

## Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais

Mathematical modeling to assess the effects of organic waste dumping on sanitary conditions of environmental waters

Cynara de Lourdes da Nóbrega Cunha <sup>1</sup>  
Aldo Pacheco Ferreira <sup>1</sup>

### Abstract

*This article provides an overview of emerging trends in environmental approaches to wastewater management in the developing world. Organic matter present in wastewater is one of the main sources of water pollution. In large amounts it can increase the number of microorganisms and thus the excessive consumption of dissolved oxygen in the metabolic processes of its utilization and stabilization, leading to the disappearance and extinction of aerobic organisms, favoring the appearance of other life forms in anaerobic conditions, often producing toxic residues. The main focus of this article is to analyze the presence of organic matter in urban sewage using a water quality model whose main parameters are dissolved oxygen and biochemical oxygen demand. Wastewater management methodologies can contribute to public health, sanitation, and improved conservation of water resources.*

*Water Quality Model; Sewage; Environment; Sanitation*

### Introdução

A matéria orgânica presente no esgoto é a causa de um dos principais problemas de poluição das águas, favorecendo a transmissão de doenças de veiculação hídrica, afetando a saúde da população. Em grande quantidade pode causar o aumento do número de microrganismos e, conseqüentemente, o consumo excessivo do oxigênio dissolvido (OD) nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Sendo assim, o oxigênio passa a ser um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos e um dos principais indicadores da qualidade da água, indispensável para a manutenção dos organismos aeróbios <sup>1</sup> e para o equilíbrio ambiental como um todo. Em condições normais, as águas constituem ambientes bastante pobres em oxigênio devido à baixa solubilidade. A presença de certos poluentes, principalmente de origem orgânica, provoca a diminuição da concentração de OD, podendo levar ao desaparecimento e, conseqüentemente, à extinção dos organismos aquáticos aeróbios, já que a decomposição da matéria orgânica, pelas bactérias aeróbias, é feita a partir do consumo do OD. Isso indiretamente afeta a sustentabilidade do *habitat*, fonte de alimento e estruturação trófica, considerando que a maior parte dos organismos é substituída por alguns organismos especializados, tolerantes a baixas condições de oxigênio.

<sup>1</sup> Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.

**Correspondência**  
C. L. N. Cunha  
Departamento de Ciências Biológicas,  
Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca,  
Fundação Oswaldo Cruz,  
Rua Leopoldo Bulhões 1480,  
Rio de Janeiro, RJ  
21041-210, Brasil.  
cynara@ensp.fiocruz.br

A matéria orgânica é introduzida nos corpos d'água principalmente por meio do lançamento de esgoto doméstico, podendo estar presente em alguns efluentes industriais ou até mesmo naturalmente, como parte dos ciclos bioquímicos. Geralmente são usados métodos indiretos para a quantificação da matéria orgânica na água, que além da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) utiliza também a Demanda Química de Oxigênio (DQO). DBO e DQO representam as quantidades de oxigênio necessárias à oxidação da matéria orgânica por ação de bactérias aeróbias e por ação de um agente químico, respectivamente; a DBO é o parâmetro mais utilizado. O esgoto doméstico bruto apresenta também altas concentrações de nitrogênio orgânico, com valores que podem variar de 15,0 a 30,0mg N/L. Este nitrogênio é primeiramente mineralizado e posteriormente oxidado, sendo convertido inicialmente na amônia e depois em nitrito e nitrato; vários autores têm apontado para as doenças causadas pela ingestão de água com altas concentrações de nitrato, através das águas de abastecimento<sup>2,3</sup>.

A solução adotada para o despejo de esgoto doméstico é o lançamento, na maioria das vezes sem tratamento prévio, dos efluentes em corpos d'água; a poluição de um rio devido ao lançamento de efluentes não ficará restrita ao trecho do rio onde ocorre o lançamento, mas comprometerá toda a sua bacia hidrográfica, bem como a sua região estuarina onde lança suas águas. A capacidade de autodepuração do corpo d'água é bastante afetada pelas variações de vazão presentes nos lançamentos desses efluentes. Se a mesma quantidade de matéria orgânica é lançada diluída, portanto com vazão menor, é de se esperar uma melhor resposta do corpo d'água. No entanto, existem horas de maior consumo de água e, conseqüentemente, de maior vazão de esgoto, provocando o lançamento de matéria orgânica concentrada, considerando que não haja mecanismos de regularização destes lançamentos. Normalmente os estudos de autodepuração de um rio são feitos com base na vazão média de esgoto, desprezando os efeitos provocados pelos picos de vazão. A autodepuração é o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. O equilíbrio está diretamente relacionado à capacidade do corpo d'água de assimilar os lançamentos, não conflitando com a sua utilização. O estudo dos efeitos das variações de vazão de esgoto sobre a capacidade de autodepuração de um corpo d'água é essencial para criar alternativas técnicas que possam apoiar deci-

sões relacionadas ao desenvolvimento sustentável<sup>4</sup>.

Neste sentido, os modelos de qualidade de água têm sido usados para monitoramento e, principalmente, controle de poluição de corpos d'água. Basicamente, os modelos de qualidade de água consistem em simular as concentrações de substâncias que podem estar dissolvidas, ou em suspensão, ao longo da coluna d'água. Para o cálculo das concentrações são utilizadas as equações de balanço de massa, que podem ser aplicadas para vários contaminantes.

Existem vários modelos de qualidade de água, que vão dos mais completos aos mais simples. Um modelo bastante usado para monitorar e controlar a poluição por esgoto doméstico em corpos d'água, denominado modelo OD-DBO, simula a poluição provocada pelo lançamento de matéria orgânica e a queda dos níveis de oxigênio dissolvido, produzindo um balanço entre as formas de consumo e as fontes de produção do OD.

Este artigo apresenta a avaliação da poluição em um rio provocada pela matéria orgânica presente no esgoto, usando um modelo OD-DBO. Dá-se destaque à modelagem de diferentes tipos de lançamento da carga poluidora, com a apresentação de três tipos de lançamentos, e os efeitos sobre a capacidade de autodepuração do corpo d'água, com base em dois padrões de transporte apresentados pelo corpo receptor; primeiramente apenas a difusão molecular é considerada e posteriormente a advecção e a difusão turbulenta são incluídas.

