



PIBIC/CNPq/UFPG-2015

## **DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE REAERAÇÃO EM TRECHOS DO RIO PIANCÓ PIRANHAS AÇU NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO**

**Myrla Oliveira de Freitas<sup>1</sup>, Manoel Moises Ferreira de Queiroz<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

Com base na equação de STREETER-PHELPS este trabalho procurou determinar o coeficiente de reaeração em um determinado trecho do Rio Piancó-Piranhas-Açu que vai desde a jusante do município de Pombal, junto ao ponto de lançamento de águas residuárias, até um ponto antes da sua confluência com o Rio Piranhas. A caracterização do potencial de autodepuração do curso d'água foi possível graças a determinação do coeficiente de reaeração ( $K_2$ ), no trecho do rio. A medição de vazão foi realizada pelo método velocidade-área da meia seção utilizando molinete fluviométrico e com medidor acústico Doppler de vazão, usando o ADP RiverSurveor S5 da Sontek, as amostragens de sedimentos em suspensão foram realizadas seguindo o método da integração vertical com o mesmo incremento de largura. O valor de  $K_2$  foi obtido por cálculo, com a substituição das variáveis como: temperatura da água, altitude local, concentração de OD no ponto de mistura,  $DBO_{5d-20^{\circ}C}$ , velocidade média, valor de  $K_1$ , distância percorrida e concentração de OD no final do trecho, na equação de Streeter-Phelps. Foram obtidos valores de  $K_2$ , onde as equações matemáticas foram ajustadas, utilizando-se o modelo potencial.

**Palavras-chave:** Autodepuração, Coeficiente de reaeração, Equação.

### **DETERMINATION OF COEFFICIENT IN EXCERPTS REAERATION PIANCÓ RIVER PIRANHAS AÇU IN RAINY PERIODS AND DRY**

#### **ABSTRACT**

From equation STREETER-PHELPS this study sought to determine the coefficient reaeration on a particular stretch of Piancó-Piranhas River that runs from downstream of the city of Pombal, with the launching point wastewater to a point before from its confluence with the Rio Piranhas. The characterization of the potential for self-purification of the water course was made possible by the determination of reaeration coefficient ( $K_2$ ) in the stretch of the river. The flow measurement was performed by the speed-area method of the middle section using fluviometric reel and acoustic meter flow Doppler, using ADP RiverSurveor S5 Sontek, the sediment sampling in suspension were carried out following the method of vertical integration with the same increment width. The value of  $K_2$  was obtained by calculation, the replacement of variables such as water temperature, location altitude DO concentration in the mixing point,  $DBO_{5d-20^{\circ}C}$ , average speed, value of  $K_1$ , distance and concentration of OD at the end of the passage, the equation of Streeter-Phelps.  $K_2$  values have been obtained where the mathematical equations were fitted using the model potential

**Keywords:** Selfpurification, reaeration coefficient, equation .

<sup>1</sup> Aluna do Curso de Engenharia Ambiental, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, UFPG, Pombal, PB, E-mail: myrlafreitas@hotmail.com@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenharia Ambiental, Professor. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, UFPG, Pombal, PB, E-mail: moises@ccta.ufcg.edu.br \*Autor para correspondências.

## INTRODUÇÃO

A autodepuração de um curso d'água é o balanço entre a taxa de desoxigenação imposta pela oxigenação da matéria orgânica e a taxa de reaeração, da qual o fenômeno principal é a reaeração atmosférica, sendo o coeficiente de reaeração a variável associada à capacidade do meio em se oxigenar. O coeficiente de reaeração é altamente dependente das características geométricas do rio e da vazão que nele passa.

Quando a água é exposta a um gás, ocorre um contínuo intercâmbio de moléculas da fase líquida para a fase gasosa e vice-versa. Tão logo a concentração de solubilidade na fase líquida seja atingida, ambos os fluxos passam a ser de igual magnitude, de modo a não ocorrer uma mudança global nas concentrações do gás em ambas as fases. Este equilíbrio dinâmico define a concentração de saturação ( $C_s$ ) do gás na fase líquida (VON SPERLING, 1996).

