

AERAÇÃO EM TRATAMENTO DE ESGOTOS

José Cleantho C. Gondim

Eng^o Civil e Sanitarista, Mestre em Saúde Pública
Prof. da Cadeira de Saneamento Básico I da UNIFOR

1. INTRODUÇÃO

A aeração artificial em águas residuárias teve início na Inglaterra em 1882.

Já em 1915, no sentido de se obter uma aeração mais econômica os tubos perfurados eram substituídos por difusores.

O grande problema de sua aplicação residia no entupimento do material poroso, internamente pelas impurezas contidas no ar e externamente muitas vezes pelos próprios sais existentes nos esgotos. Ficou como referência histórica o caso ocorrido em Sheffield na Inglaterra, onde difusores de cerâmica porosa entupiram-se em poucos meses devido a grande teor de sais de ferro existente nas águas residuárias.

No Brasil, a experiência com difusores é muito pequena e localizada, sendo largamente empregado a aeração mecânica, que se apresenta como opção para injeção artificial de oxigênio. A seguir é feita uma descrição sumária dos recursos de que se dispõe para essa introdução de oxigênio nos processos de tratamento de esgotos.

2. EQUIPAMENTOS DE AERAÇÃO

2.1. Difusores

De uso geral são utilizados na aeração artificial das estações de tratamento de esgotos, podendo ser instalados em diversos locais abaixo da superfície líquida do tanque de aeração. Podem ser fixos ou de posição mutável. Os compressores (sopradores) operam numa pressão suficiente para superar a pressão estática do líquido acima dos difusores e perdas de carga.

São classificados normalmente em porosos e não porosos.

2.1.1. Porosos

Os difusores porosos podem ser em forma de placas ou tubos. Podem ser tanto do tipo cerâmico, construído com dióxido de silício ou óxido de alumínio em grão, mantido em uma massa porosa com envolvimento cerâmico, ou do tipo não cerâmico que consiste de tubos envolvidos em plástico ou em pano plastificado.

2.1.2. Não Porosos

Os difusores não porosos podem ser dos tipos: bocal, orifício ou válvula.

Os de bocal ou orifício são feitos de metal ou plástico, que devido suas aberturas soltam bolhas maiores que os do tipo poroso.

Difusores do tipo válvula tem um disco ou válvula que fecha quando se interrompe o fluxo do ar.

Libertam bolhas também maiores que as do tipo poroso.

Tubos perfurados ou fendilhados, que são usados ocasionalmente ou em condições especiais não se prestam para difusão em baixas profundidades. Apresentam baixa capacidade de transferência de oxigênio ao despejo.

2.2. Aeradores Mecânicos

Os aeradores mecânicos vêm sendo amplamente empregados nos últimos anos. Seu desenvolvimento é relativamente recente e teve início na década de 50. Os consumos de energia são comparáveis aos apresentados com emprego de difusores.

São equipamentos de superfície e a transferência de oxigênio para o despejo basicamente se apoia no aumento da superfície de contato entre o líquido e o ar.

Os aeradores mecânicos são classificados, como de eixo vertical e de eixo horizontal.

2.2.1. De Eixo Vertical

Conforme o próprio nome indica, se distingue por girar em torno de um eixo vertical. Não existe uma classificação de aeradores verticais que possa ser plenamente aceita.

De qualquer forma, no presente trabalho consideraremos dois tipos fundamentais:

— De Baixa Rotação

Apresentam velocidades periféricas baixas, da ordem de 1,70 a 2,30m/s. Assim sendo a velocidade do rotor em r.p.m vai depender de seu raio, podendo os grandes aeradores apresentar em torno de 30rpm e os pequenos 200rpm.

— De Alta Rotação

Apresentam velocidades do rotor da ordem de 800 a 1200rpm, dispensando portanto, o uso de redutores.

2.2.2. De Eixo Horizontal

Foram bastante utilizados e desenvolvidos na Holanda. Apesar de se ter informações do uso de aeradores de eixo horizontal na Inglaterra em 1920, a escova Kessener pode ser considerada como o protótipo deste tipo de equipamento. No Brasil, além do Gaiola, de origem holandesa, pode-se contar com dois outros idealizados por técnicas nacionais: o modelo Hess e o Penha. Operam com velocidade de rotação de 70 a 120rpm.

