

## **IV-307 - AUTODEPURAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS TRATADOS EM CURSOS D'ÁGUAS DE ALTIPLANO**

### **Carlo Renan Cáceres de Brites <sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2004). Mestre (2008) em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília. Atualmente é engenheiro (Analista de Sistemas de Saneamento) da Gerência de Recursos Hídricos e Segurança de Barragem na Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

### **Ligia Silva Viveiros Gurgel**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2004). Mestre (2008) em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Atualmente é engenheira (Analista de Sistemas de Saneamento) da Gerência de Recursos Hídricos e Segurança de Barragem na Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

### **Déborah Santos de Sousa**

Estudante de Engenharia Ambiental na Universidade de Brasília. Atualmente é estagiária na Gerência de Recursos Hídricos e Segurança de Barragem na Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

### **Mauro Roberto Felizatto**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Uberlândia (1985). Mestre (2000) e Doutor (2017) em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (Engenharia Civil e Ambiental/Faculdade de Tecnologia) pela Universidade de Brasília. Atualmente é Engenheiro Sênior (Analista de Sistemas de Saneamento III) da Gerência de Recursos Hídricos e Segurança de Barragem na Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** SAM (Setor de Administração municipal) CAESB - ETA Brasília - R1, Brasília/DF. CEP: 70.620-000, Brasil. Telefones: 61 3214-7963 - e-mail: [carlobrites@caesb.df.gov.br](mailto:carlobrites@caesb.df.gov.br)

## **RESUMO**

O Distrito Federal-DF está situado na região central do país, com altitudes variando de 1.000 metros a 1.300 metros acima do nível do mar. Em geral, os cursos d'água da região possuem nascentes locais, sendo formadoras das bacias dos rios Tocantins, Paraná e São Francisco. Caracterizam-se por apresentarem águas de elevada qualidade, associadas, todavia, a baixas vazões. Como resultado, tem-se um fornecimento de água e capacidade de diluição limitados (Pinto Filho e Brandão, 2001). Com a capacidade de diluição comprometida, há de estimar de forma mais precisa como a autodepuração pode amenizar os efeitos de poluição nos respectivos corpos receptores, podendo servir de subsídio para definição de outorga de uso de recursos hídricos para lançamento de efluentes, bem como para verificação de cumprimento de quesitos de enquadramento de corpos d'água. Assim sendo, foram simulados a autodepuração de esgotos domésticos tratados oriundos de dez Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) dos mais variados processos de tratamento. O programa utilizado para avaliar o impacto do lançamento dos efluentes foi o QUAL-UFGM, fundamentado no modelo desenvolvido por Streeter e Phelps (1925), em uma situação de vazão de estiagem (vazão  $Q_{mm}$ ). A simulação nessa situação é necessária para evidenciar o período crítico. Os rios de altiplano no Distrito Federal por apresentarem (i) baixas vazões, (ii) baixas profundidades e (iii) certa velocidade (aliados à declividade) apresentaram nos estudos de autodepuração valores de  $k_2$  mais altos dos que os usualmente relatados em literatura. Em corpos d'água com vazões acima de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  foram encontrados coeficientes de reaeração entre  $0 - 20 \text{ d}^{-1}$ , para vazões entre  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  os coeficientes de reaeração se apresentaram entre  $20$  e  $40 \text{ d}^{-1}$  e para vazões abaixo de  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  valores de  $k_2$  de até  $80 \text{ d}^{-1}$ . Já o decaimento da DBO chegou em torno de 80% para o rio Paranoá e ribeirão Sobradinho e 10% para o rio São Bartolomeu. Todavia, o ribeirão Ponte Alta apresenta aumento de DBO, que pode caracterizar novas fontes de poluição que não sejam da Estação de Tratamento de Esgoto. O Decaimento da DBO é um fator importante a ser considerados em atos de outorga de uso de recursos hídricos para diluição de efluentes. Com relação ao tempo de percurso de uma eventual pluma de poluição nos corpos receptores ora estudados, chegou-se a um número médio de 0,75 dia ou 18 horas como tempo de percurso a até 2,4 dias de tempo de percurso para o rio São Bartolomeu.

