

## **AVALIAÇÃO DE OUTORGA DE LANÇAMENTOS DE EFLUENTES, MEDIANTE A APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE STREETER-PHELPS**

FRANCISCA VALDENUZA ALMEIDA SILVA<sup>1</sup>, LEILA IVETE TEIXEIRA MONTEIRO<sup>2</sup>, SÍLVIA HELENA LIMA DOS SANTOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduanda do curso de Engenharia de Energias, UNILAB, Acarape-CE, valdenuzaalmeida12@gmail.com;

<sup>2</sup> Graduanda do curso de Engenharia de Energias, UNILAB, Acarape-CE, monteiro.leila01@gmail.com;

<sup>3</sup>Dra. Professora Adjunta A, UNILAB, Acarape-CE, silvia.santos@unilab.edu.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho tratou do desenvolvimento de metodologias para estudar os impactos causado em rios naturais, no processo de concessão de outorga de efluentes domésticos. Para isso foi desenvolvida uma metodologia com base no modelo matemático de Streeter-Phelps, que permitiu que a vazão de diluição, para cada lançamento, fosse avaliada. As simulações foram realizadas com o auxílio de um programa computacional, em linguagem FORTRAN, que foi desenvolvido para esta pesquisa. De acordo com os resultados, ao observar o comportamento das curvas de DBO e déficit de OD, verifica-se que a carga de DBO vai se dissipando conforme se afasta dos pontos de lançamento, e os valores de déficit voltam a ser os mesmos que aqueles antes do lançamento. Em outras palavras, ocorre a diluição da nuvem poluente ao longo do rio, de maneira que a distribuição da concentração de DBO atinja a uniformidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de Água. Modelo Matemático. Outorga.

### **EVALUATION OF THE DISCHARGE OF EFFLUENT LAUNCHERS, BY THE APPLICATION OF THE STREETER-PHELPS MATHEMATICAL MODEL**

**ABSTRACT:** This work deals with the development of methodologies to study the impacts caused in natural rivers, in the process of granting the concession of domestic effluents. For this, a methodology was developed based on the Streeter-Phelps mathematical model, which allowed the dilution flow for each launch to be evaluated. The simulations were performed with the aid of a FORTRAN language computer program, which was developed for this research. According to the results, when observing the behavior of BOD curves and OD deficit, it is verified that the BOD load is dissipating as it moves away from the launch points, and the values of deficit are again the same as those Before launch. In other words, the dilution of the polluting cloud occurs along the river, so that the distribution of the BOD concentration reaches uniformity.

**KEYWORDS:** Water Quality. Mathematical Model. Grant.

### **INTRODUÇÃO**

A questão da poluição dos corpos d'água no Brasil constitui-se um dos grandes desafios da gestão de recursos hídricos. Em especial nos grandes centros urbanos, onde há uma maior demanda por água potável e os lançamentos de poluentes são mais frequentes e concentrados, este problema se agrava.

A outorga para assimilação de efluentes, conforme consta na Lei Federal nº. 9.433/97, baseia-se no princípio de permitir uma descarga em um curso de água com uma carga máxima de poluentes de maneira que, após sua diluição na vazão mínima fixada como referência, a qualidade da água no corpo receptor permaneça satisfatória, conforme seus objetivos de qualidade estabelecidos pela classe de uso.

Ao se emitir uma outorga, o volume outorgado fica indisponível, total ou parcialmente, para outros usos no corpo hídrico em que é feita a captação ou diluição e nos corpos hídricos situados a jusante, considerada a capacidade de autodepuração. O volume de água outorgado poderá variar em função da sazonalidade, da disponibilidade efetiva e da necessidade de uso da água.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia com base no modelo matemático de Streeter-Phelps, para estudar a capacidade de depuração de rios, considerando os processos de concessão de outorga de lançamento de efluentes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta para esta pesquisa considera a aplicação do Modelo Clássico de Streeter-Phelps para determinar a capacidade de autodepuração de corpos d'água na concessão de outorga de lançamento em rios naturais, considerando diferentes cenários. Assim, considerando que este estudo limita seu campo de aplicação a um rio natural, alguns parâmetros hidráulicos, que atuam diretamente na capacidade de transporte e de diluição do referido corpo hídrico, serão discutidos.

