



IV-104 - PERSPECTIVAS E LIMITAÇÕES DO PROCESSO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS A PARTIR DO EMPREGO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE AUTODEPURAÇÃO EM RIOS

José Antonio Tosta dos Reis

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Anna Paula Lage Ribeiro

Graduada do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Juliana Pereira Louzada

Graduada do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Adriana de Oliveira Pereira dos Reis

Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Jacqueline Rogéria Brighenti

Doutora em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo. Professora da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Endereço: Instituto Federal do Espírito Santo. Avenida Vitória, 1729, Jucutuquara, Vitória, ES. CEP: 29.040-780. Tel.: (27) 3331-2237.

RESUMO

A capacidade de autodepuração de um rio deve condicionar a determinação dos níveis mínimos de tratamento que devem ser aplicados aos efluentes brutos, de tal forma que os padrões de qualidade no curso d'água sejam conservados. Os modelos de qualidade de água, por sua vez, constituem a ferramenta tecnológica mais recorrentemente empregada para a avaliação da capacidade de autodepuração dos cursos d'água. Este trabalho teve por objetivo avaliar as perspectivas e limitações da aplicação de um modelo matemático de qualidade de água no processo de avaliação das eficiências mínimas de plantas de tratamento de esgotos. As diferentes simulações realizadas indicaram que as considerações assumidas quando do emprego dos modelos matemáticos de qualidade de água podem afetar de maneira significativa a seleção das plantas de tratamento, uma vez que a definição dos processos simulados afeta diretamente o entendimento da capacidade de assimilação dos despejos pelo corpo d'água.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgotos, OD, DBO, modelo matemático de qualidade de água, rio Piracicaba.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O fenômeno de autodepuração pode ser definido como o conjunto de processos físicos, químicos e bioquímicos, essencialmente naturais, que buscam o restabelecimento do equilíbrio meio aquático, após alterações produzidas pelos despejos afluentes.

O conceito de autodepuração, no entanto, apresenta a mesma relatividade que o conceito de poluição: um corpo d'água pode apresentar-se depurado a partir da observação, por exemplo, dos níveis de OD, mesmo que ainda apresente elevadas concentrações de microrganismos patogênicos, compostos de nitrogênio ou micropoluentes inorgânicos. Desta forma, habitualmente considera-se que um corpo d'água está depurado quando suas características de qualidade são adequadas aos usos que lhe são associados.

Segundo Von Sperling (1995), o conhecimento e a quantificação do fenômeno de autodepuração são importantes para que se possa a) utilizar a capacidade de assimilação dos rios e b) impedir o lançamento de despejos acima da capacidade de assimilação dos cursos d'água. Até um determinado limite, os cursos d'água podem assimilar os despejos afluentes sem comprometimentos do ponto de vista ambiental.



A capacidade de autodepuração que, em última análise, deve ser entendida como um recurso natural, acaba condicionando a determinação dos níveis mínimos de tratamento que devem ser aplicados aos efluentes brutos, de tal forma que os padrões de qualidade nos cursos d'água sejam conservados. Os modelos de qualidade de água, por sua vez, constituem a ferramenta tecnológica mais recorrentemente empregada para a avaliação da capacidade de autodepuração dos cursos d'água.

Este trabalho tem por objetivo avaliar as perspectivas e limitações da aplicação de um modelo matemático de qualidade de água no processo de avaliação das eficiências mínimas de plantas de tratamento de esgotos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

As simulações computacionais realizadas neste trabalho consideram as características hidrodinâmicas e de qualidade de água da porção final do Rio Piracicaba.

Na bacia do Rio Piracicaba predominam as atividades mineradoras e as indústrias de transformação do ramo siderúrgico. Também são encontradas indústrias ligadas ao ramo de minerais não-metálicos, de produtos alimentares, mobiliário, vestuário e madeira. Outra atividade que merece destaque na região é a silvicultura, apresentando grandes áreas de reflorestamento, principalmente nas proximidades das usinas siderúrgicas.

Como consequência da vocação industrial, vários município de pequeno e médio porte se estabeleceram ao longo das margens do Rio Piracicaba e de seus afluentes, estabelecendo a poluição por esgotos domésticos como um principais problemas a serem enfrentados na bacia hidrográfica.

Registros de disponibilidade hídrica e de qualidade de água

As condições críticas quanto à qualidade da água de qualquer manancial superficial normalmente acontecem nos períodos de vazões mínimas. Neste trabalho, para simulação da condição de recessão do curso d' água, foi empregada a vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos (Q7,10).

