mais práticos à análise dos dados.

A Figura 6 demonstra a interface do formulário de resultados. Os gráficos criados nesse formulário foram definidos com base nas demandas do usuário.

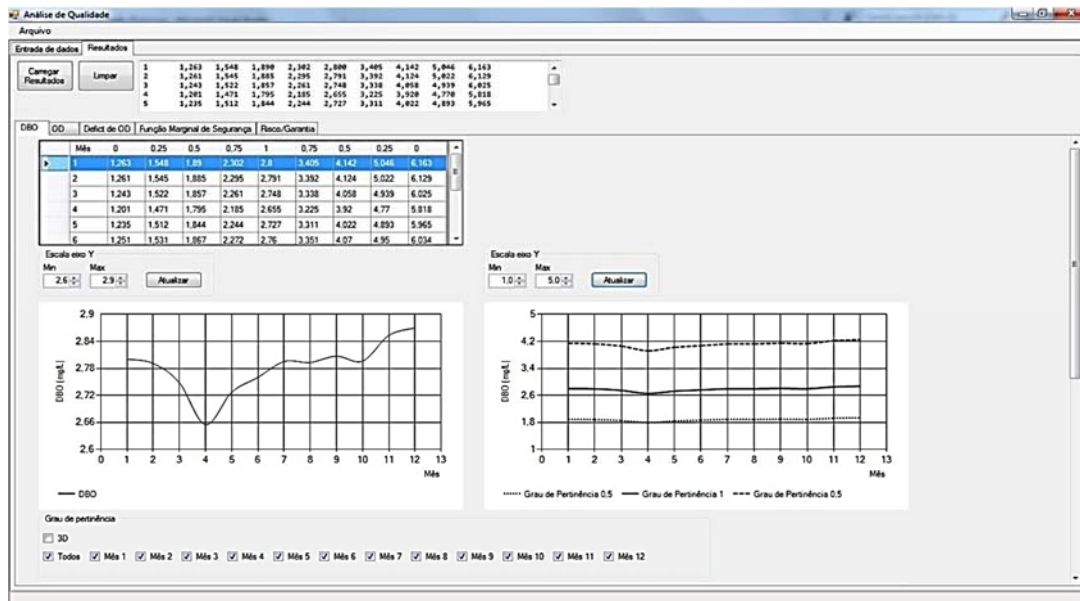


Figura 6. Formulário de resultados.

Resultados e discussões

A partir dos procedimentos metodológicos apresentados, foram realizadas variadas simulações fazendo uso dos dados introduzidos no programa computacional para análise da qualidade de água, a fim de atestar a positiva funcionalidade da interface gráfica aqui desenvolvida.

Dentre as possibilidades de simulações de dados de análise de qualidade de água, são apresentados três (03) gráficos gerados pela interface desenvolvida: Concentração X Tempo; Grau de Pertinência X Concentração; e Risco/Garantia X Tempo.

Concentração X Tempo

O gráfico de concentração em relação ao tempo demonstra a variação de concentrações de DBO com grau de pertinência igual a 1 ao longo do período estudado (Figura 7), permitindo a análise comparada das alterações de concentrações no período. Utilizou-se tal modelo de gráfico também para análises dos parâmetros OD, Déficit de OD e Função Marginal de Segurança. Através do gráfico resultante da interface, entende-se que as variações nas concentrações de DBO ao longo de 12 meses (período de entrada no programa) se deu entre 2.6mg/L e 2.8mg/L. A menor delas, no mês de Abril, infere que se deva ao período chuvoso da região analisada, permitindo maior volume hídrico e consequente maior diluição da matéria orgânica lançada e da concentração de DBO. A

maior concentração, em Dezembro, compreende o período de baixos índices pluviométricos, diminuindo a diluição da matéria orgânica e elevando a concentração de DBO - podendo indicar agravamento no estado trófico do reservatório.