3. FINALIDADES

A aeração no tratamento de esgotos têm três finalidades:

- Fornecer o oxigênio necessário ao processo;
- Promover a circulação e agitação da Mistura Líquida, para evitar sedimentação dos sólidos e conservar os organismos do lodo em contato íntimo com a matéria orgânica suspensa e dissolvida;
- Eliminar produtos residuários voláteis como o O_2 .

Na maioria dos casos a primeira destas funções é que estabelece a quantidade mínima de ar a ser introduzida. Os itens a e c são de transferência de massa, requerendo portanto uma grande área interfacial entre a água e o ar. O item b, requer que seja dada energia mecânica suficiente a água.

Na respiração, os organismos utilizam apenas o O_2 dissolvido existente, sendo de boa prática fornecê-lo na mesma proporção que é consumido. No entanto, tem se verificado que sua absorção pelos microrganismos é independente da concentração quando essa for superior a 0,5mg/l. A prática usual é de manter um nível de pelo menos 2,0mg/l. Níveis superiores a 4,0mg/l além de serem anti-econômicos são indesejáveis devido possi-

bilitarem o crescimento de certos organismos como os *Sphaerotilus* em detrimento por exemplo da *Zooglea ramigera*, perturbando a otimização do processo de floculação biológica pelo aparecimento do fenômeno conhecido como "intumescimento do lodo" ou "Bulk-ing."

Segundo Eckelfelder e O'Connor, o O_2 requerido no processo de bio-oxidação é dado pela expressão:

$$O_2(\text{kg/dia}) = a' \times \text{DBO}_5 \text{ remov.} + b' \times \text{SSVML}$$

O primeiro termo representa o oxigênio utilizado no crescimento dos microrganismos, conhecido como respiração ativa ($a' = 0,66$, oxidação total), e o segundo representa o que é gasto na auto-oxidação, ou respiração endógena ($b' = 0,07$ a $0,20$). a' e b' dependem do resíduo e podem ser determinadas em laboratório.

Deve-se prever um consumo adicional de O_2 correspondente a nitrificação no processo.

É interessante citar, que mesmo intuitivamente percebe-se que a velocidade de estabilização dos despejos biodegradáveis depende do contato íntimo entre a DBO (alimento), os microrganismos (lodo) e o oxigênio dissolvido (OD), tornando-se pois a agitação uma necessidade.

A eliminação de produtos residuários voláteis como o CO_2 , passa despercebida, por ser um efeito natural benéfico da aeração, devido as características químicas do O_2 (anidrido ácido) que contribuiria para o abaixamento do pH do despejo.

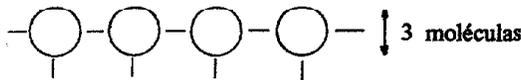
4. O PROCESSO

4.1. Considerações Iniciais

O O_2 é um gás solúvel na água disperso no corpo líquido através de um processo de difusão de ar através da interface líquido-ar (fronteira física entre o ar e a água).

Segundo Eckenfelder este processo de difusão ocorre em três fases:

- 1ª) Moléculas de O_2 são transferidos por interface, resultando em condições de saturação (2×10^{-6} s).
- 2ª) O O_2 passa da interface para o filme interfacial (espessura de 3 moléculas) por difusão molecular. O filme é composto por moléculas de água orientadas.



- 3ª) O O_2 que passa através do filme é misturado com o corpo d'água. A taxa de transferência é dependente das características de difusão do filme se estiver em repouso. Em alta turbulência a superfície é continuamente destruída, com aparecimento de novas superfícies não saturadas. Asi camadas saturadas são dispersas no líquido.

Em turbulência a massa de O_2 transferida é dependente da taxa de renovação de superfície e torna-se relativamente independente da difusão do filme interfacial. Os aeradores mecânicos operam neste princípio. A taxa na qual o O_2 é introduzido é dado por:

$$\frac{dM}{dt} = K_L A (C_S - C_L)$$

$\frac{dM}{dt}$ – massa de O_2 transferido na unidade de tempo

K_L – difusibilidade do O_2 na água (relacionado com taxa de renovação da superfície)

A – área interfacial de transferência

C_S – concentração de saturação de O_2

C_L – concentração de O_2 no corpo d'água

Em termos de concentração:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{dM}{dt} / V$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{K_L A}{V} (C_S - C_L)$$

ou

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} (C_S - C_L)$$

onde

K_{La} – coeficiente de transferência de massa, criado em função da impossibilidade de medição d área interfacial.