**PALAVRAS-CHAVE:** Autodepuração, reaeração, desoxigenação, QUAL-UFMG, altiplano.

## INTRODUÇÃO

O Distrito Federal-DF está situado na região central do país, com altitudes variando de 1.000 metros a 1.300 metros acima do nível do mar. Em geral, os cursos d'água da região possuem nascentes locais, sendo formadoras das bacias dos rios Tocantins, Paraná e São Francisco. Caracterizam-se por apresentarem águas de elevada qualidade, associadas, todavia, a baixas vazões. Como resultado, tem-se um fornecimento de água e capacidade de diluição limitados (Pinto Filho e Brandão, 2001). Contribuem para essas regiões hidrográficas águas das oito bacias no território do DF, subdivididas em 41 unidades hidrográficas (Distrito Federal, 2017). Neste contexto os rios do Distrito Federal sofrem mais os efeitos da poluição.

Com a capacidade de diluição comprometida, há de estimar de forma mais precisa como a autodepuração pode amenizar os efeitos de poluição nos respectivos corpos receptores, podendo servir de subsídio para definição de outorga de uso de recursos hídricos para lançamento de efluentes, bem como para verificação de cumprimento de quesitos de enquadramento de corpos d'água. Assim sendo, foram simulados a autodepuração de esgotos domésticos tratados oriundos de dez Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) dos mais variados processos de tratamento.

Além de servir de ferramenta para subsidiar a definição de outorga e verificação de enquadramento, verifica-se que os valores de coeficientes de reaeração e desoxigenação tradicionalmente recomendados pela literatura, não são aplicáveis no presente caso para o qual serão apresentados valores de coeficientes de reaeração e desoxigenação específicos.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB-DF).

## OBJETIVOS

- Avaliar a capacidade de autodepuração e diluição dos corpos d'água receptores de efluentes de 10 ETEs, para atendimento à Resolução ADASA nº 13/2011;
- Apresentar os coeficientes de reaeração utilizados na calibração nas condições de corpos d'água de altiplano;
- Avaliar o decaimento da DBO nas condições de corpos d'água de altiplano no Distrito Federal;
- Apresentar o tempo de percurso do lançamento de esgotos domésticos tratados no Distrito Federal até sua foz.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram simulados os lançamentos em corpos receptores de 10 ETES conforme CAESB (2014), quais sejam:

- (i) ETE Samambaia e ETE Melchior – rio Melchior e rio Descoberto;
- (ii) ETE Recanto das Emas – córrego Vargem da Bênção;
- (iii) ETE Gama – rio Ponte Alta;
- (iv) ETE Planaltina – ribeirão Mestre d'Armas;
- (v) ETE Paranoá – rio Paranoá;
- (vi) ETE São Sebastião – ribeirão Santo Antônio da Papuda;
- (vii) ETE Alagado/Santa Maria – ribeirão Alagado e
- (viii) ETE Vale – rio São Bartolomeu.

O programa utilizado para avaliar o impacto do lançamento dos efluentes tratados das dez ETEs foi o QUAL-UFMG, fundamentado no modelo desenvolvido por Streeter e Phelps (1925). A Figura 1 mostra a localização das ETEs e corpos receptores considerados nos estudos de autodepuração do presente artigo.

Como dados de entrada e condições de contorno são necessárias as seguintes informações:

*Dados de entrada iniciais:*

- Vazão do rio ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );
- OD do rio ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ );
- DBO do rio ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ );
- Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

*Dados físicos do rio:*

- Extensão do trecho simulado (km);
- Altitude acima do nível do mar (m);
- Coeficientes da equação exponencial  $v = a \times Q^b$  extraídos a partir da relação de Vazão e Velocidade média
- Coeficientes da equação exponencial  $h = c \times Q^d$  extraídos a partir da relação de vazão e Profundidade média.

*Coeficiente do modelo:*

*Desoxigenação:*

- $k_1$  - Coeficiente de desoxigenação ( $\text{l} \cdot \text{d}^{-1}$ );
- $k_d$  - Coeficiente de decomposição DBO ( $\text{l} \cdot \text{d}^{-1}$ );
- $k_s$  - Coeficiente de sedimentação DBO ( $\text{l} \cdot \text{d}^{-1}$ );