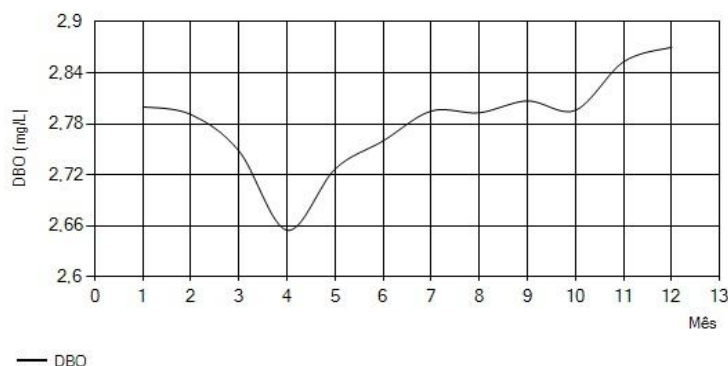


Figura 7. Variação de concentrações de DBO.

A figura 8 compõe conjuntamente as concentrações com grau de pertinência 1 e pertinência 0.5, em que as linhas inferior e superior ilustradas representam os valores da concentração para o nível de pertinência igual a 0.5 e, entre essas duas linhas, observa-se a região de corte para os números *fuzzy* com graus de pertinência superiores a 0.5. Esse modelo de gráfico também foi estabelecido para os parâmetros DBO, Déficit de OD e Função Marginal de Segurança. Este último pode ser entendido como a margem de diferença entre o impacto da carga lançada e a capacidade de suporte do reservatório (Ganoulis, 1994). Em linhas gerais, na figura 8 tem-se o comportamento do oxigênio dissolvido com valores de pertinência igual e superior a 0.5 em que, nas linhas inferior e superior, verifica-se concentrações de OD de 4mg/L e 8mg/L, respectivamente.

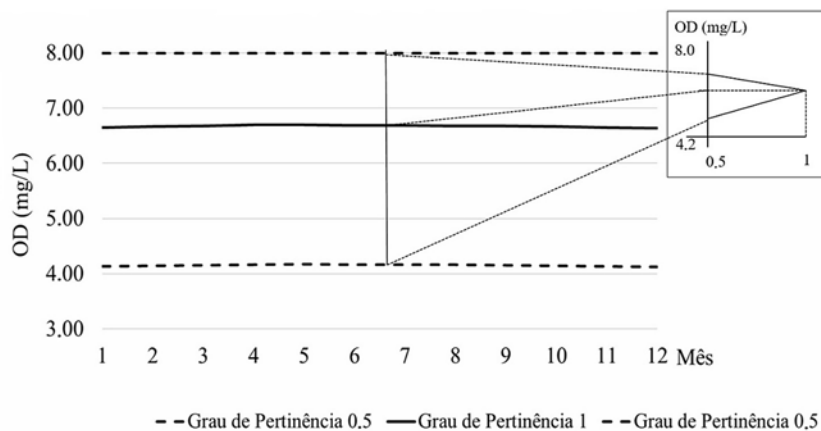


Figura 8. Concentrações de OD com pertinências 1.0 e 0.5.

Grau de Pertinência X Concentração

A relação entre o Grau de Pertinência e a Concentração de um parâmetro pode ser demonstrada através de gráfico comparativo de resultados, obtidos individualmente para cada mês do ano. As curvas dispostas em sobreposição possibilitam a visualização de diferenças entre os meses desejados. É também possível selecionar apenas alguns meses. Essa opção permite um descongestionamento de dados, oferecendo uma filtragem específica de informações e consequente otimização da análise científica e de processos gerenciais dos reservatórios.

Na interface desenvolvida, o usuário também possui a seu alcance a opção de visualizar o gráfico em visão plana ou em formato 3D, conforme a figura 9.

