



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E BIOQUÍMICA DOS TRÊS PRINCIPAIS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURVO SUJO – MG

Alexandre Rosa dos Santos¹; Fernando Coelho Eugenio²; Nathália Suemi Saito²; Telma
Machado de Oliveira Peluzio²; Gilberto Chohaku Sedyama³

RESUMO

O uso do solo e as atividades realizadas em uma bacia hidrográfica definem a quantidade e a qualidade da água. O presente trabalho teve como principais objetivos caracterizar química, física e bioquimicamente os três principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo (ribeirão São Bartolomeu e rios Turvo Sujo e Turvo Limpo), além de determinar os coeficientes de desoxigenação (K1) e reaeração (K2) para esses cursos d'água. Foram utilizados no trabalho quatro pontos amostrais os quais foram recolhidas as amostras d'água. Os resultados de oxigênio dissolvido são favoráveis para o desenvolvimento da vida aquática aeróbia; no ribeirão São Bartolomeu a concentração de oxigênio dissolvido na água foi a que apresentou o menor valor dentre os cursos d'água avaliados; nenhuma das amostras apresentou valores elevados de sólidos sedimentáveis e sólidos totais; apenas as amostras 1 e 3 apresentaram valores elevados de DBO5; os cursos d'água 1 e 3 apresentaram maiores valores de K1 por apresentarem maiores concentrações de matéria orgânica; e, o curso d'água 1 foi o que apresentou o valor de K2 mais elevado. De acordo com os resultados obtidos de alcalinidade, acidez e potencial hidrogeniônico, as amostras de água dos três cursos d'água estudados podem ser consideradas ligeiramente alcalinas. Os três cursos d'água estudados têm grandes facilidades de reaeração de oxigênio devido às baixas profundidades e à criação de maiores turbulências na superfície.

Palavras-chave: Demanda Bioquímica de Oxigênio; Desoxigenação; Reaeração

CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOCHEMISTRY OF THREE MAIN WATER COURSES BASIN RIVER TURVO SUJO - MG

ABSTRACT

The land use and activities undertaken in a watershed define the water's quantity and quality. This study aimed to characterize the chemical, physical and biochemical of three main streams of the river basin Turvo Sujo (ribeirão São Bartolomeu e rios Turvo Sujo e Turvo Limpo), and to determine the deoxygenation rate (K1) and reaeration (K2) for these waterways. Were used in the work four sampling points which were collected the water samples. The results of dissolved oxygen are favorable for the aerobic aquatic life development; in São Bartolomeu the concentration of dissolved oxygen in water was the one with the lowest of the streams evaluated, none of the samples showed high levels of sedimentable solids and solids, only samples 1 and 3 showed high levels of BOD5, water courses 1 and 3 had higher values of K1 because they have higher concentrations of organic matter, and the stream 1 was presented the value of K2 higher. According to the results of alkalinity, acidity and hydrogen potential, samples of water from three streams studied can be considered slightly alkaline. The three streams studied have great facilities reaeration of oxygen due to low depths and creating more turbulence in the surface.

Keywords: Biochemical Oxygen Demand; deoxygenation; reaeration.

Trabalho recebido em 23/02/2011 e aceito para publicação em 17/09/2011.

¹ Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, S/N, Alegre, ES, CEP: 295000-000. e-mail: mundogeomatica@yahoo.com.br.

² Universidade Federal do Espírito Santo/ Ciências Florestais, Nedtec-UFES, Av. Jerônimo Monteiro S/N, Jerônimo Monteiro, 316, ES, CEP: 29550-000. e-mail: coelho.fernando@yahoo.com.br, nssaito@gmail.com, tmpeluzio@hotmail.com.

³ Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Engenharia Agrícola, Av. P.H. Rolfs, s/ nº, Campus Universitário - CEP 36.570-000 - Viçosa – MG. e-mail: g.sedyama@ufv.br.

1. 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).

De modo geral, a água contém impurezas, as quais podem estar presentes, em maior ou menor quantidade, dependendo da sua procedência e do uso a que foi submetida. Muitas das impurezas presentes na água podem alcançar valores que causam malefícios ao homem e ao ambiente. O padrão de qualidade desejada para a água vai depender dos usos para os quais ela é destinada (QUINTEIRO, 1997).