O modelo de qualidade de água usado pertence ao SisBAHIA® (Sistema de Base Hidrodinâmica Ambiental – <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br>), desenvolvido na Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). A Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/FIOCRUZ) desenvolveu, juntamente com a COPPE, o modelo de qualidade de água acoplado ao SisBAHIA®. Este modelo considera os ciclos do nitrogênio e do fósforo e o balanço de oxigênio<sup>5,6</sup> considerando os seguintes parâmetros: Amônia (C<sub>1</sub>), Nitrato (C<sub>2</sub>), Nitrogênio Orgânico (C<sub>7</sub>), Biomassa de Fitoplâncton (C<sub>4</sub>), DBO (C<sub>5</sub>), OD (C<sub>6</sub>), Fósforo Inorgânico (C<sub>3</sub>), Fósforo Orgânico (C<sub>8</sub>), Clorofila\_a (C<sub>9</sub>), Temperatura (C<sub>T</sub>), e Salinidade (C<sub>S</sub>). Possibilita, ainda, que os ciclos possam ser resolvidos separadamente; sendo assim, é possível resolver o balanço de oxigênio (modelo OD-DBO), os ciclos do nitrogênio e do fósforo separada-

mente ou em conjunto, incluindo a solução da temperatura e da salinidade.

**Metodologia**

O modelo de qualidade de água do SisBAHIA® apresenta uma descrição euleriana para os termos de transporte; são incluídas também as trocas cinéticas com o meio e as interações entre os parâmetros. Este modelo descreve bem o transporte no campo afastado da fonte; a mistura inicial, no campo próximo, é simplificada a partir de um coeficiente que modela os processos que acontecem nesta região de mistura <sup>5</sup>. As substâncias são interligadas, criando assim um sistema que precisa ser resolvido de forma integrada. Em sua maior parte, as interações são modeladas usando reações de primeira ordem, com coeficientes calculados de forma experimental em laboratórios ou por meio de experimentos de campo, adquirindo valores dentro de uma faixa específica.

As fontes ou sumidouros de massa representam as variações de concentrações de cada parâmetro que ocorrem independente do processo de transporte. Estas trocas incluem as reações químicas, físicas e biológicas e as interações que cada substância sofre no corpo d'água, além do ganho ou perda de massa por meio de fontes externas. Neste artigo é usado o termo fonte externa para as trocas que ocorrem por ganho ou perda de massa mediante lançamentos ou absorções, e fonte interna para as variações de massa que ocorrem por reações químicas, físicas e biológicas.

No modelo OD-DBO do SisBAHIA®, usado neste artigo, as incógnitas do balanço de oxigênio são a DBO (C<sub>5</sub>) e o OD (C<sub>6</sub>); no entanto as interações com outras substâncias também são consideradas. Neste caso, a fonte externa é o lançamento de matéria orgânica por efluentes domésticos, e as fontes internas relacionam o balanço entre as formas de consumo e as fontes de produção do OD e da DBO.

**Processos cinéticos**

Os processos cinéticos considerados:

- Para a DBO são incluídos: decaimento, oxidação, desnitrificação e deposição.
- Para o OD são incluídos: reeração, crescimento ou fotossíntese, respiração, nitrificação, oxidação e demanda de oxigênio devido ao sedimento.

A modelagem matemática dos processos cinéticos é obtida segundo as equações:

- DBO (C<sub>5</sub>):

$$\frac{\partial C_5}{\partial t} = K_{1D} C_4 - K_D \Theta_D^{(T-20)} \left( \frac{C_6}{K_{DBO} + C_6} \right) C_5 -$$

$$\frac{V_{S3} (1 - f_{D5})}{H} C_5 - \frac{5}{112} K_{2D} \Theta_{2D}^{(T-20)} \left( \frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2 \quad (1)$$

- OD (C<sub>6</sub>):

$$\frac{\partial C_6}{\partial t} = K_a \Theta_a^{(T-20)} (C_s - C_6) - K_D \Theta_D^{(T-20)} \left( \frac{C_6}{K_{DBO} + C_6} \right) C_5 -$$

$$\frac{64}{14} K_{12} \Theta_{12}^{(T-20)} \left( \frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1 - \frac{32}{12} K_{1R} \Theta_{1R}^{(T-20)} C_4 +$$

$$G_{PI} \left( \frac{32 + 48}{12} (1 - P_{NH3}) \right) C_4 - \frac{SOD}{H} \Theta_S^{(T-20)} \quad (2)$$

Onde:

- *K<sub>1D</sub>*: coeficiente de decaimento da biomassa (/dia);
- *K<sub>D</sub>*: coeficiente de desoxigenação em 20°C (/dia);
- *Θ<sub>D</sub>*: coeficiente de temperatura para a desoxigenação;
- *C<sub>4</sub>*: concentração de biomassa (mg N/L);
- *K<sub>DBO</sub>*: metade da constante de saturação para oxidação da DBO (mg O<sub>2</sub>/L);
- *V<sub>S3</sub>*: velocidade de deposição de substância orgânica (m/dia);
- *f<sub>D5</sub>*: fração de DBO dissolvido na coluna d'água;
- *K<sub>2D</sub>*: coeficiente de desnitrificação em 20°C (/dia);
- *Θ<sub>2D</sub>*: coeficiente de temperatura para desnitrificação;
- *K<sub>NO3</sub>*: metade da constante de saturação limitado pelo OD (mg N/L);
- *C<sub>2</sub>*: concentração de nitrogênio nitrato (mg N/L);
- *K<sub>a</sub>*: coeficiente de reeração em 20°C (/dia);
- *Θ<sub>a</sub>*: coeficiente de temperatura para a reeração;
- *C<sub>s</sub>*: concentração de saturação do OD (mg/L);
- *K<sub>12</sub>*: coeficiente de nitrificação em 20°C (/dia);
- *Θ<sub>12</sub>*: coeficiente de temperatura para a nitrificação;
- *K<sub>NIT</sub>*: constante de saturação para OD limitado pela nitrificação (mg O<sub>2</sub>/L);
- *C<sub>1</sub>*: concentração de nitrogênio amônia (mg N/L);
- *G<sub>PI</sub>*: taxa de crescimento (/dia);
- *P<sub>NH3</sub>*: termo de referência da amônia;
- *K<sub>1R</sub>*: coeficiente de respiração da biomassa em 20°C (/dia);
- *Θ<sub>1R</sub>*: coeficiente de temperatura para a respiração da biomassa;
- *SOD*: demanda de oxigênio no sedimento (g/mg dia);

- $\Theta_s$ : coeficiente de temperatura para o SOD; e
- T: temperatura da água (°C).

