

COEFICIENTES DE DESOXIGENAÇÃO E DE REAERAÇÃO EM TRECHOS DO RIO TURVO SUJO

Daniele Gonçalves Nunes^{1}; Antonio Teixeira de Matos²; Demetrius David da Silva³ & José de Alencar Pinto Farage⁴*

Resumo – A bacia objeto de estudo é a do rio Turvo Sujo, situada na bacia do rio Doce, abrangendo parte dos municípios de Viçosa, Coimbra, Cajuri, Teixeiras e Guaraciaba. Pode ser considerada uma bacia importante para região, em termos de abastecimento de água para a população, diluição de efluentes domésticos e industriais e uso na pecuária e agricultura. A realização do presente trabalho teve como principais objetivos: estimar o coeficiente de desoxigenação (K_1) e de reaeração (K_2) das águas no rio Turvo Sujo. Os resultados obtidos indicaram que os trechos I (a jusante da confluência com o córrego do Grama) e II (a jusante da confluência com o rio Cristal), nos períodos seco e chuvoso, apresentaram maiores valores de K_1 que o trecho III (a jusante da confluência com o ribeirão Santa Tereza). Os menores valores de K_2 foram obtidos no período seco e os maiores valores no período chuvoso, nos trechos II e III.

Palavras-Chave – coeficientes, reaeração, desoxigenação.

DEOXYGENATION AND REAERATION COEFFICIENTS ON TURVO SUJO RIVER REACHES

Abstract – The object basin of study is the one of the Turvo Sujo river, located in the Doce river basin, covering the municipalities of Viçosa, Coimbra, Cajuri, Teixeira and Guaraciaba. It can be considered an important basin for the region in terms of water supply for the population, dilution of domestic and industrial effluents and use in livestock and agriculture. The realization of this work had as main objectives: to estimate the deoxygenation coefficient (K_1) and reaeration (K_2) of the river Turvo Sujo. The results indicated that the reaches I (downstream of the confluence with the Grama stream) and II (downstream of the confluence with the Cristal River) during the dry and rainy seasons, showed higher K_1 values than the section III (downstream the confluence with the Santa Tereza creek). The lowest values of K_2 were obtained during the dry season and higher values in the rainy season in reaches II and III.

Keywords – coefficients, reaeration, doexygenation.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e de ações antrópicas, podendo-se dizer que seja função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. A interferência do homem é uma das maiores causas de alteração na qualidade da água, seja de forma concentrada, com a geração de efluentes domésticos ou industriais, ou de forma difusa, com aplicação de defensivos e insumos agrícolas que chegam aos corpos hídricos através do escoamento superficial.

¹ Ms. Eng^a Agrícola, Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – Campus Nilo Peçanha - Pinheiral, Av. José Breves, 550, 27197-000, daniele.nunes@ifrj.edu.br.

² Dr. Solos e Nutrição de Plantas, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV, Av. Ph Rolfs s/n, 36570-000, E-mail: atmatos@ufv.br.

³ Dr. Eng^a Agrícola, Prof. Adjunto do Depto. de Engenharia Agrícola/UFV, Viçosa – MG, Av. Ph Rolfs s/n, 36570-000, E-mail: demetrius@ufv.br.

⁴ Engenheiro Agrícola, Professor da UNIPAC- Leopoldina; e-mail: alencar.farage@yahoo.com.br.

A matéria orgânica introduzida no corpo de água é grande fonte de alimento para diversos organismos heterotróficos nele presentes. Estes organismos utilizam o oxigênio na decomposição da matéria orgânica, consumindo, assim, o oxigênio dissolvido e ocasionando sua depleção. Concomitantemente, pode ocorrer a reintrodução de oxigênio na água a partir das trocas gasosas entre a atmosfera e o curso de água e, também, por meio da liberação deste gás por processos fotossintéticos. De acordo com Tchobanoglous e Schroeder (1985), Thomman e Mueller (1987) e Ribeiro (2001), citados por Almeida (2006), as principais fontes de oxigênio para a massa líquida são a reaeração atmosférica, a fotossíntese e a contribuição de tributários mais oxigenados. Já o consumo resume-se, basicamente, nos vários tipos de oxidação da matéria orgânica suspensa (tanto a carbonácea quanto a nitrogenada) e decantada (camada de sedimentos decantados, que é responsável pela Demanda Biotônica de Oxigênio) e o uso do oxigênio na respiração, principalmente dos vegetais (algas), quando na ausência de luz.