Modelo de Streeter-Phelps

O Modelo de Streeter-Phelps, definido pelo seguinte par de equações:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio

$$L = L_0 e^{-\left(\frac{K_r}{U}\right)x} \quad (8)$$

- Déficit de Oxigênio Dissolvido

$$D = D_0 e^{-\left(\frac{K_a}{U}\right)x} + \frac{K_d L_0}{K_a - K_r} \left( e^{-\left(\frac{K_r}{U}\right)x} - e^{-\left(\frac{K_a}{U}\right)x} \right) \quad (9)$$

Onde:

$K_r = K_d + K_s$ , sendo  $K_s$  o coeficiente de sedimentação;

$D_0$  é o déficit inicial no ponto de lançamento.

Estas equações deverão ser aplicadas nos mais diversos rios da região para estudar a capacidade de autodepuração dos mesmos quando sujeitos a lançamentos de efluentes na concessão de outorga.

Programa Computacional

Um programa computacional foi desenvolvido no intuito de encontrar as respostas do modelo matemático desenvolvido em linguagem FORTRAN. O programa permite a avaliação das variáveis de controle concentrações de DBO, déficit de OD e concentrações de OD. Foram estabelecidas sub-rotinas com funções bem definidas:

1. Leitura dos dados de entrada: desenvolvida para se fazer a leitura de todos os dados referentes aos parâmetros do modelo, condições iniciais e de contorno.
2. Cálculo das concentrações: referentes aos parâmetros estabelecidos no modelo.

E Impressão dos resultados: responsável por imprimir os resultados do modelo tais como as concentrações de DBO e de OD ao longo do curso do rio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados tratam da análise das concentrações de DBO, déficit de OD e concentrações de OD para diferentes tipos de lançamento na seção de origem de um rio considerando cenários de estação seca e chuvosa. Foram utilizados os dados do rio Potengi, Rio Grande do Norte, e os dados utilizados nas simulações para os dois cenários podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos parâmetros utilizados nas simulações.

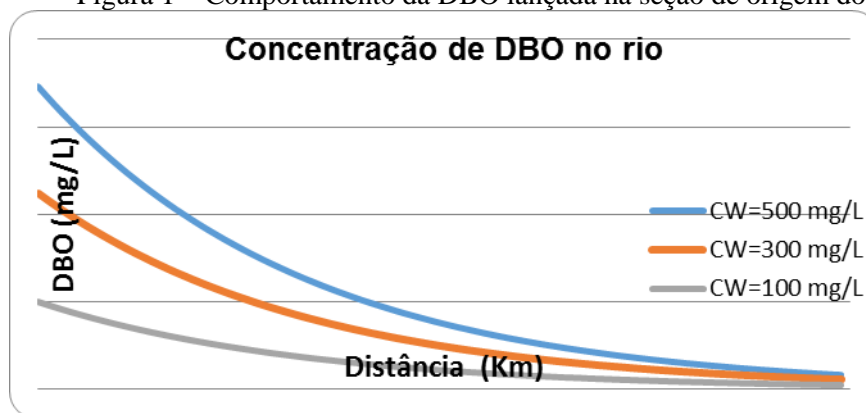
Parâmetros	Unidade
Vazão média do efluente	40.000 m <sup>3</sup> .d-1

<b>Concentração de OD do efluente</b>	1 mg/L
<b>Largura média do rio</b>	8,00 m
<b>Profundidade média do rio</b>	6,00 m
<b>Comprimento do rio</b>	100.000 m
<b>Concentração de DBO no rio</b>	2 mg/L
<b>Concentração de OD no rio</b>	8 mg/L
<b>Temperatura média do rio</b>	27 °C
<b>Coefficiente de reaeração</b>	2 d-1
<b>Coefficiente de decaimento da DBO</b>	0,6 d-1

### Cenário 1: Estação chuvosa

Para este cenário foi considerada a vazão média do rio de 14,5 m<sup>3</sup>/s (1.252.800,00 m<sup>3</sup>.d-1). Sendo assim, para este caso, a carga de DBO do efluente de uma fonte pontual variou entre CW=100 mg/L; CW= 300 mg/L e 500 mg/L. O cenário 1 apresenta a análise da concentração de DBO, déficit de OD e concentrações de OD, para diferentes tipos de lançamento na seção de origem do rio. Com base na figura 1, é possível perceber que quanto maior for a carga de DBO lançada no rio (CW), maior será a distância para que este lançamento se dissipe. Pode-se verificar, portanto, a coerência dos resultados gerados pelo programa, uma vez que quanto maior for a massa distribuída, maior o tempo de diluição desta massa no fluido.