O consumo de oxigênio após o lançamento de esgotos relaciona-se com a determinação da qualidade da água permitida para o efluente a ser lançado, incluindo o nível de tratamento necessário e a eficiência a ser atingida na remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

A introdução de matéria orgânica em um corpo d'água resulta, indiretamente, no consumo de oxigênio dissolvido, resultando nos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelas bactérias aeróbias decompositoras, as quais

utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para sua respiração.

O fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. Mais especificamente, têm-se que, como parte integrante do 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, tendo em vista utilizar a capacidade de assimilação dos rios é impedir o lançamento de despejos acima do que possa suportar o corpo d'água. Sendo assim, 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 caracterizar química, física e bioquimicamente os três principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo; determinar os coeficientes de desoxigenação (K_1) e reaeração (K_2) desses cursos d'água por diferentes métodos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área-base deste estudo abrange a 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 (Figura 1).

O trabalho foi realizado em duas etapas distintas: Etapa 1: trabalho de

campo e Etapa 2: laboratório, realizadas no Inverno de 2001. Na Etapa 1 foram selecionados quatro pontos amostrais os quais foram recolhidas amostras de água, sendo as duas primeiras amostras (Amostras 1 e 2) 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 (Figura 1).

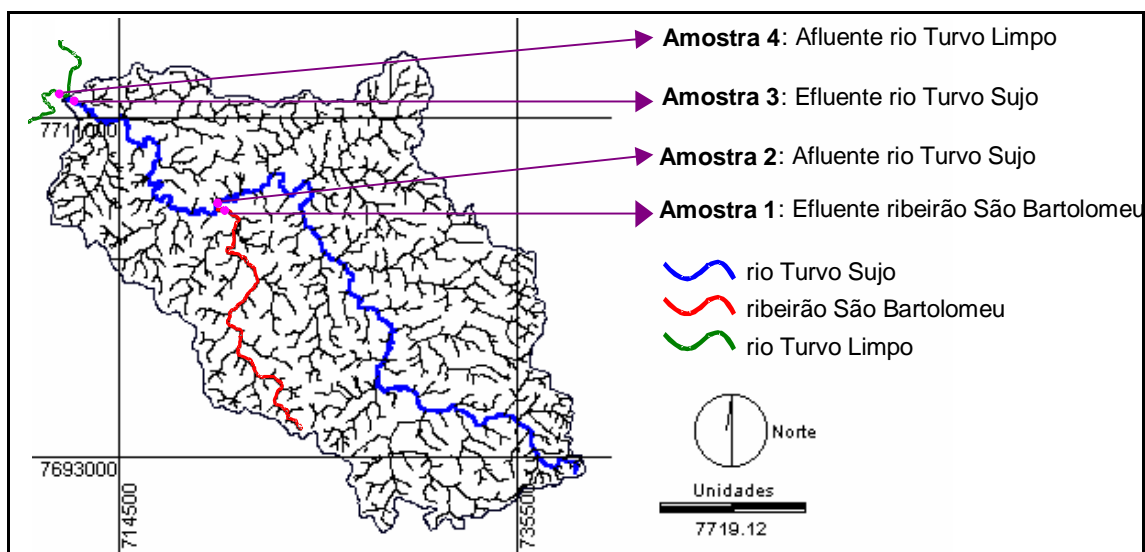


Figura 1. Área de estudo mostrando os cursos d'água e seus pontos amostrais.

Na Etapa 2 foi realizada a caracterização química, física e bioquímica das águas do ribeirão São Bartolomeu e rios Turvo Sujo e Turvo Limpo, utilizando os quatro pontos amostrais e as coletas de água da Etapa 1, além de uma medição

direta de parâmetros físicos. A forma de amostragem foi do tipo simples sendo que o método de amostragem foi manual.

As determinações realizadas na Etapa 1 e Etapa 2 foram:

- *Temperatura da água* (θ): A análise da temperatura da água foi realizado por meio de termômetro de qualidade comprovada e um becker de 500mL de acordo com a metodologia proposta por Apha (1985). A leitura foi realizada em graus Celsius, com a aproximação desejada.

