

# Modelagem matemática na gestão ambiental fluvial: simulação dos impactos no sistema receptor de efluentes, para orientar operação de tratamento de esgoto, sujeito a variações meteorológicas transitórias

André Luiz de Lima Reda (UNILINS; CE.UN.IMT; U.P.Mackenzie) – allreda@mackenzie.com.br

## Resumo

*Demonstra-se técnica de modelagem matemática de qualidade de águas fluviais, sujeitas a impactos transitórios, de esgoto descarregado após tormentas, desenvolvida para “sistemas unitários” (esgoto em conjunto com drenagem pluvial, em países frios de desenvolvimento antigo – Hemisfério Norte), útil para nortear, em tempo real, decisões na operação do tratamento desse esgoto. Integrando linha de pesquisa internacional, esta técnica também poderá servir, com ferramentas de otimização, em planejamento e gestão em tempo-real de sistemas fluviais com perturbações transitórias por motivos diversos. Originalmente, não se aplicaria ao Brasil: no fim do século XIX firmou-se no País bem intencionada preferência por coletar esgoto numa rede pública separada da drenagem – esta, sujeita a enxurradas tropicais. Porém, apesar de tal filosofia ainda predominar em projetos, o envelhecimento dos dois sistemas e irregularidades continuamente introduzidas em instalações prediais e públicas têm promovido crescente promiscuidade entre ambos (exemplos: ligações clandestinas, vazamentos subterrâneos) e elevado as vazões conduzidas após tormentas a estações de tratamento a ponto de superarem muito suas capacidades. Assim, a técnica de simulação proposta enseja-se útil na realidade brasileira. Seu emprego é demonstrado num caso realista, com um ranking das alternativas de operação do tratamento baseado em simulações da qualidade fluvial resultante – portanto, visando objetivo ambiental.*

**Palavras-chave:** Simulação matemática da qualidade da água fluvial; Impactos de esgoto em rio; Gestão ambiental de sistema hídrico.

## Abstract

*This paper demonstrates a mathematical modeling technique for fluvial water quality subject to transitory impacts from poured sewage after gales, developed to “unitary systems” (sewage along with rain drainage, in old and cold countries – North Hemisphere), which is useful to guide, in real time, decisions for the treatment operation of this sewage. By integrating an international research line, this technique may also serve, along with optimization tools, to real-time planning and management of fluvial systems with transitory disturbances by several reasons. Originally, it would not be applied to Brazil: at the end of the 19th Century, it was established in the country a well-intended preference for collecting sewage in a public network apart from the drainage – the latter is subject to tropical downpour. However, despite such philosophy being still predominant in projects, the aging of the two systems and irregularities continuously introduced in land and public facilities has been promoting an increasing promiscuity between both of them (examples: illegal connections, underground leaking) and elevated flow rates led after gales towards treatment stations to the extent of having their capacities overflowed. This way, the proposed simulation technique is useful to the Brazilian context. Its employment is demonstrated in a real case, by a ranking of the treatment operation alternatives based on the resulting fluvial quality simulations – therefore, aiming at an environmental objective.*

**Keywords:** Mathematical simulation of the fluvial water quality; Impacts of the sewage on rivers; Hydric system environmental management.

## 1. INTRODUÇÃO

Em países ou sociedades que, após histórico de urbanização nem sempre planejado, optaram por institucionalizar os coletores unitários (esgoto e drenagem de água pluvial por sistema de condutos único), as dificuldades de operação observadas nas estações de tratamento de esgoto (ETE), por ocasião de chuvas intensas têm levado engenheiros civis e sanitaristas; engenheiros industriais químicos e mecânicos; biólogos; matemáticos e outros profissionais a um esforço multidisciplinar para superá-las (REDA, 1996).

O presente artigo segue linha internacional de pesquisa (BECK, FINNEY, 1987), em que, inicialmente, se desenvolve uma metodologia de simulação matemática dos processos de tratamento numa ETE, que emprega o sistema de lodos ativados, durante a passagem da enxurrada advinda de uma rede coletora unitária (LESSARD, 1989); depois, um modelo dinâmico para simular os processos hidráulicos, de diluição e dispersão, químicos, térmicos e bioquímicos sofridos por aquele efluente e pelos excessos de esgoto, parcialmente ou não tratados, juntamente com as águas do corpo d'água receptor, em que são descarregados (REDA, 1996), e, em seguida, reunindo estas técnicas, uma metodologia para a simulação integrada do sistema de águas urbanas (drenagem pluvial, esgotos e águas fluviais), visando à otimização da qualidade resultante nos corpos receptores (SCHUETZE, 1998) – uma função-objetivo ambiental.

A filosofia de gestão de sistemas hídricos, acima proposta, representa uma inovação com respeito às técnicas tradicionais do tratamento de esgoto, reguladas pela qualidade atingida pelo efluente na tubulação de descarga (ou, no jargão internacional, “on an end-of-pipe basis”). Esta nova proposta pode ser classificada como perseguir mais diretamente os objetivos ambientais (numa linguagem internacional, aplicar “environmental-objective policies”). Em outras palavras, estar-se-ia mudando de enfoque de uma política de controle, baseada em atingir padrões de emissão para outra, pautada diretamente por padrões de qualidade ambiental (como bem definido em Braga et al., 2005). Uma leitura complementar com visão histórica, sobre estes aspectos em países de desenvolvimento urbano mais antigo, no Hemisfério Norte, é oferecida em Reda (1996).

Numa visão simplista, infelizmente ainda dominante entre sanitaristas ativos no Brasil, bastaria construir sistemas coletores separados para águas pluviais e esgotos, bem como estações de tratamento dimensionadas para as vazões de esgoto sanitário, típicas de tempo seco – salvo por um pequeno acréscimo de vazão por segurança, em razão da possibilidade de infiltrações freáticas (vide valores típicos praticados, em Tsutiya e Alem, 1999). Num mundo ideal, tais limites seriam então respeitados pelas vazões afluentes a elas durante suas vidas úteis.