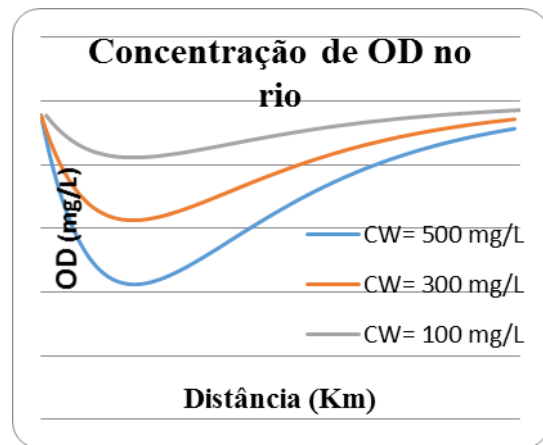
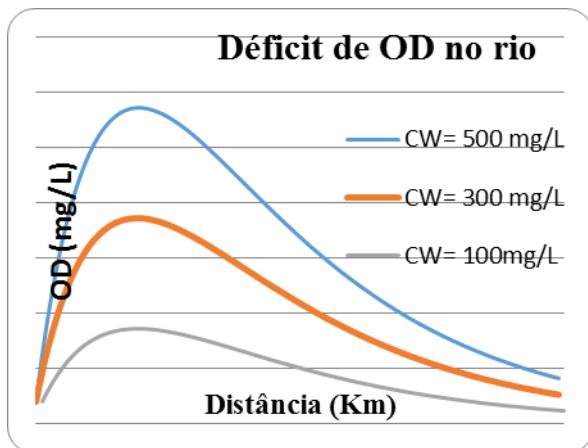
Figura 1 – Comportamento da DBO lançada na seção de origem do rio.



O mesmo ocorre ao analisar o déficit de OD, figura 2. Nesta figura, pode-se notar o aumento do déficit de oxigênio dissolvido no início do lançamento, chegando a valores máximos próximo da seção a 20 km da seção de origem do rio. Conforme a carga de DBO vai se dissipando, os valores de déficit voltam a ser os mesmos que aqueles antes do lançamento. Em outras palavras, ocorre a diluição da nuvem poluente ao longo do rio, de maneira que a distribuição da concentração de DBO atinja a uniformidade.

Figura 2– Comportamento do déficit de OD após o lançamento da carga de DBO

Figura 3 – Comportamento da concentração de OD após o lançamento da carga de DBO.

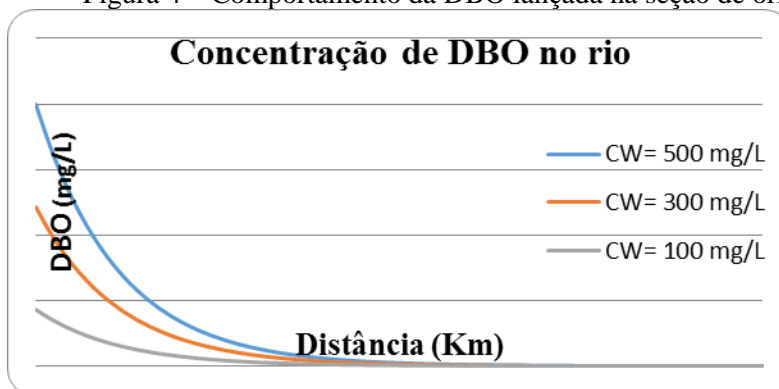


A análise da figura 3, estuda o comportamento da concentração de OD do rio, para diferentes lançamentos na seção de origem. Considerando que as concentrações de oxigênio dissolvido são calculadas a partir da diferença entre o oxigênio saturado e o déficit de OD, o gráfico gerado representa exatamente o oposto do que ocorre com o déficit. Sendo assim, os valores de concentração de OD são menores na seção a 20 km da seção de origem do rio. Esta seção tem uma especial relevância para as análises de OD por se tratar do ponto crítico da curva de OD, onde ocorre o início da recuperação, ou autodepuração, do rio. A partir deste ponto, o balanço de oxigênio passa a ser positivo.