Entretanto, quando há o lançamento de efluentes ricos em cargas orgânicas nos cursos de água, deverá ocorrer brusca depleção na concentração de oxigênio na água, a partir de uma determinada distância a jusante do ponto de lançamento. Isto pode diminuir a concentração de oxigênio até se atingir níveis prejudiciais à biota aquática, já que a demanda por oxigênio supera sua reposição pelo processo de reaeração. A recuperação dos níveis de oxigênio e do equilíbrio aquático por meio de mecanismos naturais constitui o fenômeno da autodepuração.

Diversas variáveis podem ser utilizadas na avaliação do processo de autodepuração, entretanto, a quantificação da concentração de oxigênio dissolvido (OD) é a mais importante para definir a condição do curso de água e avaliar se o mesmo encontra-se dentro ou fora dos limites da classe de seu enquadramento (Santos, 2001). O teor de oxigênio dissolvido é um fator importante à preservação da fauna e flora aquática, além disso, tanto a poluição como a sua estabilização são medidos em termos de oxigênio dissolvido. Por isso, normalmente utilizam-se como parâmetros o OD e a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) para a avaliação da poluição em um curso de água. A medição do OD é simples, e o seu teor pode ser expresso em concentrações, quantificáveis, e passíveis de modelagem matemática (Formentini, 2010).

O consumo de OD, devido a oxidações, pode ser obtido utilizando-se a medição da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sendo basicamente governado pelo coeficiente de desoxigenação, K_1 , que é a velocidade com que esse mecanismo se processa. Segundo Formentini (2010), tão importante quanto estimar o montante de OD consumido pela matéria orgânica em cinco dias, período padrão da DBO₅, é conhecer a demanda total de consumo de oxigênio dessa amostra, a DBO_u. Essa estimativa, de acordo com Von Sperling (1996), pode ser obtida com a utilização de equações diferenciais, que expressam uma reação cinética de primeira ordem. O coeficiente de desoxigenação K_1 é um parâmetro de grande importância na modelagem do oxigênio dissolvido e depende do tipo da matéria orgânica e do grau de tratamento, além da temperatura e da presença de substâncias inibidoras.

O coeficiente que mede a velocidade de absorção física do oxigênio atmosférico por um escoamento é conhecido como coeficiente de reaeração superficial, K_2 . Segundo Kilpatrick et al. (1989), o principal uso do coeficiente de reaeração é na quantificação do processo de reaeração atmosférica para utilização em modelos de qualidade da água baseados no oxigênio dissolvido. Se o valor de K_2 utilizado em um modelo de qualidade for menor que o real, o grau de tratamento da água indicado pelo modelo será maior que o necessário, podendo implicar em custos maiores e inclusive impossibilitando determinado projeto. De maneira inversa, ao utilizar um valor de K_2 maior que o real, a indicação do modelo para o tratamento será menor que a demandada pelo corpo de água, o que pode ocasionar sérios problemas ambientais (Formentini, 2010).

Pode-se determinar o valor do coeficiente de reaeração (K_2) de um corpo de água por meio de métodos estatísticos. Os dados de entrada são concentrações de OD e diversos tempos (t).

A seleção do valor do coeficiente K_2 tem 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. A influência da temperatura na oxigenação do corpo de água ocorre de modo a reduzir a concentração de saturação de oxigênio dissolvido na água. Resultados experimentais demonstram que a temperatura exerce profundo efeito na taxa de absorção de oxigênio. Observa-se, de modo geral, que água previamente desoxigenada absorve menos oxigênio da atmosfera à medida que a temperatura se eleva, se todas as outras condições permanecerem constantes (Santos, 2001).

