

# AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA

Larice Nogueira de Andrade

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFES – Vitória, ES, Brasil  
lariceandrade@gmail.com

Editor responsável:

Marcelo Luiz Martins Pompêo

Recebido 22jul10 / Aceito 24nov10 / Publicação inicial 30dez10

**Resumo.** A proteção dos recursos hídricos envolve o monitoramento e a avaliação de sua qualidade ao longo dos rios, estabelecendo metas e controlando as descargas de poluentes, de forma que um nível aceitável de qualidade da água seja mantido. A compreensão da autodepuração dos corpos d' água constitui em elemento básico para a adoção destas medidas e ações. Desse modo, esta revisão tem como objetivo relatar alguns dos principais processos integrantes do fenômeno de autodepuração, dando merecido destaque para os processos biológicos, principais indutores das alterações ecológicas e do restabelecimento do equilíbrio no meio aquático.

**Palavras-chave.** Autodepuração, matéria-orgânica, poluição.

## SELF - PURIFICATION OF WATER BODIES

**Abstract** The protection of water resources involves monitoring and evaluating their quality along the rivers setting goals and controlling discharges of pollutants looking for to keep an acceptable level of water quality. The understanding of self-purification of water bodies constitutes a basic element for the adoption of these measures and actions. So this review objective to report some of the most important processes of the self-purification phenomenon focusing on the biological processes, which are the main inducer of ecological changes and balance reinstatement in the aquatic environment.

**Keywords.** Self - Purification, organic matter, pollution.

## Introdução

Em virtude da crescente poluição de nossos rios, faz-se hoje imperativo a busca de maiores esforços para o controle dessa poluição. Uma das formas de se controlar essa poluição é justamente estudar e conhecer a capacidade de autodepuração de cada corpo hídrico, estimando a quantidade de efluentes que cada rio é capaz de receber sem que suas características naturais sejam prejudicadas. Dependendo do nível de poluição dos rios, o processo de autodepuração pode ser bastante eficiente na melhoria da qualidade d'água.

A autodepuração é um processo natural, no qual cargas poluidoras, de origem orgânica, lançadas em um corpo d'água são neutralizadas. De acordo com Sperling (1996), a autodepuração pode ser entendida como um fenômeno de sucessão ecológica, em que o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, ou seja, a busca pelo estágio inicial encontrado antes do lançamento de efluentes, é realizada por mecanismos essencialmente naturais.

Segundo Stehfest (1973), a decomposição da matéria orgânica por microorganismos aeróbios corresponde a um dos mais importantes processos integrantes do fenômeno da autodepuração. Esse processo é responsável pelo decréscimo nas concentrações de oxigênio dissolvido na água devido à respiração dos microorganismos, que por sua vez decompõem a matéria orgânica.

A quantidade de oxigênio dissolvido na água necessária para a decomposição da matéria orgânica é denominada de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO. Ou seja, a DBO não é

propriamente um poluente, mas sim o indicativo da quantidade de oxigênio molecular requerida pelas bactérias para a decomposição da matéria orgânica presente na água. Do mesmo modo, segundo Braga e col. (2002), a matéria orgânica em si não é um poluente, porém, seu despejo no meio aquático pode ocasionar um desequilíbrio entre a produção e o consumo de oxigênio.

Com o intuito de fornecer um embasamento teórico a respeito da autodepuração dos corpos d'água, nas próximas seções são apresentados os principais fundamentos necessários à compreensão desse processo, tendo como principais referências os trabalhos desenvolvidos pelo pesquisador Von Sperling.

## Autodepuração dos corpos d'água

A autodepuração é decorrente da associação de vários processos de natureza física (diluição, sedimentação e reaeração atmosférica), química e biológica (oxidação e decomposição) (Hynes, 1960; Sperling, 1996).

No processo de autodepuração, há um balanço entre as fontes de consumo e de produção de oxigênio, conforme ilustrado na Figura 1 (Sperling, 2007).

Os principais fenômenos interagentes no consumo de oxigênio são:

- A oxidação da matéria orgânica;
- A nitrificação;
- A demanda bentônica.

Na produção de oxigênio são:

- A reaeração atmosférica;
- A fotossíntese.

A oxidação é o processo nos quais elétrons são removidos de uma substância, aumentando o seu estado de oxidação. Ou seja, a oxidação é uma forma de transformar poluentes em compostos menos indesejáveis ao meio ambiente.

