

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA,
FÍSICA E BIOQUÍMICA DOS TRÊS
PRINCIPAIS CURSOS D'ÁGUA
DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO TURVO SUJO,
MICRORREGIÃO DE VIÇOSA
(MG), NO INVERNO DE 2001

Alexandre Rosa dos Santos

Professor Doutor do Departamento de Geografia
da Universidade Federal do Espírito Santo

Gilberto Chohaku Sedyama

Professor Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola
da Universidade Federal de Viçosa

Antônio Teixeira de Matos

Professor Doutor do Departamento de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal de Viçosa

Vicente Paulo Soares

Professor Doutor do Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal de Viçosa

José Eduardo M. Pezzopane

Professor Doutor do Departamento de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do Espírito Santo

Edvaldo Fialho dos Reis

Professor Doutor do Departamento de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do Espírito Santo

INTRODUÇÃO

A necessidade cada vez maior de se obter a água na quantidade e qualidade desejadas para os seus diversos usos leva à necessidade de se planejar e coordenar sua utilização, considerando suas características físicas, químicas e biológicas. O uso do solo e as atividades realizadas em uma bacia hidrográfica definem a quantidade e a qualidade da água (MOTA, 1988).

O fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. Como parte mais específica, tem-se que, no fenômeno de autodepuração, os compostos orgânicos são convertidos em

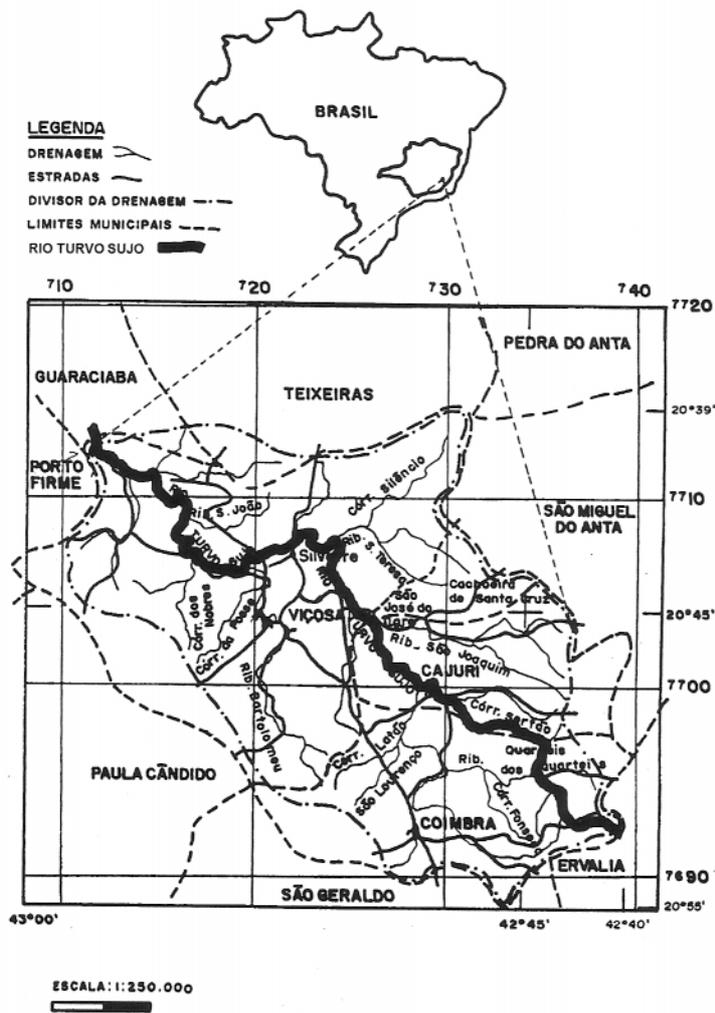
compostos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico (Von Sperling, 1996).

A importância do conhecimento do fenômeno de autodepuração e da sua quantificação, com vistas a utilizar a capacidade de assimilação dos rios, reside em impedir o lançamento de despejos acima da capacidade do que possa suportar o corpo d'água. Von Sperling (1996) afirma que as principais formas de controle da poluição por matéria orgânica são:

- tratamento dos esgotos;
- regularização da vazão do curso d'água;
- aeração do curso d'água;
- aeração dos esgotos tratados;
- alocação de outros usos para o curso d'água.

O presente trabalho teve como principais objetivos:

Figura 1
Localização da área de estudo no espaço geográfico



- caracterizar química, física e bioquimicamente os três principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo no inverno de 2001;
- determinar os coeficientes de desoxigenação (K_1) e reeração (K_2) desses cursos d'água por diferentes métodos;
- aprimorar e testar uma nova versão de um programa computacional para a determinação de parâmetros relacionados com a autodepuração de cursos d'água, usando o modelo de Streeter e Phelps.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área-base deste estudo abrange os cursos d'água ribeirão São Bartolomeu e rios Turvo Sujo e Turvo Limpo, pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo, com área total de 406,44 km², pertencente à bacia hidrográfica do rio Doce. Está compreendida entre as coordenadas geográficas 42°40' e 43°00' de longitude Oeste e 20°39' e 20°55' de latitude Sul, abrangendo parte dos municípios de Viçosa, Cajuri, Coimbra, Teixeiras e Guaraciaba, no Estado de Minas Gerais.

As Figuras 1 e 2 mostram a bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, geograficamente representada, com os três rios e os quatro pontos amostrais nos quais foram recolhidas as

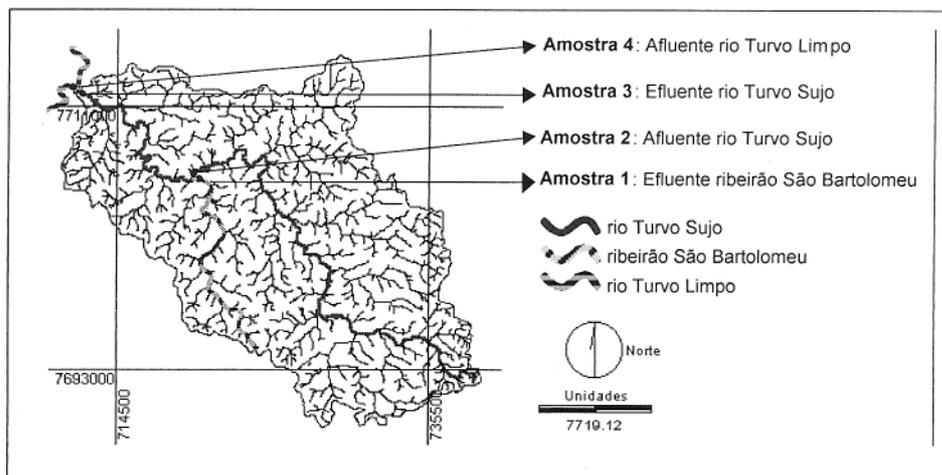
amostras utilizadas no trabalho. As duas primeiras amostras (Amostras 1 e 2) foram coletadas no encontro do ribeirão São Bartolomeu com o rio Turvo Sujo, na localidade conhecida como Barrinha. Já as amostras 3 e 4 foram coletadas no encontro do rio Turvo Sujo com o rio Turvo Limpo, na localidade conhecida como Duas Barras.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E BIOQUÍMICA DAS ÁGUAS DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU E DOS RIOS TURVO SUJO E TURVO LIMPO

Visando caracterizar química, física e bioquimicamente as águas do ribeirão São Bartolomeu e dos rios Turvo Sujo e Turvo Limpo no inverno de 2001, foram selecionados quatro pontos amostrais (Figura 2), nos quais foram feitas coletas de amostras de água, além da medição direta de parâmetros físicos.