A bacia objeto de estudo no presente trabalho é a do rio Turvo Sujo, localizada na Zona da Mata mineira, inserida na bacia do rio Doce. Esta bacia hidrográfica pode ser considerada importante para a região, em termos de abastecimento de água para a população, diluição de efluentes domésticos e industriais e uso na pecuária e agricultura. Apresenta como principais problemas ambientais, a ocupação desordenada das encostas e topos de morros dentro das cidades, a degradação da qualidade da água, devido aos inúmeros despejos de esgotos sem tratamento, falta de conservação do solo e poluição difusa provocada pelas atividades agrícolas no entorno da bacia. Em alguns trechos do rio ainda se pode notar a conservação das margens e do leito, sem expressivas alterações antrópicas. O trecho onde ocorrem maiores intervenções está no município de Viçosa, no qual há o encontro do rio Turvo Sujo com o ribeirão São Bartolomeu, um de seus afluentes mais importantes.

Em função do exposto, o objetivo do presente trabalho foi quantificar o coeficiente de desoxigenação (K_1) e de reaeração (K_2) no rio Turvo Sujo, a jusante dos pontos de confluência com seus principais afluentes, para três trechos do curso de água, comparando os resultados obtidos a outros estudos desenvolvidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem para fins de determinação do IQA e autodepuração

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados 10 pontos de coleta de amostras de água ao longo do rio Turvo Sujo, entretanto, somente três trechos foram selecionados para a estimativa dos coeficientes de autodepuração.

As amostras foram coletadas em vidros especiais com capacidade de 300 mL, com rolha esmerilhada (frascos de DBO), para análises de oxigênio dissolvido. As medições de temperatura foram feitas “in loco”, utilizando-se termômetro eletrônico.

Os pontos de amostragem foram escolhidos de acordo com o posicionamento dos tributários mais importantes. Adotou-se o procedimento de amostragens no rio Turvo Sujo a jusante da confluência com o tributário em questão. As amostragens ocorreram em dois períodos, seco e chuvoso, com duas campanhas para medição de vazão e quatro campanhas para qualidade de água.

Estimativa dos coeficientes de autodepuração

A determinação dos coeficientes de autodepuração foi feita com base no modelo de Streeter-Phelps (1925). Este modelo foi apresentado por Von Sperling (1983), Santos (2001) e Matos (2004).

O coeficiente de desoxigenação (K_1) foi obtido em laboratório, utilizando-se as amostras de água coletadas no Rio Turvo Sujo. Estas amostras foram submetidas à incubação sob temperatura de 20°C, seguindo o mesmo procedimento para obtenção da $DBO_{5,20^\circ C}$, por períodos de 0 a 21 dias. Em seguida, através de regressão não-linear, obteve-se os valores de K_1 a partir das Equações 1 e 2.

$$\frac{L_t}{L_0} = e^{-K_1 t}$$

(1)

$$y = L_0 \cdot (1 - e^{-K_1 \cdot t}) \quad (2)$$

em que,

L_t = DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg L^{-1});

L_0 = DBO remanescente em tempo $t = 0$ (mg L^{-1});

t = tempo (dias - d);

K_1 = Coeficiente de desoxigenação (d^{-1}); e

y = DBO exercida em um tempo t (mg L^{-1}).

O coeficiente de reaeração (K_2) foi obtido substituindo-se na Equação (3), de Streeter-Phelps (1925), os dados de entrada (temperatura da água, altitude local, concentração de OD no ponto de mistura, $\text{DBO}_{5,20^\circ\text{C}}$, velocidade, valor de K_1 , distância percorrida e a concentração de OD no final do trecho), conforme apresentado por Matos et al. (2011). Os dados de temperatura da água, altitude local e velocidade foram obtidos em campo. Já os dados de distância percorrida foram determinados por meio do ArcGIS 9.2®, usando-se o módulo ArcMap 9.2®.

$$C_t = C_s - \left[\frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + D_0 \cdot e^{-K_2 \cdot t} \right] \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de K_1 foram obtidos para três trechos do rio Turvo Sujo, sendo eles situados a jusante da confluência com o córrego do Grama até a montante do encontro com rio Cristal (I); jusante da confluência com o rio Cristal até a montante do encontro com o ribeirão Santa Tereza (II) e; jusante da confluência com o ribeirão Santa Tereza até a montante do encontro com ribeirão São Bartolomeu (III). Os valores de K_1 estão apresentados na Tabela 1, para os períodos seco e chuvoso.