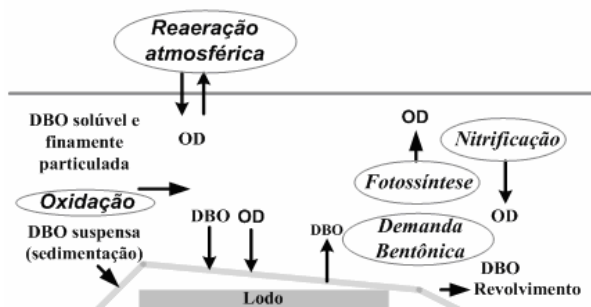
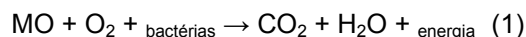


Figura 1 – Fenômenos interagentes no balanço de OD (adaptado de Sperling, 2007).

A oxidação total da matéria orgânica, também conhecida como mineralização, gera produtos finais, simples e estáveis (por exemplo,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Os organismos decompositores, principalmente as bactérias heterotróficas aeróbias, são capazes de oxidar a matéria orgânica (MO), como representado na equação abaixo:



A nitrificação é o processo pelo qual bactérias autotróficas (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*), utilizam o oxigênio dissolvido para transformar formas nitrogenadas de matéria orgânica em nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). As *Nitrosomonas* são responsáveis pela oxidação da amônia a nitrito e as *Nitrobacter* pela oxidação do nitrito a nitrato.

O consumo de oxigênio por estas reações é denominado demanda nitrogenada ou demanda de segundo estágio, por ocorrer numa fase posterior a das reações de oxidação da matéria orgânica carbonácea. Isso ocorre porque as bactérias nitrificantes, autotróficas, possuem uma taxa de crescimento menor que as bactérias heterotróficas (Sperling, 1996).

A matéria orgânica decantada também pode consumir oxigênio dissolvido, e nesse caso, essa demanda é denominada demanda bentônica ou demanda de oxigênio pelo sedimento. Grande parte da conversão dessa matéria orgânica se dá em condições anaeróbias, em virtude da dificuldade de penetração do oxigênio na camada de lodo, como demonstrado na Figura 2.

Esta forma de conversão, por ser anaeróbia, não implica, portanto, em consumo de oxigênio. Porém, a camada superficial do lodo em contato direto com a água geralmente sofre decomposição aeróbia, resultando no consumo de oxigênio (Sperling, 1996). Na maioria das vezes, a sedimentação dessa matéria orgânica

implica na diminuição de DBO da massa líquida, porém, quando a massa decantada é ressuspensa, devido, por exemplo, a turbulências ou a altas velocidades de escoamento do líquido, ocorre o contrário.

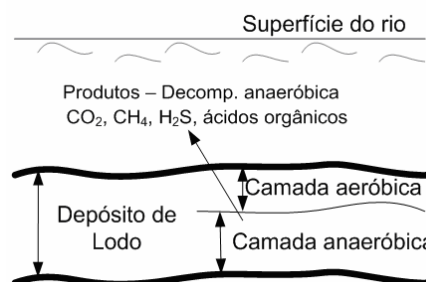


Figura 2 – Demanda bentônica (adaptado de Eckenfelder, 1980)

Com relação à produção de oxigênio, a reeração atmosférica pode ser considerada como o principal processo responsável pela introdução de oxigênio no corpo hídrico. Esse processo se dá por meio da transferência de gases, que é um fenômeno físico no qual moléculas de gases são trocadas entre o meio líquido e gasoso pela sua interface. Esse intercâmbio resulta num aumento da concentração do oxigênio na fase líquida, caso esta não esteja saturada com o gás. Esta transferência do meio gasoso para o meio líquido se dá basicamente por meio de dois mecanismos: a difusão molecular e a difusão turbulenta (Sperling, 1996).

O processo de fotossíntese, apresentado na equação abaixo, pode representar a maior fonte de OD em lagos e rios de movimento lento.



A fotossíntese é o principal processo utilizado pelos seres autotróficos para a síntese da matéria orgânica (Equação 2), sendo característica dos organismos clorofilados, particularmente algas. De acordo com Sperling (1996), os seres autótrofos realizam muito mais síntese do que oxidação, gerando sempre um superávit de oxigênio.

O processo de autodepuração se desenvolve ao longo do tempo e da direção longitudinal do curso d'água, e segundo Braga e col. (2002), os estágios de sucessão ecológica presentes nesse processo são fisicamente identificados por trechos (Figura 3). Braga e col. (2002) define esses trechos como zonas de autodepuração e os divide em:

- Zona de águas limpas - localizada em região à montante do lançamento do efluente (caso não exista poluição anterior) e também após a zona de recuperação. Essa região é caracterizada pela elevada concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática superior;

- Zona de degradação - localizada à jusante do ponto de lançamento, sendo caracterizada por uma diminuição inicial na concentração de oxigênio dissolvido e presença de organismos mais resistentes;
- Zona de decomposição ativa - região onde a concentração de oxigênio dissolvido atinge o valor mínimo e a vida aquática é predominada por bactérias e fungos (anaeróbicos);
- Zona de recuperação - região onde se inicia a etapa de restabelecimento do equilíbrio anterior à poluição, com presença de vida aquática superior.