Foram escolhidos pontos amostrais situados imediatamente antes da confluência dos cursos d'água. Para a coleta da água foram utilizados recipientes de plástico com volume de 2 l e vidros especiais com capacidade de 300 ml, com rolha esmerilhada. As amostras foram coletadas no dia 17 de julho de 2001, das

Figura 2
Área de estudo mostrando os cursos d'água e seus pontos amostrais



8h às 9h 30min, período do dia em que há menor interferência da temperatura¹. A fim de preservá-las até a chegada ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), as amostras foram refrigeradas com gelo colocado em volta dos recipientes, imediatamente após a coleta, e mantidas na caixa isotérmica de transporte.

No dia 18 de julho de 2001, foram realizadas medições de vazão em função da área e da velocidade, nos mesmos pontos amostrais, utilizando-se o método do flutuador (MATOS et al., 2000).

Foram realizadas no laboratório e no campo medições da temperatura da água (), dos sólidos sedimentáveis (SS), dos sólidos totais (ST), do oxigênio dissolvido (OD) da alcalinidade, da acidez, do potencial hidrogeniônico (pH), da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da vazão (Q).

DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DESOXIGENAÇÃO (K_1) E REAERAÇÃO (K_2) DAS ÁGUAS DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU E DOS RIOS TURVO SUJO E TURVO LIMPO

Os valores do coeficiente de desoxigenação (K_1) para as águas superficiais dos três cursos d'água em estudo foram estimados pela seguinte equação, proposta por Streeter e Phelps (1925):

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

em que,

L_t = DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg/L);

L_o = DBO remanescente em tempo $t = 0$ (mg/L);

t = tempo (dias);

K_1 : coeficiente de desoxigenação (d^{-1}).

A DBO remanescente em um tempo $t = 0$ (L_o) foi considerada como sendo a DBO após o intervalo de tempo de 20 dias. Como não foi possível calcular o valor de L_o em labora-

tório, utilizaram-se para a sua determinação os valores propostos por Fair (1973) e Arceivala (1981).

A DBO remanescente em um tempo t qualquer (L_t) foi considerada como sendo a DBO após o intervalo de tempo de 5 dias (DBO_5).

Conhecendo-se o valor de K_1 , de L_o e do tempo, foi gerada a curva da progressão da DBO para as amostras, com base na seguinte equação:

$$y = L_o \cdot \left(1 - e^{-K_1 \cdot t} \right) \quad (\text{eq. 2})$$

em que,

y = DBO exercida em um tempo t (mg/L).

Notar que $y = L_o - L_t$;

L_o = DBO remanescente em $t = 0$ ou DBO exercida em $t =$. Também denominada demanda última pelo fato de representar a DBO total ao final da estabilização (mg/L).

Os valores do coeficiente de reaeração (K_2) em d^{-1} para os três cursos d'água foram determinados utilizando-se modelos baseados em dados hidráulicos, como a velocidade do curso d'água (v) e a altura da lâmina d'água (H). Para efeito de comparação e análise, foram utilizados 6 modelos, mostrados no Quadro 1.

APRIMORAMENTO E TESTE DE UMA NOVA VERSÃO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA A DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS RELACIONADOS COM A AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA

Foi aprimorada e testada uma nova versão de um programa computacional de autodepuração de cursos d'água, AD'Água 2.0, elaborado em programação voltada para objetos, utilizando-se o software Delphi (Versão 5.0), desenvolvido pela empresa Imprise Corporation (1999), que permite o estudo e a determinação do perfil de oxigênio dissolvido e da degradação da DBO ao longo do curso d'água.

1. A escolha dessa data deveu-se ao fato de que, no inverno – condições do Sudeste brasileiro – a altura e a intensidade da chuva apresentam valores extremamente baixos. A vazão dos rios também é baixa, contribuindo para a menor diluição da matéria orgânica na água e aumentando em demasia os efeitos da poluição.

Quadro 1

Diferentes modelos baseados em dados hidráulicos para a estimativa do coeficiente K_2 , usados para efeito de comparação e análise dos resultados

Pesquisador	Fórmula	Faixa de aplicação
O'CONNOR e DOBBINS (1958)	$K_2(20\text{ }^\circ\text{C}) = 3,73 \cdot v^{0,5} H^{-1,5}$	$0,6\text{m} \leq H < 4,0\text{m}$ $0,05\text{m/s} \leq v < 0,8\text{m/s}$
CHURCHILL et al. (1962)	$K_2(20\text{ }^\circ\text{C}) = 5,0 \cdot v^{0,97} H^{-1,67}$	$0,6\text{m} \leq H < 4,0\text{m}$ $0,8\text{m/s} \leq v < 1,5\text{m/s}$
OWENS et al, (apud BRANCO, 1976)	$K_2(20\text{ }^\circ\text{C}) = 5,3 \cdot v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,1\text{m} \leq H < 0,6\text{m}$ $0,05\text{m/s} \leq v < 1,5\text{m/s}$
KRENKEL e ORLOB (1962)	$K_2(25\text{ }^\circ\text{C}) = 8,15(v \cdot S)^{0,408} H^{-0,66}$	-
CHURCHIL, ELMORE e BUCKINGHAM (1962)	$K_2(25\text{ }^\circ\text{C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	-
OWENS, EDWARDS e GIBBS (1964)	$K_2(25\text{ }^\circ\text{C}) = 0,25v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,12\text{m} \leq H < 3,35\text{m}$ $0,03\text{m/s} \leq v < 1,52\text{m/s}$
	$K_2(25\text{ }^\circ\text{C}) = 0,325v^{0,73} H^{-1,75}$	$0,12\text{m} \leq H < 0,73\text{m}$ $0,03\text{m/s} \leq v < 0,548\text{m/s}$

O programa trabalha com reações 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.

O programa é bastante acessível e prático, sendo operado de forma totalmente convival. Por meio dele, o rio em estudo é dividido em trechos, a critério do usuário, nos quais podem ser realizadas, com rapidez e eficiência, inúmeras simulações, 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.

Foram utilizados os dados reais obtidos no campo e em laboratório para a realização das simulações. O espaço efetivamente percorrido pelo curso d'água desde os pontos amostrais 1 e 2 (encontro do ribeirão São Bartolomeu com o rio Turvo Sujo) até os pontos amostrais 3 e 4 (encontro do rio Turvo Sujo com o rio Turvo Limpo) foi determinado por meio de técnicas de geoprocessamento aplicadas sobre o mapa de hidrografia da bacia.

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E BIOQUÍMICA DAS

ÁGUAS DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU E DOS RIOS TURVO SUJO E TURVO LIMPO

Os resultados da caracterização química, física e bioquímica das águas superficiais dos quatro pontos amostrais pertencentes ao ribeirão São Bartolomeu e aos rios Turvo Sujo e Turvo Limpo no inverno de 2001 estão mostrados no Quadro 2.

Com base nos valores de altitude determinados, foram calculados, utilizando-se as equações específicas, os valores de concentração de saturação de oxigênio (C_s) para as amostras 1, 2, 3 e 4, os quais foram, respectivamente, 10,02, 10,02, 9,98 e 9,97 mgL^{-1} . Pelo fato de todas as temperaturas das amostras d'água apresentarem o valor de 12 $^\circ\text{C}$, os valores da concentração de saturação de oxigênio mostraram-se elevados.