Os pesquisadores Streeter & Phelps (1925) estabeleceram as bases matemáticas da curva de oxigênio dissolvido em um curso d'água. A estrutura do modelo proposto por eles é clássica em estudos na área da engenharia de recursos hídricos e ambientais, servindo de suporte para todos os outros modelos mais sofisticados que se sucederam. Para a situação relativamente simples em que se considera apenas a desoxigenação e a reaeração atmosférica no balanço do oxigênio dissolvido, a taxa de variação do déficit de oxigênio com o tempo pode ser expressa pela seguinte equação diferencial, advinda da interação das equações de desoxigenação e reaeração:

$$\text{Taxa de variação do déficit de OD} = \text{Consumo de OD} - \text{Produção de OD} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\frac{dD}{dt} = K_1 \cdot L - K_2 \cdot D \quad \text{Eq.2}$$

em que,

D - déficit de oxigênio dissolvido, ou seja, a diferença entre a concentração de saturação ( $C_s$ ) e a concentração existente em um tempo t (mg L<sup>-1</sup>);

t - tempo (d);

$K_1$  - coeficiente de desoxigenação (d<sup>-1</sup>);

$K_2$  - coeficiente de reaeração na base "e" (d<sup>-1</sup>);

L - DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg L<sup>-1</sup>).

A integração desta equação conduz a:

$$D_t = \frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 \cdot K_1} \cdot (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + D_0 \cdot e^{-K_2 \cdot t} \quad \text{Eq.3}$$

em que,

$D_t$  - déficit de oxigênio num ponto t qualquer (mg L<sup>-1</sup>);

$L_0$  - DBO última no ponto de mistura (mg L<sup>-1</sup>);

$D_0$  - déficit de oxigênio no ponto de mistura (mg L<sup>-1</sup>).

A variação do déficit de oxigênio em função é expressa pela Equação 4. A curva da concentração de OD ( $OD_t$  ou  $C_t$ ) pode ser obtida diretamente dessa equação, sabendo-se que:

$$OD_t = C_s - D_t \quad \text{Eq.4}$$

em que,

$C_t$  - concentração de OD em um dado instante t (mg L<sup>-1</sup>);

$C_s$  - concentração de saturação de OD (mg L<sup>-1</sup>);

Assim, pela Equação 5, de STREETER-PHELPS (1925), a concentração de OD pode ser obtida por:

em que,

$C_0$  - concentração de OD no ponto de mistura (mg L<sup>-1</sup>).

A partir de estudos conduzidos por diversos autores em rios naturais e artificiais, foram obtidas várias equações empíricas, baseadas em características hidráulicas dos rios estudados, que podem ser utilizados para estimativa do valor de  $K_2$ , mas ainda restam muitas dúvidas a respeito da forma como ocorrem as trocas gasosas.

Existem inúmeras equações para a estimativa de  $K_2$ , entretanto, ainda não se sabe qual modelo físico é mais apropriado para a descrição do fenômeno, se o da teoria da renovação da superfície ou a da teoria dos filmes (RIBEIRO, 2001). A equação 6 é geral, sendo utilizada para a determinação de  $K_2$  em rios (RIBEIRO, 2001):

$$K_2 = \frac{294 \cdot (D_L \cdot u)^{0.5}}{H^{1.5}} \quad \text{Eq. 6}$$

em que,

D - coeficiente de difusão molecular do oxigênio ( $\text{m}^2 \text{d}^{-1}$ );

u - velocidade média do curso d'água ( $\text{m s}^{-1}$ );

H - profundidade média do curso d'água (m).

O modelo potencial, tal como apresentado na Equação 7, tem sido muito utilizado no ajuste de equações de  $K_2$  como função da velocidade e profundidade do curso d'água.

$$K_2 = a \cdot v^b \cdot H^c \quad \text{Eq. 7}$$

em que,

v - velocidade média do curso d'água ( $\text{m s}^{-1}$ );

H - profundidade média do curso d'água (m).

Owens et al., citados por VON SPERLING (1996), ajustaram o modelo potencial obtendo a Equação 8. O mesmo modelo potencial será utilizado, também nesse trabalho, para ajuste, por regressão não linear de equações de  $K_2$  como função de amostras de água (período seco e chuvoso).

$$K_2 = 5,3 \cdot v^{0,67} \cdot H^{1,85} \quad \text{Eq. 8}$$

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na bacia do rio Piancó, a qual está inserida na bacia hidrográfica do rio Piancó Piranhas Açu, situado no Nordeste do Brasil, pertencente ao território dos estados do Rio Grande e da Paraíba, totalmente inserida no clima semi-árido nordestino. Possui uma área total de drenagem de  $43.681,50 \text{ Km}^2$ , sendo  $26.183,00 \text{ Km}^2$ , correspondente a 60% da área no Estado da Paraíba, e o restante no Estado do Rio Grande do Norte.

