

AD'ÁGUA 2.0

SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA

MANUAL DO USUÁRIO



Alexandre Rosa dos Santos (Org.)
Nathália Suemi Saito (Org.)
Telma Machado de Oliveira Peluzio (Org.)
Juliana Cristina Braga (Org.)
Kmila Gomes da Silva
Thiago de Oliveira Tuler
Giovanni de Oliveira Garcia
Gilberto Chohaku Sedyama
Antônio Teixeira de Matos
Paulo de Tarso Ávila de Oliveira



www.mundogeomatica.com.br

AD' ÁGUA 2.0
SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA
AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA
MANUAL DO USUÁRIO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES)

Reitor

Rubens Sérgio Rasseli

Vice-Reitor

Reinaldo Centoducatte

Diretor do Centro de Ciências Agrárias

Waldir Cintra de Jesus Junior

Vice-Diretor do Centro de Ciências Agrárias

José Tarcísio da Silva Oliveira

Chefe do Dep. de Eng. Rural

Julião Soares de Souza Lima

ALEXANDRE ROSA DOS SANTOS

NATHÁLIA SUEMI SAITO

TELMA MACHADO DE OLIVEIRA PELUZIO

JULIANA CRISTINA BRAGA

ORGANIZADORES

AD' ÁGUA 2.0
SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA
AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA
MANUAL DO USUÁRIO

ALEGRE

**CAUFES
2010**

Copyright © by Alexandre Rosa dos Santos, Alegre (ES), 2010.

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. É proibida a reprodução, salvo pequenos trechos, mencionando-se a fonte. A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/98) é crime (art. 184 do Código Penal). Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme Decreto nº 1.825, de 20/12/1907. Respeite os autores: **não faça cópia ilegal**.

Revisão Técnica

Giovanni de Oliveira Garcia
Alexandre Rosa dos Santos
Nathália Suemi Saito
Telma Machado de Oliveira Peluzio

Capa

Thiago de Oliveira Tuler
Fernando Coelho Eugenio

Revisão de texto

Giovanni de Oliveira Garcia

Contato

<http://www.mundogeomatica.com.br>
E-mail: mundogeomatica@yahoo.com.br
Tel.: (28) 9926-0262 ou (28) 3552-8632

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

A191 Ad'Água 2.0 : sistema para simulação da autodepuração de cursos d'água : manual do usuário / Alexandre Rosa dos Santos, Nathália Suemi Saito, Telma Machado de Oliveira Peluzio, Juliana Cristina Braga organizadores. – Alegre, ES : CAUFES, 2010.
31 p. : il. ; 30 cm.

978-85-61890-09-4

1. Controle de qualidade da água. 2. Água – Purificação. 3. Água – Estação de tratamento. 4. Águas residuais – Eliminação. 5. Água residuais nos rios, lagos, etc. 6. Água – Poluição. 7. Água – Uso – Contaminação. 8. Poluentes – Contaminação. 9. Resíduos industriais – Aspectos ambientais. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. Saito, Nathália Suemi. III. Peluzio, Telma Machado de Oliveira. IV. Braga, Juliana Cristina. V. Título: Sistema para simulação da autodepuração de cursos d'água : manual do usuário.

CDU: 628.19



Tel.: (28) 3552-4169

Rua Monsenhor Pavesi, 275, Centro, Alegre – ES
e-mail: graficafm@hotmail.com

DEDICATÓRIA

Nós, autores, dedicamos este livro aos familiares que sempre acreditaram em nossos trabalhos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em especial ao Departamento de Engenharia Rural e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Alegre, ES, pelo apoio na elaboração e confecção deste tutorial.

Em especial, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvol

COLABORADORES

CCA-UFES – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo.

PPGCF-UFES - Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da UFES.

ERU/CCA-UFES - Departamento de Engenharia Rural do CCA-UFES.

PMA - Prefeitura Municipal de Alegre, ES.

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Alegre.

UFV - Universidade Federal de Viçosa.

REFLEXÃO

“Um rio é algo mais que um acidente geográfico, uma linha no mapa, uma parte do terreno imutável. Ele não pode ser retratado adequadamente em termos de topografia e geologia. Um rio é um ser vivo, um ser dotado de energia, de movimento, de transformações” (PHELPS).

FABRICANTE

Produto: AD' ÁGUA 2.0: SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA.

Programadores do Aplicativo Computacional:

Dra. Juliana Cristina Braga – CMCC-UFABC.

Dr. Alexandre Rosa dos Santos – CCA-UFES.

Tel.: (28) 9926-0262.

Site para download gratuito: <http://www.mundogeomatica.com.br>

Tamanho: 1,60 MB – arquivo compactado.

Nota: Todas as marcas e imagens de hardware, software e outros, utilizados e/ou mencionados nesta obra, são propriedades de seu respectivo fabricante e criador. Os autores se responsabilizam totalmente pelo conteúdo descrito no livro. O objetivo dos autores é disponibilizar para os usuários do aplicativo AD' ÁGUA 2.0 um material de referência para suas aplicações práticas e teóricas relacionadas com a simulação da Autodepuração de cursos d' água.

REQUISITOS BÁSICOS DE HARDWARE E SOFTWARE

Requisitos de Hardware:

- Capacidade de memória RAM: 512 Mb (recomendado acima de 1 Gb).
- Capacidade de disco rígido: acima de 80 Gb.
- Placa de vídeo: SuperVGA (recomendado placa de vídeo que permita trabalhar com animações gráficas tridimensionais).
- Monitor: colorido de 14 pol. (recomendado 15 ou maior).
- Unidade de DVD-ROM de velocidade 24x ou superior.

Requisitos de Software:

- **AD' ÁGUA 2.0:** SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA.
- **Tamanho:** 2,86 MB – após descompactado e instalado.

AQUISIÇÃO GRATUITA DO MANUAL DO AD' ÁGUA 2.0

Para realizar o *download* gratuito do manual do usuário “AD'ÁGUA 2.0: SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA” basta acessar a home-page do **MUNDO DA GEOMÁTICA** que apresenta o seguinte endereço eletrônico: <http://www.mundogeomatica.com.br>. Nesta home-page, clique na imagem representativa da capa deste manual (Figura 1), salvando o arquivo intitulado “AD'ÁGUA 2.0 SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA MANUAL DO USUÁRIO.pdf” numa pasta de trabalho desejada de seu computador. Na Figura 2 observa-se o manual do usuário aberto no *Adobe Reader*.

SOBRE A BASE DE DADOS

A base de dados necessária para a elaboração dos exercícios deste manual do usuário já encontra-se disponibilizada no próprio aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0**.

A base de dados foi veridicamente preparada em laboratório e utilizada pelo Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos em sua tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa (UFV), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

A tese de doutorado intitulada “*Caracterização Morfológica, Hidrológica e Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, Micro-Região de Viçosa, MG*” pode ser obtida gratuitamente na home-page **MUNDO DA GEOMÁTICA** (www.mundogeomatica.com.br) no link *Teses e monografias*.

PREFÁCIO

Foi pensando no grande potencial do **AD' ÁGUA 2.0** que nos aventuramos a escrever este manual do usuário, que tem como principal objetivo ensinar, passo a passo, como utilizar as ferramentas deste aplicativo computacional, utilizando-se de uma linguagem clara e interpretável.

Este manual do usuário foi idealizado a partir da necessidade de se criar um material prático, inteligente, objetivo, rápido e de fácil entendimento a todos os leitores.

O manual do usuário apresenta ao leitor, claramente, o tipo de atividade que ele irá desenvolver e explica passo a passo todos os procedimentos necessários para a sua execução.

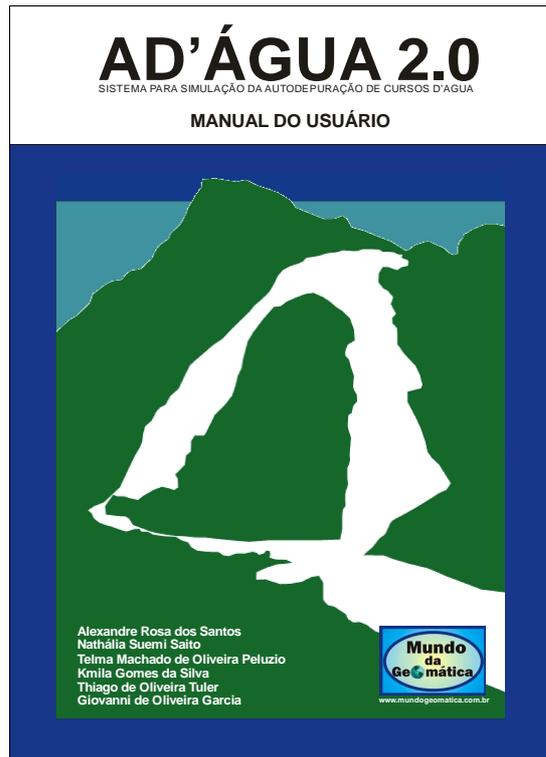


Figura 1. Imagem representativa da capa do manual do usuário “AD’ÁGUA 2.0: SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D’ÁGUA”.

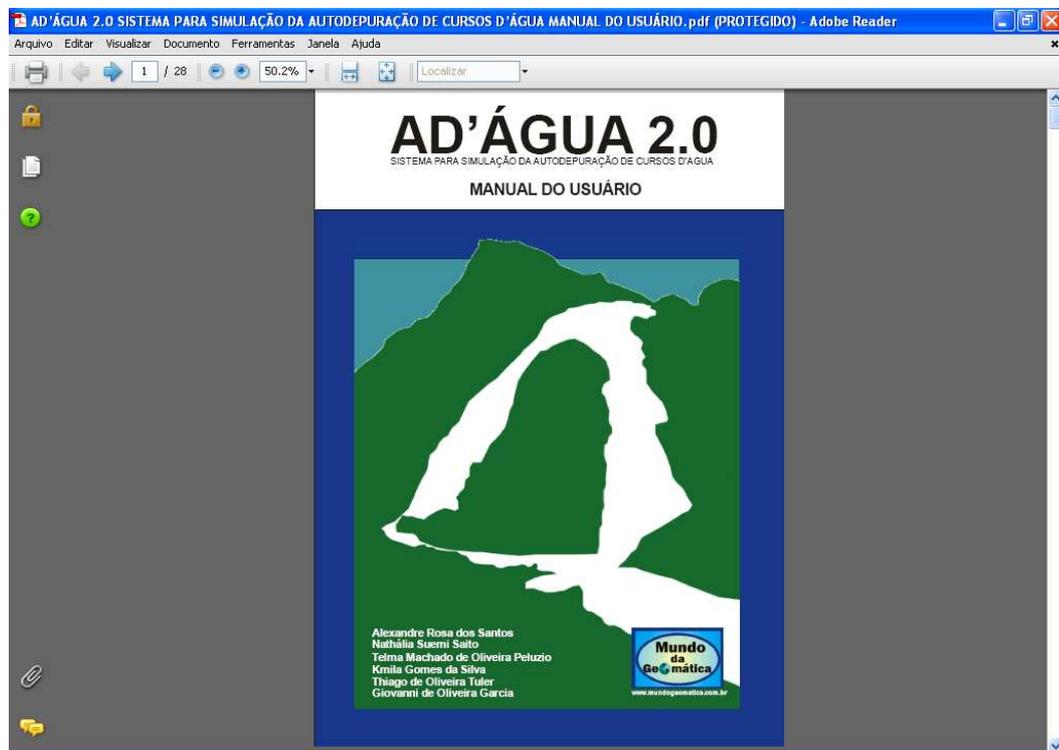


Figura 2. Manual do usuário do AD’ ÁGUA 2.0 aberto no Adobe Reader.