A análise de sólidos é importante no controle de processos físicos e biológicos de tratamento, sendo um dos parâmetros de referência para padrões de lançamento de águas residuárias. De acordo com os resultados, nenhuma das amostras apresentou valores elevados de sólidos sedimentáveis e sólidos totais, o que indica que as águas receptoras de esgotos domésticos da cidade de Viçosa encontram-se bastante diluídas.

Quadro 2
Resultados da caracterização química, física e bioquímica das águas superficiais dos quatro pontos amostrais pertencentes ao ribeirão São Bartolomeu e aos rios Turvo Sujo e Turvo Limpo

Parâmetros	Amostras			
	1	2	3	4
Altitude (m)	640,0	639,0	612,0	603,0
Temperatura da água (°C)	12,0	12,0	12,0	12,0
Sólidos sedimentáveis (ml ^l ⁻¹)	0,3	0,0	0,0	0,0
Sólidos totais (mg ^l ⁻¹)	0,152	0,013	0,021	0,016
Oxigênio dissolvido (mg ^l ⁻¹)	2,04	7,23	5,37	9,46
Alcalinidade (mg ^l ⁻¹ de alcalinidade em termos de CaCO ₃)	93,0	2,0	38,0	16,0
Acidez (mg ^l ⁻¹ de acidez em termos de CaCO ₃)	6,0	18,0	3,0	2,0
Potencial hidrogeniônico (-)	7,78	7,30	7,28	7,24
Demanda bioquímica de oxigênio (5ml) (mg ^l ⁻¹)	163,1	120,8	179,4	42,3
Características hidráulicas dos cursos d'água				
Velocidade da água corrigida (ms ⁻¹)	0,39	0,21	0,49	0,36
Altura da lâmina d'água (m)	0,27	1,39	0,87	1,01
Área da seção transversal (m ²)	0,80	2,78	2,62	3,02
Vazão (m ³ s ⁻¹)	0,31	0,58	1,28	1,10

Notas

Amostra 1: Efluente ribeirão São Bartolomeu
 Amostra 2: Afluente rio Turvo Sujo

Amostra 3: Efluente rio Turvo Sujo
 Amostra 4: Afluente rio Turvo Limpo

Os resultados de oxigênio dissolvido, obtidos para as amostras 2, 3 e 4, indicam que as condições do meio são favoráveis para o desenvolvimento da vida aquática aeróbia, visto que os teores mínimos de oxigênio dissolvido para satisfazer essa exigência devem ser superiores a 2 mgL⁻¹.

A concentração de oxigênio dissolvido na amostra 1 foi baixa devido às elevadas concentrações de matéria orgânica presente no meio aquático. Isso se deve ao fato de o ribeirão São Bartolomeu receber praticamente todos os efluentes oriundos da cidade de Viçosa. Fica claro que outros tipos de esgotos se lançam no rio Turvo Sujo (os domiciliares, as águas residuárias de suinocultura e o chorume oriundo do lixão da Barrinha), além do ribeirão São Bartolomeu, pois a DBO da amostra 3 é maior que a do ribeirão São Bartolomeu (Amostra 1).

Os resultados obtidos sobre alcalinidade, acidez e potencial hidrogeniônico mostram que todas as amostras em estudo podem ser consideradas alcalinas. Pelo fato de os resultados do potencial hidrogeniônico de todas as amostras estarem compreendidos entre valores que variam de 7,24 a 7,78, a alcalinidade dessas águas é devida exclusivamente à ação de bicarbonatos, e não de hidróxidos, carbonatos e ácidos minerais. A maior acidez, a da amostra 2, pode ser devida à acidificação natural do curso d'água drenante de áreas cujos solos sejam ácidos. Após a confluência com o ribeirão São Bartolomeu, o valor de acidez do rio Turvo Sujo diminui consideravelmente.

Apenas as amostras 1 e 3 apresentaram valores elevados de DBO₅ quando comparadas com as amostras 2 e 4. Isso se deve ao fato de a amostra 1 ser proveniente do ribeirão São Bartolomeu, receptor de esgotos da

cidade de Viçosa, apresentando, por isso, maior concentração de matéria, e de a amostra 3 ser proveniente do curso d'água receptor do rio São Bartolomeu. Como os valores de oxigênio dissolvido nas amostras 2 e 4 se apresentam mais elevados do que o das amostras 1 e 3, os valores de DQO e DBO₅ foram menos elevados.

Apesar de apresentarem os maiores valores de velocidade da água, as amostras 1 e 3 tiveram os menores valores de oxigênio dissolvido. Mesmo com valores elevados de velocidade dos cursos d'água, pelo fato de a concentração de matéria orgânica presente no meio ser mais elevada, a concentração de oxigênio dissolvido é menor.

A altura da lâmina d'água é um fator importante a ser considerado não só por limitar a penetração de luz, como também por interferir na distribuição do calor e do oxigênio na massa d'água. Pelo fato de apresentarem, no local de coleta das amostras, menores alturas e maiores velocidades da lâmina d'água, os cursos d'água 1 e 3 apresentaram maior coeficiente de oxigenação da água (K₂), proporcionando maior eficiência no processo de autodepuração.

O curso d'água 3, por ser receptor dos cursos d'água 1 e 2, apresentou o maior valor de vazão. Observa-se que o curso d'água 1, por apresentar o menor valor de vazão e elevada concentração de matéria orgânica, apresenta menor valor de oxigênio dissolvido da água.

RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE

DESOXIGENAÇÃO (K₁) E REAERAÇÃO (K₂) DAS ÁGUAS DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU E DOS RIOS TURVO SUJO E TURVO LIMPO

Os resultados do coeficiente de desoxigenação (K₁) para as quatro amostras em estudo podem ser observados no Quadro 3. Os cursos d'água 1 e 3 aparecem com maiores valores de K₁ por apresentarem maiores concentrações de matéria orgânica.

Os cursos d'água 1 e 3, mesmo tendo valores de DBO₅ aproximados de 163,1 e 179,4 mgL⁻¹, respectivamente, apresentam valores de K₁ bastante distintos. No entanto, a progressão da DBO para vários dias mostra que seus valores são bem diferenciados, caracterizando valores de K₁ diferentes.