Tal perspectiva, porém, não se tem concretizado no País. Reda et al. (1995), Mello (2002), Reda e Mello (2005) e Reda e Ferreira (2005) demonstram com observações das variações na vazão e na qualidade de esgotos brutos (tanto em pontos de redes coletoras como à entrada de ETE) na Região Metropolitana de São Paulo, que a vazão afluente pode crescer, em certas bacias de contribuição, até mais de dez vezes, após uma tormenta (com relação à vazão de projeto da ETE, para tempo de estiagem). Ademais, a qualidade do esgoto afluente pode também sofrer importantes modificações devido à inclusão de águas pluviais e de depósitos de tempo seco, arrancados pela enxurrada da superfície da bacia e dos fundos das redes coletoras.

Tais mudanças, às vezes bruscas, em termos de vazão e qualidade do afluente à ETE, podem afetar sensivelmente o tratamento e, em conseqüência, a qualidade do efluente e das águas receptoras. Para proteger a ETE contra tais perturbações, em seu processo, o operador pode tentar alternativas de controle que buscam amenizar duas categorias de problemas, a saber:

- a) a perda de qualidade do efluente e descarga de parcela não tratada do esgoto (a que supera a capacidade da ETE) no corpo receptor. Ocorre ao se admitir ao tratamento valor controlado maior que a vazão de projeto (ou “vazão de tempo seco” ou “vazão de seca”);
- b) a perda da integridade do processo de tratamento, prejudicado por eventual sobrecarga, em evento pluvial extremo – a qual pode comprometer o meio biológico do tratamento (por exemplo, com a

“lavagem” de relevante parcela das bactérias para fora do decantador secundário). Com isso, prejudicar-se-ia também, a continuidade do funcionamento da ETE, após passar a enxurrada.

Tentar resolver cada uma desses problemas sugeriria duas tendências de atitudes antagônicas. Uma equilibrada operação de contingência, durante a enchente na ETE, deverá buscar um compromisso entre elas, dentro do possível. Porém, muitas vezes, não é viável encontrar uma estratégia aceitável, havendo então prejuízo maior ou à ETE ou à qualidade do esgoto descarregado no curso receptor. No Seminário Interamericano “Redes de Esgotos Sanitários e Galerias de Águas Pluviais – Interferências e Interconexões”, realizado em novembro de 2004, em São Paulo (AIDIS, 2004), depoimentos demonstraram as preocupações do profissional de operação, que hoje se sente ameaçado pela possibilidade de, ao desviar para a drenagem urbana ou para um curso d’água próximo à ETE, parte da vazão afluyente que julgar difícil tratar, ser incurso nas penalidades previstas pela legislação de crimes ambientais que se seguiu à Constituição Federal de 1988 – que vão de aplicação de multas até privativa de liberdade (em função da extensão e da gravidade do dano ambiental – Lei de Crimes Ambientais, nº9605/98).

Mostra-se a seguir uma proposta de simulação matemática das oscilações de qualidade, em águas fluviais, que recebem descargas de esgoto, com vazão e qualidade altamente variáveis, devido à passagem de enxurradas urbanas pela ETE.

## **2. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS E DA MODELAGEM DO CURSO D’ÁGUA ESTUDADO – O RIO CAM**

O rio Cam, que banha Cambridge, pertence à bacia hidrográfica do rio Bedford Ouse, na Ânglia, Inglaterra. O trecho simulado tem cerca de 10km e vai da Eclusa de Jesus à Eclusa de Bottisham (Figura 2). Aproximadamente à meia distância nesse trecho fica o ponto de descarga da ETE de Cambridge – local no qual a simulação matemática considerou lançadas, virtualmente, as descargas de esgoto e efluentes não-tratados simuladas por Lessard (1989) para outra ETE: a de Whitlingham (também na Inglaterra), por ocasião de duas tormentas notáveis. Tal simulação foi realizada com modelo desenvolvido por aquele autor para estimar a resposta da ETE (que utiliza processo de lodos ativados) perante variações transitórias de vazão e qualidade afluyente devido a tormentas na bacia contribuinte.

Na Figura 1, um perfil longitudinal do trecho considerado do rio Cam, mostra três barragens que promovem a navegação e, nos seus vertedores livres de superfície, aeração forçada que ajuda a mistura e a biodegradação de poluentes – problema tão preocupante na região, que pouco após a consecução desta pesquisa, a Anglian Water Services (a quem se concedeu licença para operar o saneamento) passou a experimentar aeração forçada para a recuperação do oxigênio dissolvido, fortemente depletido a jusante do ponto de descarga (REDA, 1996).