### Fontes externas

As fontes externas são oriundas de descarga de efluentes domésticos ou não; estas fontes introduzem matéria orgânica no corpo d'água, parametrizada na forma de DBO, alterando o balanço de oxigênio. Assim como a maioria dos modelos existentes, o SisBAHIA® está adaptado para resolver fontes pontuais, desconsiderando os feitos das fontes não-pontuais ou difusas. No entanto, por meio da imposição das condições de contorno adequadas nas fronteiras água-terra, é possível simular o lançamento deste tipo de fonte. Outra característica do SisBAHIA® é a possibilidade de considerar as variações temporais para as fontes pontuais. Neste caso, as fontes podem ser permanentes ou não-permanentes, modeladas a partir de uma variável chamada intensidade da fonte. Considerando  $\Delta t$  o intervalo de tempo,  $S$  o fator de diluição,  $C_e$  a concentração do contaminante emitido pela fonte e  $C$  a concentração do contaminante no corpo d'água, pode-se definir a intensidade da fonte como 7:

$$I = \frac{(C_e - C)}{\Delta t \times S} \quad (3)$$

Para cada fonte e para cada parâmetro do modelo de qualidade de água é necessário definir: a concentração do contaminante emitido pela fonte,  $C_e$ , o fator de diluição,  $S$  e a posição da fonte dentro do domínio modelado. O intervalo de tempo  $\Delta t$  é o mesmo usado pelo modelo durante as simulações. O fator de diluição não varia com o tempo, podendo ser escrito como 8:

$$S = \frac{V_c}{V_e} = \frac{V_c}{|Q_e| \Delta t} \quad (4)$$

onde  $V_c$  é o volume de diluição no chamado campo próximo da fonte,  $V_e$  é o volume do efluente e  $Q_e$  é a vazão de emissão da fonte, em módulo. A definição deste fator é essencial, considerando que o modelo de qualidade de água do tipo euleriano deve ser aplicado para o campo afastado da fonte e não para o campo próximo.

A concentração de emissão da fonte pode ser permanente ou não, dependendo do tipo de fonte especificada. Os tipos de fontes externas do modelo de OD-DBO do SisBAHIA® são:

- Fonte permanente: considera a mesma concentração de emissão da fonte durante toda a simulação (tipo 1) e

- Fonte não-permanente ou variável: a concentração de emissão da fonte varia ao longo da simulação. Neste caso, o modelo trabalha com dois tipos: (a) emissão da fonte é permanente durante um período da simulação (tipo 2) e (b) o modelo assume uma variação periódica (tipo 3).

Na fonte tipo 1, a concentração de emissão é mantida constante durante a simulação, não podendo ocorrer variações na intensidade da fonte. No caso da fonte tipo 2, a concentração é permanente durante um período de simulação; fora deste intervalo, a concentração de emissão é nula. Neste caso deverá ser fornecida pelo usuário a concentração de emissão, hora inicial e final da emissão. Estas variações serão repetidas durante todos os dias de simulação. Para a fonte tipo 3, onde se considera uma variação periódica de 24 horas, deve-se fornecer a concentração de emissão máxima ( $C_{e,max}$ ) e concentração de emissão mínima ( $C_{e,min}$ ).

### Resultados

O planejamento e a gestão de um corpo d'água passam, obrigatoriamente, pela caracterização e definição de qual a melhor estratégia de lançamento de esgoto capaz de atender aos níveis de exigência correspondentes, gerando condições técnicas que possam apoiar decisões relacionadas à gestão deste recurso. Dentro deste contexto, como um exercício, o modelo de qualidade de água do SisBAHIA®, especificamente o módulo OD-DBO, foi aplicado em um trecho de rio, onde ocorre o lançamento de esgoto doméstico, caracterizado por uma fonte pontual de DBO; o rio é representado por um canal alinhado com o eixo  $x$ , com comprimento total de 2.850,0m, 500,0m de largura e 3,0m de profundidade.

Com o objetivo de estudar os efeitos sobre a capacidade de autodepuração do corpo d'água, a partir do padrão de transporte apresentado pelo corpo receptor, foram desenvolvidos dois padrões: no primeiro a velocidade é nula; o destaque são as reações cinéticas e a possibilidade de estudar somente o efeito da difusão molecular em pequena escala, já que não há transporte advectivo. No segundo padrão desenvolvido há o somatório do transporte advectivo e difusivo, com a água escoando no canal com velocidade  $U$  constante e igual a 0,3m/s. Outro objetivo é a modelagem de diferentes tipos de lançamento da carga poluidora, considerando fontes pontuais permanentes e não-permanentes. Neste sentido, para cada padrão de transporte foi implementado diferentes tipos de fontes. As simulações foram realizadas

durante 10 dias, com intervalo de tempo,  $\Delta t$ , de 150 segundos.