No rio Piracicaba, a vazão Q7,10 foi avaliada a partir da análise probabilística dos registros de vazão do posto fluviométrico de Acesita. A partir do emprego da distribuição de probabilidade Eventos Extremos Tipo III estimou-se, para o início do trecho simulado, uma vazão Q7,10 de 20,70 m³/s. Adotou-se, adicionalmente, uma vazão incremental de 0,001 l/s.Km, conforme indicações estabelecidas por Von Sperling (2007).

A Tabela 1 reúne as condições de qualidade assumidas para o início do trecho simulado, à montante do lançamento de um efluente com características domésticas, conforme trabalho proposto por Cunha (2005). Para o efluente bruto assumiu-se condição de anaerobiose e DBO de 300 mg/l.

Tabela 1: Condições de qualidade do rio no início do trecho simulado

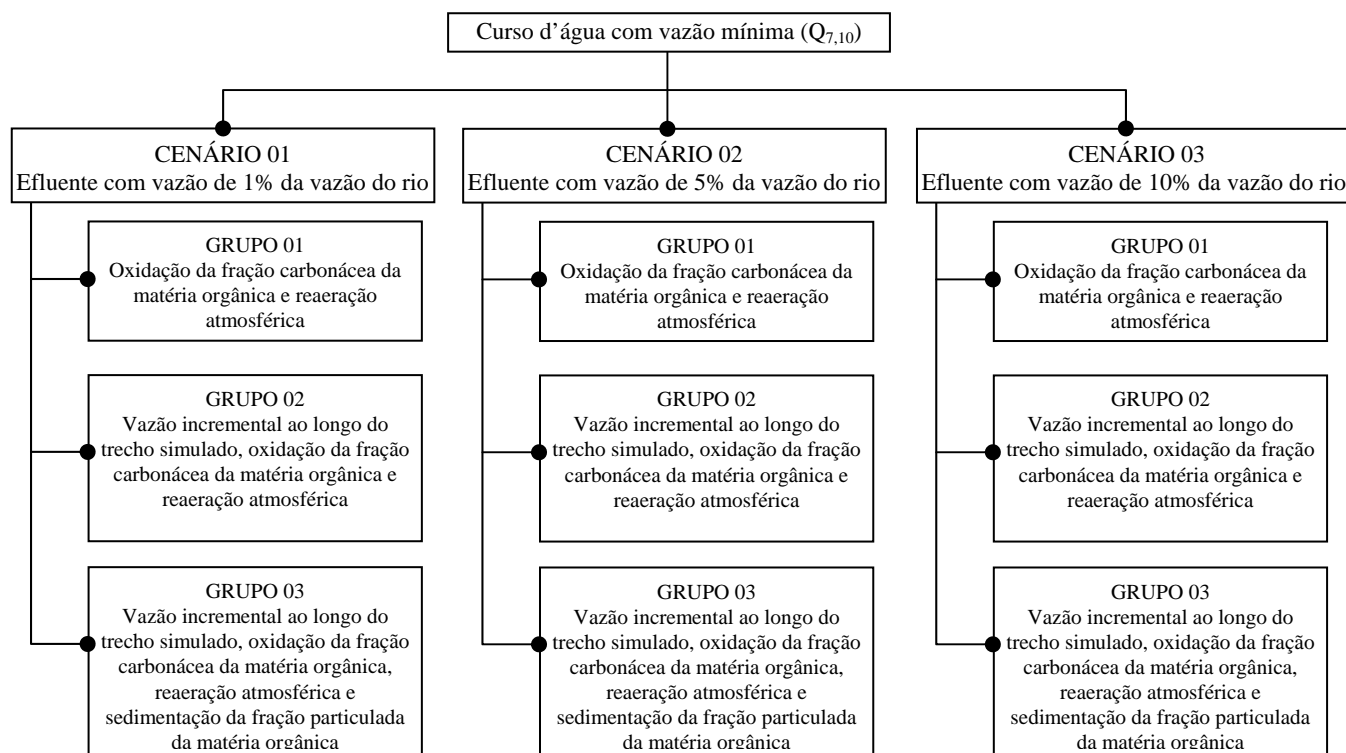
Parâmetro	Unidade	Valor
Oxigênio dissolvido	mg/l	6,80
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/l	2,50
Oxigênio dissolvido de saturação	mg/l	7,60
Temperatura	°C	26,60

Simulações realizadas

A condição de qualidade do rio, caracterizada neste trabalho a partir das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), foi simulada considerando-se diferentes cenários, construídos a partir a) da variação da vazão do efluentes tratado, b) da inclusão de vazão incremental à calha do rio no trecho simulado considerando a entrada de água com diferentes condições de qualidade e c) da seleção dos fenômenos considerados durante o processo de oxidação da matéria orgânica. As diferentes simulações realizadas estão sumarizadas no fluxograma apresentado pela Figura 1.