ÍNDICE ANALÍTICO

DEDICATÓRIA.....	4
AGRADECIMENTOS.....	4
COLABORADORES.....	3
REFLEXÃO.....	4
FABRICANTE.....	4
REQUISITOS BÁSICOS DE HARDWARE E SOFTWARE.....	5
AQUISIÇÃO GRATUITA DO MANUAL DO AD' ÁGUA 2.0.....	5
SOBRE A BASE DE DADOS.....	5
PREFÁCIO.....	5
ÍNDICE ANALÍTICO.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABELAS.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. MODELAGEM DA AUTODEPURAÇÃO PARA CURSOS D'ÁGUA.....	11
2.1. MODELAGEM MATEMÁTICA – MODELO DE STREETER-PHELPS.....	12
3. EXERCÍCIO CORRIGIDO - MODELO DE STREETER-PHELPS (1925).....	15
4. EXERCÍCIO PROPOSTO - MODELO DE STREETER-PHELPS (1925).....	19
5. CONHECENDO O APLICATIVO COMPUTACIONAL AD' ÁGUA 2.0.....	19
6. AQUISIÇÃO GRATUITA E INSTALAÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL AD' ÁGUA 2.0.....	19
7. CONHECENDO O MENU AJUDA DO AD' ÁGUA 2.0.....	22
8. ABRINDO UM PROJETO EXISTENTE NO AD' ÁGUA 2.0.....	22
9. ELABORANDO UM NOVO PROJETO NO AD' ÁGUA 2.0.....	25
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
11. AQUISIÇÃO DE LIVROS E SOFTWARES NO SITE MUNDO DA GEOMÁTICA.....	30
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagem representativa da capa do manual do usuário “ AD’ÁGUA 2.0: SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D’ÁGUA ”.....	6
Figura 2. Manual do usuário do AD’ ÁGUA 2.0 aberto no <i>Adobe Reader</i>	6
Figura 3. Trajetória dos três principais parâmetros (matéria orgânica, bactérias decompositoras e oxigênio dissolvido) ao longo das quatro zonas do percurso no curso d’água.....	10
Figura 4. Perfil da concentração de oxigênio versus tempo (A) e distância (B).....	18

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Valores genéricos do coeficiente K_1 (base e, 20° C) para vários tipos de efluentes (VON SPERLING, 1996 e CASTAGNINO, s.d.).....	13
Tabela 2. Valores típicos de K_2 (base e, 20°C) (FAIR <i>et al</i> , 1973, ARCEIVALA, 1981, citado por VON SPERLING, 1996).....	14
Tabela 3. Valores do coeficiente K_2 segundo modelos baseados em dados hidráulicos (base e, 20°C) (COVAR, citado por EPA, 1985).....	14
Tabela 4. Concentrações mínimas permissíveis de oxigênio dissolvido (Resolução CONAMA N°20, de 18/06/86).....	14
Tabela 5. Concentração de saturação de oxigênio (mg/L) em função da temperatura e altitude.	16
Tabela 6. Valores da concentração de oxigênio baseado na distância e no tempo.....	18

1. INTRODUÇÃO

Neste manual você aprenderá a manusear as ferramentas do aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0**, um sistema que tem por finalidade estimar parâmetros referentes à autodepuração dos cursos d'água utilizando o modelo proposto por Streeter-Phelps (1925). Antes, porém, você deve compreender do que se trata a autodepuração dos cursos d'água e como calculá-lo.

A água é, entre os recursos naturais, a que possui maior destaque, pois sua disponibilidade é necessária a todo tipo de vida no planeta, bem como para a maioria dos meios de produção. O uso da água pelo ser humano para qualquer finalidade resulta na deterioração da sua qualidade, limitando geralmente seu potencial de uso (MEYBECK *et al.*, 1996).

Além disso, o crescimento das cidades nas últimas décadas tem sido responsável pelo aumento da pressão das atividades antrópicas sobre os recursos naturais, como por exemplo, a poluição dos corpos d'água causada pela introdução de matéria e/ou energia (NAGALLI; NEMES, 2009).

Com o lançamento de despejos urbanos em corpos d'água, além do aspecto visual desagradável, da exalação de gases mal cheirosos e ainda da possibilidade de contaminação de animais ou de seres humanos, pelo consumo ou contato com essa água, há o declínio da concentração de oxigênio dissolvido no meio, comprometendo, desta forma, a sobrevivência dos seres de vida aquática (SARDINHA *et al.*, 2008).

De acordo com Whipple (1954), existem quatro zonas de autodepuração ao longo de um curso d'água que recebe águas residuárias ricas em material orgânico: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas.

A Figura 3 apresenta a trajetória dos três principais parâmetros (matéria orgânica, bactérias decompositoras e oxigênio dissolvido) ao longo das quatro zonas (VON SPERLING, 1996).

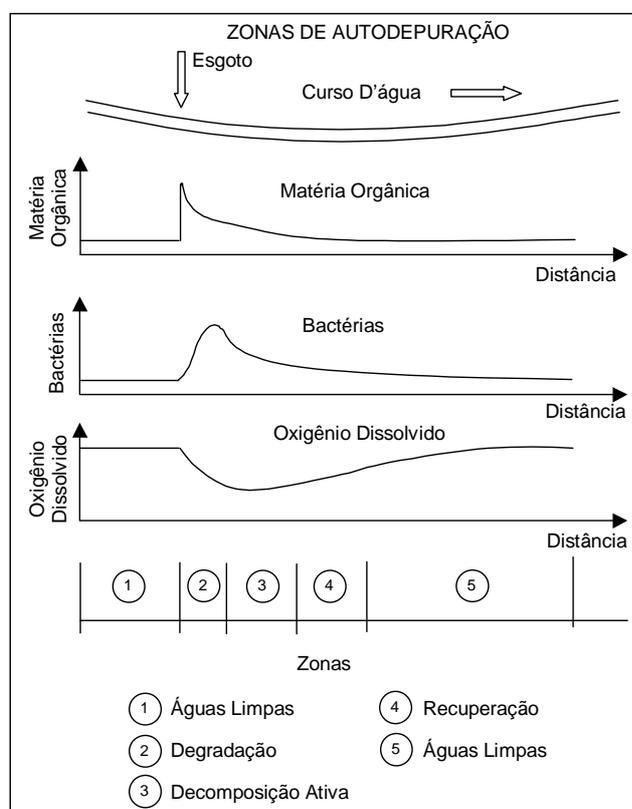


Figura 3. Trajetória dos três principais parâmetros (matéria orgânica, bactérias decompositoras e oxigênio dissolvido) ao longo das quatro zonas do percurso no curso d'água.

A capacidade de autodepuração varia de um corpo hídrico para outro, tornando-se necessário que estudos específicos sejam desenvolvidos, no intuito de conhecer a quantidade de efluentes que o rio é capaz de receber e diluir, sem que suas características naturais sejam prejudicadas (VON SPERLING, 2007).

A avaliação da autodepuração de um rio é usualmente realizada utilizando-se modelagem matemática, uma vez que esta é uma importante ferramenta que auxilia na gestão, controle e proteção dos recursos hídricos, permitindo a simulação dos processos de autodepuração do rio e, conseqüentemente, auxiliando na tomada de decisões referentes ao gerenciamento desses recursos (OPPA, 2007).

2. MODELAGEM DA AUTODEPURAÇÃO PARA CURSOS D'ÁGUA

A modelagem matemática passou a ser uma poderosa ferramenta na engenharia ambiental, pois permite, com menor custo, o conhecimento formal e rigoroso dos problemas envolvendo o controle ambiental, trazendo os almejados benefícios sócio-econômicos (D'ÁVILA *et al.*, 1991).

Os modelos matemáticos possuem a capacidade de englobar os processos hidrológicos, físicos, químicos e biológicos de forma simplificada e prática, ainda que esses processos sejam complexos. A utilização desses modelos proporciona além da simulação de eventos, a simulação das condições futuras e alternativas propostas para o corpo d'água (GASTALDINI; GIORGETTI, 1983 *apud* OPPA, 2007).

O estudo dos mecanismos de propagação de poluentes em rios, como eles se dispersam e se degradam, é essencial para que sejam feitos os planos de monitoramento com rigor científico necessário. O uso de simulação matemática é fundamental na escolha adequada da rede de monitoramento, na definição correta dos parâmetros de interesse, etc. Da mesma forma a calibração correta do modelo através dos dados experimentais obtidos completa o ciclo, permitindo agora, através do modelo, controlar a qualidade do rio de forma segura e rápida.

O interesse principal na simulação é determinar, baseado em dados conhecidos previamente, as variações de concentração de um certo aporte de poluente em função da posição e do tempo. Isto obviamente passa por conhecimentos básicos de transporte de massa molecular e convectivo, e de cinética das reações biológicas envolvidas no processo.

De acordo com Fan *et al.* (2009), ao longo dos anos, vários modelos de qualidade da água têm sido desenvolvidos para diferentes tipos de corpos d'água (rios, lagos e reservatórios). Alguns desses modelos têm incluído parâmetros básicos (OD e DBO), enquanto outros têm incluído critérios mais sofisticados de qualidade da água tais como níveis de eutrofização e impactos por toxicidade.

Segundo Cunha *et al.*, 2003, existem na literatura vários modelos de qualidade de água que incluem a modelagem de diversas substâncias. Entre os modelos mais utilizados podemos citar o QUAL-UFMG e QUAL2-E.

Salvador *et al.* (1989) desenvolveram um modelo computacional de autodepuração de rios, baseado no balanço de oxigênio proposto por Streeter e Phelps (1925), desenvolvido para microcomputadores compatíveis com o IBM-PC. O modelo utiliza um programa elaborado em linguagem PASCAL, permitindo o estudo e a determinação do perfil de oxigênio dissolvido e da degradação da DBO ao longo de um rio.

Além disso, pode-se verificar uma nova versão de um programa computacional de autodepuração de cursos d'água, **AD' ÁGUA 2.0**, testado e aprimorado por Santos (2001), em programação voltada para objetos, utilizando-se o software Delphi (Versão 5.0), desenvolvido pela empresa Imprise Corporation (1999), permitindo o estudo e a determinação do perfil de oxigênio dissolvido e da degradação da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO ao longo do curso d'água.

2.1. MODELAGEM MATEMÁTICA – MODELO DE STREETER-PHELPS

Os modelos de qualidade das águas de rios vêm sendo utilizados desde o desenvolvimento do modelo clássico de OD e DBO, de Streeter e Phelps, em 1925 (VON SPERLING, 2007). O modelo Streeter-Phelps foi o pioneiro para os modelos atuais, abordando unicamente dois aspectos importantes: o consumo de oxigênio pela oxidação da matéria orgânica e a produção de oxigênio pela reaeração atmosférica. É um modelo determinístico e estático.

O modelo de Streeter e Phelps necessita dos seguintes dados:

- vazão do rio, a montante do lançamento;
- vazão de esgotos (Q_e);
- oxigênio dissolvido no rio, a montante do lançamento (OD_r);
- oxigênio dissolvido no esgoto (OD_e);
- DBO_5 no rio, a montante do lançamento (DBO_r);
- DBO_5 do esgoto (DBO_e);
- coeficiente de desoxigenação (K_1);
- coeficiente de reaeração (K_2);
- velocidade de percurso do rio (v);
- tempo de percurso (t);
- concentração de saturação de OD (C_s);
- oxigênio dissolvido mínimo permissível (OD_{min}).

A hipótese básica no modelo Streeter e Phelps é que o processo de decomposição da matéria orgânica no meio aquático segue uma reação de primeira ordem. Assim, nesse tipo de reação, a taxa de redução da matéria orgânica é proporcional à concentração de matéria orgânica presente em um dado instante de tempo (BRAGA, *et al.*, 2003). A equação é descrita da seguinte forma:

$$DBO_t = L_o \cdot e^{-K_1 t} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

- DBO_t = é a quantidade de oxigênio dissolvido consumido desde o instante inicial até o instante t ;
 L_o = é a DBO imediata após o ponto de lançamento, ou seja, a quantidade total de oxigênio necessária para completa estabilização da matéria orgânica;
 K_1 = é a constante de desoxigenação que depende do tipo de efluente;
 t = tempo em dias.

O equacionamento de Streeter e Phelps para o cálculo da concentração de OD, combina os processo de reaeração e desoxigenação pelo decaimento da matéria orgânica, conforme a Equação 02:

Sabendo-se que:

$$C_t = C_s - D_t \quad (\text{eq. 2})$$

Tem-se a concentração de OD em um instante de tempo t :

$$C_t = C_s - \left[\frac{K_1 \cdot L_o}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + (C_s - C_0) \cdot e^{-K_2 t} \right] \quad (\text{eq. 3})$$

onde:

- C_t = concentração do oxigênio dissolvido no tempo t (mg/L);
 C_s = concentração de saturação de oxigênio (mg/L);
 C_0 = concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L);
 K_1 = coeficiente da taxa de desoxigenação (dia^{-1});

- K_2 = coeficiente da taxa de reaeração (dia^{-1});
 L_0 = concentração de determinado poluente, no corpo receptor, após a mistura com o despejo (mg/L);
 D_t = déficit inicial de oxigênio dissolvido no ponto de mistura (mg/L).