### Área de estudo

A bacia do rio Piranhas que está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu situada no Nordeste do Brasil (Figura 1), pertencente ao território dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, totalmente inserida no clima semiárido nordestino. Possui uma área total de drenagem de  $43.681,50 \text{ Km}^2$ , sendo  $26.183,00 \text{ Km}^2$ , correspondendo a 60% da área no Estado da Paraíba, e o restante no Estado do Rio Grande do Norte. Conta com 147 municípios, sendo 45 no Estado do Rio Grande do Norte e 102 no Estado da Paraíba.

O principal rio da bacia é o rio Piranhas-Açu (Figura 1), de domínio federal, uma vez que nasce no município de Bonito de Santa Fé, no Estado da Paraíba, e segue seu curso natural pelo Estado do Rio Grande do Norte, desaguardo no Oceano Atlântico, na Costa Potiguar. O rio é denominado Piranhas no estado da Paraíba e, após cruzar a fronteira com o estado do Rio Grande do Norte é que adquire o nome de Piranhas-Açu. A bacia é constituída por sete sub-bacias: Piancó, Peixe, Alto Piranhas, Médio Piranhas, Espinharas, Seridó e Baixo Piranhas. As três primeiras estão totalmente inseridas em território paraibano, a

sub-bacia do Baixo Piranhas situa-se totalmente no estado do Rio Grande do Norte e as demais estão compreendidas nos dois estados.

A parte da bacia do rio Piranhas, constituída pelas sub-bacias: Piancó, Peixe e Alto Piranhas apresenta capacidade de armazenamento de 1.846.126.108 m<sup>3</sup>, 143.791.396 m<sup>3</sup> e 322.513.781 m<sup>3</sup> respectivamente, através de importantes reservatórios como o sistema Coremas-Mãe D'Água, Engenheiro Ávidos, São Gonçalo, Lagoa do arroz, Capivara entre vários outros, isso permite a perenização de trechos dos rios Piancó, do Peixe e do Alto Piranhas e, por conseguinte do rio Piranhas até a montante da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, no Estado do Rio Grande do Norte. (AESA, 2012).



Figura 1- Localização da bacia hidrográfica Piranhas – Açú

### Características Climáticas e Fisiográficas

O clima predominante ao longo de toda a extensão da bacia é o quente e semiárido. A temperatura média anual gira em torno de 24°C, sobretudo na região do alto Rio Piranhas. A evaporação potencial é muito elevada em toda a bacia, com taxa anual em torno de 2000 mm. De modo geral, as precipitações anuais médias são de 500 mm na parte leste e 870 mm na parte oeste da bacia. (Crispim 2005)

A geologia da parte da bacia inserida no Estado da Paraíba, denominada de Alto Piranhas, é marcada por rochas cristalofinianas do Complexo gnáissico Migmatítico e rochas de sequência sedimentar, que chegam a provocar afloramentos na região.

A maior parte do solo na Paraíba é constituída pelo tipo Litólico Eutrófico, Bruno Não-Cálcico e Podzólico Vermelho-Amarelo-Eutrófico. (Crispim 2005)

Com relação à vegetação, a maior parte da cobertura vegetal da bacia hidrográfica Piranhas-Açú pertence à Caatinga com árvores típicas, uma vegetação do tipo savana estépica, “estacional-decidual, portanto, com os estratos arbóreo e gramíneo-lenhoso periódico e com numerosas plantas suculentas, sobretudo cactáceas”. (IBGE 1995 citado em Rangel 2009)

### Medição de campo

Para caracterização física e qualitativa da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó Piranhas Açú, no trecho do Rio Piancó Piranhas Açú, começando imediatamente a jusante da cidade de Pombal, junto ao ponto de lançamento do esgotamento sanitário, até um ponto imediatamente antes da sua confluência com o Rio Piranhas, três pontos de amostragem, foram previamente selecionados de fora a se estabelecer trechos homogêneos.