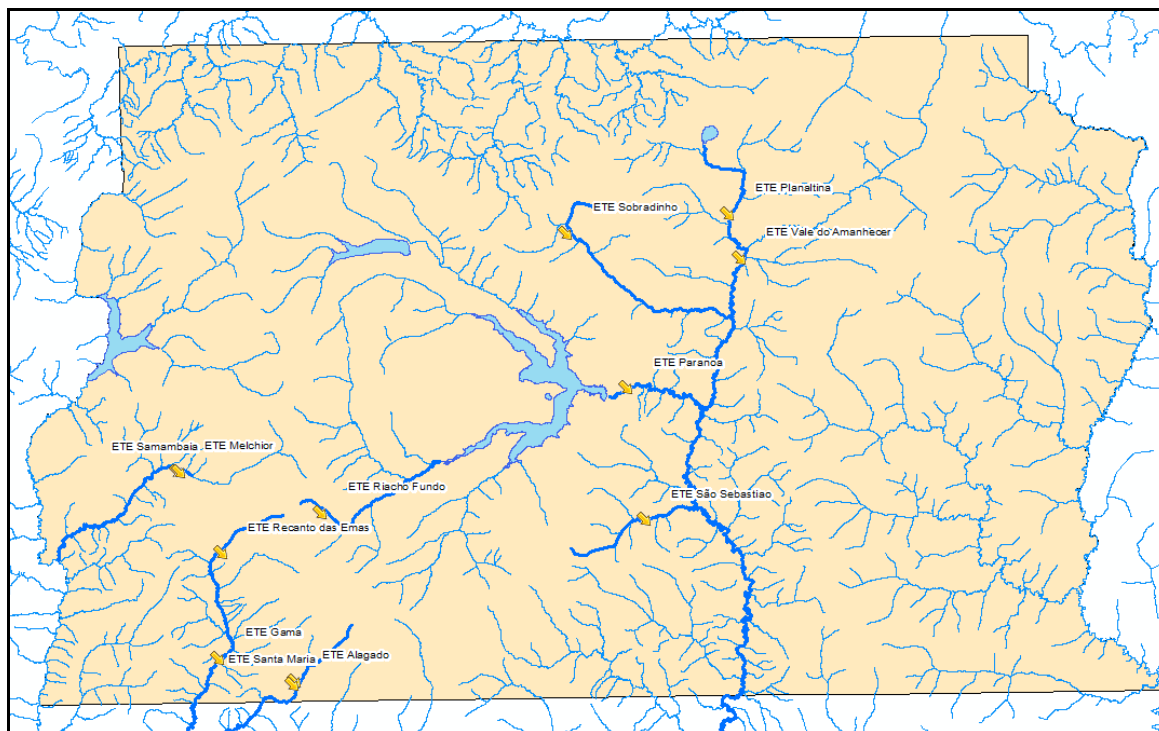
*Reaeração:*

- $k_2$  - Coeficiente de reaeração. Variável em função da vazão baseado na equação exponencial:

$$k_2 = m \cdot Q^{-n*}$$

\*Os coeficientes são extraídos a partir da relação de Vazão e  $K_2$ .

- Valor máximo aceito para  $k_2$ ;



**Figura 1 – Localização das Estações de Tratamento de Esgotos e respectivos corpos receptores considerados nos estudos de autodepuração**

*Perfis de concentração em forma de planilha:*

- Delta de distância para integração comprimento de cada segmento - Delta d (km);

- Vazões pontuais ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ): tributários e esgotos;
- Vazões distribuídas incrementais ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );
- Concentração de DBO incremental oriunda de poluição difusa ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ );
- Concentração de OD incremental ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ).

#### *Cálculo das Vazões*

Para efeito do presente estudo foi considerado a situação de vazão de estiagem, durante a qual, devido ao longo período de tempo sem ocorrência de precipitação, as vazões dos cursos d'água perenes são alimentados apenas pelo escoamento de base. A simulação nessa situação é necessária para evidenciar o período crítico, o que quer dizer o pior período em termos de qualidade da água (Ribeiro *et al.*, 2000)

Baseado nas curvas de permanência de vazões criadas a partir dos dados oriundos do monitoramento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) foi encontrada a vazão média das mínimas ( $Q_{\text{mm}}$ ). Isso significa uma vazão que em 92% dos dados diários de vazão da série são iguais ou superiores a ela, ou seja, 8% das vazões diárias são inferiores.

As vazões foram calculadas utilizando como valor de referência a descarga específica ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) calculada a partir da série de dados do monitoramento hidrológico realizados pela CAESB. Os cálculos das áreas de drenagem foram realizados com uso de software geoprocessamento (ArcGIS/ESRI) usando as informações de pontos cotados e curvas de nível extraídos do levantamento aerofotogramétrico realizado pela Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal - Terracap em 2009. Foi criado um modelo digital de elevação e a partir deste foram construídos os mapas de direção e acúmulo de fluxo e posteriormente foi realizada a delimitação das áreas de drenagem, conforme mostrado na Figura 2.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### *Coefficientes de reaeração*