O coeficiente de desoxigenação depende do tipo da matéria orgânica e do grau de tratamento, além da temperatura e da presença de substâncias inibidoras. Efluentes tratados, por exemplo, possuem uma taxa de degradação mais lenta, pelo fato da maior parte da matéria orgânica mais facilmente assimilável já ter sido removida, restando apenas a parcela de estabilização mais vagarosa. Valores médios de K_1 encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores genéricos do coeficiente K_1 (base e, 20°C) para vários tipos de efluentes (VON SPERLING, 1996 e CASTAGNINO, s.d.)

ORIGEM	K_1 (d^{-1})
Água residuária concentrada	0,35 – 0,45
Água residuária de baixa concentração	0,30 – 0,40
Efluente primário	0,30 – 0,40
Efluente secundário	0,12 – 0,24
Efluente terciário	0,10 – 0,20
Rios com águas limpas	0,09 – 0,21
Água para abastecimento público	< 0,12

Existem processos matemáticos e estatísticos que podem ser utilizados para a determinação do coeficiente de desoxigenação, caso se disponha de amostras da água a ser analisada. Os dados de entrada para tais métodos são os valores da DBO exercida a vários dias, tipicamente a DBO de cinco dias e a DBO de 20 dias. Os métodos mais conhecidos para a determinação de K_1 são (Von Sperlíng, 1996):

- Método dos mínimos quadrados, de Reed – Theriault (citado por BARNWELL, 1980);
- Método da inclinação, de Thomas (1937);
- Métodos dos momentos, de Moore, Thomas e Snow (1950);
- Método de Thomas (citado por POVINELLI, 1973; METCALF; EDDY, 1981);
- Método da diferença de logaritmos, de Fair (1936).

O valor de K_1 depende da temperatura, pois exerce uma grande influência no metabolismo microbiano. A relação empírica entre a temperatura e a taxa de desoxigenação pode ser expressa da seguinte forma:

$$K_{1T} = K_{120} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (\text{eq. 4})$$

em que,

- K_{1T} = K_1 a uma temperatura T qualquer (d^{-1});
 K_{120} = K_1 a uma temperatura T = 20°C (d^{-1});
 T = temperatura do líquido ($^\circ\text{C}$);
 θ = coeficiente de temperatura (adimensional).

Um valor usualmente empregado de θ é 1,047 (VON SPERLING, 1996). A interpretação deste valor, com relação à equação 4 é de que o valor de K_1 aumenta 4,7% a cada acréscimo de 1°C na temperatura da água.

O valor do coeficiente de reaeração (K_2) de um corpo d'água pode ser determinado por meio de métodos estatísticos. Os dados de entrada são oxigênio dissolvido (OD) a diversos tempos (t). A seleção do valor do coeficiente K_2 tem uma maior influência nos resultados do balanço do oxigênio dissolvido do que o coeficiente K_1 , pelo fato das faixas de variação do último serem mais estreitas. Existem três métodos para a obtenção de um valor para o coeficiente K_2 :

- Valores médios tabelados (Tabela 2);
- Valores em função das características hidráulicas do corpo d'água (Tabela 3);
- Valores correlacionados com a vazão do curso d'água, descritos pela fórmula $K_2 = mQ^n$, sendo m e n coeficientes de ajuste.

Tabela 2. Valores típicos de K_2 (base e, 20°C) (FAIR *et al*, 1973, ARCEIVALA, 1981, citado por VON SPERLING, 1996).

CORPO D'ÁGUA	K_2 (d ⁻¹)	
	PROFUNDO	RASO
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagorosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas d'água	>1,15	>1,61

Tabela 3. Valores do coeficiente K_2 segundo modelos baseados em dados hidráulicos (base e, 20°C) (COVAR, citado por EPA, 1985).

PESQUISADOR	FÓRMULA	FAIXA DE APLICAÇÃO
O'Connor e Dobbins (1958)	$3,73 \cdot v^{0,5} H^{-1,5}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,05m/s \leq v < 0,8m/s$
Churchill et al (1962)	$5,0 \cdot v^{0,97} H^{-1,67}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,8m/s \leq v < 1,5m/s$
Owens et al (Apud Branco, 1976)	$5,3 \cdot v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,1m \leq H < 0,6m$ $0,05m/s \leq v < 1,5m/s$

Notas: v: velocidade do curso d'água (m/s); H: altura da lâmina d'água (m);

A temperatura influencia na oxigenação do corpo d'água de duas formas: reduz a concentração de saturação da água e acelera o processo de absorção de oxigênio. Observa-se, de modo geral, que a água previamente desoxigenada absorve menos oxigênio da atmosfera à medida que a temperatura se eleva, se todas as outras condições permanecerem constantes (SANTOS, 2001; NUNES, 2008).

Os teores de oxigênio dissolvido a serem mantidos nos corpos d'água são estipulados através de legislação. Os valores variam em função da classe em que o corpo d'água está classificado (VON SPERLING, 1996). A Tabela 4 mostra os teores mínimos de OD nos corpos d'água, em função da classe a que pertencem, segundo a Resolução CONAMA N°20, de 18/06/86.

Tabela 4. Concentrações mínimas permissíveis de oxigênio dissolvido (Resolução CONAMA N°20, de 18/06/86).

CLASSE	OD MÍNIMO (mg/L)
Especial	Não são permitidos lançamentos, mesmos tratados
1	6,0
2	5,0
3	4,0
4	2,0

3. EXERCÍCIO CORRIGIDO - MODELO DE STREETER-PHELPS (1925)

A seguir será mostrada passo a passo a resolução de um exercício cujos dados foram comprovadamente utilizados pelo Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos em sua tese de doutorado. Posteriormente, você terá a oportunidade de obter os mesmos resultados mais rapidamente utilizando o aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0**.

1. Calcular e plotar os perfis de OD para um segmento Retilíneo do Rio Turvo Sujo, que passa pelo município de Viçosa –MG.

CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO:

- Vazão = $Q_e = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Demanda bioquímica do esgoto = $\text{DBO}_{5e} = 10.000 \text{ mg/L}$;
- Oxigênio dissolvido do esgoto = $\text{OD}_e = 0,0 \text{ mg/L}$;

CARACTERÍSTICAS DO RIO TURVO SUJO:

- A jusante do ponto de lançamento o curso d'água não apresenta outros lançamentos significativos;
- Vazão = $Q_r = 0,168 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Rio considerado limpo;
- Oxigênio dissolvido do rio = $\text{OD}_r = 6,8 \text{ mg/L}$;
- Classe do corpo d'água: Classe 2;
- Altitude = 1.000 m ;
- Temperatura da água = 25°C ;
- Profundidade média = $1,0 \text{ m}$;
- Velocidade média = $0,35 \text{ m/s}$.

RESOLUÇÃO

Para facilitar a resolução, devem-se seguir os 17 passos propostos pelo Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos, mostrados abaixo:

PASSO 1: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO DO RIO (DBO_r)

Para um rio limpo, tem-se:

$$\text{DBO}_r = 2,0 \text{ mg/L}$$

PASSO 2: COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO (K_1):

Para água residuária concentrada o valor de K_1 corresponde a $0,45 \text{ d}^{-1}$ (FAIR *et al*, 1973), ou seja;

$$K_1 = 0,45 \text{ d}^{-1} \text{ (} 20^\circ\text{C, base e) (Veja Tabela 1, pág. 13)}$$

PASSO 3: COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO CORRIGIDO (K_{1T}):

$$K_{1T} = K_{1_{20}} \cdot \theta^{(T-20)} = 0,45 \cdot 1,047^{(25-20)} = 0,566 \text{ d}^{-1}$$

Observação: O valor usualmente empregado de θ é $1,047$ (VON SPERLING, 1996), ou seja, o valor de K_1 aumenta $4,7\%$ a cada acréscimo de 1°C na temperatura da água.

PASSO 4: COEFICIENTE DE REAERAÇÃO (K_2):

- Profundidade do curso d'água: $H = 1,0$ m;
- Velocidade do curso d'água: $v = 0,35$ m/s.
- Logo a fórmula a ser utilizada é a de O'Connor e Dobbins (1958):

$$K_2 = 3,73 \cdot V^{0,5} H^{-1,5} = 3,73 \cdot 0,35^{0,5} 1,0^{-1,5} = 2,21 \text{ d}^{-1}$$

PASSO 5: COEFICIENTE DE REAERAÇÃO CORRIGIDO (K_{2T}):

$$K_{2T} = K_{2_{20}} \cdot \theta^{(T-20)} = 2,21 \cdot 1,024^{(25-20)} = 2,49 \text{ d}^{-1}$$

Observação: Com base nos valores apresentados na literatura, um valor bastante utilizado do coeficiente de temperatura θ é 1,024 (SANTOS, 2001).

PASSO 6: CONCENTRAÇÃO DE SATURAÇÃO DE OXIGÊNIO (C_s):

- Temperatura da água: $T = 25^\circ\text{C}$;
- Altitude = 1.000 m;
- $C_s = 7,5$ mg/L (Tabela 5 abaixo).

Tabela 5. Concentração de saturação de oxigênio (mg/L) em função da temperatura e altitude.

Temperatura (°C)	Altitude			
	0	500	1000	1500
10	11,3	10,7	10,1	9,5
11	11,1	10,5	9,9	9,3
12	10,8	10,2	9,7	9,1
13	10,6	10,0	9,5	8,9
14	10,4	9,8	9,3	8,7
15	10,2	9,7	9,1	8,6
16	10,0	9,5	8,9	8,4
17	9,7	9,2	8,7	8,2
18	9,5	9,0	8,5	8,0
19	9,4	8,9	8,4	7,9
20	9,2	8,7	8,2	7,7
21	9,0	8,5	8,0	7,6
22	8,8	8,3	7,9	7,4
23	8,7	8,2	7,8	7,3
24	8,5	8,1	7,6	7,2
25	8,4	8,0	7,5	7,1
26	8,2	7,8	7,3	6,9
27	8,1	7,7	7,2	6,8
28	7,9	7,5	7,1	6,6
29	7,8	7,4	7,0	6,6
30	7,6	7,2	6,8	6,4

PASSO 7: OXIGÊNIO DISSOLVIDO MÍNIMO PERMISSÍVEL (ODmin):

- Classe do corpo d'água = classe 2;
- Segundo esta classe, temos que:
- ODmin = 5,0 mg/L. (Veja Tabela 4, pág. 13)

PASSO 8: CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DA MISTURA (C_o):

$$C_o = \frac{Q_r \cdot OD_r + Q_e \cdot OD_e}{Q_r + Q_e} = \frac{0,168 \cdot 6,8 + 0,002 \cdot 0,0}{0,168 + 0,002} = 6,72 \text{ mg/L}$$

PASSO 9: DÉFICIT DE OXIGÊNIO (D_o):

$$D_o = C_s - C_o = 7,5 - 6,72 = 0,78 \text{ mg/L}$$

PASSO 10: CONSTANTE DE TRANSFORMAÇÃO DA DBO5 A DBO ÚLTIMA (K_T)

$$K_T = \frac{DBO_u}{DBO_5} = \frac{1}{1 - e^{-5K_1}} = \frac{1}{1 - e^{-5(0,566)}} = 1,0627$$

PASSO 11: CONCENTRAÇÃO DE DBO₅, LOGO APÓS A MISTURA (DBO_{5_o}):

$$DBO_{5_o} = \frac{Q_r \cdot DBO_r + Q_e \cdot DBO_e}{Q_r + Q_e} = \frac{0,168 \cdot 2,0 + 0,002 \cdot 10000}{0,168 + 0,002} = 119,62 \text{ mg/L}$$

PASSO 12: DEMANDA ÚLTIMA DE OXIGÊNIO, LOGO APÓS A MISTURA (L_o):

$$L_o = DBO_{5_o} \cdot K_T = 119,62 \cdot 1,0627 = 127,122 \text{ mg/L}$$

PASSO 13: TEMPO CRÍTICO (t_c):