- *Sólidos sedimentáveis* (SS): Para as análises foram utilizados o cone de Imhof e bastão de vidro. O volume de sedimentos acumulados no fundo do cone de Imhoff assumiu a unidade de mL. L⁻¹.

- *Sólidos totais* (ST): Utilizaram-se cadinhos de 100mL, beakers de 500mL, dessecadores, estufa 100-105°C e balança analítica com precisão de 0,1mg. A concentração de sólidos totais foi determinada de acordo com a seguinte equação:

$$ST = \frac{(Ps - Pr)1000}{Va} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

ST = sólidos totais (mg.L⁻¹);

Ps = peso da amostra seca a 103-105°C +

Pr (mg);

Pr = peso do recipiente (mg);

Va = volume da amostra (mL).

- *Oxigênio dissolvido* (OD): O método utilizado para determinação do oxigênio dissolvido foi o iodométrico ou de Winkler. Os materiais utilizados foram

bureta de 10mL com divisões de 0,01mL, frascos especiais para DBO com capacidade igual a 300mL com tampa esmerilhada, pipeta graduada de 100mL, pipetas volumétricas de 2mL, balões volumétricos 1.000mL e Erlenmeyer de 250mL. Para o cálculo da concentração de oxigênio dissolvido utilizou-se a equação:

$$OD = \frac{Vt \cdot N \cdot F \cdot 8.000}{Va} \quad (\text{eq. 2})$$

em que,

OD = concentração de oxigênio dissolvido (mg/L);

Vt = volume de tiosulfato de sódio gasto na titulação (mL);

N = normalidade do tiosulfato de sódio;

F = fator de correção da solução de tiosulfato de sódio;

Va = volume da amostra (mL).

- *Alcalinidade*: Para análise da alcalinidade foram utilizadas pipeta volumétrica de 100mL e erlenmeyer de 250mL. Este parâmetro foi calculado usando a seguinte equação:

$$\text{Alcalinidade} = (\text{mL de H}_2\text{SO}_4 \text{ a } 0,02 \text{ N}) \times 10 \quad (\text{eq.3})$$

em que:

Alcalinidade = mgL⁻¹ de alcalinidade em termos de CaCO₃;

- *Acidez*: Para a determinação da acidez foram utilizadas pipeta volumétrica de 100mL e erlenmeyer de 250mL. Calculou-se a acidez usando a seguinte equação:

$$\text{Acidez} = (\text{mL de NaOH a } 0,02\text{N}) \times 10 \quad (\text{eq. 4})$$

em que:

Acidez = mgL^{-1} de Acidez em termos de CaCO_3 ;

- *Potencial hidrogeniônico (pH)*: O potencial hidrogeniônico (pH) foi obtido pelo método eletrométrico. Os materiais utilizados para a determinação do pH foram potenciômetro (Modelo Quimis, Q-400h), becker de 250mL, garrafa lavadora de água destilada e papel absorvente.

- *Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)*: O valor da demanda bioquímica de oxigênio foi obtido a partir da diferença inicial e final do oxigênio dissolvido (OD), mensurado em amostra no início e ao final de cinco dias de incubação, a 20°C (DBO_5)

(Normas Técnicas Da Companhia De Saneamento De Minas Gerais, 1997). Os materiais utilizados para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio na água foram: potenciômetro para medição de pH; bomba de ar comprimido; bureta de 5 ou 10mL com divisões de 0,01mL; incubadora com controle de temperatura em 20°C \pm 1°C, protegida de luz; frascos especiais para DBO, com capacidade igual a 300mL, com tampa esmerilhada para proporcionar a obtenção de selo d'água; pipeta graduada de 10mL; erlenmeyer de 250mL; frasco de vidro de 20L; balões volumétricos de 1.000mL.