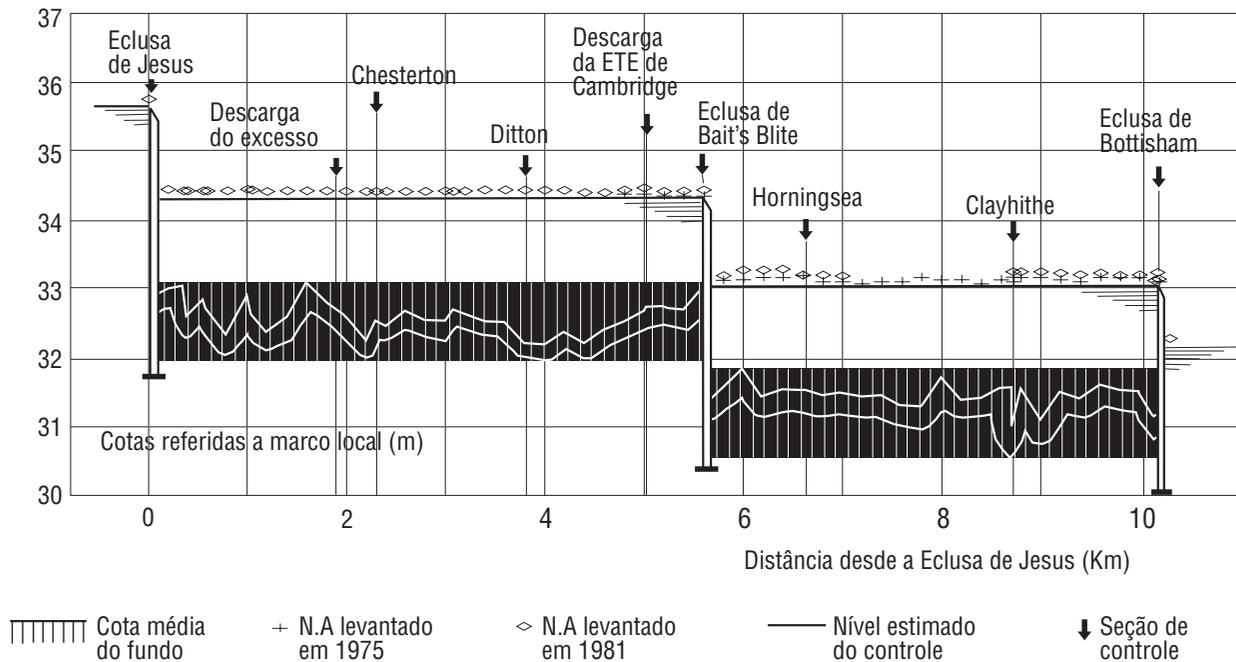


FIGURA 1 – Perfil longitudinal do trecho considerado no rio Cam, em Cambridge, com as três estruturas de barramento e pontos notáveis de entrada de dados e de controle da modelagem (REDA, 1996).

O modelo dinâmico MCSTR (“multiple continuously stirred tank reactors”), para simular impactos de transitórios de vazão e qualidade em ETE, sobre o corpo receptor, foi implantado e calibrado no trecho considerado, como melhor descrito em Reda (1996) e Reda e Beck (1996). Com séries temporais de dados de vazão e qualidade na extremidade de montante do trecho estudado e nas descargas de efluente tratado e de excessos in natura (que passaram da capacidade de admissão da ETE), bem como informações meteorológicas, foi calibrado até replicar o comportamento observado em campo, com a excelente aderência mostrada na Figura 3, para as variáveis vazão e concentração de nitrogênio amoniacal. A calibragem para as outras variáveis – demanda bioquímica de oxigênio (DBO); clorofila-a (Chl-a) representando algas; nitratos (NO<sub>3</sub>-N) e oxigênio dissolvido (OD) – está em Reda (1996), para séries diárias, bem como a estrutura empregada no modelo: reservatórios virtuais em cascata, com mistura contínua em cada um (elementos bastante usados para simular mistura em plantas indústrias).

### 3. DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE NORWICH E DAS ESTRATÉGIAS DE TRATAMENTO

Para exemplificar o emprego de modelagem matemática de vazão e de qualidade fluviais, numa situação hipotética de pré-avaliação de impactos da operação de uma ETE, sobre um rio, utilizou se os resultados da simulação dinâmica do processo de tratamento desenvolvida em Lessard (1989) para a planta de lodos ativados de Whitlingham, em Norwich (Inglaterra). Esta resulta, de forma horária, vazão e qualidade do efluente e dos excessos (parcialmente ou não tratados) da ETE, que estaria recebendo as contribuições de esgoto unitário, de cerca de 200.000 habitantes, durante eventos de tormentas realmente medidos na bacia contribuinte (REDA, 1986, sobre a adaptação dos resultados ao rio Cam).