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \ln \left\{ \frac{K_2 \left[1 - \frac{D_o \cdot (K_2 - K_1)}{L_o \cdot K_1} \right]}{K_1 \left[1 - \frac{0,78 \cdot (2,49 - 0,566)}{127,12 \cdot 0,566} \right]} \right\} = \frac{1}{2,49 - 0,566} \ln \left\{ \frac{2,49 \left[1 - \frac{0,78 \cdot (2,49 - 0,566)}{127,12 \cdot 0,566} \right]}{0,566 \left[1 - \frac{0,78 \cdot (2,49 - 0,566)}{127,12 \cdot 0,566} \right]} \right\}$$

$$t_c = 0,759 \text{ d}$$

PASSO 14: DISTÂNCIA CRÍTICA (d_c):

$$d_c = t_c \cdot v \cdot 86400 = 0,759 \cdot 0,35 \cdot 86400 = 22.952,16 \text{ m} \approx 23,0 \text{ km}$$

PASSO 15: DÉFICIT CRÍTICO (D_C):

$$D_C = \frac{K_1}{K_2} L_o \cdot e^{-K_1 \cdot t_c} = \frac{0,566}{2,49} 127,12 \cdot e^{-0,566 \cdot 0,759} = 18,79 \text{ mg/L}$$

PASSO 16: CONCENTRAÇÃO CRÍTICA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (C_c)

$$C_C = C_s - D_C = 7,5 - 18,79 = -11,29 \text{ mg/L} \therefore C_C = 0,0 \text{ mg/L (Menor valor na prática)}$$

PASSO 17: PERFIL DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO AO LONGO DO TEMPO E DA DISTÂNCIA

A equação que possibilita plotar num diagrama o perfil de oxigênio dissolvido ao longo do tempo (em dias) e da distância (em quilômetros) é dada por:

$$C_t = C_S - \left[\frac{K_1 \cdot L_o}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + D_o \cdot e^{-K_2 \cdot t} \right]$$

Observação: A velocidade média do rio deverá ser transformada de m/s para km/dia da seguinte forma:

$$\text{velocidade em km/dia} = \text{velocidade em m/s} \cdot 86,40 = 0,35 \cdot 86,40 = 30,24 \text{ km/dia}$$

Agora, basta preparar uma tabela contendo os intervalos pré-definidos de DISTÂNCIA (km) e TEMPO (dias) e, posteriormente, plotar os gráficos da concentração de oxigênio (C_t) em relação ao tempo (t) e a distância (d). A Tabela 6 mostra os valores da concentração de oxigênio baseado na distância e no tempo. Já os perfis das curvas de oxigênio dissolvido podem ser observadas na Figuras 4.

Tabela 6. Valores da concentração de oxigênio baseado na distância e no tempo.

DISTÂNCIA (d) km	TEMPO (t)	CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO (C_t) mg/L
	Dias $t = \frac{d}{v} = \frac{d}{30,24}$	
0	0,00	6,72
1	0,03	4,51
2	0,07	2,53
3	0,10	0,74
4	0,13	0,00
20	0,66	0,00
70	2,31	0,00
80	2,65	0,00
90	2,98	0,56
100	3,31	1,74
120	3,97	3,53
140	4,63	4,77
160	5,29	5,62
160	5,29	5,62
160	5,29	5,62
160	5,29	5,62
160	5,29	5,62
160	5,29	5,62

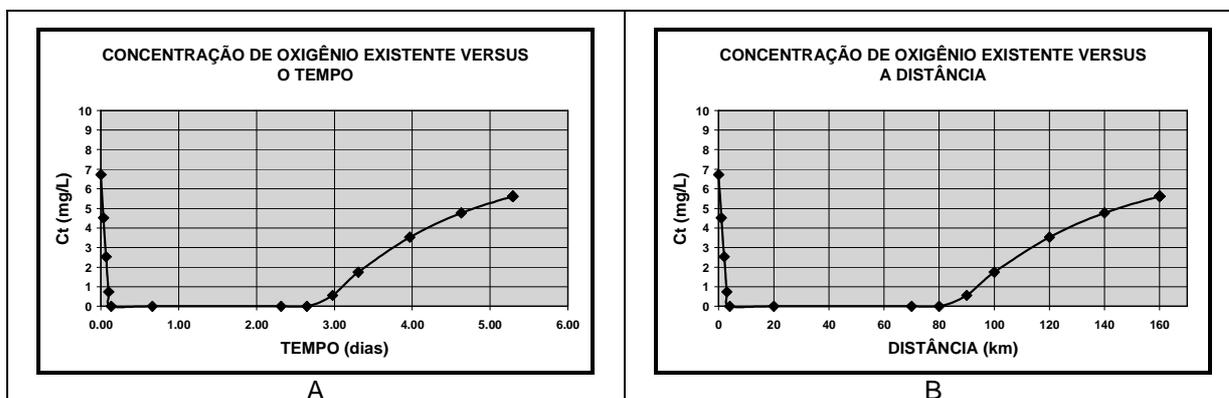


Figura 4. Perfil da concentração de oxigênio versus tempo (A) e distância (B).

4. EXERCÍCIO PROPOSTO - MODELO DE STREETER-PHELPS (1925)

1. Calcular e plotar os perfis de OD para um rio “desconhecido”, que passa pelo município de Viçosa –MG.

CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO:

- Vazão= $Q_e = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Demanda bioquímica do esgoto = $\text{DBO}_{5e} = 8.000 \text{ mg/L}$;
- Oxigênio dissolvido do esgoto = $\text{OD}_e = 0,0 \text{ mg/L}$;

CARACTERÍSTICAS DO RIO:

- A jusante do ponto de lançamento o curso d'água não apresenta outros lançamentos significativos;
- Vazão = $Q_r = 0,150 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Rio considerado limpo;
- Oxigênio dissolvido do rio = $\text{OD}_r = 6,8 \text{ mg/L}$;
- Classe do corpo d'água: Classe 2;
- Altitude = 1.000 m;
- Temperatura da água = 25°C ;
- Profundidade média = 1,0 m;
- Velocidade média = 0,37 m/s.

5. CONHECENDO O APLICATIVO COMPUTACIONAL AD' ÁGUA 2.0

O aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0** foi programado, testado e validado por Santos (2001), sendo utilizado em sua tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa (UFV), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

O aplicativo computacional é bastante acessível e prático, sendo operado de forma totalmente conversacional. Por meio dele, o rio em estudo é dividido em trechos, a critério do usuário, sendo possível a realização de simulações com rapidez e eficiência, gerando dados de interesse para proteção e aproveitamento racional do curso d'água. Os dados são apresentados por meio de gráficos, quadros e relatórios, de modo a facilitar a sua interpretação e utilização.

Além disso, o programa trabalha com relações de primeira ordem da DBO e com o modelo proposto por Streeter e Phelps (1925), a fim de simular impactos da poluição sobre os cursos d'água.

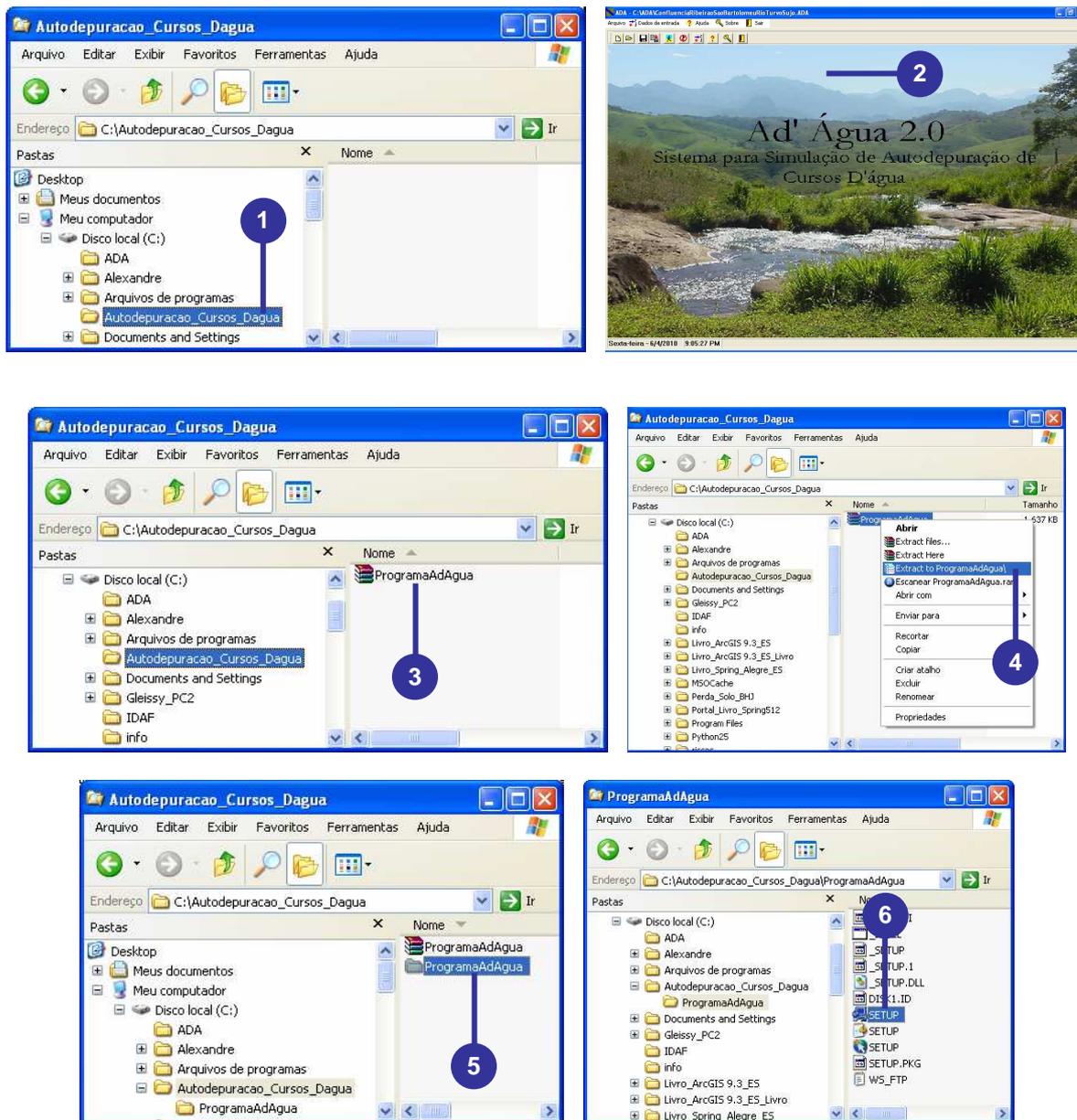
6. AQUISIÇÃO GRATUITA E INSTALAÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL AD' ÁGUA 2.0

Para realizar o *download* gratuito do aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0** basta acessar a home-page do **MUNDO DA GEOMÁTICA** que apresenta o seguinte endereço eletrônico: <http://www.mundogeomatica.com.br>.