Os trabalhos em campo objetivavam a execução de medições da profundidade e velocidade e velocidade média da água no rio e coleta de amostras de água, velocidade de fluxo e a profundidade média na secção transversal do rio, nos pontos de amostragem. E medições de valores de temperatura da água coletada e da concentração de oxigênio dissolvido, através de medidor portátil de oxigênio dissolvido.

As medições em campo ficaram comprometidas pela falta de equipamentos de medições e reagentes necessárias para a execução dos trabalhos. A ausência de EPI também dificultou o trabalho, considerando

que os trechos selecionados para análise estão em estado de poluição, o que comprometia a segurança na execução dos trabalhos em campo.

A vazão foi determinada através do método velocidade-área da meia seção, em que a velocidade de fluxo foi medida através de molinete fluviométrico (fabricante HIDROMEC, modelo NEWTON) com contador eletrônico de pulso (Figura 2A) e através de medidor acústico Doppler de vazão, usando o ADP RiverSurveor S5 da Sontek, o qual dispõe de sinal de ecobatímetro (Figura 2B).



Figura 2 - Molinete fluviométrico com contador eletrônico de pulso (A) e Medidor Current Acústico Doppler (B)

As amostras de água para determinação do IQA e do coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) foram coletadas através de amostradores DH-48 (medição a VA) (Figura 3) e amostrador DH- 49 (Figura 4) e barco de alumínio, com guincho, motor de popa e lastro fluviométrico nas medições quando necessário. A amostragem da água foi realizada pelo método da integração vertical do perfil, com o mesmo incremento de largura, em várias verticais na seção do ponto amostrado em função da largura do rio, no momento da amostragem.

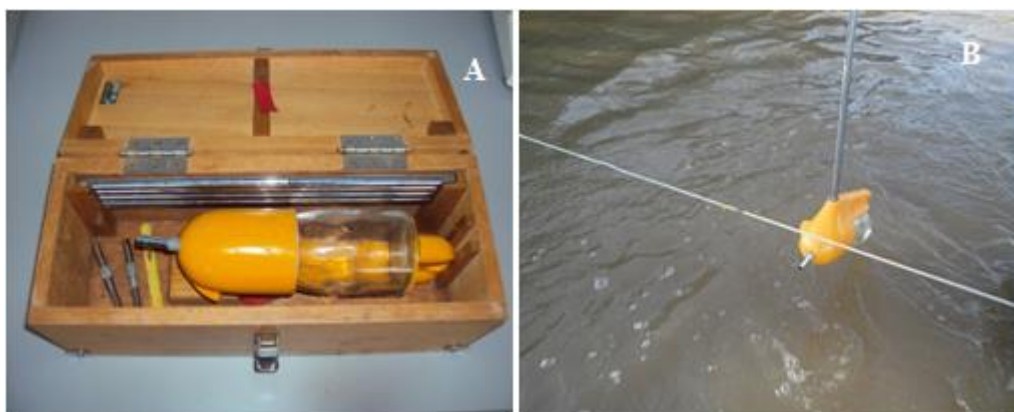


Figura 3 – Amostrador DH- 48 (A) e sua utilização (B)



Figura 4 – Amostrador DH- 49 (A)

Os valores de temperatura de água e de oxigênio dissolvido foram obtidos, *in locu*, através de medidor portátil de oxigênio dissolvido (Figura 5).



Figura 5 – Medidor Portátil de Oxigênio Dissolvido.

Esses equipamentos foram disponibilizados pelo laboratório de Hidrologia da UFCG/Campus Pombal-PB.

### Trabalhos em laboratório

As amostras de água coletadas foram acondicionadas em caixa de isopor contendo gelo e transportadas aos Laboratórios de Hidrologia e Qualidade de Água do CCTA/UFCG Campus Pombal, onde foram executadas as análises.