- *Vazão (Q)*: A vazão foi determinada pelo método do flutuador (Matos et al., 2000). Como a velocidade da água na superfície, onde o flutuador se desloca, é diferente da velocidade média do curso d'água, é necessário efetuar uma correção nos seus valores, em virtude da natureza das paredes do canal ($f = 0,75$).

$$\text{Velocidade média da água} = \text{velocidade superficial da água} \cdot f \quad (\text{eq. 5})$$

Conhecendo-se os valores da velocidade corrigida da lâmina d'água e da área da seção transversal, determinou-se a vazão pelo produto de ambas, utilizando a seguinte equação:

$$\text{Vazão} = \text{Velocidade média da água} \cdot \text{Área da seção} \quad (\text{eq. 6})$$

- *Concentração de saturação (C_s)*: foi utilizada a equação proposta por Pöpel (1979) dada por:

$$C_s = 14,652 - 4,1022 \cdot 10^{-1}T + 7,9910 \cdot 10^{-3}T^2 - 7,7774 \cdot 10^{-5}T^3$$

(eq. 7)

- *Coefficiente de desoxigenação (K_1)*: os valores de K_1 para as águas superficiais dos três cursos d'água em estudo, segundo Streeter e Phelps (1925), foram estimados pela seguinte equação:

$$\frac{L_t}{L_o} = e^{-K_1 t} \quad (\text{eq. 8})$$

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}).

- *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 laboratório, utilizou-se para a sua determinação os valores propostos por Fair et al. (1973) e Aceivala (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 , L_o e do tempo, foi gerada a curva da progressão da DBO para as amostras, com base na seguinte equação:

$$y = L_o \cdot (1 - e^{-K_1 \cdot t}) \quad (\text{eq. 9})$$

em que,

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

Notar que $y = L_o - L$;

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

- *Coefficiente de reaeração (K_2)*: os valores de K_2 para as águas superficiais dos três cursos d'água em foi realizada utilizando modelos baseados em dados hidráulicos, como a velocidade do curso d'água (v) e altura da lâmina d'água (H). Para efeito de comparação e análise, foram utilizados 6 modelos mostrados no Tabela 1.

Tabela 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)	$K_2(20\text{ °C}) = 3,73 \cdot v^{0,5} H^{-1,5}$	$0,6\text{m} \leq H < 4,0\text{m}$ $0,05\text{m/s} \leq v < 0,8\text{m/s}$
Churchill et al (1962)	$K_2(20\text{ °C}) = 5,0 \cdot v^{0,97} H^{-1,67}$	$0,6\text{m} \leq H < 4,0\text{m}$ $0,8\text{m/s} \leq v < 1,5\text{m/s}$
Owens et al (apud Branco, 1976)	$K_2(20\text{ °C}) = 5,3 \cdot v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,1\text{m} \leq H < 0,6\text{m}$ $0,05\text{m/s} \leq v < 1,5\text{m/s}$
Krenkel e Orlob (1962)	$K_2(25\text{ °C}) = 8,15(v \cdot S)^{0,408} H^{-0,66}$	-
Churchil, Elmore e Buckingham (1962)	$K_2(25\text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	-
Owens, Edwards e Gibbs (1964)	$K_2(25\text{ °C}) = 0,25v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,12\text{m} \leq H < 3,35\text{m}$ $0,03\text{m/s} \leq v < 1,52\text{m/s}$
	$K_2(25\text{ °C}) = 0,325v^{0,73} H^{-1,75}$	$0,12\text{m} \leq H < 0,73\text{m}$ $0,03\text{m/s} \leq v < 0,548\text{m/s}$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização química, física e bioquímica das águas do ribeirão São Bartolomeu e 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 rios Turvo Sujo e Turvo Limpo estão mostrados no Tabela 2.

Com base nos valores de altitude determinados, foram calculados os valores de concentração de saturação de oxigênio (C_s) para as amostras 1, 2, 3 e 4, que foram, respectivamente, de 10,02; 10,02; 9,98 e 9,97mgL⁻¹. Pelo fato de todas as temperaturas das amostras d'água apresentarem o valor de 12°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 essas águas receptoras de esgotos domésticos da cidade de Viçosa encontram-se bastante diluídas.

Os resultados de oxigênio dissolvido, obtidos para as amostras 2, 3 e 4, indicam que as condições do meio estão favoráveis para o desenvolvimento da vida aquática aeróbia, visto que, os teores mínimos de

oxigênio dissolvido para satisfazer esta exigência deve ser superior a 2mgL^{-1} .