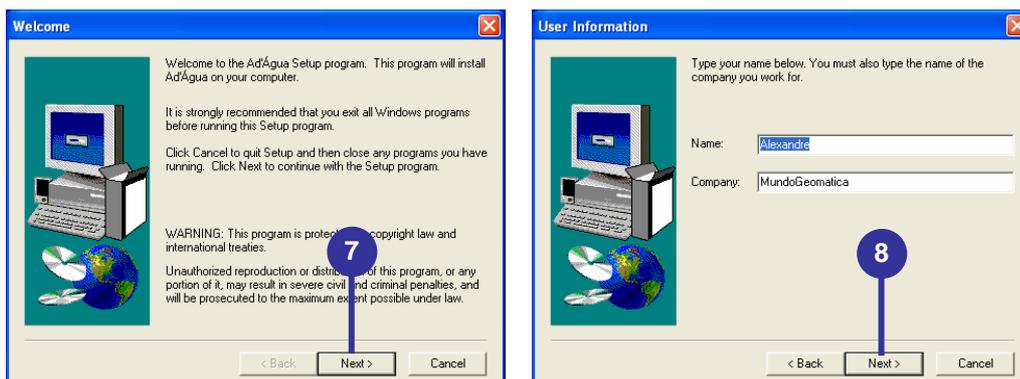
DOWNLOAD GRATUITO DO AD' ÁGUA 2.0

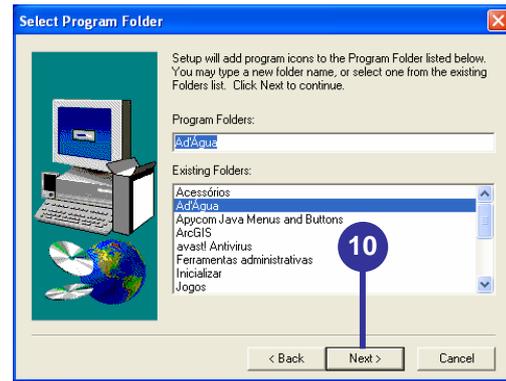
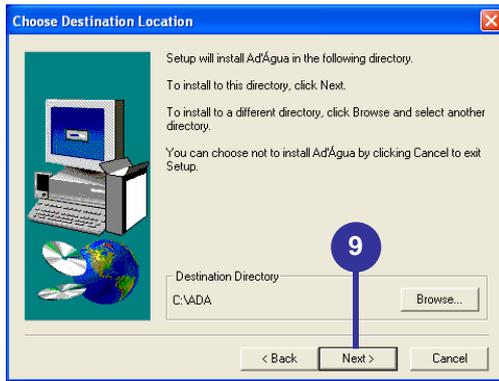
1. No **Windows Explorer**, na unidade **C**, crie uma pasta intitulada **Autodepuracao_Cursos_Dagua**.
2. Na home-page **MUNDO DA GEOMÁTICA**, você deverá clicar na imagem representativa do aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0** (Figura 2).
3. Na home-page do aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0**, salve o aplicativo computacional **AD' ÁGUA 2.0** dentro da pasta **Autodepuracao_Cursos_Dagua**.
4. Clique com o botão direito do mouse sobre o arquivo compactado **ProgramaAdAgua** e, na janela de menu rápido, clique em **Extract to ProgramaAdAgua**.
5. Dê um clique duplo sobre a pasta de trabalho **ProgramaAdAgua**.

6. Dê um clique duplo sobre o arquivo de instalação **SETUP**.

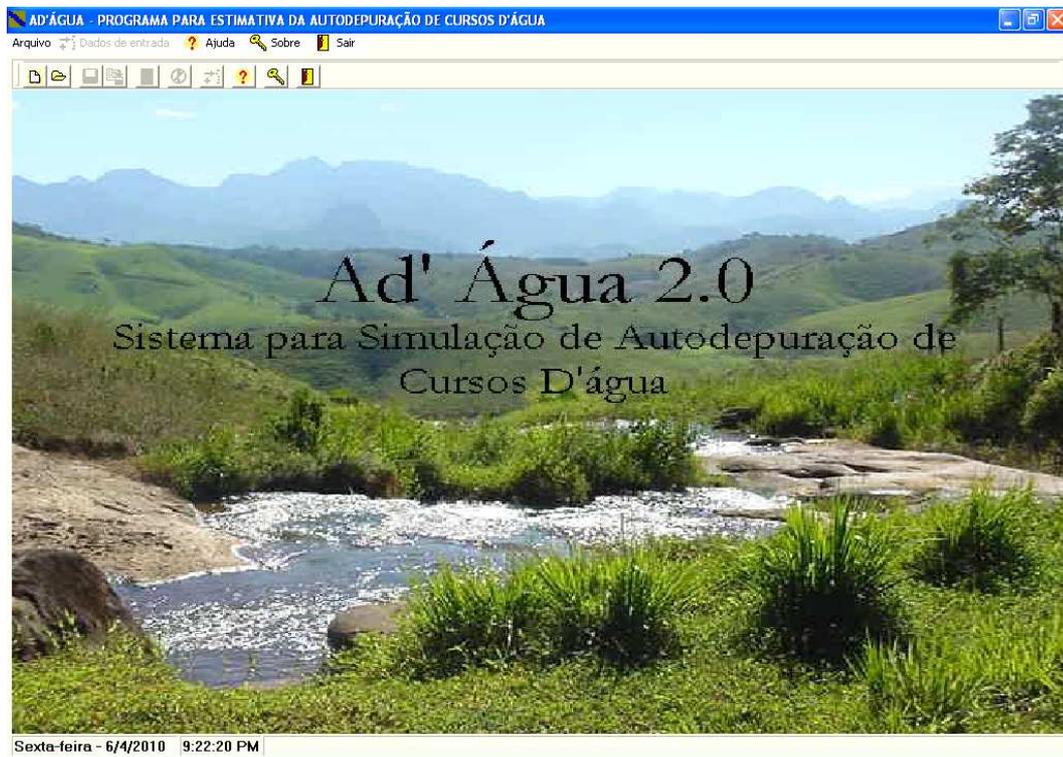
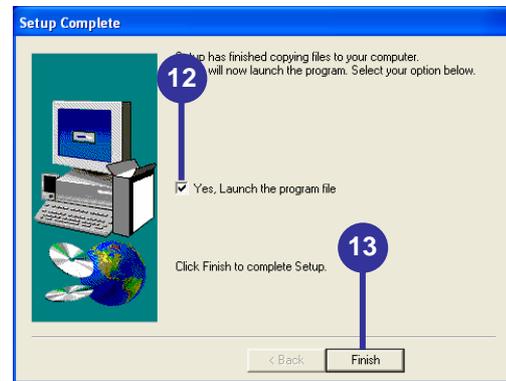
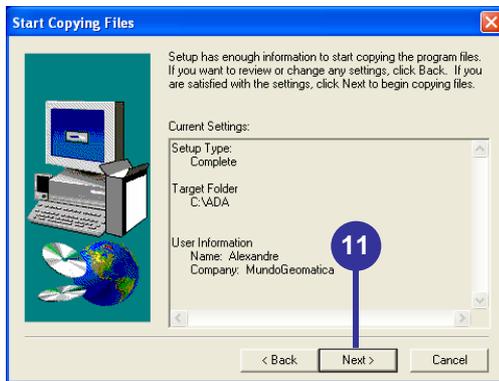


7. Na caixa de diálogo **Welcome**, clique no botão **Next**.
8. Na caixa de diálogo **User Information**, clique no botão **Next**.
9. Na caixa de diálogo **Choose Destination Location**, clique no botão **Next**.
10. Na caixa de diálogo **Select Program Folder**, clique no botão **Next**.





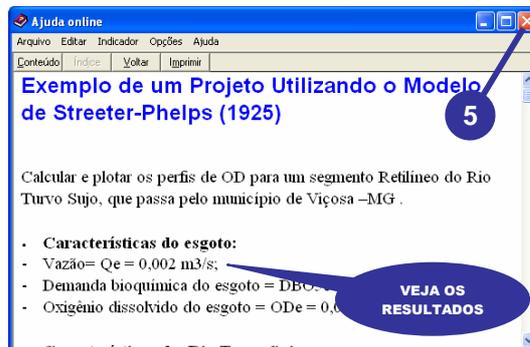
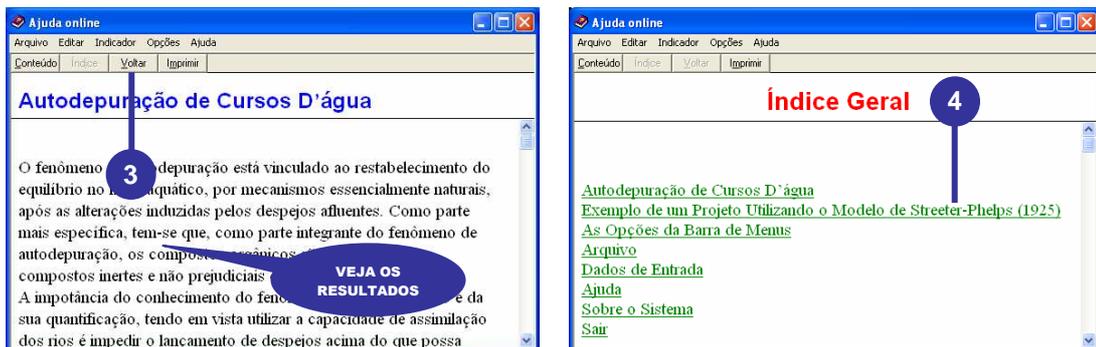
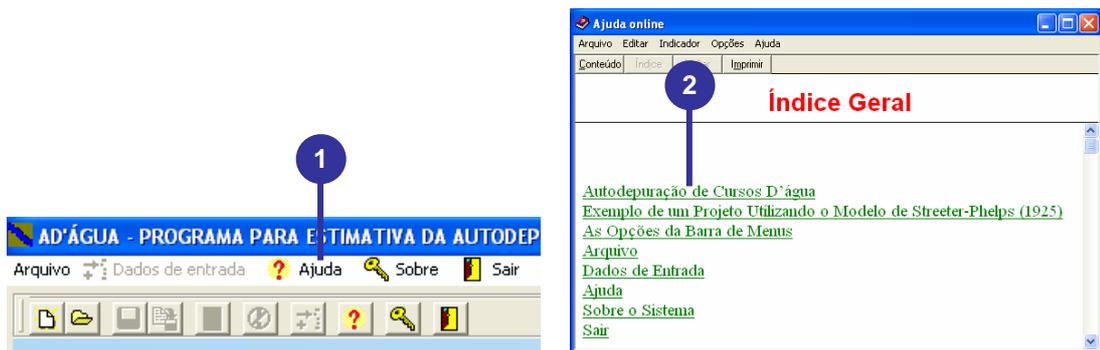
11. Na caixa de diálogo **Start Copying Files**, clique no botão **Next**.
12. Na caixa de diálogo **Setup Complet**, marque a opção **Yes. Launch the program file**.
13. Clique no botão **Finish**. Observe que o programa **AD' ÁGUA 2.0** será carregado.



7. CONHECENDO O MENU AJUDA DO AD' ÁGUA 2.0

Por ser um programa auto explicativo faz-se necessário conhecê-lo detalhadamente antes de inserir os dados para cálculo da autodepuração, através dos seguintes passos:

1. Na barra de ferramentas, clique ícone **Ajuda** .
2. Na caixa de diálogo **Ajuda online**, selecione o *link* **Autodepuração de Cursos D'Água**.
3. **Leia o texto exibido** e clique na opção **Voltar**.
4. Clique no *link* **Exemplo de um Projeto Utilizando o Modelo de Streeter-Phelps (1925)**.
5. Observe que será mostrado um exercício resolvido de Autodepuração semelhante ao mostrado no tópico 3 deste livro (página 14). Após a verificação do exercício, se necessário, clique sobre outros *links* da caixa de diálogo **Ajuda on line**. Finalmente, clique no botão **Fechar** .