4.2. Capacidade de Oxigenação (C.O)

Massa de O_2 introduzida na água desoxigenada a 20° e 1 atm de pressão, na unidade de tempo.

$$V \frac{dC}{dt} = CO = K_{La} V C_S \quad C_L = 0$$

4.3. Taxa de Transferência de Oxigênio

Para as condições padrões ($20^\circ C$ e 1 atm)

$$R_p = \frac{K_{La} C_S V}{P}$$

sendo

P – potência

C_S – solubilidade do O_2

V – volume do tanque

4.4. Fatores de Correção

4.4.1. Efeito das Impurezas no K_{La} (α)

A presença de impurezas na água podem aumenta ou diminuir o coeficiente de transferência de massa

$$\alpha = \frac{K_{La} \text{ esgoto}}{K_{La} \text{ água fresca}} \quad \text{Para esgotos domésticos} \quad \alpha = 0,8 \text{ a } 0,9$$

para esgotos industriais α pode variar bastante podendo inclusive ser maior que 1, na presença de detergentes, devido a diminuição da tensão superficial. De qualquer forma o valor máximo adotado em projeto é 1.

4.4.2. Efeito das Impurezas no C_S (β)

$$\beta = \frac{C_S \text{ do esgoto}}{C_S \text{ da água fresca}}$$

Para esgoto doméstico

$$\beta = 0,9$$

4.4.3. Efeito na Pressão Atmosférica na C_S

Para pressões diferentes de 1 atm (760mm de Hg) a saturação de O_2 na água é dado por:

$$(C_S)_P = (C_S)_{1 \text{ atm}} \times \frac{P - \rho}{760 - \rho}$$

P - pressão atmosférica local

ρ - pressão de vapor d'água saturada na temperatura do teste.

$$(a \ 20^\circ C \ \rho = 17,5 \text{ mmHg})$$

4.4.4. Efeito de Temperatura no K_{La}

$$K_{La}(T) = K_{La}(20^\circ) \times (1,024)^{T - 20}$$

4.4.5. Efeito da Temperatura no C_S

$$C_S(T) = \frac{475 - 2,65S}{33,5 + T} \quad (\text{Fórmula desenvolvida para mistura de água pura com água do mar}).$$

S - Salinidade em partes por mil

No caso do esgoto S pode ser usado como sólidos totais dissolvidos em partes por mil.

Para a água natural a $20^\circ C$.

$$C_S(20) = \frac{475}{33,5 + 20} = 8,9 \text{ mg/l (a 1 atm)}$$

Com desenvolvimento algébrico obtêm-se

$$C_S(T) = C_S(20) \frac{33,5 + 20}{33,5 + T}$$

$$C_S(T) = C_S(20) \frac{53,5}{33,5 + T}$$

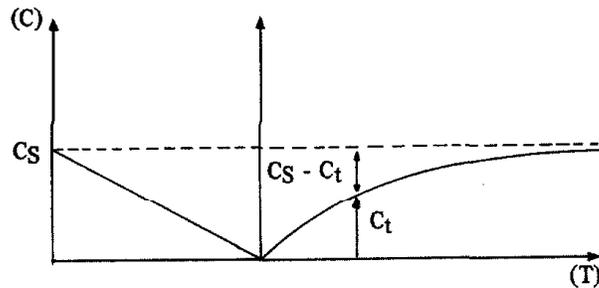
Em situações normais, o efeito da temperatura na Capacidade de Oxigenação é desprezível pois, com o seu aumento:

- K_{La} aumenta; e

- C_S diminui;

permanecendo o produto quase que constante.