O fator de diluição, outra variável a ser definida para a fonte pontual, permanece constante durante o intervalo de simulação; em todas as simulações foi usado um fator de diluição igual a 10. Finalmente é necessário fornecer ao modelo condições iniciais para os parâmetros envolvidos no modelo OD-DBO: amônia,  $C_1$ , nitrato,  $C_2$  e Biomassa,  $C_4$ , mesmo considerando que as suas concentrações permanecem constantes ao longo da simulação, e para os parâmetros modelados, OD,  $C_6$  e DBO,  $C_5$ . Os valores assumidos referem-se às condições usuais encontradas em um rio:  $C_1(x,0) = 0,50\text{mg N/L}$ ,  $C_2(x,0) = 2,00\text{mg N/L}$ ,  $C_4(x,0) = 0,00\text{mg N/L}$ ,  $C_5(x,0) = 0,00\text{mg O}_2\text{/L}$ ,  $C_6(x,0) = 8,33\text{mg/L}$ . Os demais parâmetros usados na simulação numérica são:  $K_{1D} = 0,02/\text{dia}$ ,  $K_D = 0,15/\text{dia}$ ,  $K_{DBO} = 0,50\text{ mg O}_2\text{/L}$ ,  $V_{S3} = 0,00\text{m/dia}$ ,  $F_{D5} = 0,50$ ,  $K_{2D} = 0,09/\text{dia}$ ,  $K_{NO3} = 0,10\text{mg N/L}$ ,  $K_a = 0,70/\text{dia}$ ,  $K_{12} = 0,02/\text{dia}$ ,  $K_{NIT} = 0,30\text{mg O}_2\text{/L}$ ,  $G_{PI} = 2,30/\text{dia}$ ,  $K_{1R} = 0,16/\text{dia}$ ,  $SOD = 0,50\text{g/mg dia}$  e  $T = 25,00^\circ\text{C}$ .

As Figuras 1 e 2 mostram as concentrações de emissão da fonte considerando os tipos de fonte implementados. Pode-se observar que quando se considera o rio com velocidade igual

a 0,3m/s que as concentrações de emissão, para as fontes tipo 2 e tipo 3, não-permanentes, possuem comportamento cíclico, apresentado picos de concentração; a fonte tipo1, permanente, não apresenta variação na concentração de emissão. Neste caso a matéria orgânica lançada é toda levada para fora do trecho modelado.

Observando a Figura 2, que considera o corpo d'água receptor com velocidade nula, nota-se que a matéria orgânica fica acumulada na região de emissão da fonte, com o mesmo comportamento cíclico observado no caso anterior. Em todos os casos simulados, a massa lançada durante os 10 dias de simulação é a mesma.

A Figura 3 apresenta as concentrações de DBO nas estações de controle ao longo do canal, para uma velocidade igual a 0,3m/s. As estações de controle estão localizadas a jusante do ponto de lançamento: a estação 1 a 725,0m, a estação 2 a 1725,0m e a estação 3 a 2575,0m. Observando os resultados obtidos pelo modelo, nota-se que o padrão emissão das concentrações é reproduzido ao longo do canal, apenas com atenuações nos valores.

Na estação 1, localizada próxima à fonte, as concentrações são maiores que na estação 3, mais afastada da fonte, mantendo-se o mesmo

Figura 1

Concentração de demanda bioquímica de oxigênio na fonte considerando os três tipos de emissão em um canal com velocidade permanente de 0,3m/s.

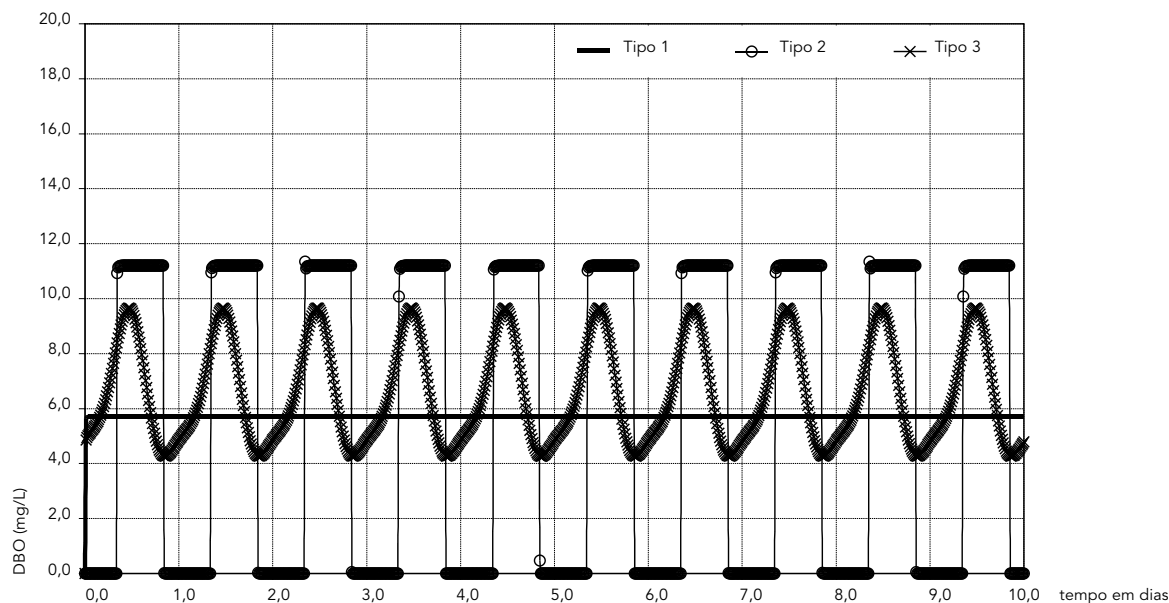


Figura 2

Concentração de demanda bioquímica de oxigênio na fonte considerando os três tipos de emissão em um canal com velocidade nula.