A concentração de oxigênio dissolvido na amostra 1 foi baixa devido às elevadas concentrações de matéria orgânica presente no meio aquático. Isso deve-se ao fato do ribeirão São Bartolomeu receber praticamente todos os efluentes oriundos da cidade de Viçosa. Fica claro

que há outros lançamentos de esgotos no rio Turvo Sujo (lançamentos domiciliares, águas residuárias de suinocultura e 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).

Tabela 2. Resultados da caracterização química, física e bioquímica das águas superficiais dos quatro pontos amostrais pertencentes ao ribeirão São Bartolomeu e 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 ($^{\circ}\text{C}$)	12,0	12,0	12,0	12,0
Sólidos sedimentáveis (mLL^{-1})	0,3	0,0	0,0	0,0
Sólidos totais (mgL^{-1})	0,152	0,013	0,021	0,016
Oxigênio dissolvido (mgL^{-1})	2,04	7,23	5,37	9,46
Alcalinidade (mgL^{-1} de alcalinidade em termos de CaCO_3)	93,0	2,0	38,0	16,0
Acidez (mgL^{-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) (mgL^{-1})	163,1	120,8	179,4	42,3

Característica 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^3s^{-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 obtidos de alcalinidade, acidez e potencial hidrogeniônico, mostram que todas as amostras em estudos podem ser consideradas alcalinas. Pelo fato dos resultados do potencial hidrogeniônico de

todas as amostras estarem compreendidos entre os 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 da amostra 2,

pode ser devida à acidificação natural do curso d'água drenante de áreas cujos solos são 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 DBO_5 , quando comparadas com as amostras 2 e 4. Isso deve-se ao fato da amostra 1 ser proveniente do ribeirão São Bartolomeu, receptor de esgotos da cidade de Viçosa, apresentando, por isso, maior concentração de matéria e a amostra 3 ser proveniente do curso d'água receptor do rio São Bartolomeu. Como os valores de oxigênio dissolvido para as amostras 2 e 4 apresentam-se mais elevados do que para as amostras 1 e 3, seus valores de DQO e DBO_5 foram menos elevados.

Apesar das amostras 1 e 3 apresentarem os maiores valores de velocidade da água, estas tiveram os menores valores de oxigênio dissolvido. Mesmo com valores elevados de velocidade dos cursos d'água, pelo fato da concentração de matéria orgânica presente no meio serem mais elevadas, 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 oxigênio na massa d'água. Pelo fato dos cursos d'água 1 e 3 apresentarem no local de coleta das amostras menores alturas e maiores velocidades da lâmina d'água, estes apresentaram maior coeficiente de oxigenação da água (K_2), proporcionando maior eficiência no processo de autodepuração dos cursos d'água.

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, conseqüentemente apresenta menor valor de oxigênio dissolvido da água.

3.2. Determinação dos coeficientes de desoxigenação (K_1) e reaeração (K_2) das águas do ribeirão São Bartolomeu e rios Turvo Sujo e Turvo Limpo

Os resultados do coeficiente de desoxigenação (K_1) para as quatro amostras em estudo podem ser observados no Tabela 3. Observa-se que os cursos d'água 1 e 3 apresentaram maiores valores de K_1 por apresentarem maiores concentrações de matéria orgânica.

Os cursos d'água 1 e 3, mesmo tendo valores de DBO_5 aproximados de 163,1 e $179,4\text{mgL}^{-1}$, respectivamente, apresentam valores de K_1 bastantes distintos. No

entanto, a progressão da DBO para vários dias, mostra que os seus valores são bem diferenciados, caracterizando valores de K_1 diferentes.

A Figura 2 mostra a Influência do coeficiente K_1 na progressão da DBO para amostras com valores de DBO_5 e L_0 diferentes. Observa-se claramente que as amostras que apresentam os menores valores de K_1 (amostras 2 e 4), apresentam uma taxa de estabilização da matéria orgânica mais lenta, implicando numa DBO última elevada, e não completa ainda no dia 20. Já as amostras que apresentam os valores de K_1 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 (lançamentos domiciliares, águas residuárias de suinocultura e chorume oriundo do lixão da Barrinha). Os resultados obtidos comprovam que as águas menos concentradas com material orgânico apresentam menores taxas de desoxigenação, conforme Von Sperling (1996) e Castagnino (s.d.).