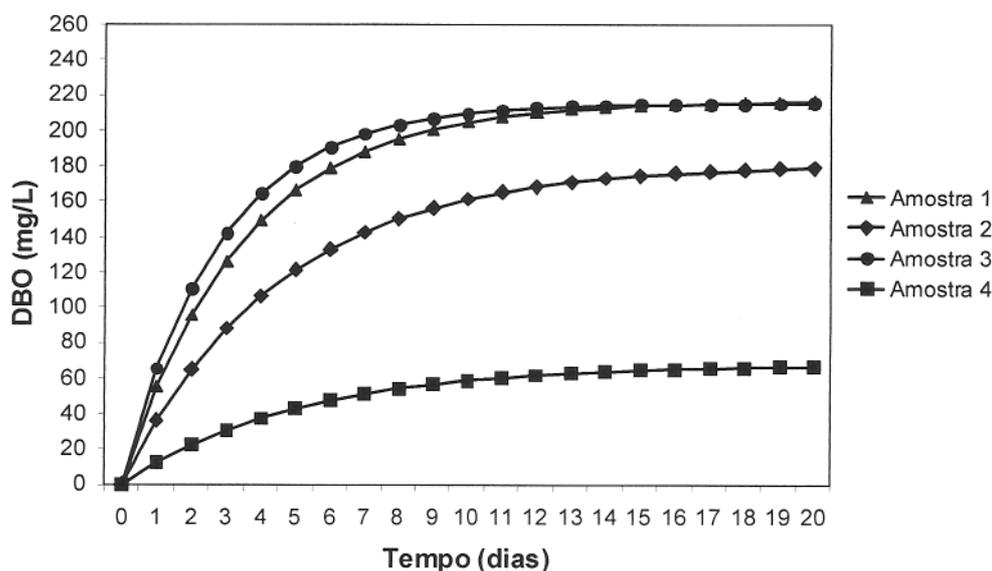
A Figura 3 mostra a influência do coeficiente K₁ na progressão da DBO para amostras com valores de DBO₅ e L_o diferentes. Observa-se claramente que as amostras que aparecem com os menores valores de K₁ (Amostras 2 e 4) apresentam uma taxa de estabilização da matéria orgânica mais lenta, implicando uma DBO última elevada e não completa ainda no dia 20. Já as amostras que apresentam os valores de K₁ mais elevados (Amostras 1 e 3) degradam praticamente toda a matéria orgânica ao final de 20 dias.

O coeficiente de desoxigenação do curso d'água 3 foi o mais elevado, caracterizando a influência direta de outros lançamentos (os domiciliares, os de águas residuárias de suinocultura e os de chorume oriundo do lixão da Barrinha). Os resultados obtidos compro-

Quadro 3
Valores do coeficiente de desoxigenação (K₁) para as quatro amostras em estudo

Origem das Amostras	K ₁ (d ⁻¹)	DBO ₅ (mgL ⁻¹)	I _o (mgL ⁻¹)
Curso d'água 1 (5 ml)	0,29	163,1	216,58
Curso d'água 2 (5 ml)	0,22	120,83	181,25
Curso d'água 3 (5 ml)	0,36	179,40	215,28
Curso d'água 4 (5 ml)	0,20	42,28	67,65

Figura 3
Influência do coeficiente K_1 na progressão da DBO para amostras com valores de DBO_5 e L_0 diferentes



Nota:

Amostra 1 = (Volume 5 mL, $L_0 = 216,58$ mg/L, $K_1 = 0,29$ 1/d)

Amostra 2 = (Volume 5 mL, $L_0 = 181,25$ mg/L, $K_1 = 0,22$ 1/d)

Amostra 3 = (Volume 5 mL, $L_0 = 215,28$ mg/L, $K_1 = 0,36$ 1/d)

Amostra 4 = (Volume 5 mL, $L_0 = 67,65$ mg/L, $K_1 = 0,20$ 1/d)

vam que as águas menos concentradas com material orgânico apresentam menores taxas de desoxigenação.

Os resultados do coeficiente de reaeração K_2 para os quatro cursos d'água em estudo são apresentados no Quadro 4. Comparando os resultados obtidos para o curso d'água 1, para todos os modelos, com os dos outros cursos d'água, observa-se que os valores de K_2 se apresentaram elevados pelo fato de a velocidade da água ser elevada e de a altura da lâmina d'água ser baixa. Logo o ribeirão São Bartolomeu é, entre os cursos d'água estudados, o que apresenta maior capacidade de reaeração e, por conseqüência, tem boa eficiência para degradar bioquimicamente a matéria orgânica de suas águas.

Para todos os cursos d'água, observa-se que as equações propostas por Churchill et al. (1962) e Owens et al. (1964) resultaram em valores sempre inferiores aos das outras equações. Isto se deve ao fato de essas equações terem sido desenvolvidas para cursos

d'água não poluídos, dentro de condições de fluxo permanente, submetidos à eliminação dos efeitos da fotossíntese de organismos aquáticos.

No curso d'água 1, observa-se que o resultado da equação de Owens et al., citado por Branco (1976), apontou um valor muito superior ao dos resultados das outras equações. Como as faixas de aplicabilidade dessa equação foram ligeiramente modificadas de Covar (apud EPA, 1985) para efeito de simplicidade, pode ser que essas modificações tenham contribuído para esse resultado.

Pelo fato de a equação proposta por Krenkel e Orlob relacionar o fenômeno de incorporação de oxigênio no meio líquido com a turbulência no escoamento, caracterizado pela inclinação do gradiente de energia, observa-se que os resultados obtidos para todos os cursos d'água se situaram acima dos obtidos pelas equações propostas por Churchill et al. (1962) e Owens et al. (1964) e abaixo dos resultados obtidos pelas equações propostas

por Owens et al. (apud BRANCO, 1976) e O'Connor e Dobbins (1958).

Como os resultados obtidos pelas as equações propostas por Churchill et al. (1962) e Owens et al. (1964) foram sempre subestimados, fica evidente, de acordo com os resultados do Quadro 4, que os quatro cursos d'água em estudo têm maior facilidade de diluição de oxigênio ao longo da profundidade e de criação de maiores turbulências na superfície.

RESULTADOS DO DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UMA NOVA VERSÃO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA A DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS

RELACIONADOS COM A AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA, USANDO-SE O MODELO DE STREETER E PHELPS

Os dados reais das amostras apontam que, quando foi realizada a simulação por meio dos coeficientes de reoxigenação (K_2) estimados no Quadro 3, pelo fato de ocorrer anaerobiose ($OD < 0 \text{ mgL}^{-1}$) o modelo de Streeter e Phelps passou a não ser mais válido. Por meio de simulações, utilizando-se o programa desenvolvido com base no balanço de oxigênio proposto por Streeter e Phelps (1925), verifica-se serem os coeficientes de reaeração de 4,8 d^{-1} e 4,2 d^{-1} mais ajustados aos rios Turvo Sujo

Quadro 4

Modelos baseados em dados hidráulicos para estimativa do coeficiente de reaeração (K_2) corrigido para 12 °C, para os quatro cursos d'água em estudo (Amostras 1, 2, 3 e 4)

Curso d'água	Pesquisador	Fórmula	K_2 (d^{-1})
1	Owens et al. (apud Branco, 1976)	$K_2(20 \text{ °C}) = 5,3 \cdot v^{0,67} H^{-1,85}$	26,8
	Krenkel e Orlob (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 8,15(v \cdot S)^{0,408} H^{-0,66}$	1,18
	Churchill, Elmore e Buckingham (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,59
	Owens, Edwards e Gibbs (1964)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,325v^{0,73} H^{-1,75}$	1,19
2	O'Connor e Dobbins (1958)	$K_2(20 \text{ °C}) = 3,73 \cdot v^{0,5} H^{-1,5}$	0,86
	Krenkel e Orlob (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 8,15(v \cdot S)^{0,408} H^{-0,66}$	0,30
	Churchill, Elmore e Buckingham (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,02
	Owens, Edwards e Gibbs (1964)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,25v^{0,67} H^{-1,85}$	0,04
3	O'Connor e Dobbins (1958)	$K_2(20 \text{ °C}) = 3,73 \cdot v^{0,5} H^{-1,5}$	2,66
	Krenkel e Orlob (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 8,15(v \cdot S)^{0,408} H^{-0,66}$	0,59
	Churchill, Elmore e Buckingham (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,11
	Owens, Edwards e Gibbs (1964)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,25v^{0,67} H^{-1,85}$	0,15
4	O'Connor e Dobbins (1958)	$K_2(20 \text{ °C}) = 3,73 \cdot v^{0,5} H^{-1,5}$	1,82
	Krenkel e Orlob (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 8,15(v \cdot S)^{0,408} H^{-0,66}$	0,47
	Churchill, Elmore e Buckingham (1962)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,07
	Owens, Edwards e Gibbs (1964)	$K_2(25 \text{ °C}) = 0,25v^{0,67} H^{-1,85}$	0,09

e Turvo Limpo, respectivamente. Em cada situação, foi avaliada a eficiência de tratamento do efluente para valores de 40 e 50%.