#### Cenário 2: Estação Seca

Para este caso, manteve-se o mesmo tipo de lançamento que o cenário anterior, mas a vazão considerada agora é da ordem de 2,5 m<sup>3</sup>/s (216.000 m<sup>3</sup>.d-1)

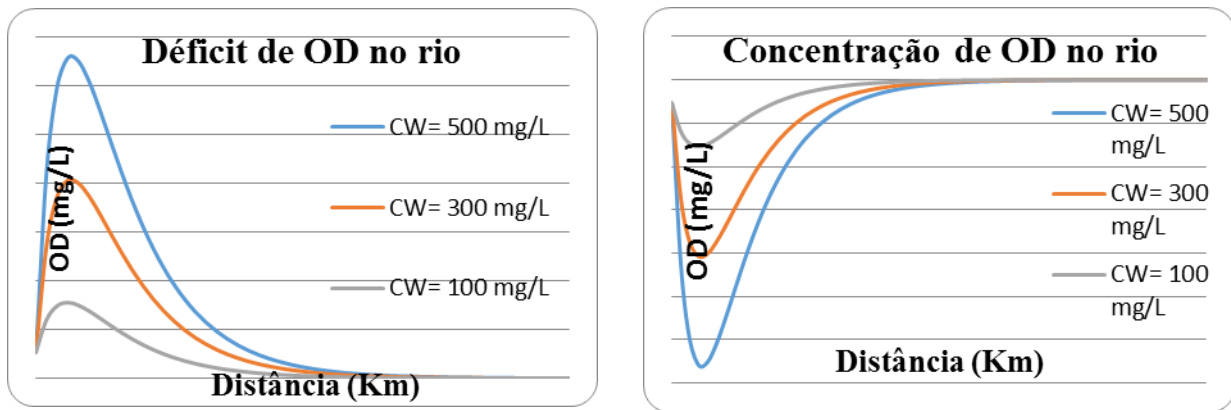
Figura 4 – Comportamento da DBO lançada na seção de origem do rio.



De acordo com a Figura 4, verifica-se que, para esta vazão, os lançamentos de 300 mg/L e 500 mg/L são completamente inadequados para este rio. Por exemplo, para um lançamento de 500 mg/L a concentração de diluição da DBO é da ordem de 80 mg/L, valor inadequado para qualquer ambiente aquático. Para este caso, somente a vazão de 100 mg/L mostra-se adequada para permitir alguma condição saúde ambiental para o referido rio.

Figura 5– Comportamento do déficit de OD após o lançamento da carga de DBO

Figura 6 – Comportamento da concentração de OD após o lançamento da carga de DBO



A Figura 5 justifica a análise anterior, mostrando que o déficit de OD é muito elevado para os lançamentos de 300 mg/L e de 500 mg/L nas proximidades de 5 Km. Neste caso, verifica-se que o déficit supera a condição de saturação do OD mostrando assim, que o oxigênio dissolvido, nesta região, tende a zero ou para valores negativos. Este cenário indica que para estes lançamentos o rio perde sua capacidade de sustentabilidade aquática. A figura 6 só confirma a análise feita anteriormente.

## CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que é possível fazer uma análise consistente do comportamento da DBO e do OD para diferentes concentrações de lançamentos de efluentes bem como diferentes vazões de acordo com a sazonalidade do nordeste brasileiro. Segundo o estudo, observou-se que nas estações secas os lançamentos de efluentes com concentrações acima de 200mg/L provocam sérios danos na qualidade da água do rio em estudo. Já para a estação chuvosa o rio possui uma capacidade de diluição que suporta os lançamentos superiores as concentrações de 200mg/L.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento a todos que permitiram a realização deste projeto: a PROPPG, GEPEMA (Grupo de Extensão e Pesquisa em Energias e Meio Ambiente), a minha orientadora a professora doutora Silvia Helena Lima dos Santos por tudo e a Leila Ivete Teixeira Monteiro.

## REFERÊNCIAS

CHAPRA, S. C. Surface Water-Quality Modeling. New York: McGraw-Hill, 1997, 844p.

ROQUES, T. V. P. Aplicação de modelos computacionais na análise de outorga para diluição de efluentes em corpos de água – fontes pontuais e difusas. 2006. 201f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2006.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1996. 243 p.