Para os corpos receptores estudados foram calculados valores de  $k_2$  a partir de dados de vazão da rede de monitoramento da CAESB (2019) com série hidrológica com mais de 10 anos de dados. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos gráficos de dispersão de *vazão*  $\times$   $k_2$  foram aceitáveis, segundo von Sperling (2007). Contudo, também foi utilizado a ferramenta Solver do Microsoft Excel para maximizar a média dos coeficientes de determinação da correlação entre valores observados e simulados OD (von Sperling, 2007). As Figuras 3, 4 e 5 exemplificam os valores de  $R^2$  para a duas estações fluviométricas no ribeirão Taguatinga e no rio Melchior. No modelo de Streeter-Phelps (1925), o oxigênio Dissolvido (OD) é mais sensível a variações de  $k_2$  (coeficiente de reaeração). Na literatura os dados de vazão do curso d'água podem ser correlacionados com  $k_2$  e a partir de então os coeficientes de ajuste exigidos pelo modelo podem ser obtidos.

Como os rio estudados apresentam baixas vazões e são cursos d'água rasos, espera-se que o coeficiente de reaeração  $k_2$  apresente valores elevados.

Os valores adotados para a presente simulação tiveram como base três equações propostas para o cálculo do coeficiente de reaeração em rios rasos, conforme indicadas na Tabela 01, (Formentini, 2010), além dos valores de referência citados por von Sperling (2007).

**Tabela 01 – Equações de previsão de  $K_2$**

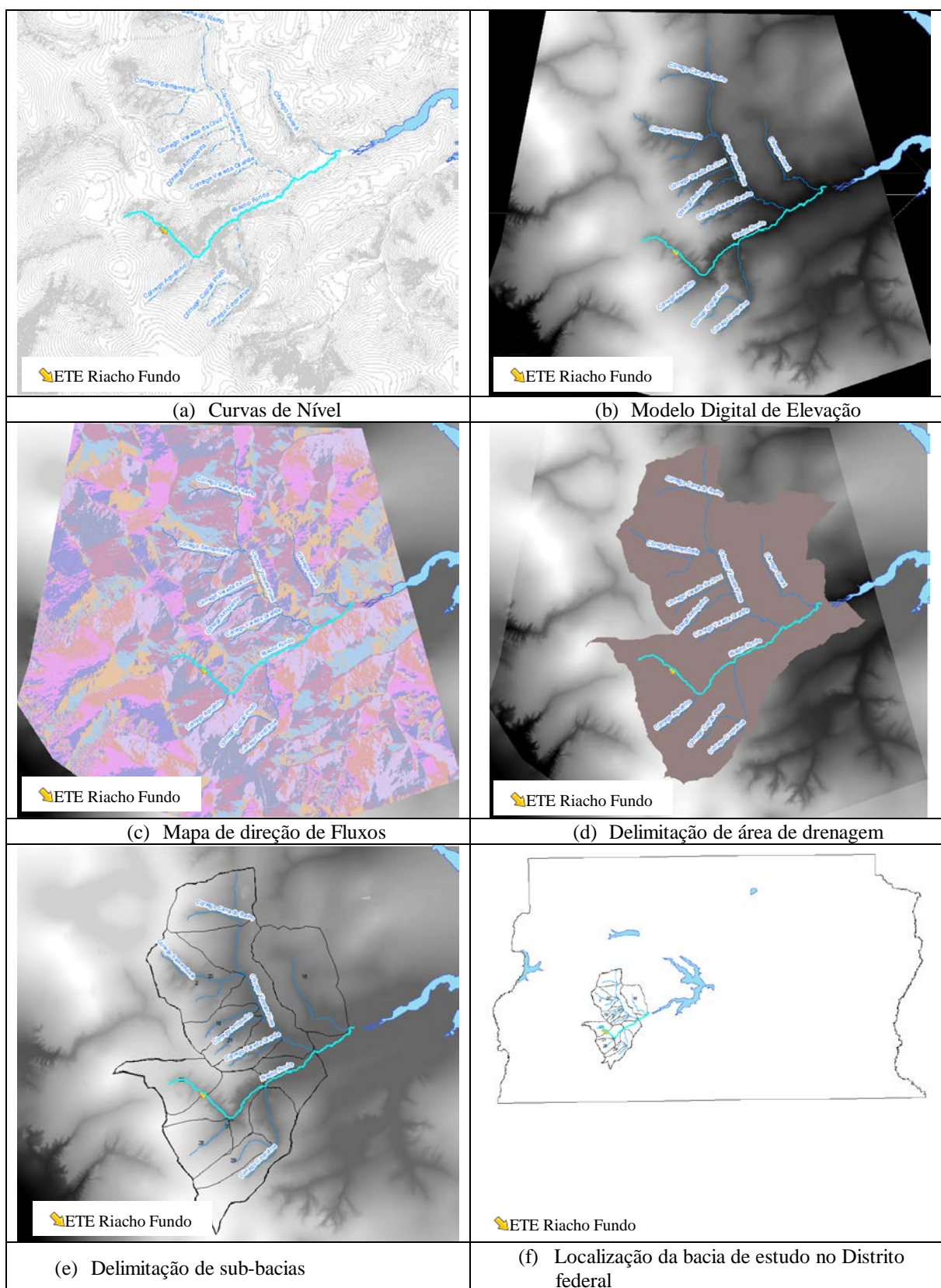
| <i>Autores</i>             | <i>Equação</i>                       | <i>Faixa de aplicação</i>                                 |
|----------------------------|--------------------------------------|---|
| Tsivoglou e Wallace (1976) | $15,4 U * 1000 * i$                  | $0,3 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| Melching e Flores (1999)   | $517 * (U * i)^{0,524} * Q^{-0,242}$ | $Q < 0,556 \text{ m}^3/\text{s}$                          |
| Formentini (2010)          | $836 * (U * i)^{0,524} * Q^{-0,015}$ | Rio Vacarim Mirim<br>(rio raso)                           |