Tabela 1 – Valores de K_1 , DBO_5 para os períodos seco e chuvoso

Período seco		
Amostras	K_1 (d^{-1})	DBO_5 (mg L^{-1})
Trecho I	0,1028	62
Trecho II	0,2373	24
Trecho III	0,0749	31
Período chuvoso		
Amostras	K_1 (d^{-1})	DBO_5 (mg L^{-1})
Trecho I	0,4226	42
Trecho II	0,1399	5
Trecho III	0,0889	4

Os trechos I e II, para ambos os períodos, apresentam maiores valores de K_1 , com maiores valores de DBO_5 , com exceção do trecho II, no período seco. Estes maiores valores implicam em maiores taxas de estabilização e, conseqüentemente, em melhor capacidade de autodepuração do curso de água. Verificou-se, também, que existe relação entre maiores concentrações de carga orgânica e os maiores valores de K_1 . O trecho III, no entanto, possui taxa de estabilização mais lenta em comparação aos trechos I e II. Isso se deve ao fato de ser um trecho com menor ocorrência de

lançamentos de efluentes, localizado em áreas predominantemente rurais, sem intensiva atividade agropecuária e grandes aglomerações urbanas, observando-se os baixos valores de DBO_5 . Quanto mais fresca ou lábil a matéria orgânica presente no curso de água, maior a taxa de decaimento da DBO. Santos (2001) encontrou para o ribeirão São Bartolomeu e rio Turvo Sujo valores de K_1 de $0,29 \text{ d}^{-1}$ e $0,20 \text{ d}^{-1}$, respectivamente, em trechos que apresentaram maiores valores de DBO_5 . Em seu trabalho, observou-se claramente que as amostras que apresentaram menores valores de K_1 , mostraram uma taxa de estabilização de matéria orgânica mais lenta, implicando em uma DBO_u elevada. Já as amostras que apresentaram os valores de K_1 mais elevados degradaram praticamente toda a matéria orgânica ao final de 20 dias.

Formentini (2010) encontrou para trechos do rio Vacacaí Mirim, valores de coeficiente de desoxigenação que variaram entre $0,15 \text{ dia}^{-1}$ (março de 2010) e $0,27 \text{ dia}^{-1}$ (abril de 2010). Os valores de K_1 para a seção de característica predominantemente urbana, apresentaram pouca variação, entre $0,22 \text{ dia}^{-1}$ e $0,24 \text{ dia}^{-1}$, sendo que a DBO_5 e DBO_u deste ponto foram consideravelmente mais elevadas que nos outros pontos estudados.

Comparando os valores obtidos em campo e apresentados na Tabela 1 com os valores genéricos apresentados por Von Sperling (1996) para vários tipos de efluentes e águas, podem-se classificar as águas do trecho III como águas limpas para ambos os períodos, enquanto que o trecho I pode ser considerado trecho de águas limpas somente na época seca e o trecho II somente na época chuvosa. Estas variações podem ser ilustradas pelas Figuras 1 e 2.