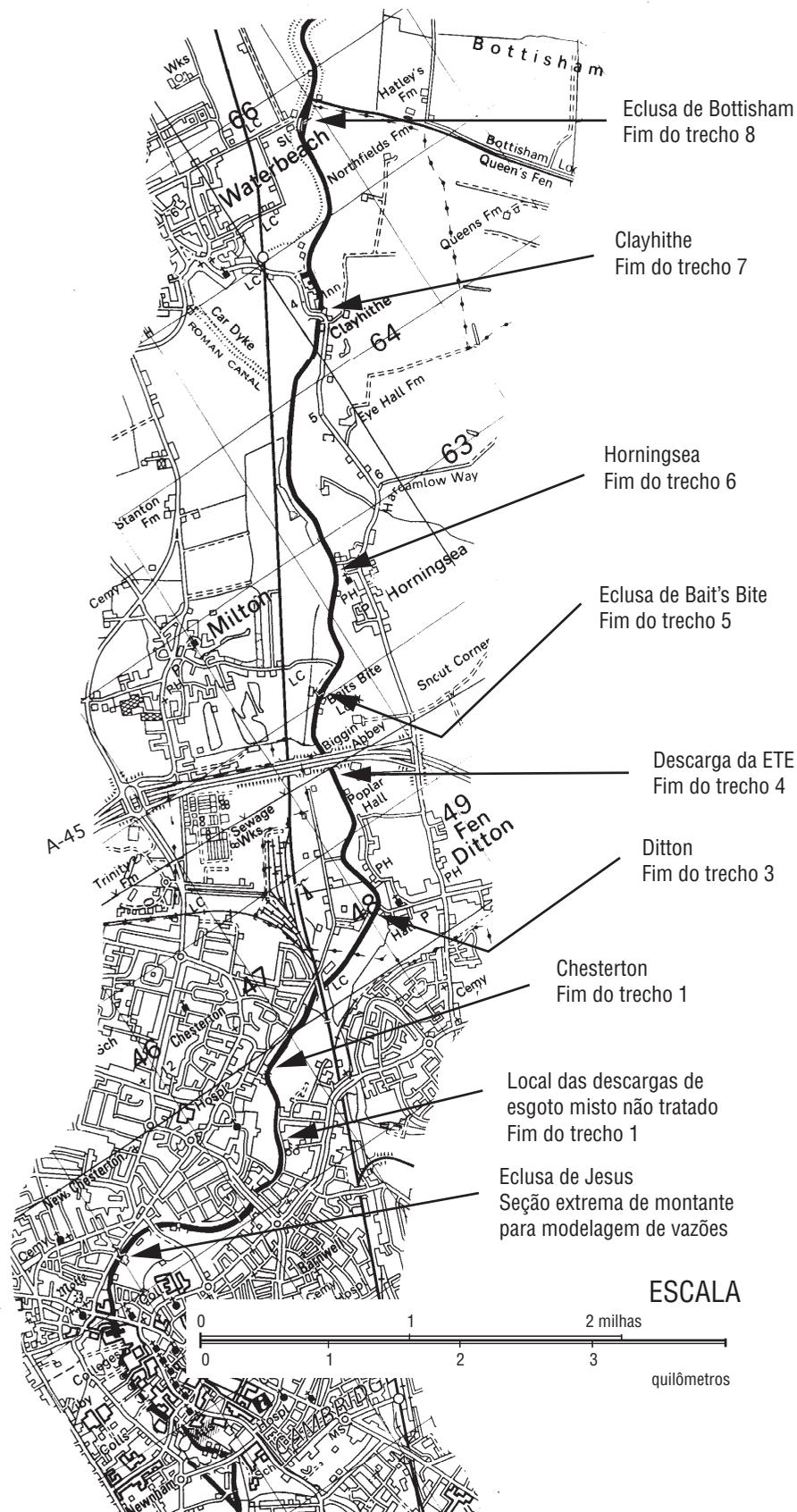
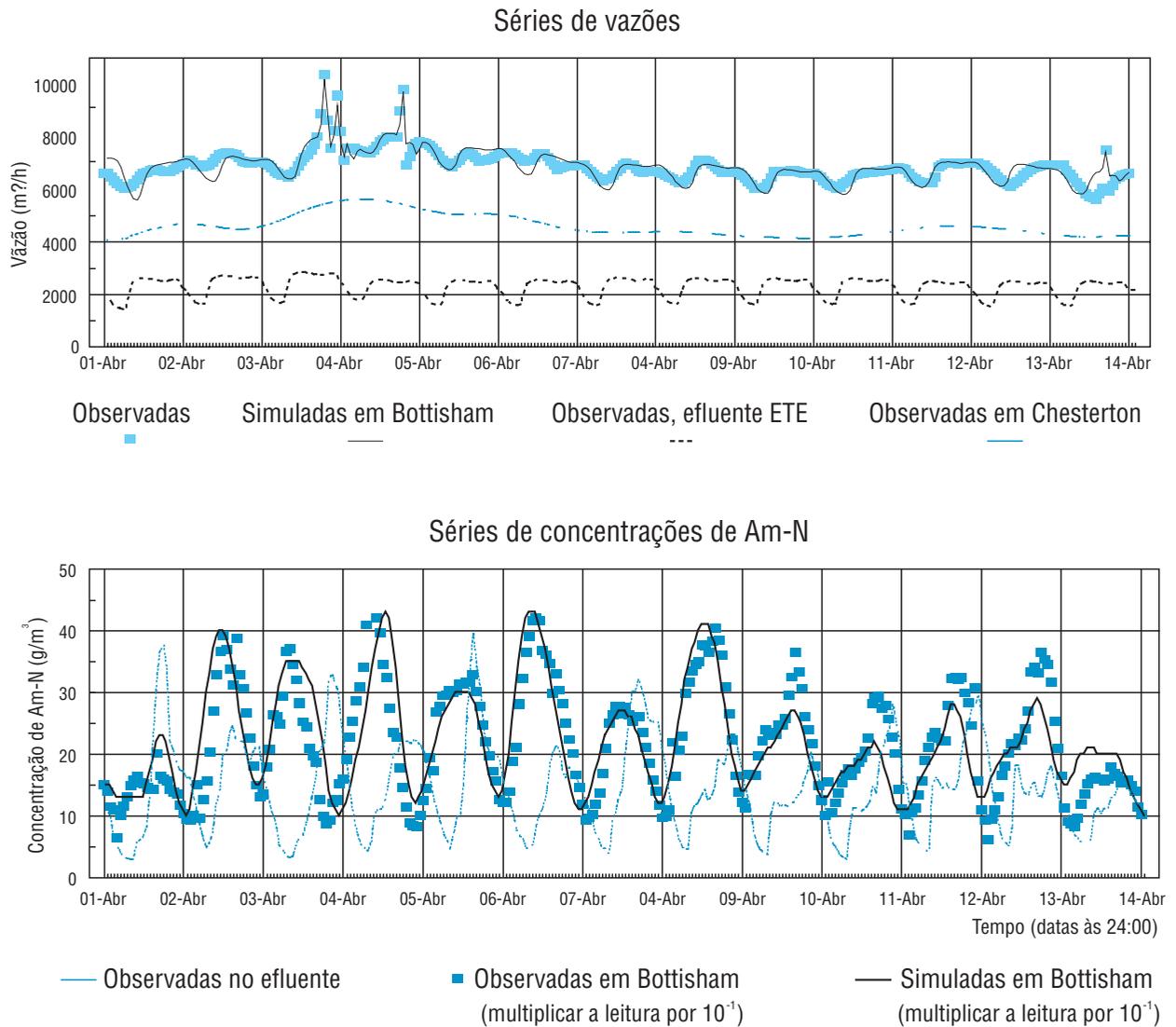


FIGURA 2 – Trecho estudado do rio Cam em Cambridge (baseado em Ordnance Survey, 1986)



Nota:

A concentração de Am-N a montante (Chesterton), tipicamente pequena, foi admitida como 0,04g/m<sup>3</sup>

FIGURA 3 – Calibragem horária para vazão e concentração de nitrogênio amoniacal em Bottisham (Reda, 1996)

A Figura 4 traz esquema geral de uma ETE por lodos ativados, como a de Whitlingham, e as disições de cinco alternativas de lay out que, no seu caso específico, se destinam a propiciar o emprego das sete estratégias de controle alternativas abaixo descritas, classificadas ou como estáticas (controle pré-definido em função das ocorrências possíveis; desnecessário monitorar operação) ou dinâmicas (necessário acompanhar o processo para boa operação do tratamento).

As estratégias de controle consideradas, numeradas para referência ao longo da análise dos resultados da simulação de vazão e qualidade fluvial, são:

## Estratégias estáticas

### Caso básico

*BC101*: Tratamento da vazão afluyente até limite de 3xVAS; excesso desviado do ponto de admissão da ETE para o rio. Nota: VAS = “vazão afluyente de seca” = vazão de projeto afluyente à ETE.

### Estratégias estáticas alternativas

*SC101*: Tratamento da vazão 3,5xVAS; excesso desviado do ponto de admissão direto para o rio.