$U$  = velocidade média no trecho ( $\text{m/s}$ );  $H$  = profundidade média ( $\text{m}$ );  $i$  = declividade ( $\text{m/m}$ );  $\Delta h$  = diferença de cota entre os pontos de montante e jusante ( $\text{m}$ );  $T$  = tempo de viagem ( $\text{h}$ );  $Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Os rios de altiplano no Distrito Federal por apresentarem (i) baixas vazões, (ii) baixas profundidades e (iii) certa velocidade (aliados à declividade) apresentaram nos estudos de autodepuração valores de  $k_2$  mais altos dos que os usualmente relatados em literatura.

Na Tabela 2 e na Figura 6 podemos verificar um variação de coeficientes de reaeração entre  $4 \text{ d}^{-1}$  e  $80 \text{ d}^{-1}$  para vazões variando entre  $0,060 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $2,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .





**Figura 2 – Etapas dos cálculos de áreas de drenagem, vazões específicas e delimitação de bacia hidrográfica, exemplo do riacho Fundo (destacado) – corpo receptor da ETE Riacho Fundo.**

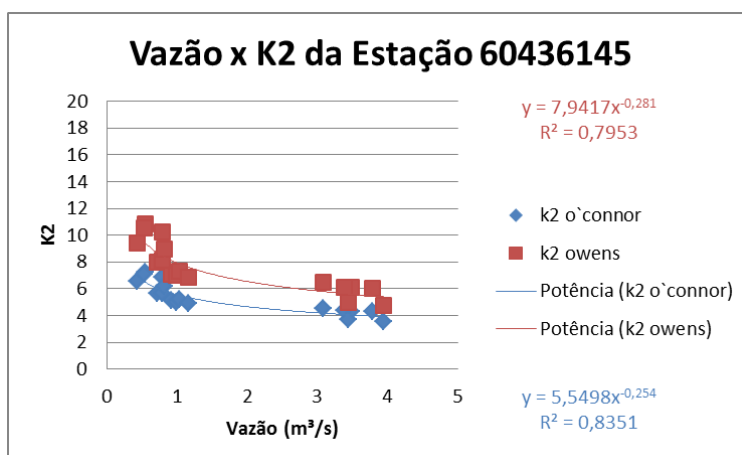


Figura 3 – Valores de  $k_2$  em função da vazão e os respectivos coeficientes de determinação da estação 60436145 (ribeirão Taguatinga – cabeceira do rio Melchior)

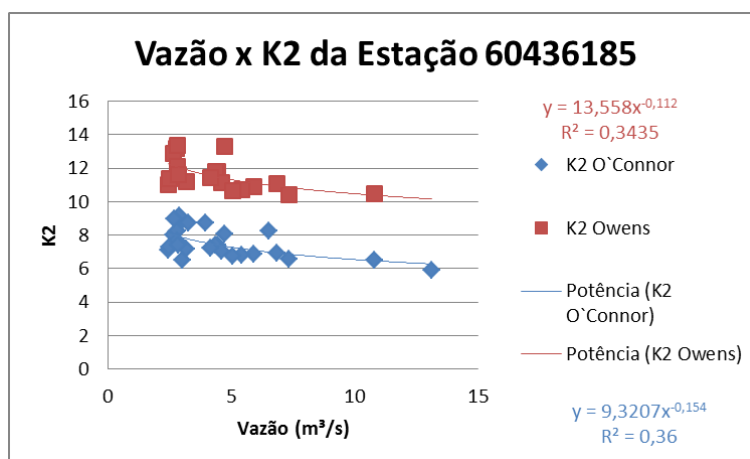


Figura 4 – Valores de  $k_2$  em função da vazão e os respectivos coeficientes de determinação da estação 60436185 (Melchior Foz)