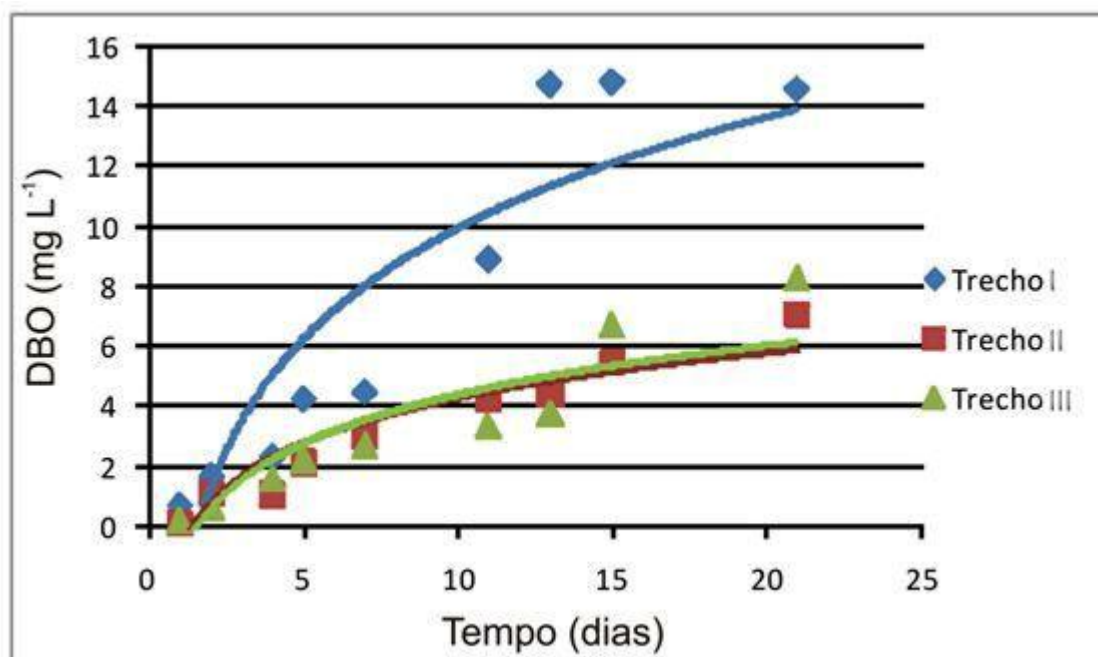


Figura 1 – Variação no valor da DBO exercida com o tempo, em amostras de água coletadas em três trechos do rio Turvo Sujo, no período seco.

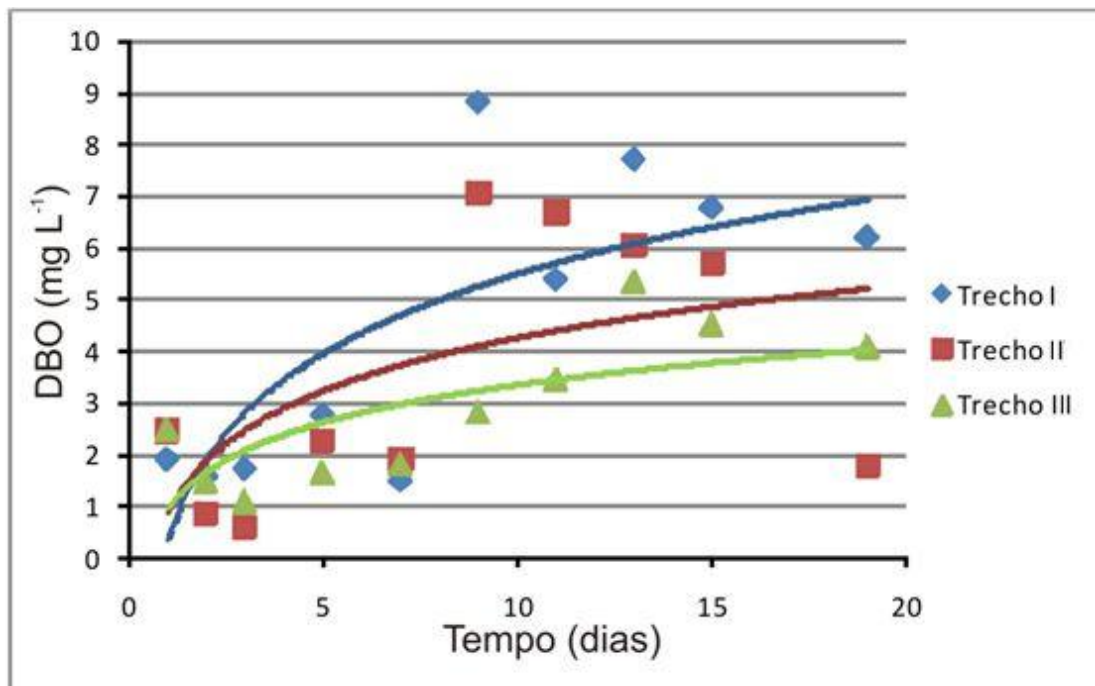


Figura 2 – Variação no valor da DBO exercida com o tempo, em amostras de água coletadas em três trechos do rio Turvo Sujo, no período chuvoso.