*SC102*: Tratamento da vazão até 4xVAS; excesso desviado do ponto de admissão para o rio.

*SC103*: Tratamento primário de toda a vazão que aporta à ETE; secundário, apenas até o limite 3xVAS e excesso desviado para o rio, antes de entrar no aerador.

*SC104*: Uso de tanque para amortecer tormentas (“piscinão”), detendo excesso que passar de 3xVAS à entrada da ETE; efluente do tanque continuamente enviado para tratamento completo, assim que cheio.

*SC105*: Tratamento primário para todo o afluyente, sem limite, com o tanque de amortecimento descrito, porém após clarificador primário. Se afluyente superar 3xVAS, desvia-se excesso para tanque antes do tratamento secundário; quando cheio, tanque verte seu efluente todo para tratamento secundário.

## Estratégias dinâmicas

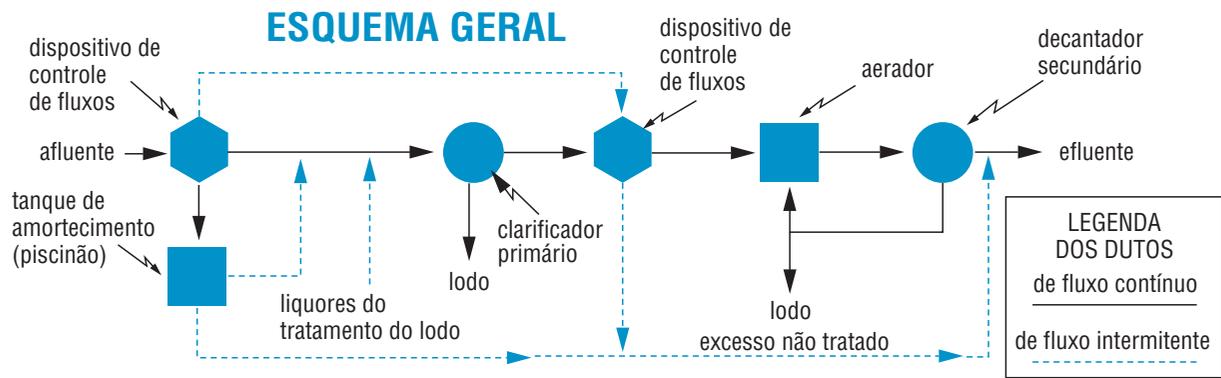
*DC101*: Tanque de amortecimento de tormentas posicionado e operando como na estratégia SC104, acima; aumento na vazão de fundo do clarificador secundário pelo controlador, para compensar a sobrecarga da ETE quando o excesso do piscinão começar a verter para o tratamento secundário.

*DC102*: Processo de alimentação passo-a-passo (“step-feed”) no aerador (propiciando estocagem de proteção de microorganismos na própria linha de produção); tanque de amortecimento como em SC104.

No trabalho de Lessard (1989), onde todas as estratégias são melhor detalhadas, outras alternativas de controle são aventadas e analisadas, mas após recomendação daquele mesmo autor somente estas foram aproveitadas no presente trabalho. Das duas tormentas consideradas por Lessard, somente as simulações da maior foram empregadas aqui. As séries horárias de vazão e de qualidade do esgoto (DQO-demanda química de oxigênio, Am-N, DO, NO<sub>3</sub>-N e temperatura) no efluente tratado e no excesso, fornecidas por Lessard a partir da modelagem do processo de tratamento, foram admitidas como dados de entrada para que o modelo fluvial MCSTR simulasse os seus impactos na vazão e na qualidade se tais efluente e excesso fossem descarregados no rio Cam. Como aquele modelo trabalha com DBO no rio, a DBO no esgoto foi estimada como uma fração da DQO (variável cuja determinação laboratorial é mais simples e rápida), típica e confiável para o esgoto daquela ETE (REDA, 1996).

## 4. RESULTADOS SELECIONADOS DAS SIMULAÇÕES E SUA ANÁLISE

Apresentam-se, aqui, apenas alguns resultados das simulações de Reda (1996), para ilustrar a aplicação de modelagem no controle de qualidade fluvial. A princípio, porém, cumpre citar a simulação do processo de tratamento considerando a tormenta, por Lessard (1989), permitindo um ranking entre os resultados das diversas estratégias com base na eficiência em reduzir a massa de poluente descarregada no