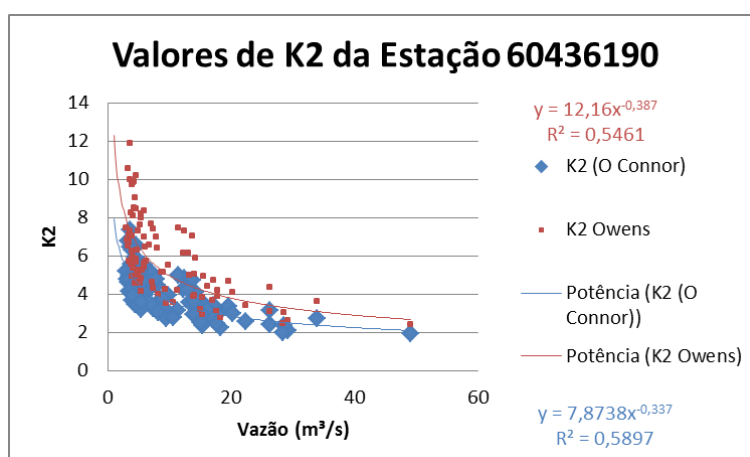


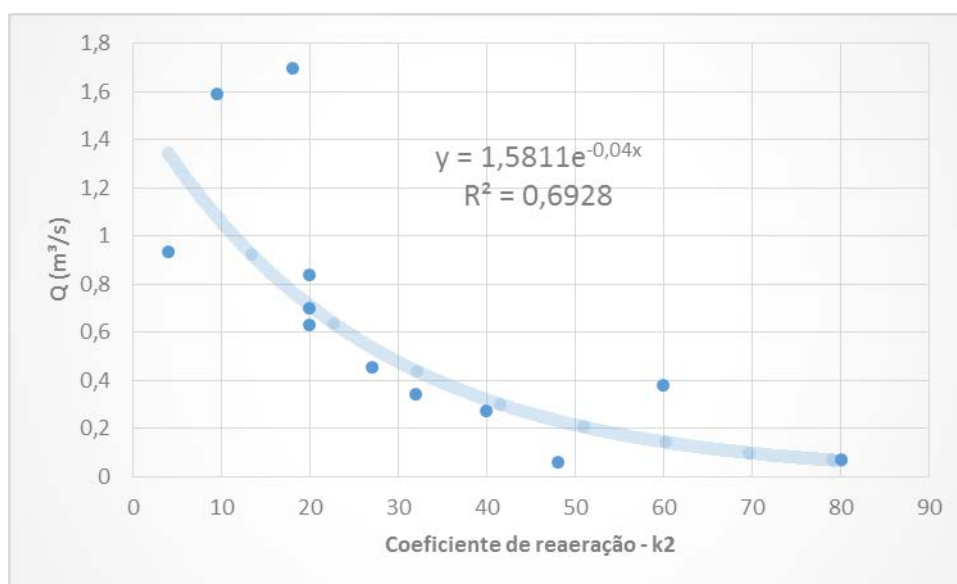
Figura 5 – Valores de  $k_2$  em função da vazão e os respectivos coeficientes de determinação da estação 60436190 (Descoberto Jusante Melchior)

**Tabela 2 – Valores de coeficientes de reaeração calibrados em estudos de autodepuração em rios de altiplano no Distrito Federal**