Os resultados do coeficiente de reaeração K_2 para os quatro cursos d'água em estudo estão mostrados no Tabela 4. Comparando os resultados obtidos para o curso d'água 1, para todos os modelos, com os outros cursos d'água, observa-se

que os valores de K_2 apresentaram-se elevados pelo fato de sua velocidade da água ser elevada e da altura da lâmina d'água ser baixa. Logo o ribeirão São Bartolomeu é dentre os cursos d'água estudados o que apresenta maior capacidade de reaeração e, por consequência, tem boa eficiência para a 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) apresentaram valores sempre inferiores às outras equações. Isto deve-se ao fato destas 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 a equação de Owens et al., (citado por Branco, 1976) apresentou um valor muito superior aos resultados das outras equações. Como as faixas de aplicabilidade desta equação foram ligeiramente modificadas de Covar (citado por EPA, 1985) para efeito de simplicidade, pode ser que estas modificações tenham contribuído para este resultado.

Pelo fato da 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 situaram-se acima dos resultados obtidos pelas equações propostas por Churchil et al. (1962) e Owens et al. (1964) e abaixo dos resultados obtidos pelas equações propostas por de Owens et al.(citado por Branco, 1976) e O'connor e Dobbins (1958).

Como os resultados obtidos pelas equações propostas por Churchil at al. (1962) e Owens et al. (1964) foram sempre subestimados, fica evidente que o todos os quatro cursos d'água em estudo tem maiores facilidades de diluição de oxigênio ao longo da profundidade e à criação de maiores turbulências na superfície.

Tabela 3. Valores do coeficiente de desoxigenação (K_1) para as quatro amostras em estudo.

Origem das Amostras	K_1 (d^{-1})	DBO_5 (mgL^{-1})	L_o (mgL^{-1})
Curso d'água 1 (5mL)	0,29	163,1	216,58
Curso d'água 2 (5mL)	0,22	120,83	181,25
Curso d'água 3 (5mL)	0,36	179,40	215,28
Curso d'água 4 (5mL)	0,20	42,28	67,65

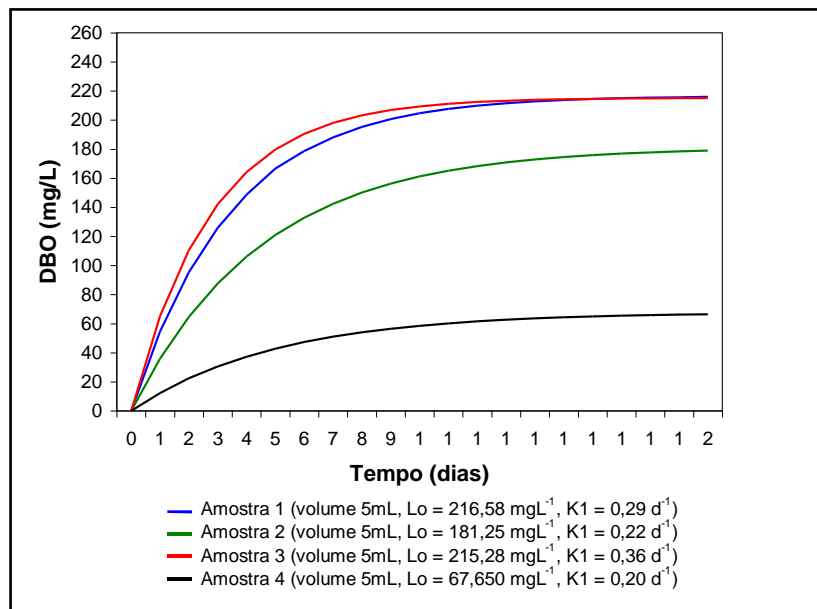


Figura 2. Influência do coeficiente K_1 na progressão da DBO para amostras com valores de DBO_5 e L_o diferentes.