Figura 1: Simulações computacionais realizadas



Para cada cenário simulado determinou-se a eficiência mínima necessária para uma planta de tratamento que, se implantada, deveria permitir que os níveis de oxigênio dissolvido no rio a jusante do lançamento permanecessem acima do mínimo estabelecido pela resolução Conama no 357/2005 para corpos d'água doce classe 2 (classe à qual pertence o rio piracicaba no trecho simulado). Desta forma, cada grupo de simulações envolve a avaliação do lançamento do efluente bruto e do lançamento do efluente submetido a diferentes níveis de tratamento. As constantes cinéticas envolvidas nas simulações de qualidade de água foram obtidas dos trabalhos de Cunha (2005) e Von Sperling (2007).

Modelo Matemático de Qualidade

Neste trabalho as simulações de qualidade de água foram realizadas com auxílio do modelo computacional QUAL-UFMG, detalhadamente apresentado por Von Sperling (2007).

O modelo QUAL-UFMG, desenvolvido para o ambiente computacional da planilha Microsoft Excel, possibilita a modelagem de rios através da utilização de um modelo baseado no QUAL2-EU, modelo desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e detalhadamente apresentado e discutido por Brown e Barnwell (1987). O QUAL-UFMG torna possível uma simulação rápida e simples das variáveis Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), nitrogênio total e as suas frações, fósforo total e as suas frações e os coliformes termotolerantes.

RESULTADOS OBTIDOS

As condições de qualidade do rio associadas aos diferentes cenários e grupos de simulações estão ilustradas pelas figuras de 2 a 9. Nas figuras de 2 a 7 estão apresentadas as variações de OD e DBO para os diferentes cenários considerados neste trabalho, considerando-se o lançamento de um efluente bruto e apenas os fenômenos de oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica. As Figuras 8 e 9, por sua vez, representam o comportamento das concentrações de OD e DBO, considerando-se o lançamento de um efluente com vazão tratado com vazão de 5% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba, eficiência mínima necessária à manutenção dos padrões de qualidade do curso d'água e simulações que consideraram a adição de vazão incremental ao longo do trecho simulado, oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica.



Figura 2: Variações de oxigênio dissolvido considerando o lançamento de um efluente bruto com vazão equivalente a 1% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação dos fenômenos de oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica

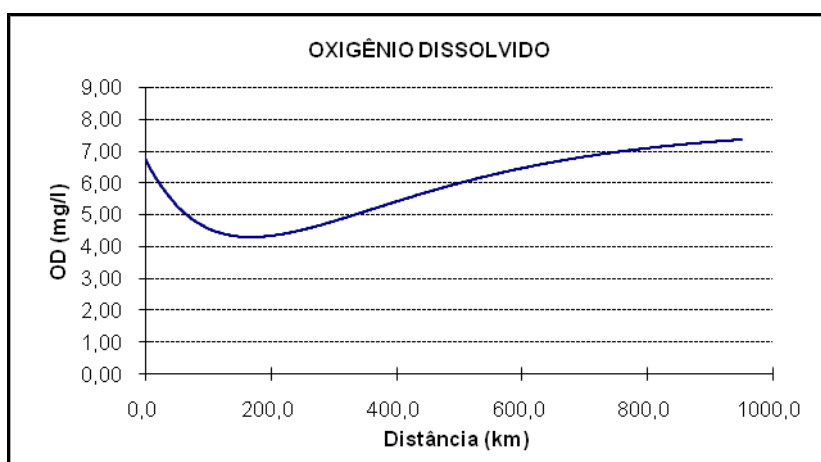


Figura 3: Variações de demanda bioquímica de oxigênio considerando o lançamento de um efluente bruto com vazão equivalente a 1% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação dos fenômenos de oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica

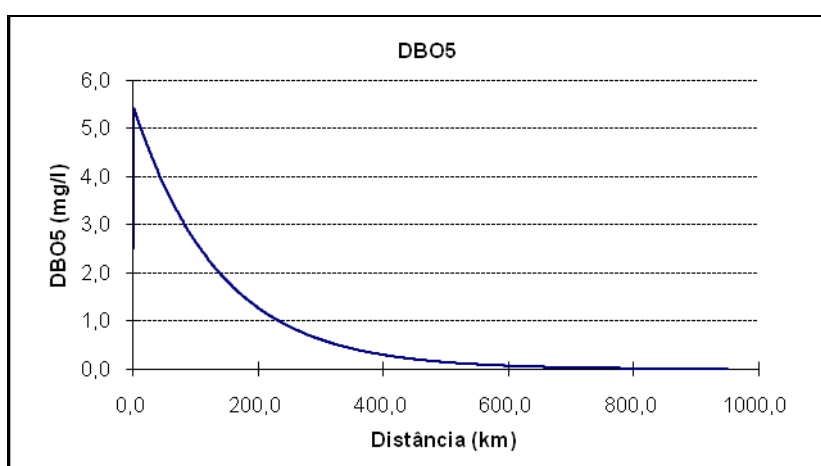




Figura 4: Variações de oxigênio dissolvido considerando o lançamento de um efluente bruto com vazão equivalente a 5% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação dos fenômenos de oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica

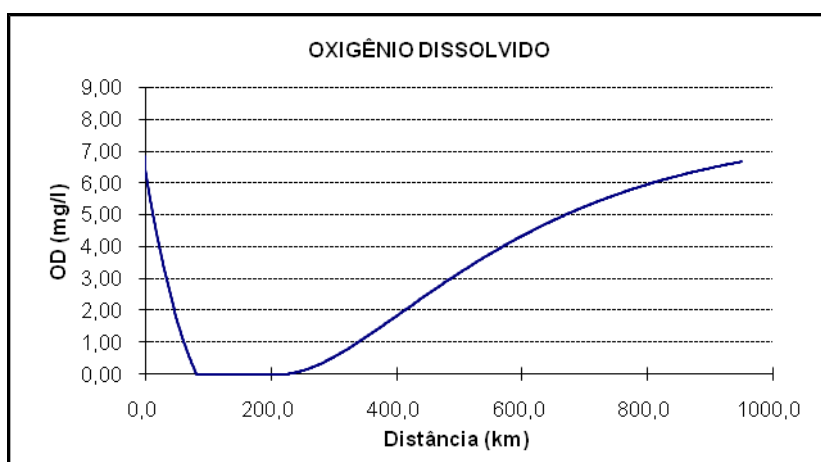


Figura 5: Variações de demanda bioquímica de oxigênio considerando o lançamento de um efluente bruto com vazão equivalente a 5% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação dos fenômenos de oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica

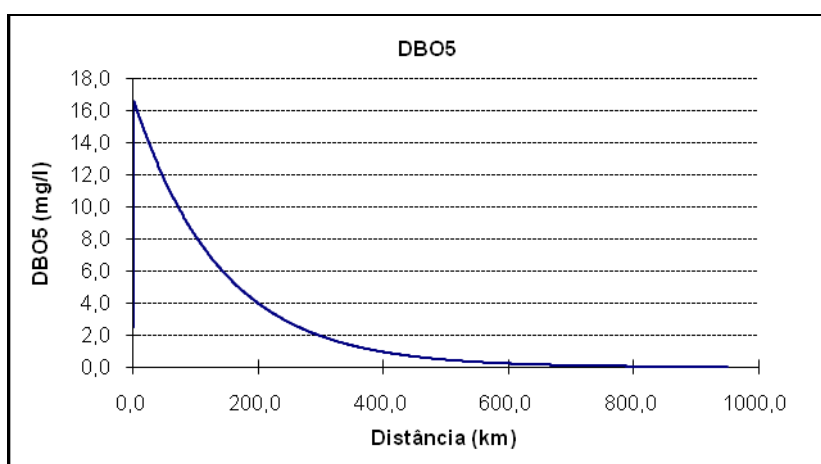




Figura 6: Variações de oxigênio dissolvido considerando o lançamento de um efluente bruto com vazão equivalente a 10% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação dos fenômenos de oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica

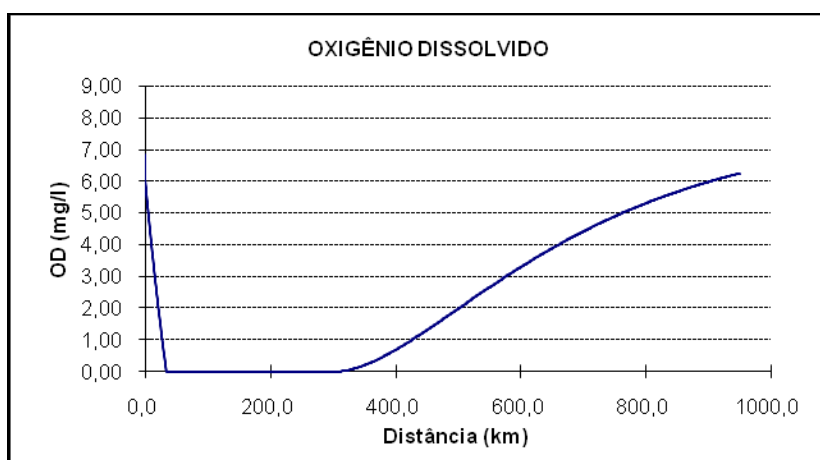


Figura 7: Variações de demanda bioquímica de oxigênio considerando o lançamento de um efluente bruto com vazão equivalente a 10% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação dos fenômenos de de oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica

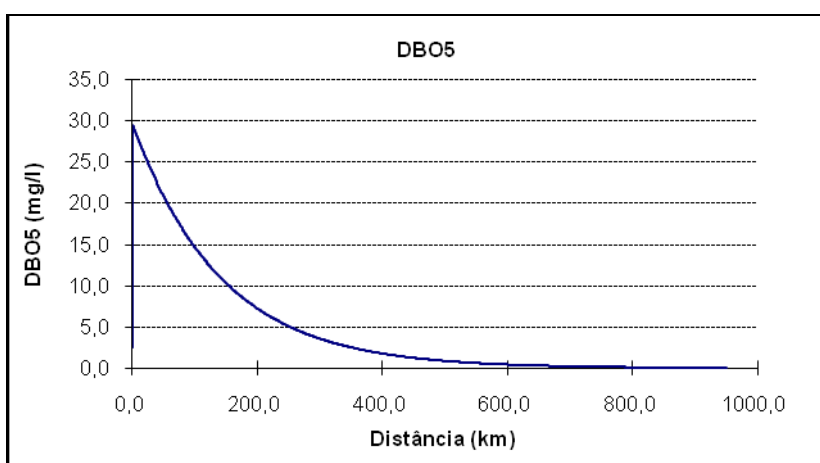




Figura 8: Variações de oxigênio dissolvido considerando o lançamento de um efluente tratado com vazão equivalente a 5% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação considerando a adição de vazão incremental ao longo do trecho simulado e os fenômenos oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica.

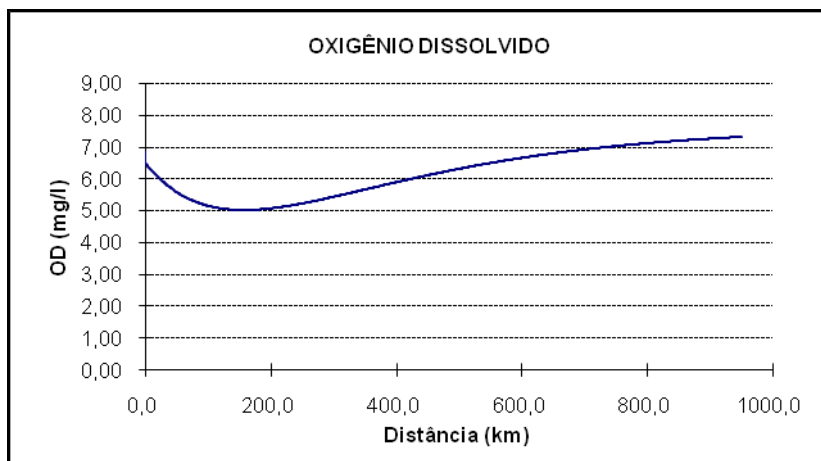
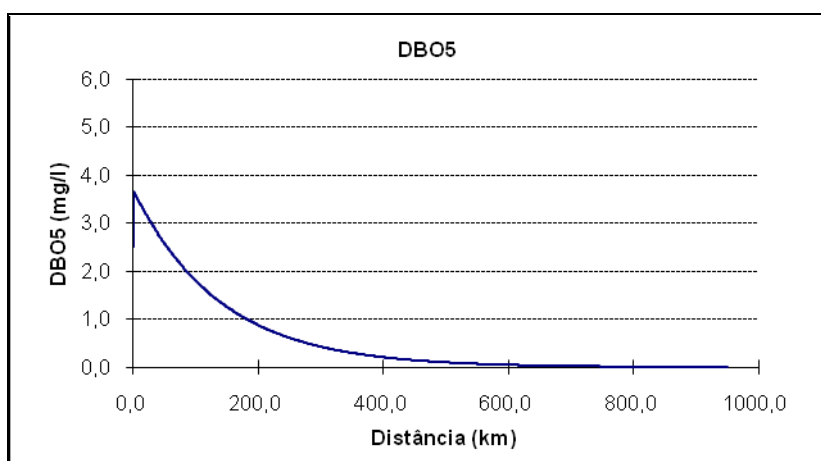