Aplicando-se técnicas de geoprocessamento, observa-se que o ponto de amostragem 3 está localizado a 35 km da confluência com o São Bartolomeu. Para efeito de simulação, foi utilizada essa mesma distância a partir do encontro do rio Turvo Sujo com o rio Turvo Limpo.

Na simulação mostrada na Figura 4 (encontro do ribeirão São Bartolomeu com o rio Turvo Sujo sem tratamento do esgoto), observa-se que, durante todo o percurso, a concentração de oxigênio dissolvido ficou abaixo do mínimo permissível de $4,0 \text{ mgL}^{-1}$. Pelo gráfico de OD versus distância e pelos resultados de saída, verifica-se que o rio Turvo Sujo se degrada bastante, com sua concentração de oxigênio atingindo o valor crítico de $0,53 \text{ mgL}^{-1}$ a uma distância de 11,88 km do encontro com o ribeirão São Bartolomeu.

Utilizando-se eficiência de tratamento do efluente ribeirão São Bartolomeu de 40% (Figura 5) e 50% (Figura 6), observa-se que a concentração crítica de oxigênio do rio Turvo Sujo se eleva respectivamente para 2,77 e $3,11 \text{ mgL}^{-1}$, sendo que a distância crítica para que ocorra a menor concentração de oxigênio no rio se reduz para 10,91 e 10,42 km. Verifica-se que a DBO do efluente se reduz de $163,1 \text{ mgL}^{-1}$ para os valores de $97,86$ e $81,55 \text{ mgL}^{-1}$ de acordo com os valores de eficiência de tratamento de 40 e 50%, respectivamente.

A comparação entre todas as simulações para diversas alternativas de tratamento do efluente ribeirão São Bartolomeu é mostrada na Figura 7. A alternativa mais significativa e econômica é aquela em que a concentração de oxigênio dissolvido crítico é apenas marginalmente superior à do oxigênio dissolvido o mínimo permissível. Sendo assim, verifica-se que, devido à elevada concentração de matéria orgânica do ribeirão São Bartolomeu, nenhuma das alternativas de tratamento se mostrou significativa. No entanto, fica evidente que os efeitos da degradação ambiental que

o ribeirão São Bartolomeu causa ao encontrar o rio Turvo Sujo podem ser perfeitamente reduzidos com técnicas de tratamento de suas águas, aumentando consideravelmente a concentração crítica de oxigênio.

De maneira análoga, na simulação mostrada na Figura 8 (encontro do efluente rio Turvo Sujo com o afluente rio Turvo Limpo, sem tratamento do esgoto), observa-se que, durante todo o percurso, a concentração de oxigênio dissolvido ficou abaixo do mínimo permissível de $4,0 \text{ mgL}^{-1}$. Exatamente a 23,07 km do encontro de ambos os rios, a concentração crítica de oxigênio do rio Turvo Limpo foi de $0,26 \text{ mgL}^{-1}$. Observa-se que, pelo fato de a concentração de oxigênio do rio Turvo Limpo ser bastante elevada ($9,46 \text{ mgL}^{-1}$), a concentração de oxigênio da mistura se mostrou também elevada, favorecendo melhorias da autodepuração do rio Turvo Limpo quando o efluente rio Turvo Sujo é submetido a diferentes alternativas de eficiência do tratamento.

Observa-se que a concentração crítica de oxigênio do rio Turvo Limpo se eleva para os valores de 3,45 e $4,08 \text{ mgL}^{-1}$ quando o efluente rio Turvo Sujo é tratado com eficiência de 40% (Figura 9) e 50% (Figura 10), respectivamente. Verifica-se que a DBO do efluente rio Turvo Sujo se reduz de $179,4 \text{ mgL}^{-1}$ para os valores de $107,64$ e $89,70 \text{ mgL}^{-1}$, de acordo com os valores de eficiência de tratamento de 40 e 50%, respectivamente.

A Figura 11 mostra a comparação entre todas as simulações para diversas alternativas de tratamento do efluente rio Turvo Sujo. Pelo fato de o afluente rio Turvo Limpo apresentar concentração de oxigênio elevada ($9,46 \text{ mgL}^{-1}$) e DBO₅ reduzida ($42,28 \text{ mgL}^{-1}$), todas as alternativas de tratamento mantiveram a concentração de oxigênio acima de $3,5 \text{ mgL}^{-1}$ e praticamente abaixo de $5,0 \text{ mgL}^{-1}$.

No Quadro 5, é apresentada uma comparação entre os valores de concentração crítica de oxigênio e distância crítica para as amostras 1 e 2 (encontro do efluente ribeirão São Bartolomeu e afluente rio Turvo Sujo) e 3 e 4

Figura 4
 Encontro do ribeirão São Bartolomeu (efluente) com o rio Turvo Sujo (afluente), considerando-se dados reais e coeficientes reais ($k_1=0,29 \text{ dia}^{-1}$, $k_2 = 4,8 \text{ dia}^{-1}$ [12 °C] e eficiência de tratamento = 0)

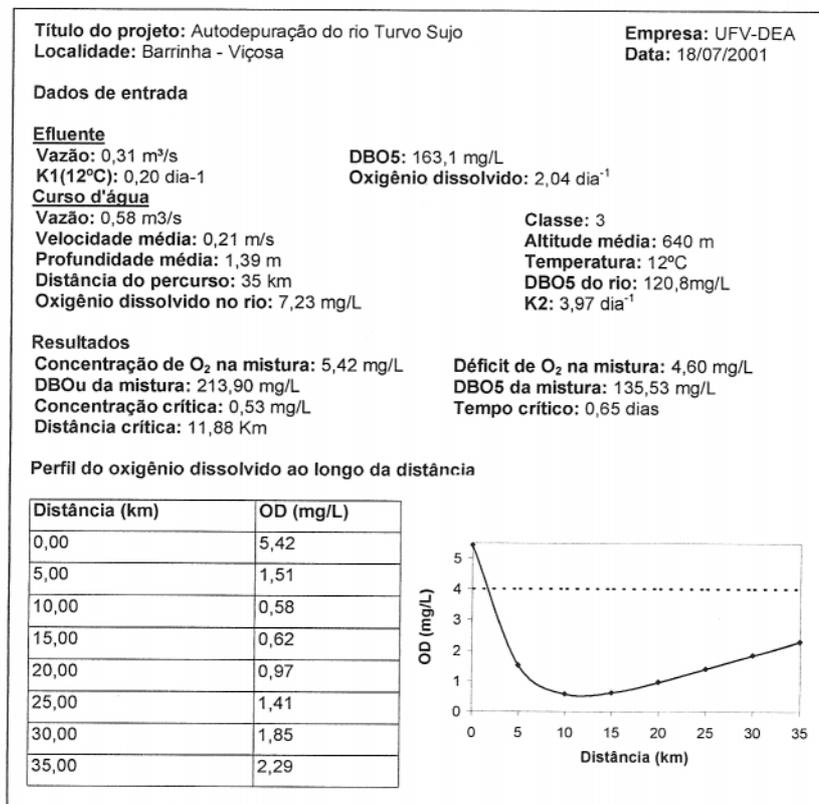


Figura 5
 Encontro do ribeirão São Bartolomeu (efluente) com o rio Turvo Sujo (afluente), considerando-se o tratamento do efluente com eficiência de 40 % e coeficiente de desoxigenação (K_1) de 0,20