Os valores de  $K_1$  foram obtidos após a incubação de mistura das amostras com solução nutriente em estufa tipo BOD, sob temperatura de 20°C, por um período de 21 dias, determinando-se a DBO exercida (S), pelo método Winkler (iodométrico) (ALPHA, 1998), ao longo do período de avaliação. Com os dados obtidos foram ajustadas equações de regressão linear, de forma a se obter os parâmetros  $K_1$  e  $L_0$ , conforme a equação apresentada por VON SPERLING (1996):

$$Y = L_0 \cdot (1 - e^{-K_1 \cdot t}) \quad \text{Eq. 9}$$

Em que, Y é a DBO exercida ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

O coeficiente de reaeração  $K_2$  foi obtido substituindo-se, na Equação 5, de STREETER-PHELPS (1925), os dados de entrada ( temperatura da água, altitude local, concentração de OD no ponto da mistura,  $\text{DBO}_{5d-20^\circ\text{C}}$ , velocidade, valor de  $K_1$ , distância percorrida e a concentração de OD no final do trecho). Todas as variáveis foram obtidas com quatro repetições submetidas à análise de variância e, em caso de significância de alguma fonte de variação, foi realizado pelo teste de médias (Tukey, 10% de probabilidade).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A batimetria da seção transversal escolhida está representada na Figura 6, com destaque aos pontos que representam as verticais amostradas, realizada a partir de medições em campo.

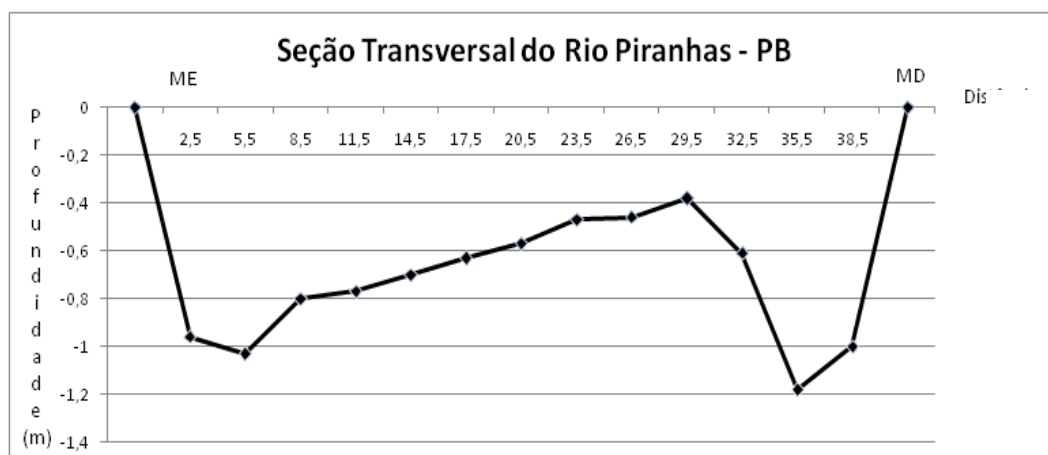


Figura 6 - Representação da batimetria da seção do rio Piranhas no dia 18/03/2015

No decorrer da pesquisa, foram realizadas campanhas mensais de medições vazão, velocidade, altura média, temperatura, e oxigênio dissolvido, os valores de demanda bioquímica de oxigênio foram obtidos em laboratório. Na Tabela 1 são apresentados os valores encontrados para altura da lamina de água (Hm), área da seção molhada (A), velocidade média do escoamento (Vm), bem como, vazão (Q), oxigênio dissolvido (OD), e demanda bioquímica de oxigênio (DBO5), respectivamente.

Para obter o coeficiente de reaeração  $K_2$ , foi utilizada a formulação de Owens et al., citados por VON SPERLING (1996), a Equação 8.

$$K_2 = 5,3 \cdot v^{0,67} \cdot H^{-1,85}$$

Eq. 8

Os valores de  $K_2$  obtidos para todas as campanhas realizadas estão discriminados na tabela abaixo.

Tabela 1- Dados das medições hidrossedimentométricas do rio Piranhas- PB

Mês	Hm (m)	A (m <sup>2</sup> )	Vm (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	OD (mg/L)	DBO5	$K_2$
Fevereiro	0,56	51,67	0,223	11,53	9,53	4,6	5,6688
Março	0,52	46,1	0,282	12,005	7,85	4,1	7,6091
Abril	0,46	31,4	0,164	5,12	5,27	1,4	6,6392
Mai	0,44	30,9	0,152	4,67	6,75	2,7	6,8505
Junho	0,492	38,6	0,112	4,35	5,33	1,9	4,5406
Julho	0,481	36,2	0,110	3,972	8,61	5,2	4,6777
Valor médio	0,4923	37,4	0,158	4,895	7,3	3,4	6,154
Valor máximo	0,56	51,67	0,282	11,53	9,53	4,6	6,8505
Valor mínimo	0,44	30,9	0,110	3,972	5,27	1,4	4,5406