| <b>ANO 2015-2017</b>        | <b>Curso d'água</b>            | <b>K<sub>2</sub><br/>mínimo</b> | <b>Q<sub>mm</sub><br/>rio*<br/>(m³/s)</b> | <b>k<sub>2</sub><br/>máximo</b> | <b>Q<sub>mm</sub><br/>rio*<br/>(m³/s)</b> |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| ETE Vargem da Benção        | córrego Vargem da Benção       | 20                              | 0,699                                     | 40                              | 0,274                                     |
| ETE Gama                    | ribeirão Ponte Alta            | 4                               | 0,934                                     | 27                              | 0,454                                     |
| ETE Santa Maria/Alagado     | ribeirão Alagado               | 9,5                             | 1,852                                     | 48                              | 0,061                                     |
| ETE Santo Antônio da Papuda | ribeirão Sto Antônio da Papuda | 32                              | 0,343                                     | 80                              | 0,071                                     |
| ETE Vale do Amanhecer       | rio São Bartolomeu             | 18                              | 1,601                                     | 20                              | 0,840                                     |
| ETE Paranoá                 | rio Paranoá                    | 53                              | 0,630                                     | 60                              | 0,377                                     |
| ETE Riacho Fundo            | riacho Fundo                   | -                               | 0,090                                     | 30                              | -   |
| ETE Melchior                | rio Melchior                   | 8                               | 0,40                                      | 8                               | -   |
| ETE Sobradinho              | ribeirão Sobradinho            | 8                               | 0,16**                                    | 8                               | -   |

\*Q<sub>mm</sub> (vazão média das mínimas) dos corpos receptores

\*\* no caso do ribeirão Sobradinho a vazão de referência foi a Q<sub>mlt</sub> – vazão média de longo termo



**Figura 6 – Valores de K<sub>2</sub> e os respectivos valores de vazão dos corpos receptores do Distrito Federal**

#### *Decaimento da DBO*

Outro aspecto importante é o decaimento da DBO até o fim de sua unidade hidrográfica, que é influenciado pela boa capacidade de aeração dos corpos d'água de altiplano do Distrito Federal. É pertinente seu entendimento para justificar a capacidade de depuração pois mesmo sendo rios de pequena extensão ocorre o decaimento da DBO.

Essa análise deve ser importante no que tange à Outorga de Uso de Recursos Hídricos para diluição de efluentes, para a qual, esses valores de decaimento devem ser considerados (Chapra, 1997; Arceivala, 1981 *apud* von Sperling, 2007). A Tabela 3 mostra os valores de DBO imediatamente após o despejo do esgoto doméstico tratado nos corpos receptores até a sua foz.

A Figura 7, evidencia que os corpos receptores que mais apresentam decaimento de DBO desde o ponto de lançamento até sua foz são rio Paranoá (81%), ribeirão Sobradinho (75%) e riacho Fundo (58%). Todavia, o ribeirão Ponte Alta apresenta aumento de DBO, que pode caracterizar novas fontes de poluição que não sejam da Estação de Tratamento de Esgoto.

**Tabela 3 – Valores de decaimento de DBO ao longo dos corpos receptores de altiplano no Distrito Federal**

| <i>ANO 2015-2017</i>        | <i>Curso d'água</i>              | <i>DBO lanç.</i> | <i>DBO final</i> | <i>% Decaimento DBO</i> |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| ETE Vargem da Benção        | córrego Vargem da Benção         | 18,8             | 7,9              | 58                      |
| ETE Gama                    | ribeirão Ponte Alta              | 5,88             | 6,88             | -17                     |
| ETE Santa Maria/Alagado     | ribeirão Alagado                 | 6,5              | 4,1              | 37                      |
| ETE Santo Antônio da Papuda | ribeirão Santo Antônio da Papuda | 17,4             | 14,2             | 18                      |
| ETE Vale do Amanhecer       | rio São Bartolomeu               | 3,1              | 2,8              | 10                      |
| ETE Paranoá                 | rio Paranoá                      | 5,3              | 1                | 81                      |
| ETE Riacho Fundo            | riacho Fundo                     | 9                | 3,7              | 58                      |
| ETE Melchior                | rio Melchior                     | 7,9              | 6,9              | 13                      |
| ETE Sobradinho              | ribeirão Sobradinho              | 19,6             | 4,9              | 75                      |



**Figura 7 – Decaimento de DBO por corpo receptor estudado**

#### *Tempo de Saída da Unidade Hidrográfica (tempo de percurso)*

Por fim, é pertinente considerar o tempo de saída de uma hipotética pluma de poluição advindo do lançamento de esgoto. Como trata-se de pequenos trechos de rio, a Tabela 4 evidencia que com exceção do rio São Bartolomeu, que apresenta um tempo de percurso de 2,4 dias, todos os outros corpos receptores apresentam valores de tempo de saída da Unidade Hidrográfica abaixo de um dia.

Trata-se de informação pertinente para estudos de poluição bem como aspectos relacionados à uso de recursos hídricos no contexto de gestão. O tempo de percurso médio dos corpos receptores no Distrito Federal em situação de estiagem é de 0,75 dia, ou 18 horas.