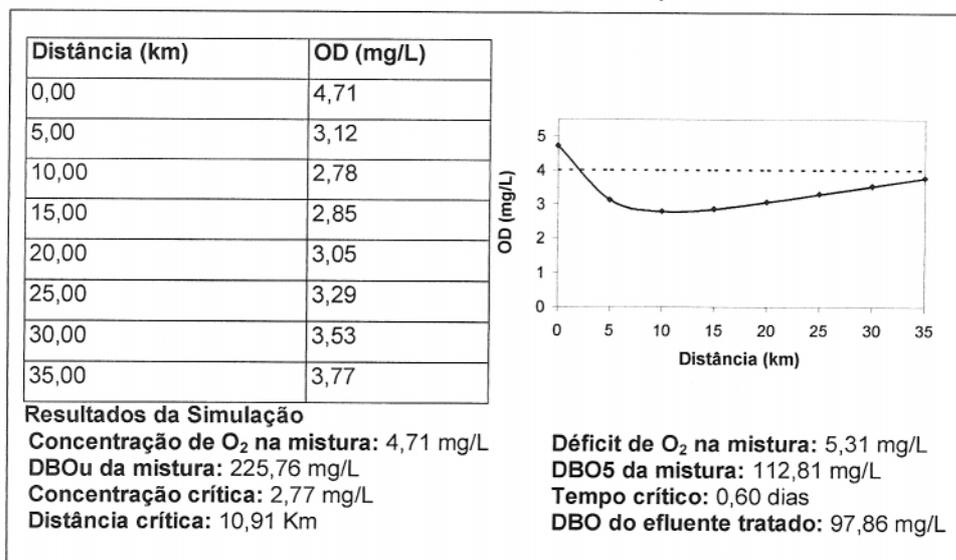


Figura 6
 Encontro do ribeirão São Bartolomeu (efluente) com o rio Turvo Sujo (afluente), considerando-se o tratamento do efluente com eficiência de 50 % e coeficiente de desoxigenação (K_1) de 0,20

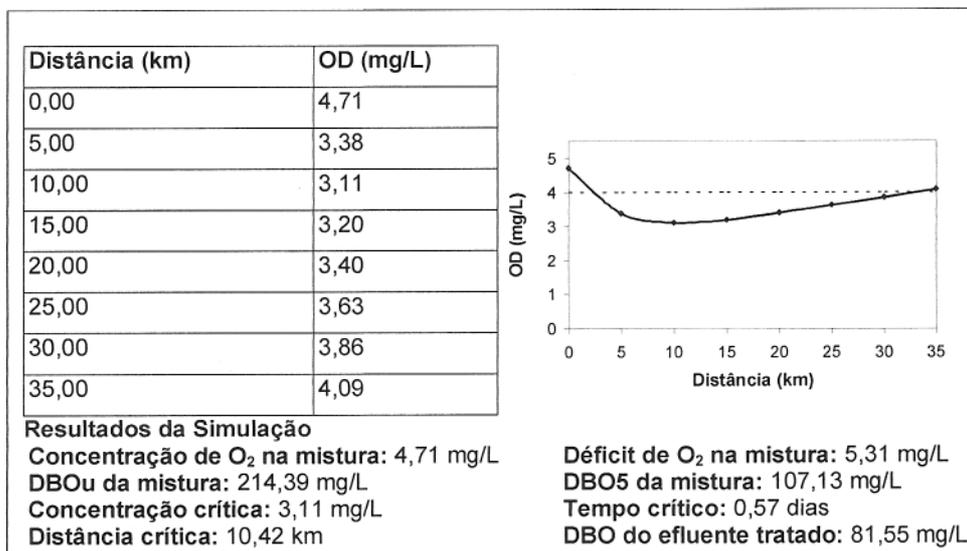
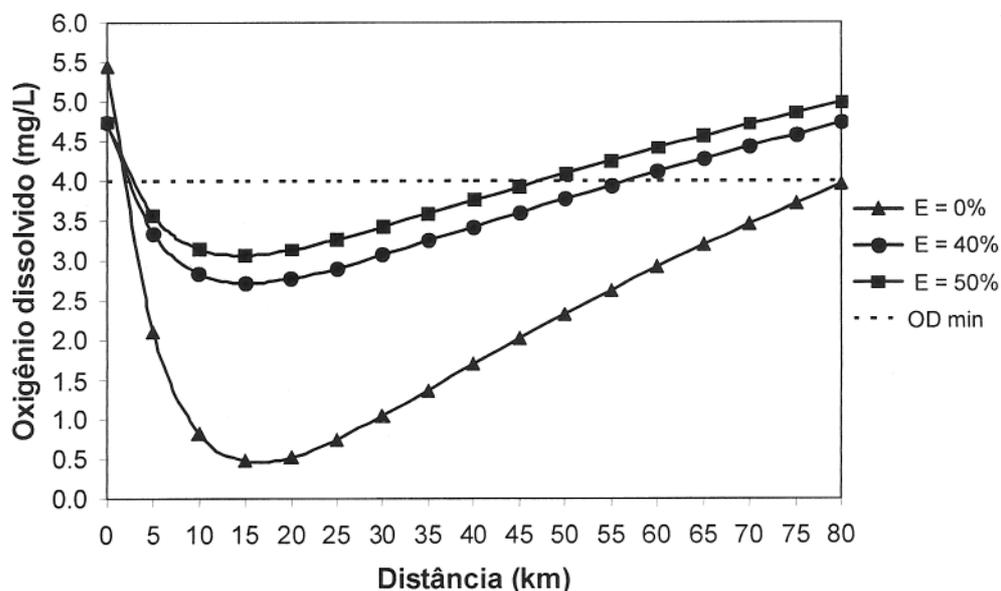


Figura 7
 Perfil de oxigênio dissolvido para diversas alternativas de tratamento do efluente ribeirão São Bartolomeu



(encontro do efluente rio Turvo Sujo e afluente rio Turvo Limpo), considerando-se todas as eficiências de tratamento dos efluentes. Verifica-se que a capacidade autodepuradora do rio Turvo Limpo é muito superior à do rio Turvo Sujo, visto que a concentração crítica

de oxigênio do rio Turvo Limpo sofre um aumento de aproximadamente 16 vezes do seu valor inicial que é de $0,26 \text{ mg l}^{-1}$, enquanto para o rio Turvo Sujo esse aumento se reduz para 6 vezes do valor inicial de $0,53 \text{ mg l}^{-1}$.