3. FORMULAÇÃO TEÓRICA



Temos que

$$\frac{dC}{dt} = -K_{La} (C_S - C_t)$$

Fazendo-se a integração no intervalo de 0 a t obtêm-se:

$$(C_S - C_t) = (C_S - C_0) e^{-K_{La}t}$$

$$\log(C_S - C_t) = -K_{La}t \log e + \log(C_S - C_0)$$

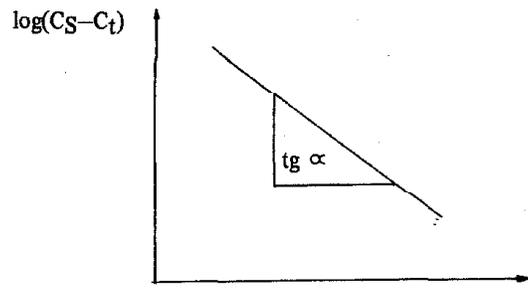
o que corresponde a equação de uma reta.

$$Y = -\Delta x + C$$

onde a inclinação

$$\Delta = -K_{La} \log e$$

Com a plotação da equação num papel semi-log isso pode ser verificado. Se não vejamos:



onde

$$(\Delta) \text{ tg } \alpha = -K_{La} \log e$$

fica então:

$$K_{La} = -\frac{\Delta}{\log e}$$

$$K_{La} = -2,31 \Delta$$

$$\Delta = \frac{\log D_{t_2} - \log D_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

$$K_{La} = -2,31 \frac{(\log D_{t_2} - \log D_{t_1})}{t_2 - t_1}$$

$$K_{La} = \frac{2,31 (\log D_{t_1} - \log D_{t_2}) (\text{min}^{-1})}{t_2 - t_1}$$

$$K_{La} = \frac{138 (\log D_{t_1} - \log D_{t_2}) (\text{h}^{-1})}{t_2 - t_1}$$

O valor da capacidade de oxigenação nas condições padrões será dado por:

$$C.O = K_{La} VCS$$

e a taxa de transferência padrão

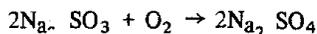
$$R_p = \frac{C.O}{P}$$

$$R_p = \frac{K_{La} VCS}{P}$$

6. MÉTODO EXPERIMENTAL DE DETERMINAÇÃO DO K_{La} E R

Um procedimento detalhado do método experimental para a determinação do K_{La} e R é mostrado a seguir:

- O tanque no qual o aerador será testado deve ser limpo completamente e então enchido com água da rede pública de abastecimento;
- a temperatura da água fresca, se possível, deverá estar nas vizinhanças de 20°C;
- o aerador é então colocado nas condições de operação conveniente;
- dispositivos para amostras de profundidade são instalados nos pontos selecionados do tanque. O número mínimo e a locação dos pontos de amostragem deve ser baseado no tipo, nas dimensões e geometria do aerador;
- um catalizador de cloreto de cobalto ou sulfato de cobalto é dissolvido no conteúdo do tanque, com o aerador trabalhando para assegurar a mistura. Para o cloreto de cobalto usa-se a relação 8,39g do produto para cada m³ de água;
- enquanto o aerador está trabalhando, uma solução de sulfito de sódio é jogada pelo menos em dois lugares do tanque. A desoxigenação acontece através da reação:



- Para um líquido tendo inicialmente uma concentração de O₂ dissolvido de 10mg/l, aproximadamente 0,1kg de sulfito de sódio seco será requeridos por m³ de líquido por teste ou 10g de sulfito de sódio por m³ e por mg/l de O₂ dissolvido. Deve-se suprir um excesso para compensar a oxidação durante a mistura.
- enquanto o OD cresce no tanque as amostras são formadas em intervalos de 1 a 2 minutos. Os intervalos devem ser selecionados para se tomar ao menos 6 amostras entre 10 de 70% da saturação. O OD é feito pelo método de Winkler e de cada amostra tira-se uma medida;
 - com o aerador trabalhando são feitas amostras de potências consumidas. Curvas de calibração fornecidas pelos fabricantes, são utilizadas para correção da eficiência do motor e engrenagem de tal forma que a potência consumida possa ser convertida em potência de saída;

gênio dissolvido contra o tempo. Apenas pontos entre 10 e 70% deverão ser considerados. O déficit é a diferença entre a concentração de saturação para a água na temperatura de operação e a concentração de OD a qualquer tempo t. A curva que melhor servir é traçada através dos pontos abordados.