Tabela 4. Modelos baseados em dados hidráulicos para estimativa do coeficiente de reaeração (K_2) corrigidos 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
	Churchil et al., (1962)	$K_2(25\text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,59
	Owens et al., (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
	Churchil et al., (1962)	$K_2(25\text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,02
	Owens et al., (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
	Churchil et al., (1962)	$K_2(25\text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,11
	Owens et al., (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
	Churchil et al., (1962)	$K_2(25\text{ °C}) = 0,235v^{0,969} H^{-1,673}$	0,07
	Owens et al., (1964)	$K_2(25\text{ °C}) = 0,25v^{0,67} H^{-1,85}$	0,09

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que o estudo foi conduzido a análise dos resultados permitiu apresentar as seguintes conclusões:

1. Por apresentarem maior concentração de matéria orgânica, os cursos d'água 1 e 3 apresentaram valores mais elevados de DBO₅, quando comparadas com os cursos d'água 2 e 4;
2. Mesmo apresentando os maiores valores de velocidade da água, as amostras coletadas dos cursos d'água 1 e 3

- indicaram os menores valores de oxigênio dissolvido;
3. As amostras dos cursos d'água 1 e 3 apresentaram maiores valores de K_1 por apresentarem maiores concentrações de matéria orgânica;
 4. As amostras que tiveram os menores valores de K_1 (cursos d'água 2 e 4), apresentaram uma taxa de estabilização da matéria orgânica mais lenta, implicando numa DBO última elevada, e não completa ainda no 20º dia;
 5. 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 deste coeficiente;
 6. Pelo fato da velocidade da água ser elevada e da altura da lâmina d'água ser baixa, o curso d'água 1 foi o que apresentou o valor de K_2 mais elevado;
 7. **Os três cursos d'água estudados tem grandes facilidades de reaeração de oxigênio devido às baixas profundidades e à criação de maiores turbulências na superfície;**
 8. O rio Turvo Sujo se degrada bastante, apresentando concentrações de oxigênio sempre abaixo do mínimo permissível, atingindo o valor crítico de $0,46\text{mgL}^{-1}$ a uma distância de 16,46km do encontro com o ribeirão São Bartolomeu;

9. Pelo fato da 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 da autodepuração do rio Turvo Limpo quando o efluente rio Turvo Sujo for submetido a diferentes alternativas de eficiência do tratamento.

5. REFERÊNCIAS

- APHA. **Standard methods for examination water and wastewater**. 16 ed. Washington D. C. 1985. 1268p.
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. São Paulo, CETESB. 1976. 620p.
- CASTAGNINO, W. A. Polucion de agua – Modelos y control, (Serie técnica / Organización Panamericana da Saúde. Division de Salud Ambiental; Washington, D. C.: Organizacion Panamericana de la Salud, s.d.. 234p.
- CHURCHILL, M. A.; ELMORE, H. L.; BUCKINGHAM, R. A. The prediction of stream reaeration rates. **Journal Sanitary Engineering Division**, ASCE, 88 (4). July 1962. p. 1-46.
- EPA, Enviromental Protection Agency, Athens. **Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling**. 1985. 2.ed, 455p.
- MATOS, A. T. et al. **Barragens de terra de pequeno porte**. Viçosa: UFV. 112p. 2000.
- MOTA, S. **Preservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1988. 222p.
- NORMAS TÉCNICAS DA COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS

- GERAIS. COPASA MG. 1988-1997.
- OWENS, M.; EDWARDS, R. W.; GIBBS, J. W. Some reaeration studies in streams. **Int. Journal Air and Water Pollution**, **8**: 469-486, 1964.
- O'CONNOR, D. J. & DOBBINS, W. E. Mechanism of reaeration in natural streams. **Journal Sanitary Engineering Division**, ASCE, 1958. 123. p. 641-666.
- PÖPEL, H. J. **Aeration and gas transfer**. 2. ed. Delft, Delft University of Technology. 1979. 169p.
- QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants: planning, design and operation**. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.
- QUINTEIRO, F.L. **Levantamento do uso da terra e caracterização de ambientes da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, com a utilização de aerofotos não convencionais**. Viçosa, MG: UFV, 1997, 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- STREETER, H. W. & PHELPS, E. B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. **Public Health Bulletin**, 1925, 146, Washington.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 243p.