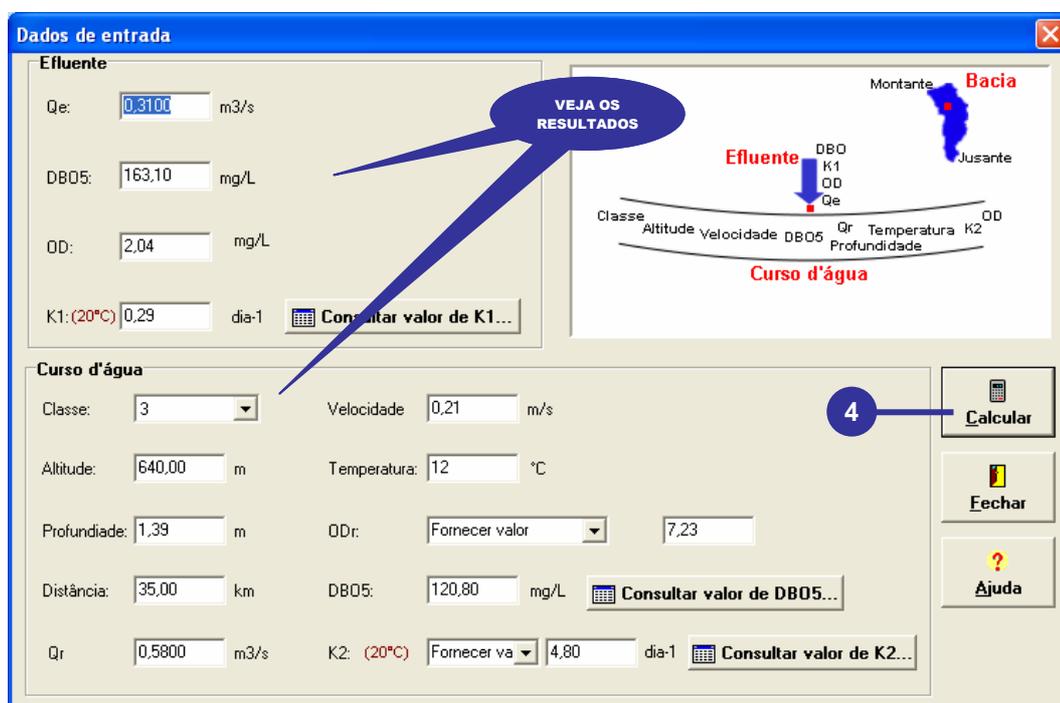
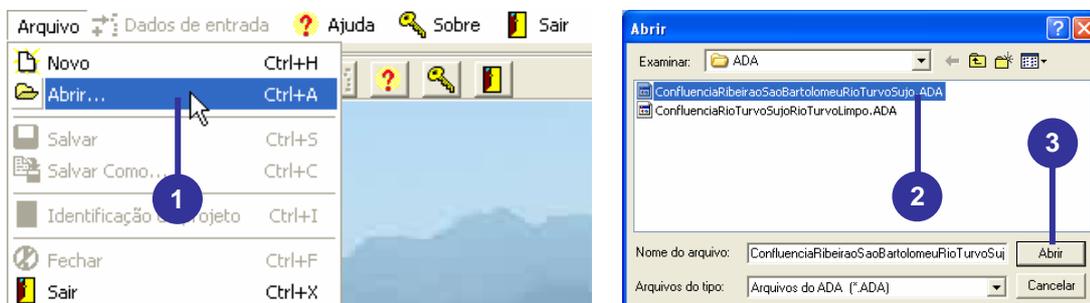


8. ABRINDO UM PROJETO EXISTENTE NO AD' ÁGUA 2.0

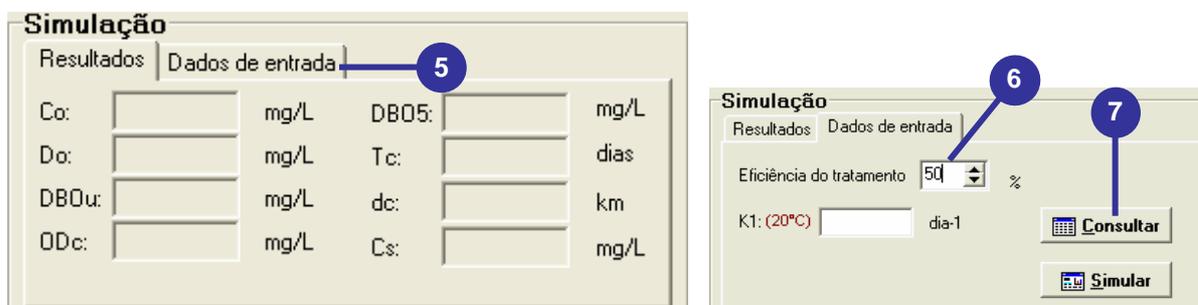
Neste tópico, vamos abrir o projeto intitulado *ConfluenciaRibeiraoSaoBartolomeuRioTurvoSujo.ADA*, cujos dados de entrada foram obtidos por Santos (2001), no campo e em laboratório para a realização das simulações.

1. No menu **Arquivo**, clique na opção **Abrir**.

2. Na caixa de diálogo **Abrir**, selecione o projeto **ConfluenciaRibeiraoSaoBartolomeuRioTurvo Sujo.ADA**.
3. Clique no botão **Abrir**.
4. Na caixa de diálogo **Dados de entrada**, veja os dados de entrada do projeto referentes ao **Efluente** e **Curso d'água**. Posteriormente, clique no botão **Calcular**.



5. Na caixa de diálogo **Resultados**, no painel **Simulação**, clique na guia **Dados de entrada**.
6. No dropdown da opção **Eficiência do tratamento**, digite **50**.
7. Clique no botão **Consultar**, para escolhermos o valor para **K₁**.



8. No painel **Valores para K₁**, selecione a opção **Efluente secundário**.
9. Clique no botão **OK**.
10. Veja que o valor de **K₁** foi adicionado. Posteriormente, clique no botão **Simular**.
11. Observe os resultados. Posteriormente, clique na guia **Resultados**.
12. Veja os resultados finais após a simulação. Posteriormente, clique no botão **Relatório**.

Valores para K1

Valores para K1

8 Água residuária concentrada 0,45 9

Água residuária de baixa concentração 0,30 - 0,40

Efluente primário 0,30 - 0,40

Efluente secundário 0,12 - 0,24

Rios com águas limpas 0,09 - 0,21

Água para abastecimento público < 0,12

Fonte: Adaptado de Fair et al, 1973; Arceivala, 1981

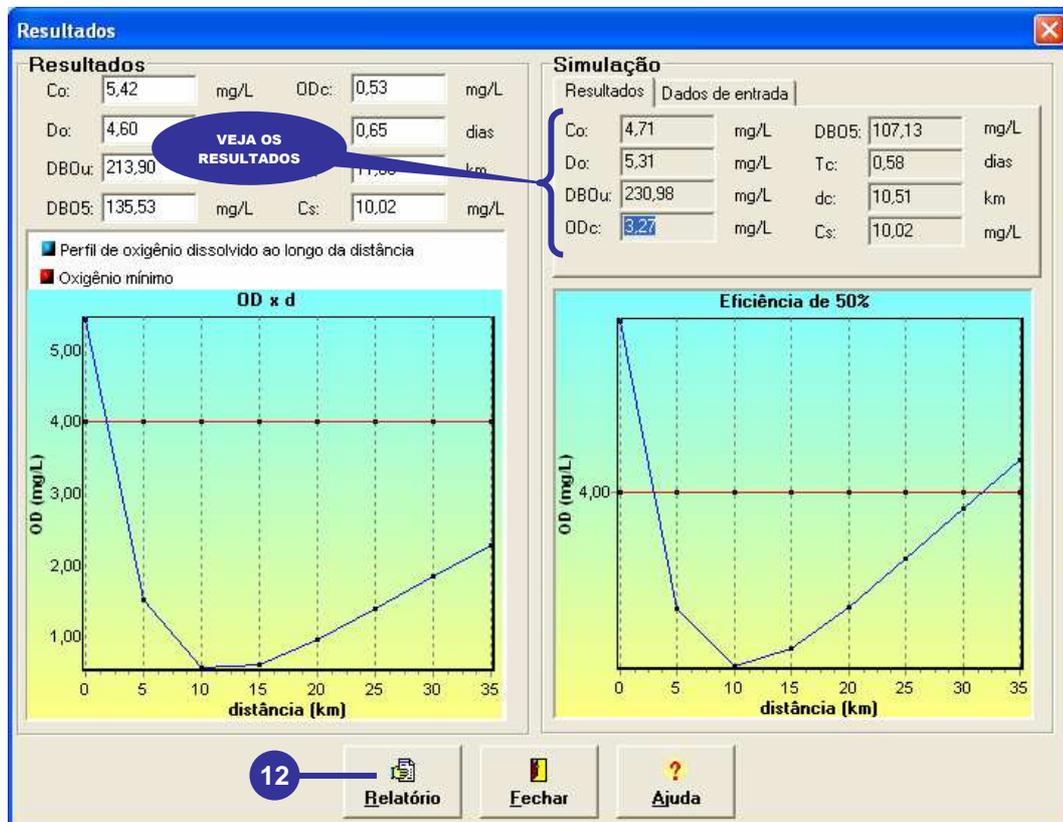
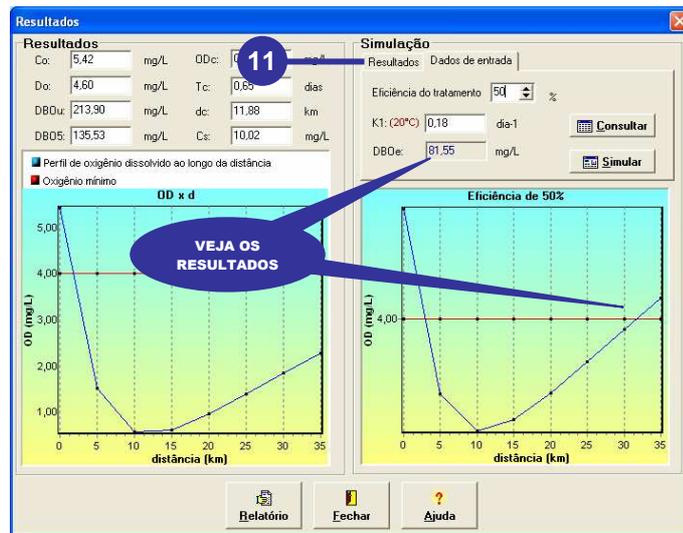
Simulação

Resultados Dados de entrada

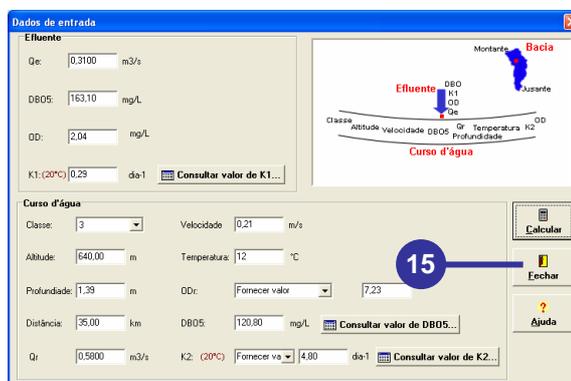
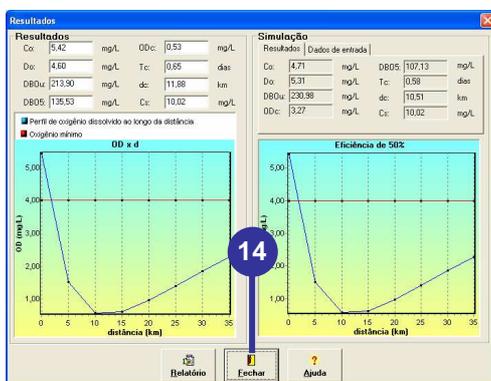
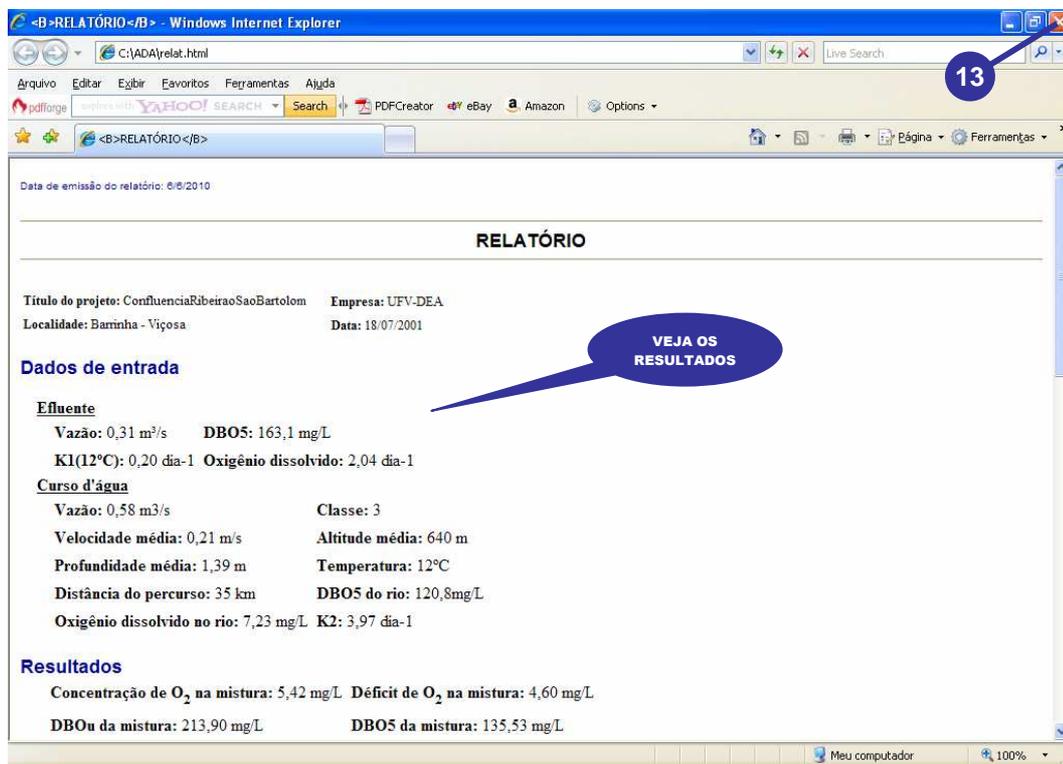
Eficiência do tratamento 50 % 10

K1: (20°C) 0,18 dia-1

VEJA O RESULTADO



13. Na janela **Relatório**, verifique detalhadamente todos os resultados incluindo cálculos, tabelas e gráficos. Posteriormente, clique no botão **Fechar**.
14. Na caixa de diálogo **Resultados**, clique no botão **Fechar**.
15. Na caixa de diálogo **Dados de entrada**, clique no botão **Fechar**.