Figura 8
 Encontro do rio Turvo Sujo (efluente) com o rio Turvo Limpo (afluente), considerando-se dados reais e coeficientes reais ($K_1=0,36 \text{ dia}^{-1}$, $K_2 = 4,2 \text{ dia}^{-1}$ e eficiência de tratamento = 0)

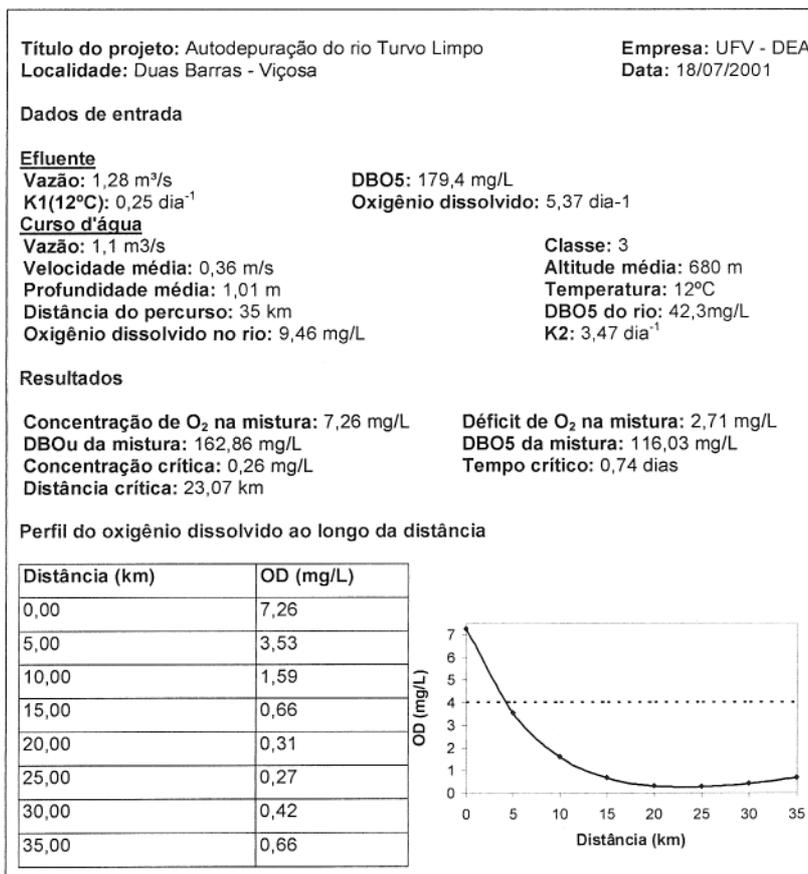


Figura 9
 Encontro do rio Turvo Sujo (efluente) com o rio Turvo Limpo (afluente), considerando-se o tratamento do efluente com eficiência (E) de 40 % e coeficiente de desoxigenação (K_1) de 0,30

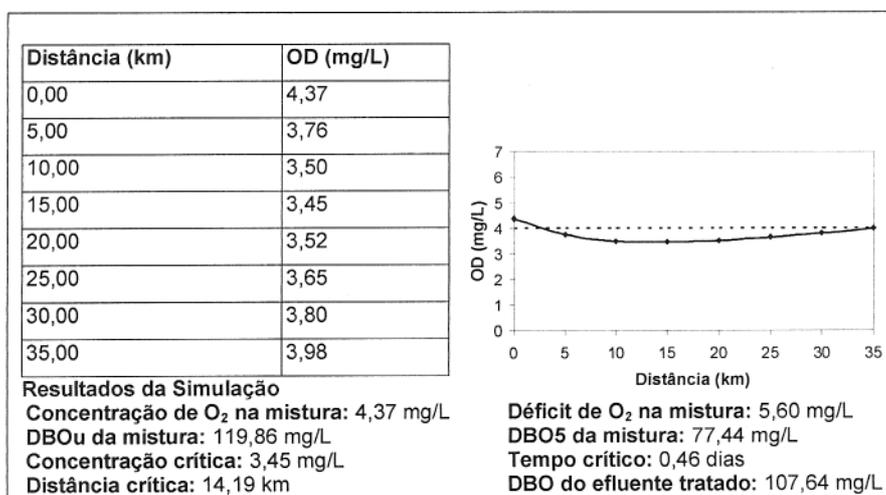


Figura 10
 Encontro do rio Turvo Sujo (efluente) com o rio Turvo Limpo (afluente), considerando-se o tratamento do efluente com eficiência (E) de 40 % e coeficiente de desoxigenação (K_1) de 0,30.

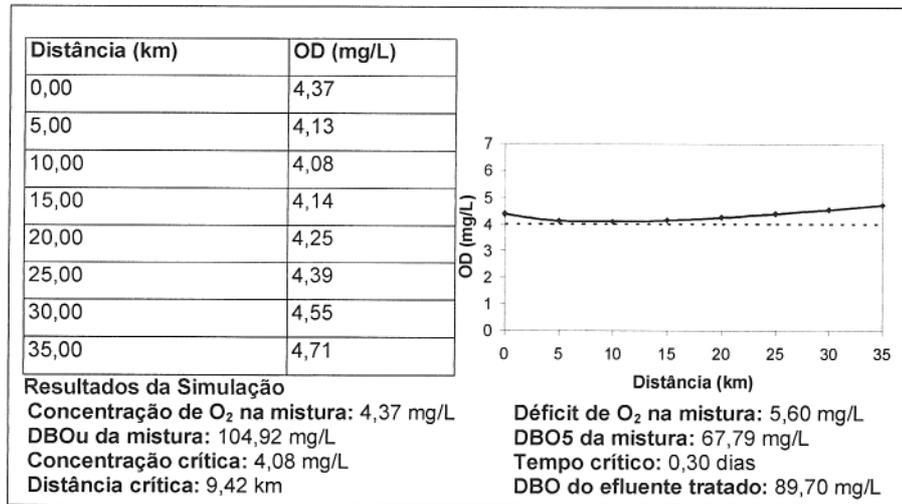
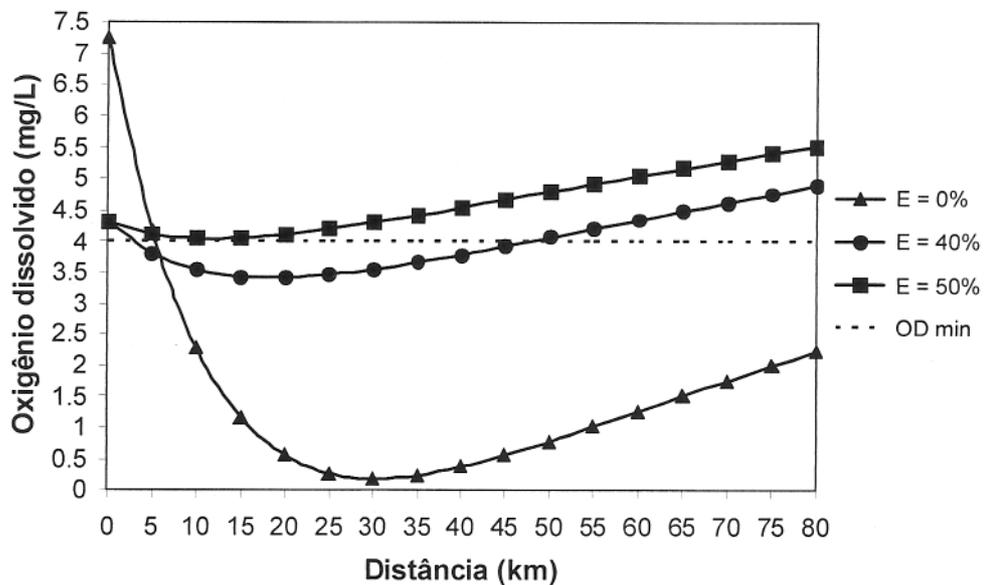


Figura 11
 Perfil de oxigênio dissolvido para diversas alternativas de tratamento do efluente rio Turvo Sujo



**CONSIDERAÇÕES
 FINAIS**

Pelo fato de o ribeirão São Bartolomeu receber praticamente todos os efluentes oriundos da cidade de Viçosa, sua concentração de oxigênio dissolvido na água foi a que apre-

sentou o menor valor entre os cursos d'água avaliados. Já por apresentarem maior concentração de matéria orgânica, os cursos d'água 1 (Amostra 1) e 3 (Amostra 4) apresentaram valores mais elevados de DBO_5 , quando comparados com os cursos d'água 2 (Amostra 2) e 4 (Amostra 4).