O valor de K_{La} é calculado pela expressão:

$$K_{La} = \frac{138 (\log D_{t_1} - \log D_{t_2})}{t_2 - t_1}$$

K_{La} = coeficiente de transferência de massa (na temperatura T (h⁻¹))

D_{t_1} — déficit de O₂ no tempo t₁(mg/l)

D_{t_2} — déficit de O₂ no tempo t₂(mg/l)

t₁ e t₂ tempo correspondente a D_{t_1} e D_{t_2} (min)

- a correção do K_{La} para 20°C pode ser feita usando-se a fórmula:

$$K_{La}(20) = K_{La}(T) \times (1,024)^{20 - T}$$

- a taxa de transferência padrão (R) do aerador ou eficiência pode ser obtida pela expressão:

$$R_p = \frac{K_{La}(20^\circ\text{C}) \times V \times CS \times 10^{-6}}{P}$$

onde

R ⇒ taxa de transferência O₂ (KO₂/Kwh)

K_{La} — coeficiente de transferência de massa (h⁻¹)

V — capacidade do sistema em (ℓ)

CS — solubilidade de O₂ nas condições padrões (mg/l)

P — potência efetiva de consumo (Kw)

10⁻⁶ — fator de conversão de mg para Kg.

7. MÉTODO EXPERIMENTAL PARA A DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES α E β

Um procedimento detalhado para a determinação dos coeficientes α e β pode ser descrito da seguinte maneira:

- Trazer a amostra de água e do esgoto para a temperatura ambiente;
- aerar as amostras paralelamente ou em série vigorosamente durante 30 a 60 minutos para assegurar a saturação de ambas;
- determinação saturação de oxigênio para cada amostra, obtendo assim o valor de β;
- retirar o O₂ de ambas amostras usando o sulfito de sódio com o cloreto de cobalto como catalizador;
- reaerar as amostras e determinar o OD, a cada 5 minutos. Se a saturação é alcançada muito cedo, antes de 6 ou mais amostras serem tomadas, diminuir a taxa de aeração e começar o processo novamente;
- determinar o déficit de O₂ para cada tempo subtraindo o valor de saturação de OD para um determinado tempo t.

– plotar os deficits de O_2 contra o tempo em papel semi-logarítmico para ambos os casos, determinando-se através das inclinações das retas obtidas, os valores de K_{La} . Em seguida determina-se o valor de α pela divisão do K_{La} do esgoto pelo K_{La} da água.

8. FORMULAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS

Nas condições padrões teremos:

- $T = 20^\circ C$
- $P = 760\text{mm Hg}$
- Água limpa

$$R_p = \frac{K_{La} V C_s}{P} \quad (1)$$

Para o projeto colocando os fatores de correção, obtemos a taxa de transferência que deverá ser utilizada; ou seja:

$$R_t = \frac{\alpha K_{La}(1,024)^{T-20}(\beta C_{st} - C_L) V}{P} \quad (2)$$

onde

C_{st} – concentração de saturação de O_2 nas condições de trabalho (pressão e temperatura local)

R_t – taxa de transferência de trabalho (projeto)

$$R_t = \frac{\alpha (1,024)^{T-20}(\beta C_{st} - C_L)}{C_s} R_p$$

Chamando γ como fator de correção total teremos

$$R_t = \gamma R_p, \text{ onde}$$

$$\gamma = \frac{\alpha (1,024)^{T-20}(\beta C_{st} - C_L)}{C_s}$$

Banco de Parnaíba S.A.

O NOSSO BANCO

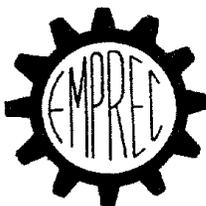
Rua Sena Madureira, 827
Telefone: 231.5644

MODULO
construções e projetos Ltda.

Responsáveis Técnicos

LUIS CARLOS S. MONTENEGRO
RAIMUNDO WILSON GONÇALVES

RUA AGAPITO DOS SANTOS, 622
FONE: 223.1448 – FORTALEZA - CEARÁ



EMPREENDEIMENTOS DE ENGENHARIA CIVIL LTDA.

CONSTRUÇÕES EM GERAL – Cálculos e Projetos

Insc. Est. nº 06.253.283-9 – C.G.C. 07.576.135/0001-49

Reg. nº 2344 – CREA, 9ª Região

Rua São Paulo, 1883 - Fones: 2.323, 2.642 e 3.033 - Juazeiro do Norte - Ceará
Av. Santos Dumont, 1546 - Fone: 224.7165 - Fortaleza - Ceará