**Tabela 4 – Tempo de Percursos nas Unidades Hidrográficas dos corpos receptores de esgotos domésticos tratados no Distrito Federal**

| <b>Corpo Receptor</b>            | <b>t (dia)</b> |
|----------------------------------|----------------|
| rio Melchior                     | 0,725          |
| ribeirão Sobradinho              | 0,614          |
| córrego Mestre D'Armas           | 0,130          |
| ribeirão Ponte Alta              | 0,321          |
| rio Alagado                      | 0,761          |
| ribeirão Santo Antônio da Papuda | 0,195          |
| rio São Bartolomeu               | 2,400          |
| rio Paranoá                      | 0,515          |
| riacho Fundo                     | 0,969          |

## CONCLUSÕES

As simulações realizadas em condições de vazão de estiagem, especificamente neste estudo a vazão  $Q_{mm}$ , apresentou bons resultados em termos de proximidade dos dados simulados com os dados medidos pelo monitoramento realizado pela CAESB. Ressalta-se que, portanto, a situação simulada representa uma situação crítica que, quando ocorre, configura-se num dos piores momentos em termos de qualidade das águas dos rios simulados.

A simulação em termos de OD teve como resultados valores altos tendo em vista a condição especial de reaeração do Distrito Federal (valores de  $k_2$  acima dos recomendados pela literatura).

Em corpos d'água com vazões acima de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  foram encontrados coeficientes de reaeração entre  $0 - 20 \text{ d}^{-1}$ , para vazões entre  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  os coeficientes de reaeração se apresentaram entre  $20$  e  $40 \text{ d}^{-1}$  e para vazões abaixo de  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  valores de  $k_2$  de até  $80 \text{ d}^{-1}$ .

Já o decaimento da DBO chegou em torno de 80% para o rio Paranoá e ribeirão Sobradinho e 10% para o rio São Bartolomeu. Todavia, o ribeirão Ponte Alta apresenta aumento de DBO, que pode caracterizar novas fontes de poluição que não sejam da Estação de Tratamento de Esgoto. O Decaimento da DBO é um fator importante a ser considerados em atos de outorga de uso de recursos hídricos para diluição de efluentes.

Com relação ao tempo de percurso de uma eventual pluma de poluição nos corpos receptores ora estudados, chegou-se a um número médio de 0,75 dia ou 18 horas como tempo de percurso a até 2,4 dias de tempo de percurso para o rio São Bartolomeu.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arceivala, S. J. (1981). *Wastewater treatment and disposal*. Engineering and ecology in pollution control. New York, Marcel Dekker. 892 p.
2. CAESB (2019). Rede de Monitoramento Hidrometeorológico da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Disponível em: <https://atlas.caesb.df.gov.br/hidrometeorologia/>
3. CAESB (2014), *Sinopse de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal*, 25ª Ed. Distrito Federal: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, 179p.
4. Chapra, S. C. (1997). *Surface water quality modelling*. WCB/McGraw-Hill. 844 p.
5. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Brasil. *Resolução no 357, de 17 de maio de 2005*. Brasília - DF.
6. Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal – CRH, Distrito Federal. *Resolução no 02, de 17 de dezembro de 2014*. Brasília - DF.
7. Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal – CRH, Distrito Federal. *Nota Técnica nº 02/2014, de 3 de outubro de 2014*. Brasília - DF.

8. Distrito Federal. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Distrito Federal. Mapa Hidrográfico do Distrito Federal. Brasília – DF: SEMA, 2017.
9. Formentini, T. A. (2010). *Coeficientes de desoxigenação e de reaeração superficial em trechos do rio Vacacaí Mirim*. Rio Grande do Sul. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria.
10. Pinto Filho, A.C.T. e Brandão, C.C.S. *Evaluation of flocculation and dissolved air flotation as an advanced wastewater treatment*. Water Science and Technology, 43 (8), 83-90 p., 2001.
11. Ribeiro, M. O.; Koide, S.; Souza, M. A. A. *Estudo do Comportamento da Qualidade da Água e Vazão do rio Melchior*. In 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2000. rio de Janeiro, Brasil.
12. von SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 7. *Estudo e modelagem da água nos rios*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, v. 7. 2007, 588p.
13. Streeter, H. W. and Phelps, E. B. (1925). *A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River*, III. Factors Concerning the Phenomena of Oxidation and Reaeration. U. S. Public Health Service, Pub. Health Bulletin N/. 146, February, 1925. Reprinted by U.S. DHEW, PHA, 1958.