Almeida (2006), trabalhando na bacia hidrográfica do rio Pomba, afluente do rio Paraíba do Sul, verificou que o coeficiente de desoxigenação K_1 , obtido pelo mesmo método utilizado no presente estudo, variou entre 0,14 e 0,15 d^{-1} para período seco e 0,13 a 0,24 d^{-1} para período chuvoso. Esses valores denotam um comportamento semelhante ao encontrado para o rio Turvo Sujo no presente estudo.

Os resultados de K_2 foram obtidos para os mesmos trechos usados na determinação de K_1 , sendo apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de K_2 para os períodos seco e chuvoso

Amostras	Período seco	Período chuvoso
	K_2 (d^{-1})	K_2 (d^{-1})
Trecho I	0,0161	0,0161
Trecho II	0,0331	0,3726
Trecho III	1,6051	5,5951

Os resultados obtidos para K_2 apresentaram menores valores para o período seco e maiores valores para o período chuvoso, nos trechos II e III. No período chuvoso as vazões são maiores, alterando a velocidade e a profundidade da lâmina de água, provocando um aumento nos valores de K_2 , devido ao maior volume de água que promove maiores turbulências e mistura ao longo do perfil do curso de água. Os valores altos obtidos para o trecho III, quando comparados aos obtidos nos demais trechos, podem ser justificados pelos maiores valores de velocidade e menores valores de profundidade, aumentando a mistura ao longo da profundidade e criando maiores turbulências na superfície. De acordo com Santos (2001), os cursos de água com menores lâminas de água e maiores velocidades apresentam maior facilidade de reaeração, consequentemente maiores valores de K_2 . Esse trecho, em razão da alta capacidade de reaeração da água torna-se muito importante na depuração do rio Turvo Sujo.

No trecho I, os valores são mais baixos, pois este trecho é muito sinuoso, com muitas curvas, o que provoca forte decréscimo na velocidade do curso de água, diminuindo as turbulências e, por consequência, o K_2 .

Para o coeficiente de reaeração, K_2 , Santos (2001) utilizou modelos baseados em dados hidráulicos, como velocidade e altura da lâmina de água, e comparou os resultados de seis modelos diferentes, para determinar os valores de K_2 de trechos do rio São Bartolomeu, rio Turvo Sujo e rio Turvo Limpo, obtendo valores mais baixos que os encontrados neste estudo. Formentini (2010) apresenta em seu estudo que valores de K_2 obtidos através de equações conceituais ou modelos empíricos tendem a serem mais baixos que os valores reais.

ALMEIDA (2006) encontrou valores que variam de 0,4 a 2,05 d^{-1} , utilizando o mesmo método do presente estudo. Os valores foram semelhantes, sendo menores no período seco e maiores no período chuvoso.

Matos et al. (2011) desenvolveu estudos para determinar o coeficiente de reaeração do rio Pomba. Com base em sua análise estatística, poderiam ser utilizados valores médios de K_2 , calculados com base nos resultados obtidos nos períodos seco e chuvoso, de 1,23 d^{-1} , para o trecho mais montanhoso e de 0,65 d^{-1} , nos demais trechos estudados do rio Pomba, sem proporcionar grandes erros em modelos de autodepuração para o rio Pomba.

Foram ajustadas equações (Equações 4 e 5) para obtenção de K_2 (d^{-1}) com base nos valores de velocidade (V , $m s^{-1}$) e profundidade (P , m), obtidos para os trechos I, II e III nos períodos seco e chuvoso.

$$K_2 = 1,437 \times 10^{-9} \cdot V^{-32,785} \cdot P^{-7,819} \Rightarrow r^2 = 0,934 \quad (\text{Período Seco}) \quad (4)$$

$$K_2 = 1032,747 \cdot V^{10,906} \cdot P^{-11,816} \Rightarrow r^2 = 0,782 \quad (\text{Período Chuvoso}) \quad (5)$$

De forma complementar, também foram ajustadas equações para obtenção de K_2 em função da vazão do curso de água para os trechos I, II e III nos períodos seco e chuvoso.

$$K_2 = 0,031481 \cdot Q^{5,246004} \Rightarrow r^2 = 0,845 \quad (\text{Período Seco}) \quad (6)$$

$$K_2 = 0,011604 \cdot Q^{5,466029} \Rightarrow r^2 = 0,789 \quad (\text{Período Chuvoso}) \quad (7)$$

Barros et al. (2011) ajustou parâmetros para equação proposta por Von Sperling (1996) que relaciona velocidade e profundidade do curso de água e K_2 , obtendo valores diferentes do presente estudo, devendo a diferença ser causada pelo fato das análises acontecerem em períodos diferentes e os dados coletados não serem os mesmos.