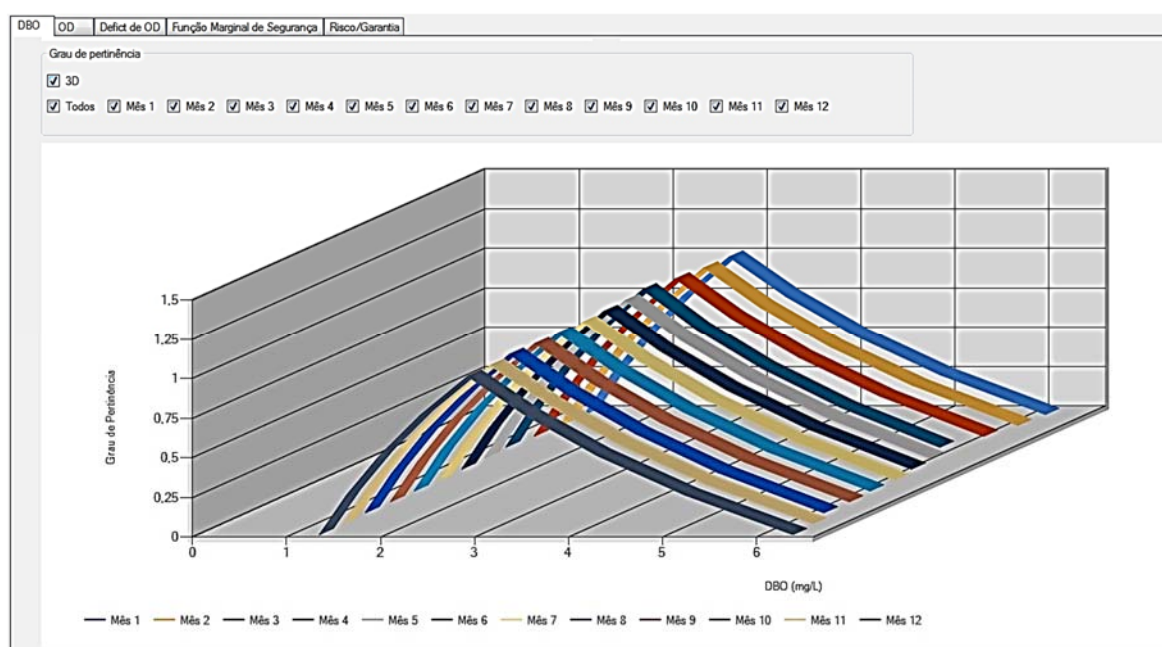


Figura 9. Gráfico 3D de Grau de pertinência X Concentrações.

O gráfico em formato 3D permite uma visão menos sobreposta do comportamento das curvas a cada mês. Essa opção foi adicionada no intuito de disponibilizar uma opção de observação mais objetiva dos dados inseridos.

Risco/Garantia X Tempo

Para a análise de risco, observou-se a relação entre os percentuais de risco de elevação da DBO e o tempo. É pertinente mencionar que, para o Ministério da Saúde, os valores de DBO são considerados elevados se forem maiores que 5mg/L, podendo indicar futuro potencial à poluição daquela seção analisada do rio.

A partir disso, foi elaborado um gráfico capaz de demonstrar as possibilidades de elevação da DBO do reservatório em análise (Figura 10). Nele, se lê objetivamente que o maior risco de falha do sistema se encontra no mês de Dezembro (conforme dados inseridos), no qual o risco de elevação da DBO marca 22.1%. Isto, possivelmente, se deve ao fato de ser período de baixa precipitação pluviométrica - diminuindo a concentração da DBO, elevando o OD e o Déficit de OD; e indicando possíveis deteriorações no estado trófico do reservatório em análise.

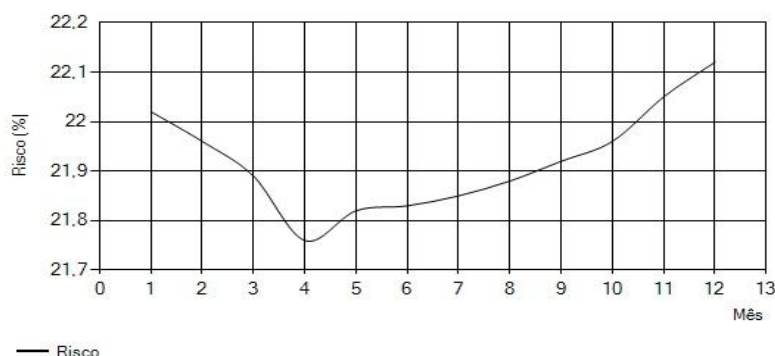


Figura 10. Gráfico para o risco de elevação da DBO.

De maneira semelhante, foi gerado um gráfico para avaliação das garantias de que o reservatório estaria livre de elevação da DBO. Nele, é traçada uma relação entre a porcentagem de garantia de estar livre e a sequência de meses anuais, permitindo a análise conjunta e comparativa entre os meses e o nível de confiabilidade quanto à elevação da DBO.