9. ELABORANDO UM NOVO PROJETO NO AD' ÁGUA 2.0

Agora, você irá comprovar computacionalmente os resultados obtidos por meio de cálculos matemáticos do EXERCÍCIO PROPOSTO - MODELO DE STREETER-PHELPS (1925) (TÓPICO 4, pág. 18). Logo, vamos utilizar o **AD' ÁGUA 2.0** para calcular e plotar os perfis de OD para um rio "desconhecido", que passa pelo município de Viçosa –MG.

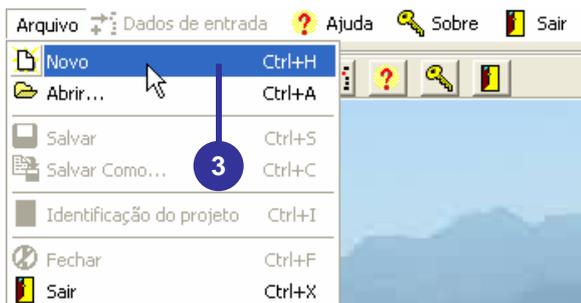
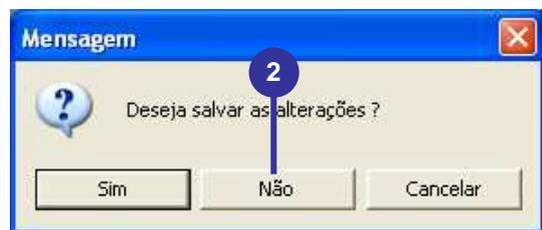
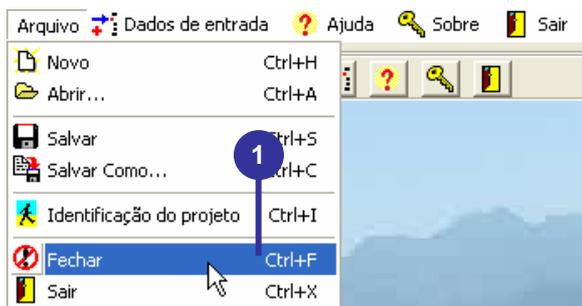
CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO:

- Vazão= $Q_e = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Demanda bioquímica do esgoto = $DBO_{5e} = 8.000 \text{ mg/L}$;
- Oxigênio dissolvido do esgoto = $ODE = 0,0 \text{ mg/L}$;
- $K_1 = 0,45 \text{ dia}^{-1}$.

CARACTERÍSTICAS DO RIO:

- A jusante do ponto de lançamento o curso d'água não apresenta outros lançamentos significativos;
- Vazão = $Q_r = 0,150 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Rio considerado limpo;
- Oxigênio dissolvido do rio = $OD_r = 6,8 \text{ mg/L}$;
- Classe do corpo d'água: Classe 2;
- Altitude = 1.000 m;
- Temperatura da água = 25°C ;
- Profundidade média = 1,0 m;
- Velocidade média = 0,37 m/s.
- $K_2 = 2,21 \text{ dia}^{-1}$.

1. No menu **Arquivo**, clique na opção **Fechar**.
2. Na caixa de diálogo **Mensagem**, clique no botão **Não**.
3. No menu **Arquivo**, clique na opção **Novo**.
4. Na caixa de diálogo **Identificação do projeto**, na caixa de entrada **Título**, digite **EXERCÍCIO PROPOSTO - MODELO DE STREETER-PHELPS (1925)**.
5. Na caixa de entrada **Empresa**, digite **MUNDO DA GEOMÁTICA**.
6. Na caixa de entrada **Localidade**, digite **VIÇOSA, MG**.
7. Na caixa de entrada **Data**, digite **06/06/2001**.
8. Clique no botão **OK**.
9. Clique no menu **Dados de entrada**.



Observe, abaixo que a caixa de diálogo **Dados de entrada** não apresenta dados armazenados.

Dados de entrada

Efluente

Qe: m3/s

DBO5: mg/L

OD: mg/L

K1: (20°C) dia-1

Curso d'água

Classe: Velocidade: m/s

Altitude: m Temperatura: °C

Profundidade: m ODr: Fornecer valor

Distância: km DBO5: mg/L

Qr m3/s K2: (20°C) Fornecer va dia-1

VEJA DADOS AUSENTES

Montante **Bacia** Jusante

Efluente DBO K1 OD Qe

Classe Altitude Velocidade DBO5 Qr Temperatura K2 Profundidade

Curso d'água

Na caixa de diálogo Dados de entrada, entre com os dados mostrados no quadro abaixo:

PAINEL EFLUENTE	PAINEL CURSO D'ÁGUA	
10. $Q_e = 0,003$ m ³ /s.	14. Classe = 3.	19. Velocidade = 0,37 m/s.
11. $DBO_{5e} = 8000$ mg/L.	15. Altitude = 1000 m.	20. Temperatura = 25 °C.
12. OD = 0,0 mg/L.	16. Profundidade = 1 m.	21. ODr = 6,8 mg/L.
13. $K_1 = 0,45$ dia ⁻¹ .	17. Distância = 160 km.	22. $DBO_5 = 2$ mg/L.
	18. Vazão do rio = $Q_r = 0,150$ m ³ /s.	23. $K_2 = 2,21$ dia ⁻¹ .

24. Clique no botão **Calcular**.

Dados de entrada

Efluente

Qe: m3/s **10**

DBO5: mg/L **11**

OD: mg/L **12**

K1: (20°C) dia-1 **13**

Curso d'água

Classe: **14** Velocidade: m/s **19**

Altitude: m **15** Temperatura: °C **20**

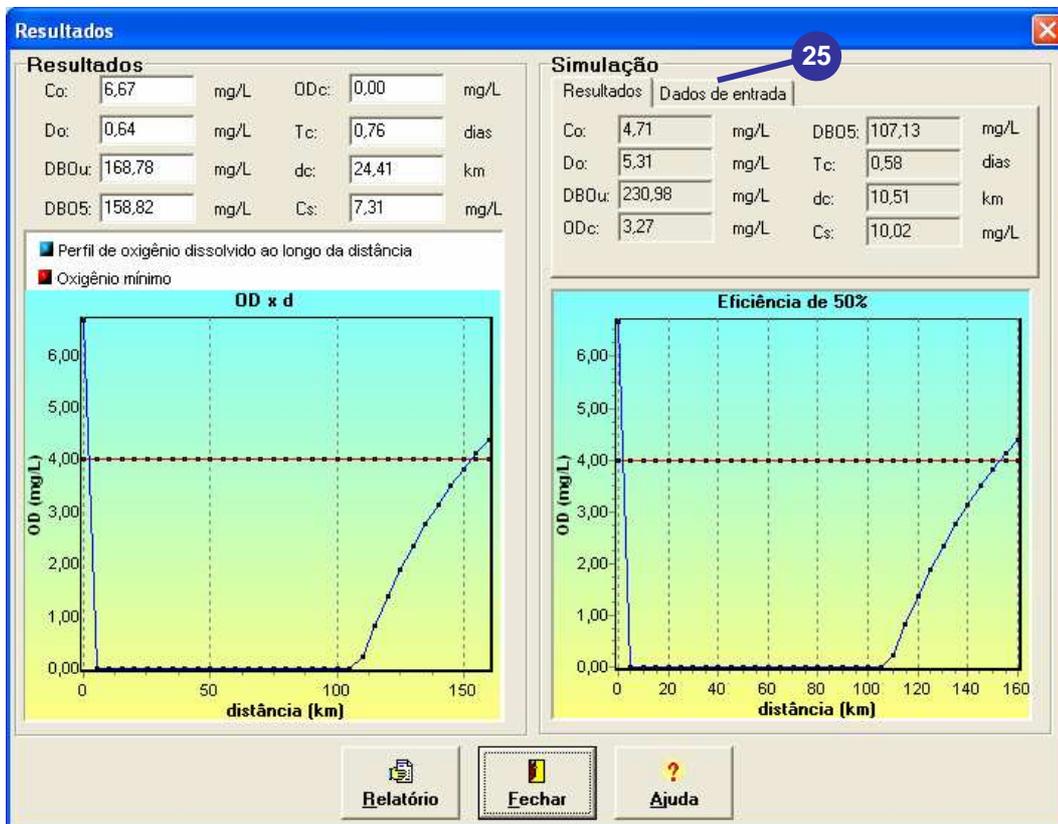
Profundidade: m **16** ODr: **21**

Distância: km **17** DBO5: mg/L **22**

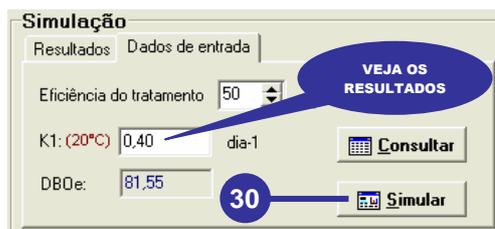
Qr m3/s **18** K2: (20°C) dia-1 **23**

24

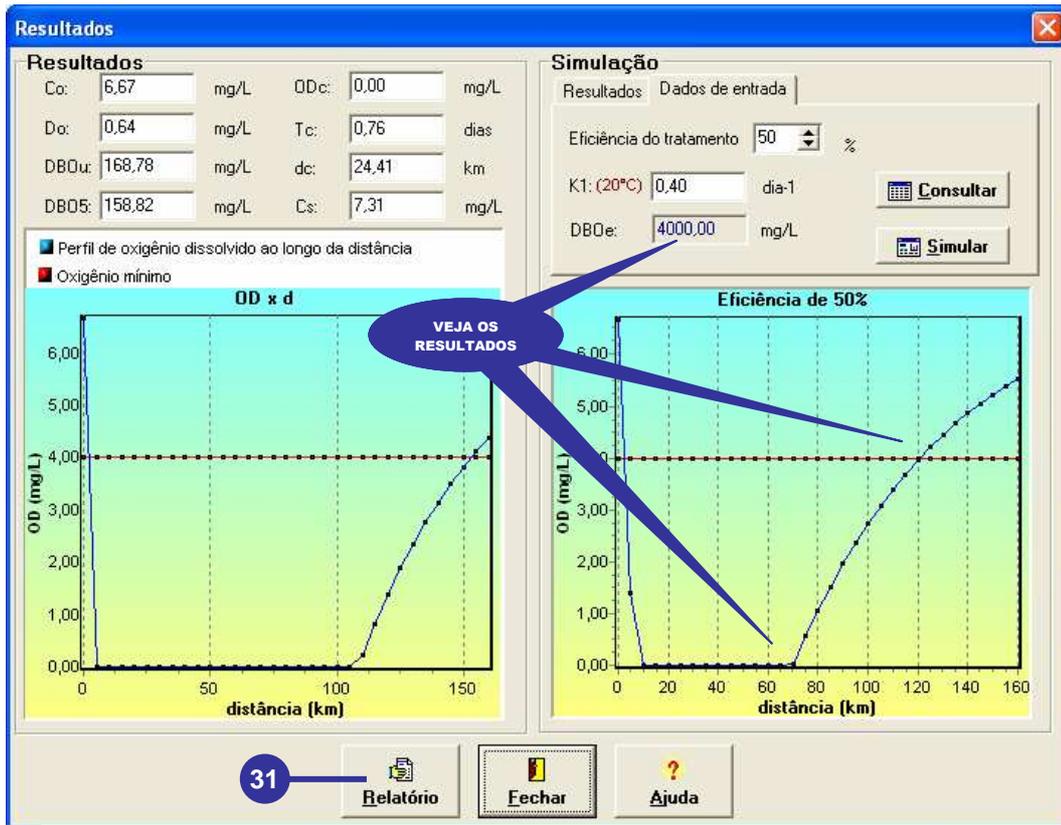
25. Na caixa de diálogo **Resultados**, no painel **Simulação**, clique na guia **Dados de entrada**.
26. No dropdown da opção **Eficiência do tratamento**, digite **50**.
27. Clique no botão **Consultar**, para escolhermos o valor para K_1 .
28. No painel **Valores para K_1** , selecione a opção **Água residuária concentrada**.
29. Clique no botão **OK**.