Em estudos realizados por Matos et al. (2011) no Rio Pomba, obteve-se parâmetros significativamente diferentes para a equação ajustada para os trechos estudados. Isto se deve, provavelmente, às diferenças entre os dois cursos de água, sendo que o Rio Pomba é um rio de maior porte, ou seja, maiores vazões, profundidades e velocidades. As equações foram ajustadas para os trechos onde foram coletadas as amostras de água para a obtenção dos coeficientes de autodepuração.

CONCLUSÕES

O rio Turvo Sujo apresentou boa capacidade de autodepuração nos trechos analisados, devido aos altos valores de K_1 (0,10 a 0,42 d^{-1}), para os períodos seco e chuvoso, respectivamente, com exceção do trecho III (0,075 e 0,089) (jusante do ribeirão Santa Tereza), que possui menor taxa de estabilização, implicando numa DBO última elevada e ainda não completa no 20º dia. Os elevados valores de K_1 são justificados pelas maiores concentrações de DBO_5 oriundas do lançamento de matéria orgânica nos trechos I e II.

Os trechos do rio Turvo Sujo apresentaram menores valores de K_2 para o período seco e maiores valores para o período chuvoso, com exceção do trecho I ($K_2 = 0,016 d^{-1}$ em ambos os períodos) (jusante do córrego do Grama) que apresentou valores muito baixos, pois este trecho é extremamente sinuoso, com muitos meandros, o que provoca decréscimo na velocidade do curso de água, diminuindo a turbulência e, por consequência, o K_2 . Os trechos II e III apresentam melhores condições de reaeração, devido às baixas profundidades e à criação de maiores turbulências na superfície do curso de água.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. V. de. *Índice de qualidade da água e coeficientes de autodepuração de trechos do Rio Pomba*. Viçosa: UFV, 2006. Dissertação de Mestrado.
- BARROS, F. M., MARTINEZ, M. A., MATOS, A. T., CECON, P. R., MOREIRA, D. A. Balanço de oxigênio no rio Turvo Sujo em diferentes épocas do ano. *REVENG - Engenharia na Agricultura*, Viçosa - MG, v.19 n.1, janeiro / fevereiro 2011. pp. 72 – 80.
- FORMENTINI, T. A. *Coeficientes de desoxigenação e de reaeração superficial em trechos do rio Vacacaí Mirim*. Santa Maria: UFSM, 2010. Dissertação de Mestrado.
- MATOS, A. T. *Qualidade do solo e da água*. Série Caderno Didático n. 33. Viçosa: DEA-UFV, 2004.
- MATOS, A. T., ALMEIDA, T. V. de, SILVA, D. D. da, FARAGE, J. A. P. Coeficiente de reaeração em três trechos do rio Pomba (MG), obtidos nos períodos chuvoso e seco. *REVENG - Engenharia na Agricultura*, Viçosa - MG, v.19 n.4, julho / agosto 2011. pp. 361 – 369.
- RIBEIRO, M. O. *Estudo da Poluição e Autodepuração nos Rios Melchior e Descoberto, na Bacia do Descoberto – DF-GO, com auxílio de modelos matemáticos de simulação de qualidade da água, para estudos de seu comportamento atual e futuro*. Distrito Federal: PTARH-UNB, 2001. Dissertação de Mestrado.
- SANTOS, A.R. dos. *Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa-MG*. Viçosa: UFV, 2001. Dissertação de Doutorado.
- STREETER, H.W. and PHELPS, E.B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. *Public Health Bulletin*, nº 146. Washington, D.C, 1925.
- VON SPERLING, M. *Autodepuração dos cursos d'água*. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1983. Dissertação de Mestrado.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 2ª ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996. Vol. 1.