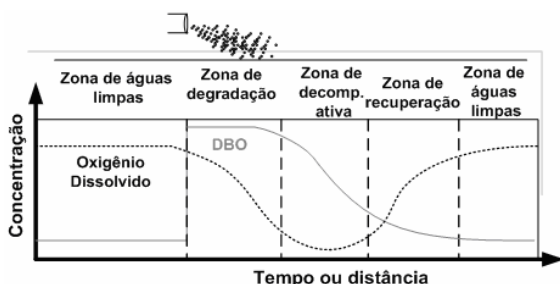


Figura 3 - Principais zonas de autodepuração (adaptado de Braga e col., 2002).

A quantificação e a compreensão do fenômeno de autodepuração são de extrema importância, principalmente quando se busca controlar o lançamento de cargas de efluentes que estejam acima da capacidade de assimilação do corpo hídrico (Sperling, 1996).

Os pesquisadores Streeter e Phelps desenvolveram um modelo em 1925, que propiciou grande impulso para o entendimento do fenômeno de autodepuração em águas receptoras de cargas poluentes.

### Modelo Streeter e Phelps

Uma das primeiras formulações matemáticas utilizadas para o cálculo do perfil de oxigênio dissolvido, após o lançamento de matéria orgânica no corpo hídrico, foi proposta por Streeter e Phelps (1925). Tal formulação passou a ser conhecida como o Modelo de Streeter - Phelps.

A hipótese básica do modelo Streeter - Phelps é que a taxa de decomposição da matéria orgânica no meio aquático (ou taxa de desoxigenação  $dL/dt$ ) é proporcional à concentração da matéria orgânica presente em um dado instante de tempo, que é dada por:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \quad (3)$$

$L$  é a DBO remanescente ao fim do tempo  $t$ , em mg/l e,  $K_1$  é o coeficiente de decaimento, ou constante de desoxigenação, dada por  $\text{dia}^{-1}$  e  $t$  é o tempo, em dias. Na literatura, o coeficiente de

desoxigenação ( $K_1$ ) é também denominado coeficiente de decomposição ( $K_d$ ).

Integrando a equação 3, entre  $L_0$  e  $L$ , tem-se:

$$L = L_0 e^{-K_1 t} \quad (4)$$

Onde:  $L_0$  é a DBO inicial de mistura (efluente + corpo receptor), no ponto de lançamento, em mg/l.

Em termos de consumo de oxigênio, é importante a quantificação da DBO exercida, que pode ser obtida pela equação abaixo:

$$y = L_0 (1 - e^{-K_1 t}) \quad (5)$$

$y$  é a DBO exercida em um tempo  $t$  (mg/l)

Segundo Sperling (2005), o conceito de DBO pode ser representado tanto pela DBO remanescente quanto pela DBO exercida (Figura 4). O primeiro termo significa a concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida em um dado instante. Já o segundo, é o oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica até determinado instante, ambos tendo como unidade de massa o oxigênio por unidade de volume.

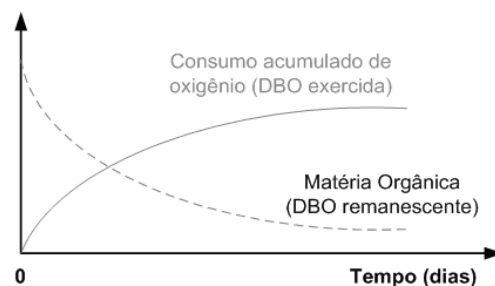


Figura 4 – Progressão temporal da oxidação da matéria orgânica (adaptado de Sperling, 1996).

O consumo de OD no meio líquido ocorre simultaneamente à reação de reoxigenação desse meio, na qual, por meio de reações exógenas, o oxigênio passa da atmosfera para a água. Esse processo é modelado pela seguinte equação:

$$\frac{dL}{dt} = -K_2 D \quad (5)$$

Dessa forma, como o déficit de saturação de oxigênio dissolvido corresponde a resultante da soma dos efeitos de desoxigenação e reaeração, obtém-se a seguinte equação diferencial:

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D \quad (6)$$

D é o déficit de oxigênio, ou seja, a diferença entre a concentração de saturação do oxigênio no meio líquido e a concentração de oxigênio dissolvido na água em um dado instante, e  $K_2$  é a constante de reoxigenação do corpo d'água. Com a integração da equação 6, tem-se:

$$D_t = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (7)$$

$D_t$  é o déficit de saturação de oxigênio no tempo t, em mg/l;  $D_0$  é o déficit inicial de oxigênio dissolvido no curso de água, em mg/l;  $L_0$  é a DBO no ponto de lançamento. A concentração de oxigênio no tempo  $C(t)$  é dada pela diferença entre a concentração de saturação nas condições do experimento ( $C_s$ ) e o déficit de oxigênio dissolvido num tempo  $D(t)$ .