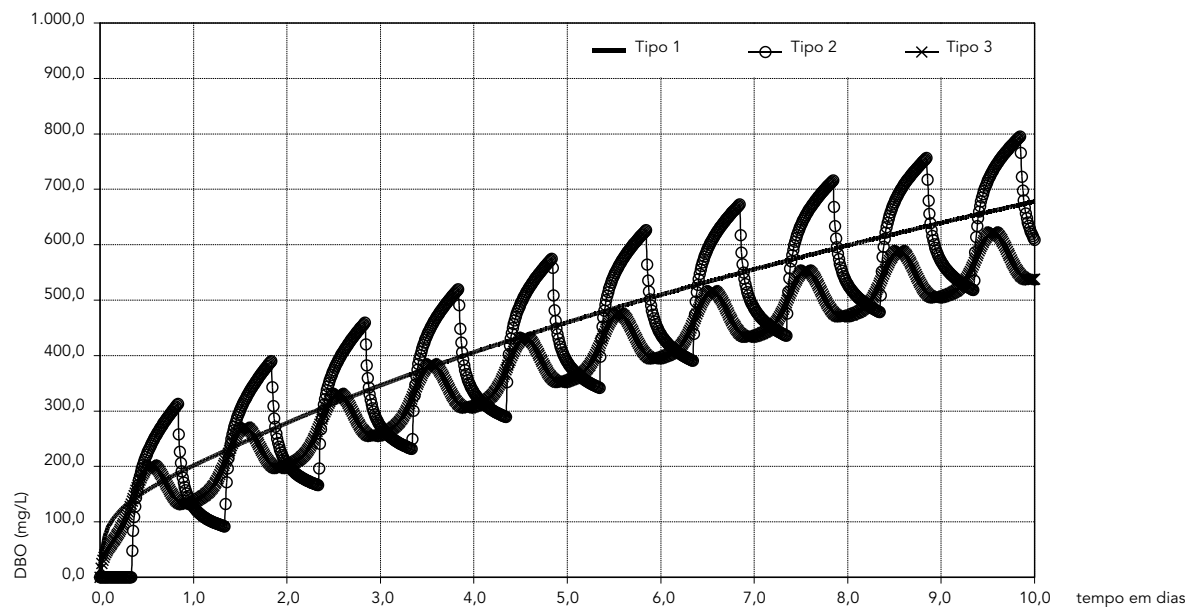


Figura 3

Concentração de demanda bioquímica de oxigênio nas estações de controle 1, 2 e 3 do canal, para uma velocidade igual a 0,3m/s, para as três fontes tipo 1, tipo 2 e tipo 3.

Figura 3a

Estação de controle 1.

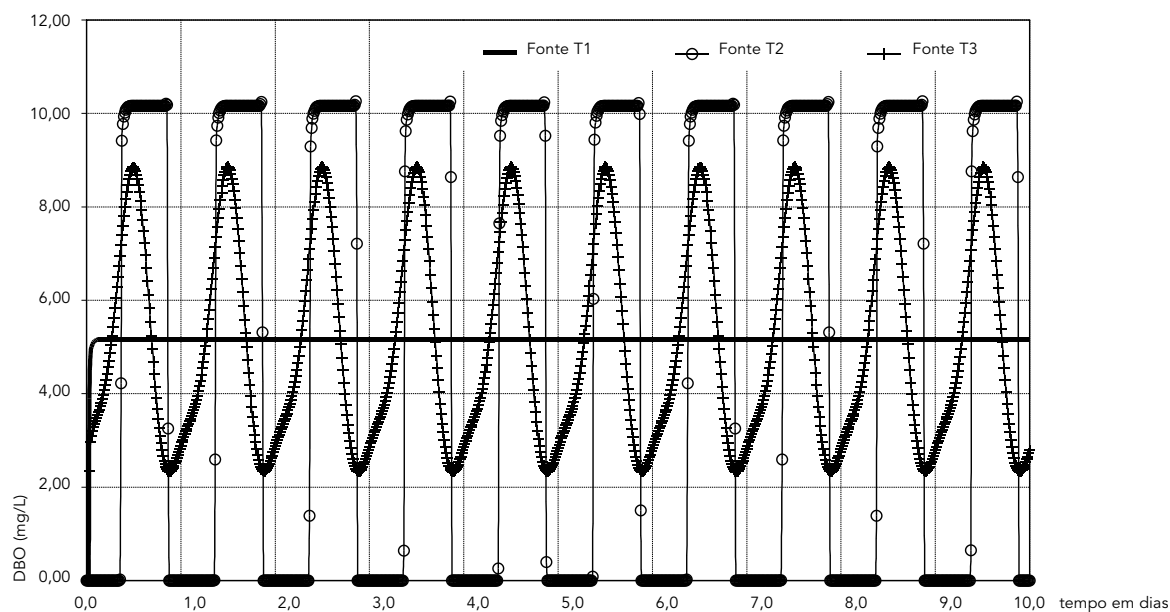


Figura 3b

Estação de controle 2.