Figura 9: Variações de demanda bioquímica de oxigênio considerando o lançamento de um efluente tratado com vazão equivalente a 5% da vazão $Q_{7,10}$ do rio Piracicaba e a simulação considerando a adição de vazão incremental ao longo do trecho simulado e os fenômenos oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica.



A Tabela 02 reúne, por cenário simulado, as eficiências mínimas que devem ser observadas para a manutenção do padrão de qualidade no rio associado às concentrações de OD.



Tabela 2: Eficiências mínimas de remoção de DBO na planta de tratamento de esgotos(%), por cenário e grupo de simulações, necessárias ao atendimento do padrão do corpo receptor.

Grupo de simulações	Cenário simulado		
	Efluente com vazão de 1% da vazão do rio	Efluente com vazão de 5% da vazão do rio	Efluente com vazão de 10% da vazão do rio
Oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica	49	91	96
Vazão incremental ao longo do trecho simulado, oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e reaeração atmosférica	18	85	94
Vazão incremental ao longo do trecho simulado, oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica, reaeração atmosférica e sedimentação da fração particulada da matéria orgânica	20	86	94

A partir da análise dos resultados produzidos neste trabalho tornam-se relevantes as seguintes considerações:

- Para todos os cenários simulados, a incorporação da possibilidade de diminuição da DBO do corpo d'água por sedimentação, à jusante do ponto de lançamento do efluente, reduziu os níveis de tratamento necessários à manutenção das concentrações mínimas de OD no rio;
- Independentemente do cenário simulado, a incorporação de uma vazão incremental não afetou de maneira significativa os resultados obtidos a partir do segundo grupo de simulações. No entanto, diferentes simulações demonstram que a variação dos níveis de OD e DBO nesta entrada incremental pode afetar de maneira significativa a condição de qualidade do corpo receptor e, por consequência, reduzir a capacidade de assimilação de despejos, elevando os níveis necessários de tratamento;
- A elevação dos níveis de tratamento naturalmente deveriam ocorrer com o aumento da vazão do efluente tratado. No entanto, a consideração de diferentes fenômenos associados ao balanço de OD e de DBO quando da aplicação do modelo, produziu respostas diferentes entre os cenários simulados. As reduções dos níveis mínimos de tratamento foram mais significativas com a incorporação de processos no primeiro cenário simulado, cenário que reúne as menores vazões de efluente.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve por principal finalidade avaliar a influência da manipulação de um modelo matemático de qualidade de água, quando do seu emprego para avaliação dos níveis mínimos de tratamento em plantas de tratamento de esgotos. As diferentes simulações realizadas indicaram que as considerações assumidas quando do emprego dos modelos matemáticos de qualidade de água podem afetar de maneira significativa a seleção das plantas de tratamento, uma vez que a definição dos processos simulados afeta diretamente o entendimento da capacidade de assimilação dos despejos pelo corpo d'água.

Não obstante, a avaliação da resposta dos cursos d'água – objetivo central da aplicação de um modelo matemático de qualidade de água – constitui procedimento que invariavelmente deve ser empregado, quando da seleção dos níveis de tratamento de plantas de tratamento de esgotos que realizam a disposição final dos efluentes tratados em cursos d'água. Desta forma, a adequada seleção e calibração dos modelos matemáticos



de qualidade de água devem constituir tarefas conduzidas com rigor técnico, função das consideráveis somas de investimentos habitualmente envolvidas na implantação de sistemas de tratamento de esgotos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BROWN, L. C. & BARNWELL Jr, T. O. **The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual**. Georgia : USEPA, 1987, 189p.
2. SILVA, Raphaela Cunha da ; SILVA, Fernando das Graças Braga da ; REIS, José Antonio Tosta dos . **Calibração de um modelo de qualidade de água a partir da aplicação da Programação Não-Linear**. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH: São Luis do Maranhão, 2004.
3. VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento dos Esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1995.
4. VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007.