### ESQUEMA REPRESENTATIVOS DAS ESTRATÉGIAS ALTERNATIVAS DE CONTROLE

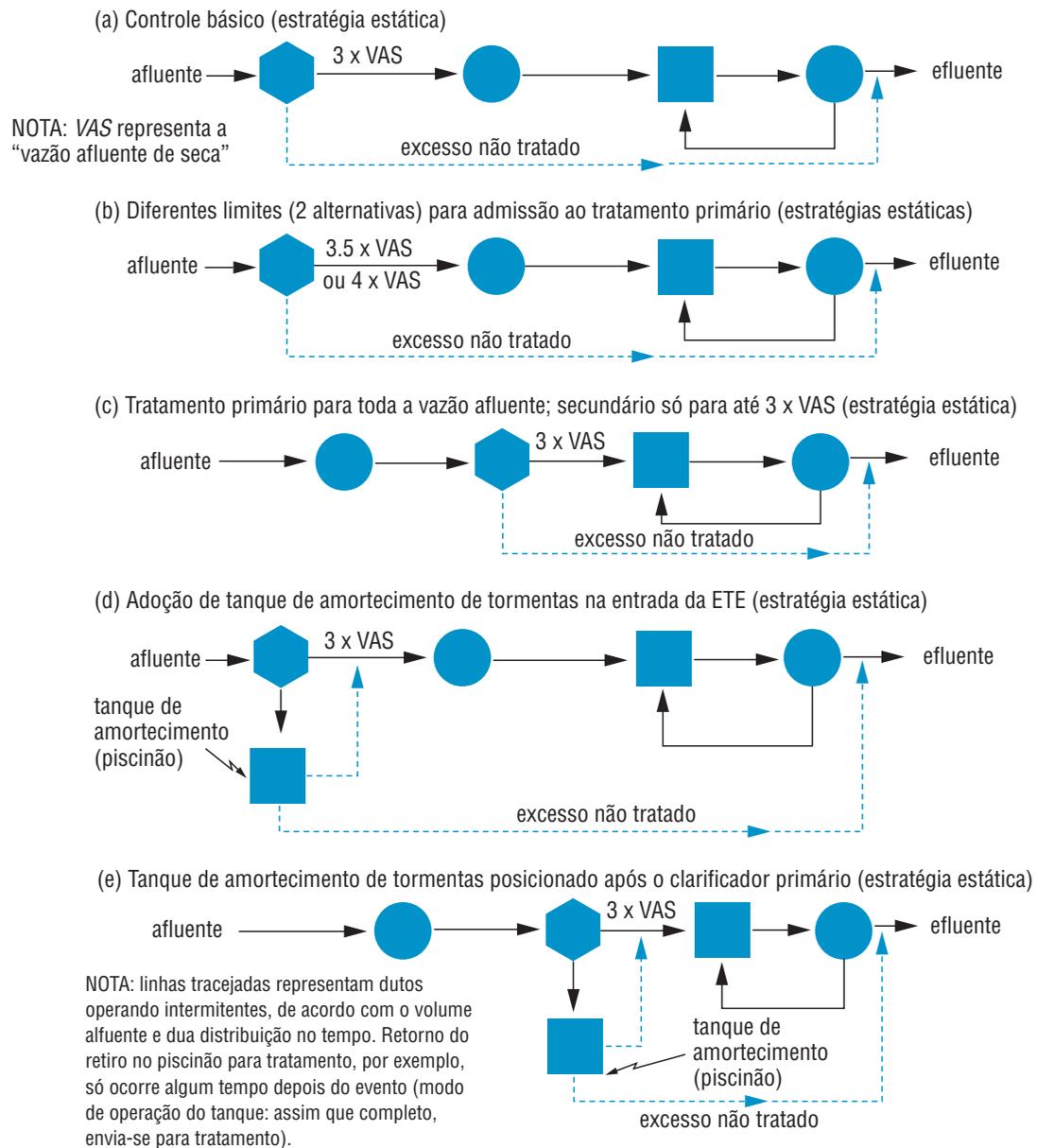


FIGURA 4 – Descrição esquemática do processo de tratamento geral na ETE de Norwich e das concepções alternativas de projeto que permitiriam a adoção das estratégias de tratamento consideradas (REDA, 1996)

rio (em termos de DQO e Am-N). Tal massa inclui o respectivo poluente no efluente tratado e no excesso e é mostrada na Tabela 1, juntamente com o ganho (sinal +) ou a perda (sinal -) de eficiência de cada estratégia (com relação ao controle básico) e o ranking numérico. Nota-se uma clara diferença entre rankings para DQO e Am-N. Isto evidencia a necessidade de se estabelecer objetivos claros a atingir no tratamento, em função, por exemplo, do uso desejado para o corpo receptor. Nota-se também uma ligeira modificação no ranking, por exemplo entre as duas melhores alternativas, quando se integra a massa de DQO sobre um período mais longo (96 horas, ao invés das 24 horas bem após a tormenta). Isso é devido à “memória” que o sistema de tratamento guarda de perturbações causadas pela admissão de vazão maior que a de projeto, a qual causa uma redução na capacidade de remoção de poluente, no período que se segue, por considerável tempo.

TABELA 1 – Resultados e ranking das estratégias de tratamento para as simulações na ETE com base na massa total de poluente descarregada (efluente e excesso)

Estratégia (BC: cso bás. SC: estáicas DC: dinâmica)	Massa total descarregada (Kg) para os dois diferentes períodos de integração, abaixo				GANHO ou PERDA de EFICIÊNCIA (% com respeito as cao bás.)				Ranking por eficiência na redução de massa			
	24 horas		96 horas		24 horas		96 horas		24 horas		96 horas	
	DQOtot	Am-N	DQOtot	Am-N	DQOtot	Am-N	DQOtot	Am-N	DQOtot	Am-N	DQOtot	Am-N
BC 101	12661	489	18572	542	0	0	0	0	7	4	7	4
SC 101	11880	516	17665	579	6	-6	5	-7	6	6	5	6
SC 102	11204	547	17019	624	12	-12	8	-15	4	7	4	7
SC 103	11808	485	17710	536	7	1	5	1	5	3	5	3
SC 104	8617	387	14876	433	32	21	20	20	1	2	2	1
SC 105	8778	378	14608	432	31	23	21	20	2	1	1	1
DC 102	9956	506	16220	547	21	-3	13	-1	3	5	3	5

Fonte: Reda (1996)

A Figura 5 mostra os resultados da simulação do tratamento em termos da vazão de massa de DBO total (no efluente e no excesso, estimada como uma fração da DQO) descarregada no rio. Um exame visual de performance das várias estratégias nessa figura (onde a “área” sob cada curva representa a integral da massa descarregada durante o evento), confirma, em geral, o ranking apresentado na Tabela 1. Porém, comparando-se performance entre os gráficos daquela Figura 5 e os da Figura 6 – concentrações de DBO no efluente ao longo do tempo – resultam rankings bastante diversos. Por exemplo, se a estratégia BC101 apresenta, na Figura 6, uma redução de concentrações e de pico de DBO quase tão eficiente como a estratégia BC105, já a Figura 5 vem evidenciar, ao incorporar à descarga considerada os excessos parcialmente tratados, a notável eficiência que teria a presença de um tanque de amortecimento em conjunto com a extensão do tratamento primário a toda a vazão afluyente (BC105).

Considerando, agora, a performance do tratamento em termos ambientais, ou seja, redução de concentrações de pico de DBO no rio, ao final do trecho considerado, em Bottisham – gráficos da Figura 7 – nota-se, a grosso modo, uma semelhança visual com o ranking para vazão de massa (Figura 5). Isto confirma que o tratamento baseado apenas na produção de um efluente, bem controlado, não garante a otimização da qualidade ambiental.