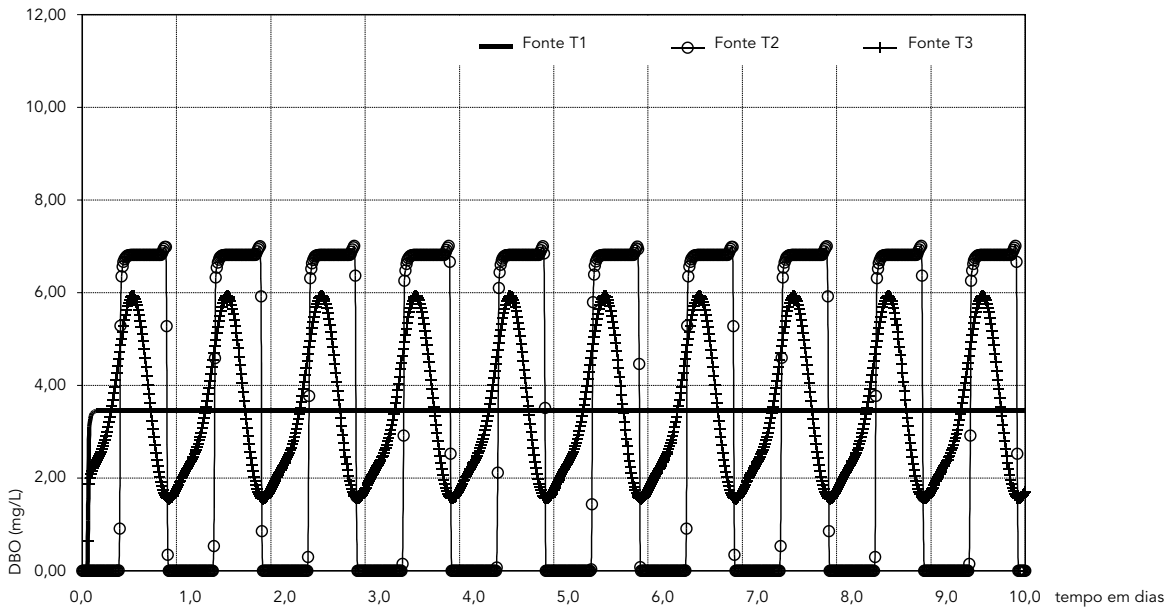
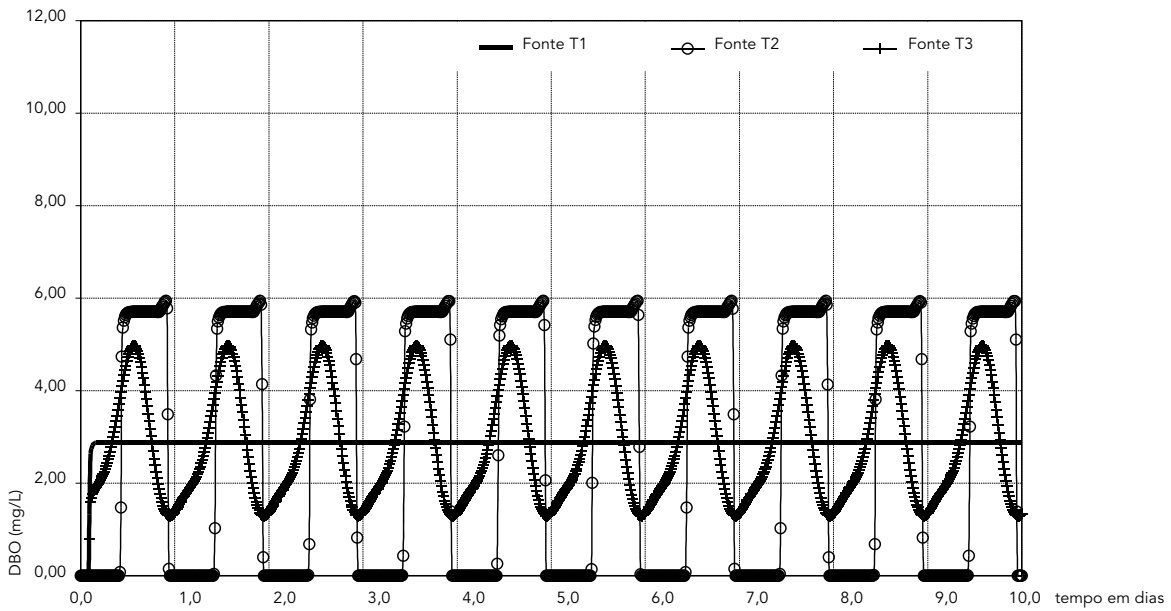


Figura 3c

Estação de controle 3.



padrão. No caso da fonte tipo 1, permanente, não se verifica “picos” de concentração. No caso da fonte tipo 2, os “picos” são maiores do que na fonte tipo 3. A presença dos “picos” nos valores da concentração para as fontes não-permanentes mostra que as flutuações de vazões existentes nos processos de tratamento e lançamento de esgoto podem comprometer bastante a capacidade de autodepuração do rio. Nos casos modelados, a quantidade de matéria orgânica é a mesma, no entanto, as concentrações de DBO podem apresentar valores duas vezes maiores. Como o canal estudado é curto, todas as observações são pertinentes à região próxima à fonte. Na Figura 4 onde o canal possui velocidade igual a 0,3m/s, pode-se observar o efeito do transporte advectivo sobre a dispersão da fonte, com a formação da pluma. Neste sentido, pouca variação da forma da pluma é observada para os diferentes tipos de fonte.

Quando se observa o parâmetro OD, nota-se que a advecção provoca um espalhamento

da matéria orgânica por todo o canal, provocando a extinção do oxigênio dissolvido, criando um meio anaeróbico na região próxima à fonte (Figura 5). Quando somente há a difusão molecular, ocorre um menor espalhamento da matéria orgânica e, portanto, os níveis de oxigênio são preservados nesta região.

### Discussão e conclusões

A caracterização da qualidade da água pode ser representada por meio de parâmetros, que traduzem o seu nível de contaminação. Os parâmetros escolhidos para o monitoramento devem considerar a sua utilização: para abastecimento d'água, caracterização de águas residuárias e caracterização ambiental dos corpos d'água receptores<sup>4</sup>. Neste presente trabalho, o interesse é pela caracterização da água nos corpos d'água receptores; sendo assim, os parâmetros que devem ser observados são os nu-

Figura 4

Distribuição espacial das concentrações de demanda bioquímica de oxigênio no canal, para uma velocidade igual a 0,3m/s, para as três fontes tipo 1, tipo 2 e tipo 3.