Considerações finais e sugestões

O avanço da tecnologia vem proporcionando a inserção das interfaces nos ambientes científicos e de engenharia. O design gráfico detém um papel importante no fornecimento de acesso às funcionalidades presentes em recursos tecnológicos como aporte para melhoria contínua dos processos, inclusive nos campos da engenharia e gestão ambiental. Nestes campos em específico, se percebeu a necessidade da criação de interfaces melhor otimizadas e sistematizadas na operacionalização e monitoramento de reservatórios.

A interface é considerada um dos aspectos mais relevantes para a avaliação da qualidade de um aplicativo, justificado pela própria opinião do usuário nesse tipo de avaliação. Logo, o desenvolvimento de uma interface com boa usabilidade e reunião de recursos acessíveis garante melhor aceitação pelo usuário, ampliação do uso, maior controle operacional, bem como, conseqüentemente, a melhoria contínua nos processos gerenciais de engenharia e gestão de recursos hídricos.

Nesse sentido, o presente trabalho buscou criar uma interface que possibilitasse aproveitar os recursos disponibilizados pelo modelo computacional de qualidade de água, inserindo também novas funcionalidades, como a possibilidade de visualização plana ou 3D do gráfico. Os novos recursos computacionais apresentados contribuem para a agilidade na realização de tarefas e podem proporcionar uma melhor *User Experience*, ou seja, uma oportunidade de melhor realização de entrada e análise de dados pelo usuário. Portanto, a interface desenvolvida promove maior automatização no processamento de dados, reduzindo riscos de falhas na entrada, otimizando tempo disponível para operacionalização dos dados, agilidade na visualização dos resultados e cruzamento de parâmetros em análise. Consequentemente, propicia melhores tomadas de decisão frente ao monitoramento da qualidade de água dos sistemas de reservatórios.

Como sugestão para trabalhos posteriores, se aponta o estudo da viabilidade do uso de linguagens de programação atualizadas no uso com cálculos matemáticos, que envolvam o uso de grandes matrizes. Também é sugerido o estudo das vantagens e desvantagens na transcrição de programas escritos em linguagem de programação FORTRAN frente às linguagens mais difundidas, como C++, C# e Java.

Referências

- Alencar, I. F. O. (2017) *Estudo da qualidade da água em reservatórios mediante análise de risco – Açude Gavião, Pacatuba/Ce, estudo de caso*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade de Fortaleza. 68f.
- Amorim, M., Brito, L., Nascimento, G., Silva Neto, J., Leite, W. (2017) Captação e armazenamento de água de chuva, Petrolina, PE: Avaliação de aspectos estruturais e de qualidade da água. *Revista Aidis*, **10**(1), p. 18-30.
- Bittencourt, C., Paula, M. A.S. (2014) *Tratamento de água e efluentes: Fundamentos de saneamento ambiental e recursos hídricos* (1). São Paulo: Érica.
- Carmo, J.S.A. (2004). *Modelação em hidráulica fluvial e ambiente*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Deitel, H. M., Deitel, P. J., Listfield, J., Nieto, T. R., Yaeger, C., Zlatkina, M. (2003) *C# Como Programa*. São Paulo: Pearson Education.
- Ganoulis, J. G. (1994) *Engineering risk analysis of water pollution. Probabilities and Fuzzy sets*. VCH publishers Inc. Weinheim; New York; Basel; Tokyo.
- Gastaldini, M. C. C., Seffrin, G. F. F., Paz, M. F. (2002) Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do rio ibicuí utilizando o modelo QUAL2E. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. **7**(3-4).
- Jesus, J. A. O. (2006) *Utilização de modelagem matemática 3D na gestão da qualidade da água em mananciais – aplicação no Reservatório Billings*. Tese (Doutorado em Saúde Pública). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo. 157f.
- Larentis, D. G. (2004) *Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: sistema Taquari-Antas – RS*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.
- Romero J. R., Hipsey, M., Antenucci J., Hamilton, D. (2003) *Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM V2. Science Manual*. Perth (Austrália): Centre for Water Resource.
- Silva, Maytê M. A. P.M. (2014) *Modelagem da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG*. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 164f.
- Tundisi, J. G.; TUNDISI, T. M. (2005) *A Água*. São Paulo: Publifolha.