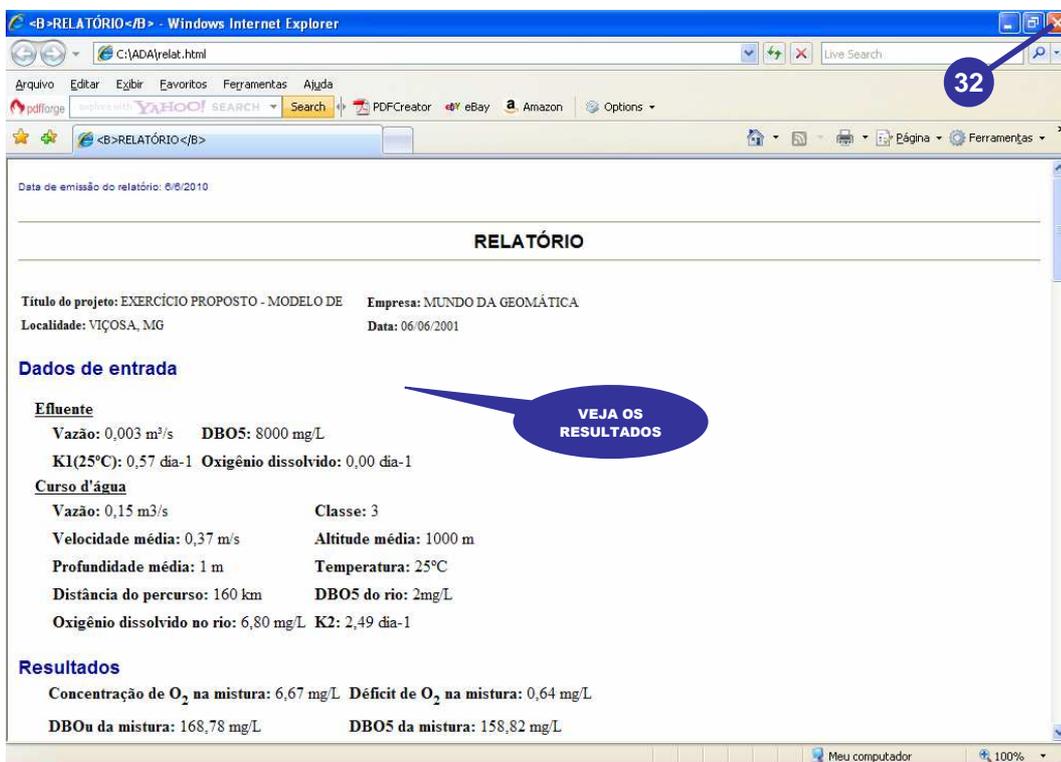
30. Veja que o valor de K_1 foi adicionado. Posteriormente, clique no botão **Simular**.



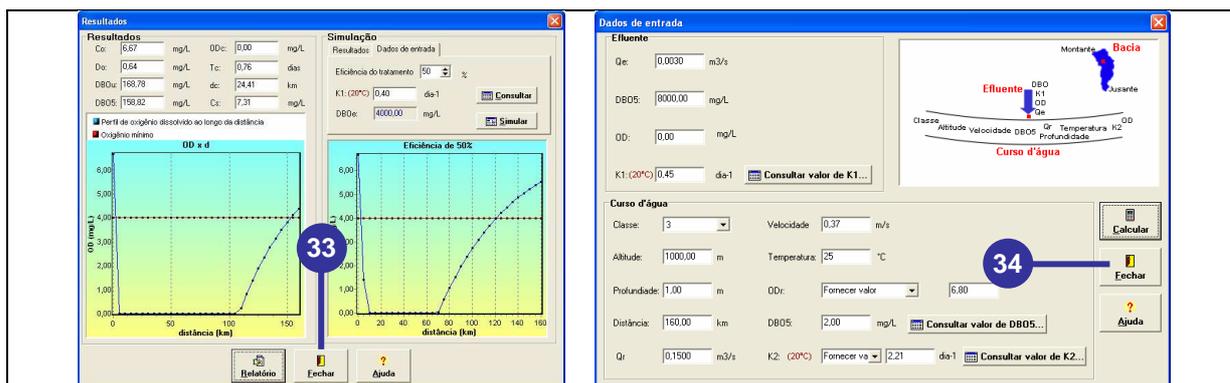
31. Clique no botão **Relatório**.



32. Na janela **Relatório**, verifique detalhadamente todos os resultados incluindo cálculos, tabelas e gráficos. Posteriormente, clique no botão **Fechar**.



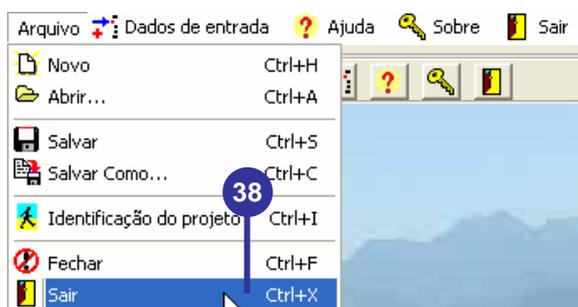
33. Na caixa de diálogo **Resultados**, clique no botão **Fechar**.
34. Na caixa de diálogo **Dados de entrada**, clique no botão **Fechar**.



35. No menu **Arquivo**, clique na opção **Salvar**.
36. Na caixa de diálogo **Salvar como**, na caixa de entrada **Nome do arquivo**, digite **ExercicioPropostoManual**.
37. Clique no botão **Salvar**.



38. No menu **Arquivo**, clique na opção **Sair**.



10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a elaboração das práticas contidas neste manual, conclui-se que o aplicativo computacional AD' ÁGUA 2.0 é adequado para realizar diversas simulações com eficiência e rapidez, facilitando, sobremaneira, a compreensão dos parâmetros referentes ao fenômeno da autodepuração de cursos d'água utilizando-se do modelo de Streeter-Phelps (1925).

11. AQUISIÇÃO DE LIVROS E SOFTWARES NO SITE MUNDO DA GEOMÁTICA

É com grande satisfação que agradecemos seu interesse em ter adquirido este material bibliográfico gratuitamente. O propósito da equipe de pesquisa orientada pelo professor Dr. Alexandre Rosa dos Santos (coordenador da *home-page* **MUNDO DA GEOMÁTICA**: www.mundogeomatica.com.br) é desenvolver gratuitamente livros e *softwares* com o objetivo de contribuir com o desenvolvimento acadêmico e profissional dos usuários de diferentes áreas de conhecimento, reforçando suas habilidades e competências.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNWELL, T. O. Least squares estimates of BOD parameters. **Journal Environmental Engineering Division**. ASCE, 106 (6). Dec. 1980.
- BRAGA, B et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**, Prentice Hall, São Paulo-SP, 2003.
- BRAGA *et al* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª Ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.
- CASTAGNINO, W. A. **Poluicion de agua – Modelos y control**, (Serie tecnica / Organizacao Panamericana da Saude. Division de Salud Ambiental; 20) Washington, D. C.: Organizacion Panamericana de la Salud, s.d.. 234p.
- CUNHA, C.L.N. et al. **Avaliação da poluição em rios usando modelagem computacional**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v.8, n.3, p.126-134, 2003.
- EPA, Enviromental Protection Agency, Athens. **Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling**. 1985. 2.ed, 455p.
- FAIR, G. M. The “log-difference” method of stimating the constants of the first-stage biochemical oxygen demand curve. **Sewage Works Journal**, 8 (3), May 1973. p. 270-307.
- FAN, C.; Ko, C.; Wang, W. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. **Journal of Environmental Management**, v. 90, Issue 5, p. 1824-1832, 2009.
- METCALF & EDDY, Inc., Boston. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 2ed. New Delhi, Tata Mc Graw-Hill. 1981. 920p.
- MEYBECK M. et al. **Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**. UNEP/WHO, 1996, 383p.
- MOORE, E. W.; THOMAS Jr, H. A.; SNOW, W. B. Simplified method for analysis of B.O.D. data. **Sewage and Industrial Wastes**, 22 (10), Oct 1950. p. 1343-1355.
- NAGALLI, A.; NEMES, P. D. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 131-144, abr./jun. 2009.
- NUNES, D.G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do Rio Turvo Sujo**. 2008. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 2008, 109p.
- OPPA, L. F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim**. Santa Maria, 2007. Dissertação de Mestrado Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. 2007, p. 19.
- POVINELLI, J. Sobre alguns processos para avaliação da constante de desoxigenação e da demanda final de DBO. **Anais**, VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Salvador. Universidade de São Carlos, 1973.
- SALVADOR, N. N. B.; SOUZA FILHO, J. S.; KAMADA, M. K. Modelo computacional de autodepuração de rios. **Anais**, XV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belém - PA. p. 252-265. 1989.
- SANTOS, A.R. **Caracterização morfológicam hidrológica e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa – MG**. 2001. Dissertação de Doutorado. Viçosa: UFV, 2001, 125p.
- SARDINHA, D. S.; CONCEIÇÃO, F. T.; SOUZA, A. D. G.; SILVEIRA, A.; JULIO, M.; GONÇALVES, J. C. S. I. Avaliação da qualidade e autodepuração do ribeirão do Meio, Leme (SP) **Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, Rio de Janeiro, v. 30, n.3, p. 329-338, 2008.
- STREETER, H. W. & PHELPS, E. B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. **Public Health Bulletin**, Washington. 1925, 146p.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2º ed., **UFMG, Belo Horizonte**, 1996. 246p.
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 1ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, p. 317-576, 2007.

AD'ÁGUA 2.0

SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA

Este sistema tem a finalidade de estimar todos os parâmetros referentes à autodepuração dos cursos d'água utilizando o modelo proposto por Streeter-Phelps (1925). Este modelo foi testado e validado utilizando dados de entrada referentes ao Rio Turvo Sujo (Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, MG) com o propósito de avaliar todos os parâmetros relacionados com a autodepuração deste curso d'água. Sua versão atual é 2.0 e o software utilizado para a construção do sistema foi o Delphi 5 da empresa Inprise (antiga Borland).

AUTORES

ALEXANDRE ROSA DOS SANTOS

Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES

NATHÁLIA SUEMI SAITO

Engenheira Florestal e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES

TELMACHADO DE OLIVEIRA PELUZIO

Engenheira Florestal e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES

JULIANA CRISTINA BRAGA

Professora Adjunta do Centro de Matemática, Computação e Cognição da Universidade Federal do ABC - CMCC-UFABC

KMILA GOMES DA SILVA

Bióloga e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES

THIAGO DE OLIVEIRA TULER

Graduando em Licenciatura em Informática do Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, Graduando em Matemática da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Alegre – FAFIA

GIOVANNI DE OLIVEIRA GARCIA

Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES

GILBERTO CHOHAKU SEDIYAMA

Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da UFV – CCA-UFV

ANTÔNIO TEIXEIRA DE MATOS

Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da UFV – CCA-UFV

PAULO DE TARSO ÁVILA DE OLIVEIRA

Diretor Administrativo do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Município de Alegre, ES - SAAE-ALEGRE, ES