$$C(t) = C_s - D(t) \quad (8)$$

$$C_t = C_s - \left\{ \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + (C_s - C_0) e^{-K_2 t} \right\} \quad (9)$$

A curva do perfil de OD em função do tempo é apresentada na figura 5. De acordo com Sperling (2007), nesse perfil são identificados os seguintes pontos: a concentração de OD no rio a montante ( $C_r$ ), a concentração de OD na mistura ( $C_0$ ), a concentração crítica de OD ( $C_c$ ).

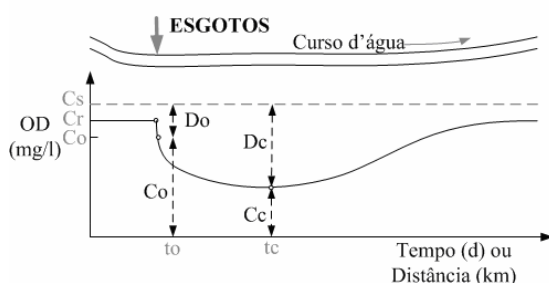


Figura 5 – Pontos característicos da curva de depleção de OD (adaptado de Sperling, 2007).

É importante ressaltar que as equações descritas são válidas apenas em condições aeróbias, ou seja, enquanto a disponibilidade de oxigênio igualar ou exceder o seu consumo (Sperling, 2007).

O modelo Streeter - Phelps considera, no balanço do oxigênio, apenas dois processos: o consumo de oxigênio, pela oxidação da matéria orgânica durante a respiração, e a produção de oxigênio, pela reaeração atmosférica. Além disso, o modelo adota as seguintes simplificações:

- Sistema unidimensional;
- Regime permanente com vazão e seção constante;
- Lançamento do efluente pontual e constante.

Atualmente, a maioria dos modelos de qualidade de água existentes, tais como QUAL2E (Brown e Barnwell, 1987), DoSag (Burke, 2004), WASP (Wool e col., 2001) e WEAP (Sieber e col., 2005), simula uma maior quantidade de processos e parâmetros, mas, tem como princípio básico o modelo clássico de Streeter - Phelps.

### Considerações finais

Nota-se que a grande maioria das reações, aqui descritas, é de origem biológica, tendo estas, participações mais diretas, a depreender pelo fato de que as atividades biológicas de respiração (aeróbia ou anaeróbia) e nutrição (heterotrófica ou autotrófica), responsáveis pela oxidação da matéria orgânica, são comuns a todos os organismos vivos que habitam as águas.

As reações de oxidação aeróbia podem ser consideradas como principal processo responsável pelas alterações ecológicas sofridas pelo meio, por reduzirem substancialmente as concentrações de oxigênio dissolvido no meio líquido. Por outro lado, a oxidação também pode ser considerada como um processo fundamental na estabilização da matéria orgânica.

Além disso, verifica-se que para se avaliar a influência de lançamento de efluentes na qualidade de determinado corpo hídrico, bem como propor medidas de controle, é necessário o uso de modelos, como o de Streeter - Phelps, que represente o comportamento de umas das características mais importantes de uma situação real, que é capacidade de autodepuração do corpo d'água.

### Bibliografia

- Braga, B., Hespanhol, I., Lotufo, J.G., Conejo (2002). Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall.
- Brown, L. C., Barnwell T. O. (1987). The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual. Athens, Georgia: EPA; EPA/600/3-87/007.
- Burke, R. (2004). Personal Conversation. Atlanta, Ga.: Georgia mental Protection Division.
- Eckenfelder Jr., W.W. (1980). Principles of water quality management. Boston: CBI.
- Hynes, H.B.N (1960). The Ecology of Running Waters. University of Toronto Press.
- Stehfest, N. (1973). Modelltheoretische Untersuchungen zur Selbstreinigung von Fließgewässern. KFK 1654 UF.
- Sperling, V. M. (1996). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG.
- Sperling, V. M. (2007). Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. DESA/UFMG. Belo Horizonte- MG.
- Streeter, H.W.; Phelps E.B. (1925). A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. Public Health Bulletin, 146. Washington D.C.: U.S. Public Health Service.
- Sieber, J., Swartz, C., Huber-Lee, A.H. (2005). Water Evaluation and Planning System (WEAP): User Guide. Stockholm Environment Institute, Boston.
- Wool, T. A., R. B. Ambrose, J. L. Martin, E. A. Comer. (2001). Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) version 6.0: User's manual. Atlanta, Ga.: U.S. Environmental Protection Agency, Region 4.