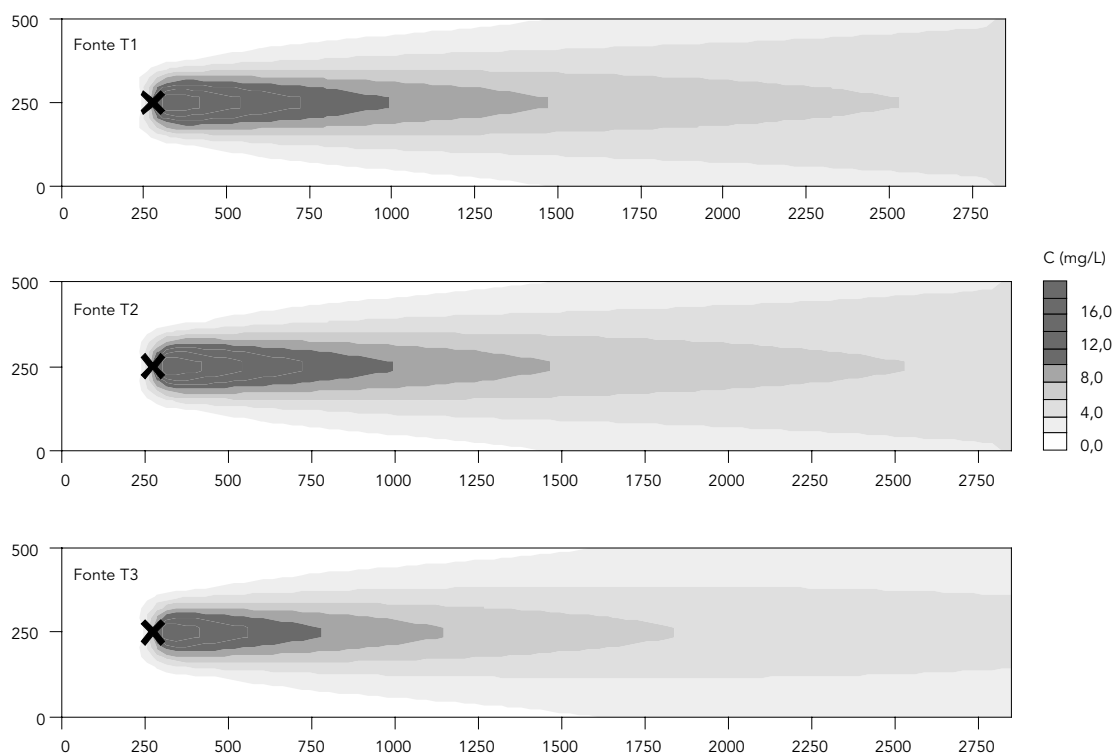
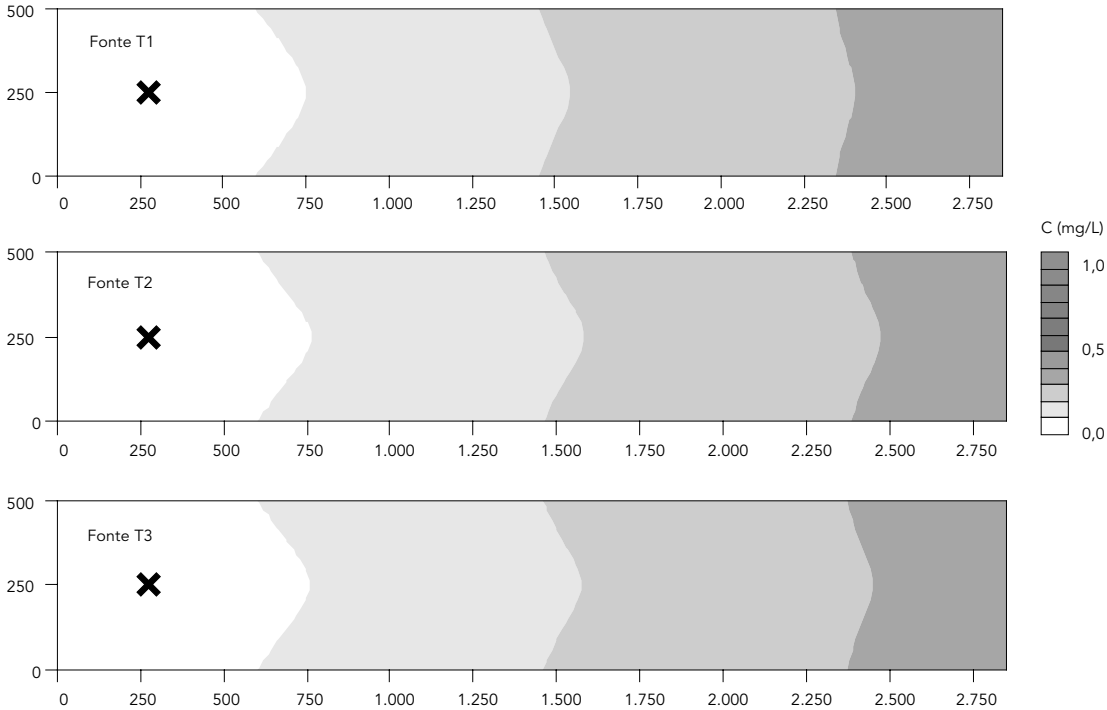




Figura 5

Distribuição espacial das concentrações de oxigênio dissolvido no canal, para uma velocidade igual a 0,3m/s, para as três fontes tipo 1, tipo 2 e tipo 3.



trientes (fósforo e nitrogênio), o teor de matéria orgânica, oxigênio dissolvido, pH, cor, turbidez e temperatura. Neste sentido, a utilização de modelos OD-DBO para o monitoramento ambiental desses corpos d'água é relevante e apropriada, considerando que a matéria orgânica lançada por esgotos domésticos provoca um desequilíbrio no balanço de oxigênio, favorecendo a presença de compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) a partir do nitrogênio orgânico presente no esgoto. Cerca de 1/4 do oxigênio consumido pela matéria orgânica é usado para estabilizar os compostos nitrogenados.

O restabelecimento do equilíbrio do meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, passa, obrigatoriamente, pela definição da predominância do tipo de transporte, advectivo ou difusivo, e como e quando a carga poluidora é lançada. O equilíbrio está diretamente relacionado à capacidade do corpo d'água de assimilar os lançamentos, gerando condições favoráveis de utilização. Neste contexto, o

estudo dos efeitos das variações de vazão de esgoto sobre a capacidade de autodepuração de um corpo d'água é importante para a definição de qual a capacidade que um determinado rio tem de absorver uma carga poluidora. Esta afirmação é válida quando se verifica o uso de corpos d'água como parte integrante dos processos de tratamento e remoção de cargas orgânicas.