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que o coeficiente de reaeração ( $K_2$ ), obtido a partir de análises de parâmetros aplicados ao modelo de Streeter e Phelps, reflete as condições ambientais desfavoráveis em que o corpo hídrico em questão se encontra: exaustão da mata ciliar em virtude de atividades agropecuárias desenvolvidas às margens do rio, lançamento de efluentes não tratados com grande taxa de matéria orgânica como esgotos domésticos e resíduos agrícolas. É necessário que haja uma modificação na condução dessas atividades antrópicas bem como uma iniciativa política para promover uma reforma socioambiental a fim de conscientizar a população dos malefícios que tais atividades causam ao corpo hídrico, Rio Piranhas-Açu, e a sua região como um todo.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e pela concessão da bolsa PIBIC; Aos colegas do Grupo de Pesquisa Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos e ao corpo técnico do Laboratório de Hidrologia da Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, onde este projeto foi desenvolvido e realizado, por todo apoio e contribuição e ao professor Manoel Moises pela orientação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de águas (Brasil). "Instruções de Operação – Rede Hidrometeorológica 2012". 2011. Agência Nacional de Águas, Brasília, p. 1-17.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/>>. Acessado em: 24 de janeiro de 2014.

AZEVEDO NETTO, J.M.; ARAÚJO, R.; FERNANDEZ, M. F.; ITO, A. E. Manual de hidráulica. 8° Ed.: Edgard Blücher, 1992.

GENEREUX, D. P e HEMOND, H. F. Determination on Gas Exchange Rate Constants for a Small Stream on Walker Branch Watershed. Tennessee; Water Resources Research, 28 (9). 2365 – 2374, 1992.

GÓES, N. V. Controle da poluição na bacia de São Bartolomeu: o caso de esgotos sanitários do Vale do Amanhecer. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 1997. Projeto Final de Graduação.

RIBEIRO, M. O. Estudo da Poluição e Autodepuração nos Rios Melchior e Descoberto, na Bacia do Descoberto – DF-GO, com o auxílio de modelos matemáticos de simulação de qualidade da água, para estudos de seu comportamento atual e futuro. Distrito Federal: PTARH-UNB, 2001.

SIGUEIRA, E. Q. e CUNHA, A. C. O Cálculo do Coeficiente de Reaeração no Modelo QUAL2E – Estudo de Caso: Rio Meia Ponte – GO. Vitória: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997.

STREETER, H. W. and PHELPS, E.B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin. n° 146. Washington, D. C., 1925.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento dos esgotos. Princípios do tratamento biológico das águas residuárias. 2ª Ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996. Vol, 1.

SETTI, et al. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2001. p. 42, 43.

SPERLING, E. V. Morfologia de lagos e represas. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999. p. 3, 103.

SPERLING, M. V. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2º ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental: UFMG, 1996. p. 15-141.

TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

RANGEL, E. B. (2009). *Simulação do escoamento com modelo NAVMO e regionalização hidrológico no Sistema Piranhas/ PB – Açú/ RN*. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), PPGECA- UFCG, Campina Grande- PB.

SCAPIM, J. (2005). *Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS*. Dissertação de Mestrado. PPGEA - UFSM.

MELO, R. O.; CANTALICE, J. R. B.; ARAÚJO, A. M.; FILHO, M. C. (2008). *Produção de sedimento suspenso de uma típica Bacia Hidrográfica Semi-árida*. Anais do VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Nov, Campo Grande- MS.

QUILBÉ, R.; ROUSSEAU, A. N.; DUCHEMIN, M.; POULIN, A.; GANBBAZO, G.; VILLENEUVE; J.P. (2006). *Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beaurivage River (Québec, Canada)*. Journal of Hydrology. 326, 295-310.

TOOTH, S. (2000). *Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research*. Earth- Science Reviews v.51, pp. 67 – 107.

WARD, A. D.; TRIMBLE, S. W. (2004). *Environmental hydrology*. 2nd ed. New York: Lewis Publishers, 1995. 475p.

WREN, D.G.; BARKDOLL, B. D.; KUHNLE, R.A.; DERROW, D.W. (2000). *Field techniques for suspended sediment measurement*. Journal of Hydraulic Engineering, 126 (2), 97-104.