Para evidenciar, agora, a mudança no ranking com base no objetivo fluvial ao se passar de um determinante de qualidade para outro, compare-se a Figura 8 (concentrações de Am-N) com os gráficos das correspondentes estratégias na Figura 7 (DBO). Para DBO, o não uso de piscinão implica um aumento de cerca de 50% no pico; já para Am-N, isto não chega a 20%.

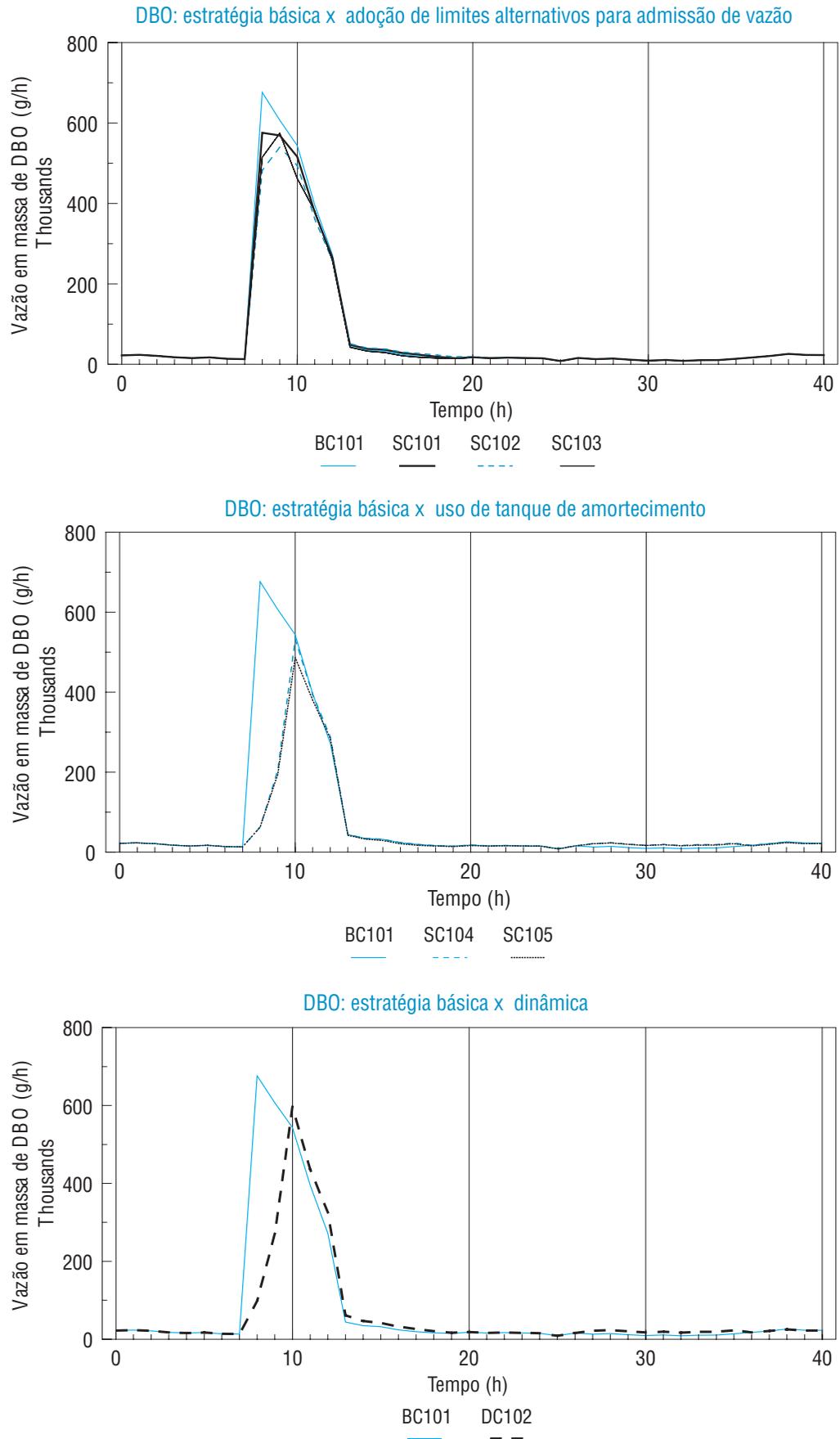


FIGURA 5 – Resultados da simulação da massa total de DBO (efluente e excesso) descarregada no rio