Quadro 5
Comparação entre os valores de concentração crítica de oxigênio
e distância crítica para as amostras 1 e 2, 3 e 4

Parâmetros	Eficiência (%)	Amostra 1 X Amostra 2	Amostra 3 x Amostra 4
Concentração crítica de oxigênio (mgL ⁻¹) – distância crítica (km)	0	0,53 – 11,88	0,26 – 23,07
	40	2,77 – 10,91	3,45 – 14,19
	50	3,11 – 10,42	4,08 – 9,42

O coeficiente de desoxigenação do curso d'água 3 foi o mais elevado, caracterizando a influência direta dos cursos d'água 1 e 2, que, após a diluição de toda matéria orgânica de suas águas, contribuíram para o aumento desse coeficiente.

Foi observado que os três cursos d'água estudados têm grande facilidade de reeração de oxigênio devido às baixas profundidades e à criação de maiores turbulências na superfície.

REFERÊNCIAS

- ARCEIVALA, S. J. Wastewater treatment and disposal: engineering and ecology in pollution control. New York: Marcel Dekker, 1981.
- BRANCO, S. M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. São Paulo: CETESB, 1976.
- CHURCHILL, M. A.; ELMORE, H. L.; BUCKINGHAM, R. A. The prediction of stream reaeration rates. Journal Sanitary Engineering Division, ASCE, v. 88, n. 4, p. 1-46, July 1962.
- ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Athens. Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. 2.ed. Athens: [s.n.], 1985.
- FAIR, G. M. The "log-difference" method of estimating the constants of the first-stage biochemical oxygen demand curve. Sewage Works Journal, v. 8, n. 3, p. 270-307, May 1973.
- KRENKEL, P.; ORLOB, G. T. Turbulent diffusion and the reaeration coefficient. Journal Sanitary Engineering Division, ASCE, v. 88, n. 2, p. 53-83, 1962.
- MATOS, A. T. et al. Barragens de terra de pequeno porte. Viçosa: UFV, 2000.
- MOTA, S. Preservação de recursos hídricos. Rio de Janeiro: ABES, 1988.
- O'CONNOR, D. J.; DOBBINS, W. E. Mechanism of reaeration in natural streams. Journal Sanitary Engineering Division, ASCE, n. 123, p. 641-666, 1958.
- OWENS, M.; EDWARDS, R. W.; GIBBS, J. W. Some reaeration studies in streams. Journal Air and Water Pollution, n. 8. p. 469-486, 1964.
- STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin, Washington, n. 146, 1925.
- VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996.

RESUMO

Este estudo tem como objetivos gerais: a) caracterizar química, física e bioquimicamente as águas superficiais dos três principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, em Viçosa (MG), no período de inverno de 2001, isto é, no período de menor vazão; b) determinar os coeficientes de desoxigenação (K_1) e reaeração (K_2) desses cursos d'água; e c) aprimorar e testar uma nova versão de um programa computacional para a determinação de parâmetros relacionados com a autodepuração de cursos d'água usando o modelo de Streeter e Phelps. A área-base abrange os cursos d'água ribeirão São Bartolomeu e os rios Turvo Sujo e Turvo Limpo, nos quais foram definidos quatro pontos onde foram recolhidas as amostras para as análises bioquímica e física da água. As duas primeiras amostras (Amostras 1 e 2) foram coletadas no encontro do ribeirão São Bartolomeu com o rio Turvo Sujo, na localidade conhecida como Barrinha. As amostras 3 e 4 foram coletadas no encontro do rio Turvo Sujo com o rio Turvo Limpo, na localidade conhecida como Duas Barras. Os resultados mostraram que, pelo fato de o ribeirão São Bartolomeu receber praticamente todos os efluentes oriundos da cidade de Viçosa, a concentração de oxigênio dissolvido na água foi a que apresentou o valor mais elevado em relação aos demais cursos d'água. Os três cursos d'água em estudo apresentam boas condições de diluição de oxigênio ao longo do rio, em face da geração de turbulências na superfície do curso d'água, tendo em vista os elevados coeficientes de reaeração. Os resultados mostraram que o rio Turvo Sujo se degrada bastante, apresentando concentrações de oxigênio dissolvido abaixo do mínimo permissível, atingindo o valor crítico de $0,53 \text{ mgL}^{-1}$ a uma distância de 11,88 km do encontro com o ribeirão São Bartolomeu. Entretanto, pelo fato de a concentração de oxigênio do rio Turvo Limpo ser bastante elevada ($9,46 \text{ mgL}^{-1}$), a concentração de oxigênio da mistura mostrou-se também elevada, favorecendo melhorias na autodepuração quando o rio Turvo Sujo foi submetido a diferentes alternativas de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE

Caracterização química, física e bioquímica – Águas superficiais – Bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo – Teste de novo programa computacional.

ABSTRACT

A study was carried out a) to model and to evaluate biochemical and physically the water of the three main stream of the Turvo Sujo watershed basin, at Viçosa, in the state of Minas Gerais (Ribeirão São Bartolomeu, Turvo Sujo and Turvo Limpo) during the winter season of 2001; b) to determine the deoxygenating coefficient (K_1) and reaeration coefficient (K_2) of those water streams; and c) to perform and test a new version of a software to determine the parameters related to auto depuration of the water streams using the model proposed by Streeter & Phelps. The base area used for the accomplishment of the other objectives included the water stream of the Ribeirão São Bartolomeu and Turvo Sujo and Turvo Limpo rivers, from those four sample points were used to collect the water samples to be analyzed biochemically and physically. The first two samples (samples 1 and 2) were collected at the junction point of Ribeirão São Bartolomeu and Turvo Sujo river, at the location known as Barrinha. The samples 3 and 4 were collected in between Turvo Sujo river and Turvo Limpo river, at the location known as Duas Barras. The results showed that the fact that Ribeirão São Bartolomeu receives practically all of the effluents originating from the city of Viçosa, the dissolved oxygen concentration in the water was the one that presented the highest value in relation to the other water streams. On the other hand, the three water streams in study, in view of the high results of the reaeration coefficient, have more ability to dilute oxygen along the water stream due to larger turbulence conditions in the water surface. The results also showed that the Turvo Sujo river degrade more easily because its oxygen concentrations were always below the permissible minimum, reaching the critical value of 0.53 mgL^{-1} at 11.88 km away from Ribeirão São Bartolomeu. Moreover, due to the fact that the oxygen concentration of the Turvo Limpo river to be quite high (9.46 mgL^{-1}), the oxygen concentration of the both river water mixture was also shown high, favoring improvements to the water auto depuration when the effluent Turvo Sujo river is submitted to different alternatives of water sewage treatment.

KEYWORDS

To model and to evaluate biochemical and physically – The water of the three main stream of the Turvo Sujo – Test a new version of a software program.