Usando a DBO e o OD como parâmetros para avaliar a poluição das águas provocada pela matéria orgânica presente no esgoto, e por meio dos resultados numéricos obtidos pelo modelo OD-DBO, pode-se obter algumas considerações. Em relação ao tipo de fonte, os resultados mostram que as fontes permanentes são melhores para capacidade de autodepuração do corpo d'água, apresentando menores valores de concentração e distribuições homogêneas. As fontes não-permanentes, independente do tipo de variação, apresentam instantes com concentrações elevadas, dificultando a capacidade de regeneração do rio. Quanto ao melhor

local para o lançamento do esgoto, os resultados mostram que quando se observa a DBO como parâmetro, a presença do transporte advectivo favorece muito a autodepuração; quando há apenas difusão molecular, cria-se uma zona, próxima à fonte, com valores altíssimos de concentração, gerando condições adversas para o meio aquático; a matéria orgânica não “espalha”, ficando retida próxima à fonte.

O teor de oxigênio dissolvido é uma das mais importantes medidas da qualidade da água, ao intervir em muitas reações químicas e biológicas da dinâmica do ecossistema e, por ser indispensável ao metabolismo respiratório de grande parte dos seres vivos. Entra na água por meio de trocas com a atmosfera e da fotossíntese aquática. Observando o OD como parâmetro de qualidade, para uma condição com apenas difusão molecular, o canal rapidamente volta à condição de saturação, já que a matéria orgânica fica retida na região próxima à fonte. Com a presença do transporte advectivo, a matéria orgânica é “espalhada” no canal e, conseqüentemente, há o consumo do oxigênio dissolvido em toda a extensão do canal, como pode ser observado na Figura 5, independente do tipo de fonte.

Finalmente, pode-se considerar que os picos de vazão são danosos para os corpos d'água, quando o parâmetro observado é a DBO, principalmente nos canais onde o transporte advectivo é significativo. Observando a natureza da fonte, nota-se que para o parâmetro OD não há qualquer variação em relação ao tipo de fonte. Se a fonte é permanente ou não, os níveis de OD pouco são alterados. Somente há variação quando se considera a presença ou não do transporte advectivo no corpo d'água. Todas as considerações feitas sobre o espalhamento da DBO e do OD podem ser aplicadas para os compostos nitrogenados, considerando que estes

compostos apresentam o mesmo padrão de dispersão da DBO e do OD, divergindo apenas nas parcelas referentes aos processos cinéticos. Neste sentido, pode-se concluir que a poluição das águas provocada pela matéria orgânica presente no esgoto pode ser modelada a partir de parâmetros indicativos, no caso DBO e OD.

O principal uso do modelo de qualidade de água é simular parâmetros de qualidade em corpos d'água. Neste sentido, a simulação dos parâmetros de qualidade de água em rios sujeitos ao lançamento de esgoto doméstico é relevante, no que se refere à utilização desta água pelos seus usuários. Considerando os resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo mostrou-se capaz de simular o transporte de contaminantes em rios, gerando resultados consistentes e mostrando, assim, toda a sua potencialidade no monitoramento ambiental. Vale lembrar que esta aplicação representa um primeiro estágio no processo de monitoramento, usando modelos de qualidade de água em rios ou baías.

Os resultados numéricos obtidos pelo modelo OD-DBO mostram que as fontes permanentes são melhores para capacidade de autodepuração do corpo d'água, apresentando menores valores de concentração e distribuições homogêneas. Esta aplicação representa um exercício teórico, importante no processo de controle de poluição hídrica, considerando que os mecanismos de tratamento e lançamento de efluentes podem ou não contar com uma regularização de vazões de emissão. Para estruturas que não são capazes de retirar as flutuações da hora de maior consumo, o modelo mostrou resultados que podem auxiliar na escolha de onde e quando lançar a carga poluidora, como objetivo de obter uma melhor eficiência na capacidade de autodepuração do rio.

## Resumo

*O objetivo deste artigo é fazer uma avaliação das tendências emergentes em ações ambientais na administração de efluentes sanitários. A matéria orgânica presente no esgoto é a causa de um dos principais problemas de poluição das águas, favorecendo a transmissão de doenças de veiculação hídrica, afetando a saúde da população. A matéria orgânica em grande quantidade provoca o aumento do número de microrganismos e, conseqüentemente, o consumo excessivo do oxigênio dissolvido nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica, levando ao desaparecimento e a extinção dos organismos aquáticos aeróbios, favorecendo o surgimento de outras formas*

*de vida no meio anaeróbio, por vezes produzindo resíduos tóxicos. O foco principal deste artigo é discutir a dispersão da matéria orgânica no esgoto no ambiente urbano usando um modelo de qualidade de água, com parâmetros principais o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio. Discute-se, ainda, metodologias de lançamento de esgoto que podem contribuir à saúde pública, ao saneamento e à melhoria de conservação dos recursos hídricos.*

*Modelo de Qualidade da Água; Águas Residuárias; Meio Ambiente; Saneamento*

## Colaboradores

C. L. N. Cunha participou de todas as etapas de desenvolvimento do artigo e A. P. Ferreira contribuiu na idealização do artigo, na discussão e interpretação dos resultados e na revisão do texto.

## Referências

1. Mota S. Introdução à engenharia ambiental. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária; 2003.
2. Freitas MB, Brilhante OM, Almeida LM. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cad Saúde Pública* 2001; 17:651-60.
3. Alaburda J, Nishihara L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. *Rev Saúde Pública* 1998; 32:160-5.
4. Von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.
5. Cunha CLN, Monteiro T, Rosman PCC. Modelagem bidimensional de transporte de escalares não-conservativos em corpos d'água rasos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 2002; 7:120-9.
6. Cunha CLN, Rosman PCC, Monteiro T. Avaliação da poluição em rios usando modelagem computacional. *Eng Sanit Ambient* 2003; 8:126-35.
7. Rosman PCC. Referência técnica do SisBAHIA, Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental. Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia; 2000.
8. Botafogo F, Pereira A. Disposição oceânica de esgotos, história, teoria e prática. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária; 1997.

---

Recebido em 17/Mai/2005

Versão final reapresentada em 15/Dez/2005

Aprovado em 19/Dez/2005