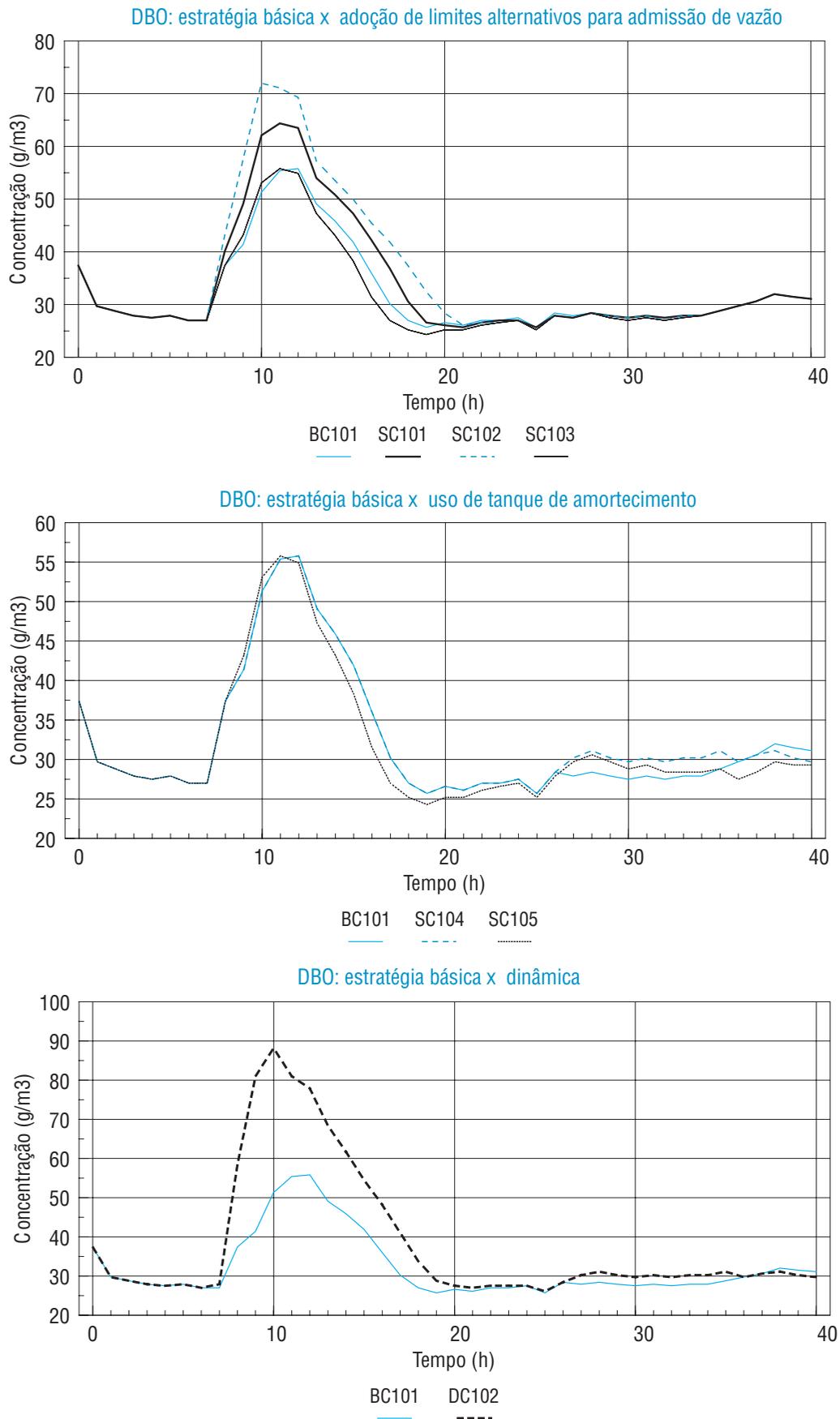


FIGURA 6 – Resultados da simulação de concentrações de DBO no efluente tratado

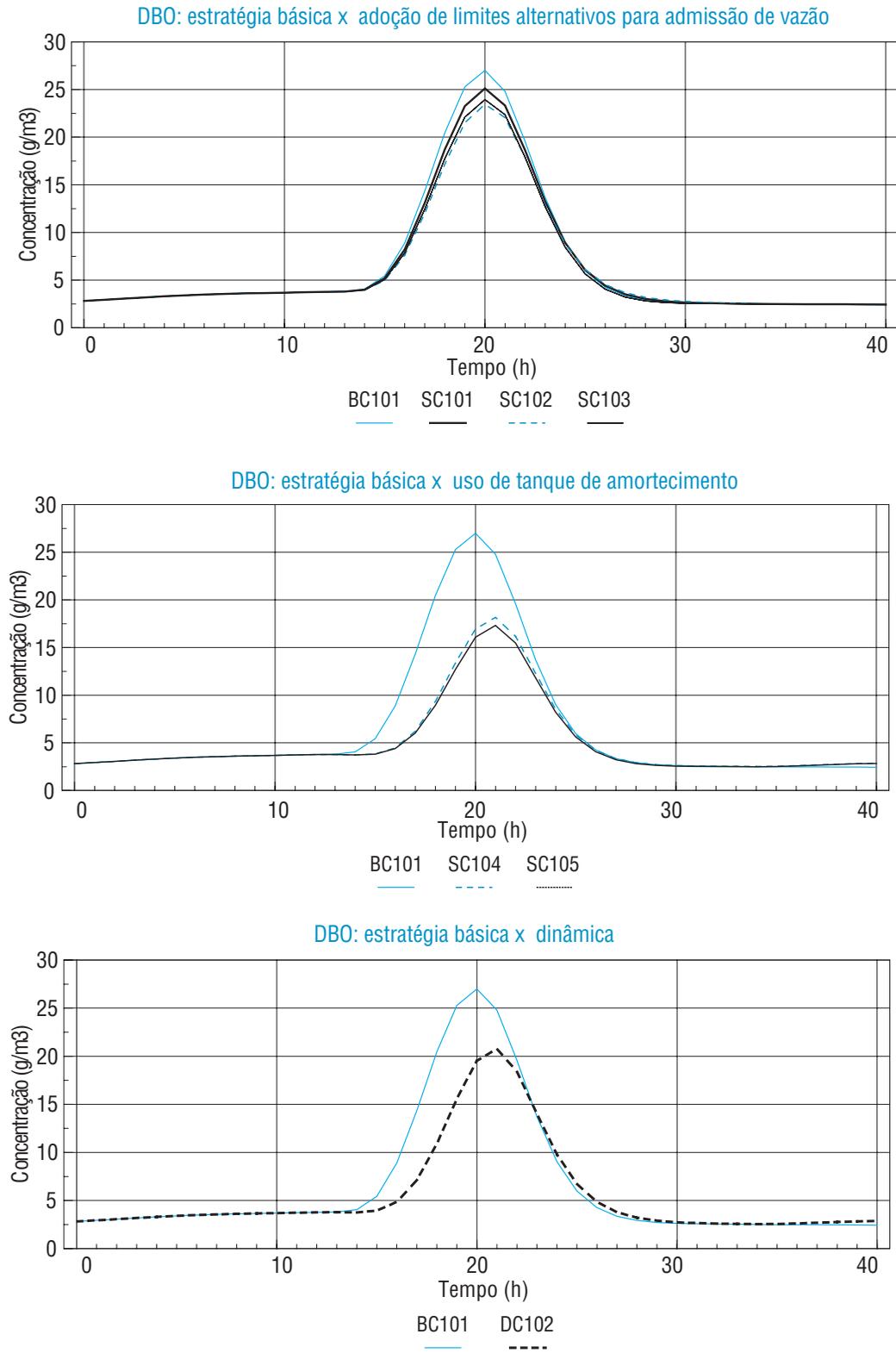


FIGURA 7 – Concentrações de DBO simuladas no rio Cam em Bottisham (seção jusante do trecho estudado)

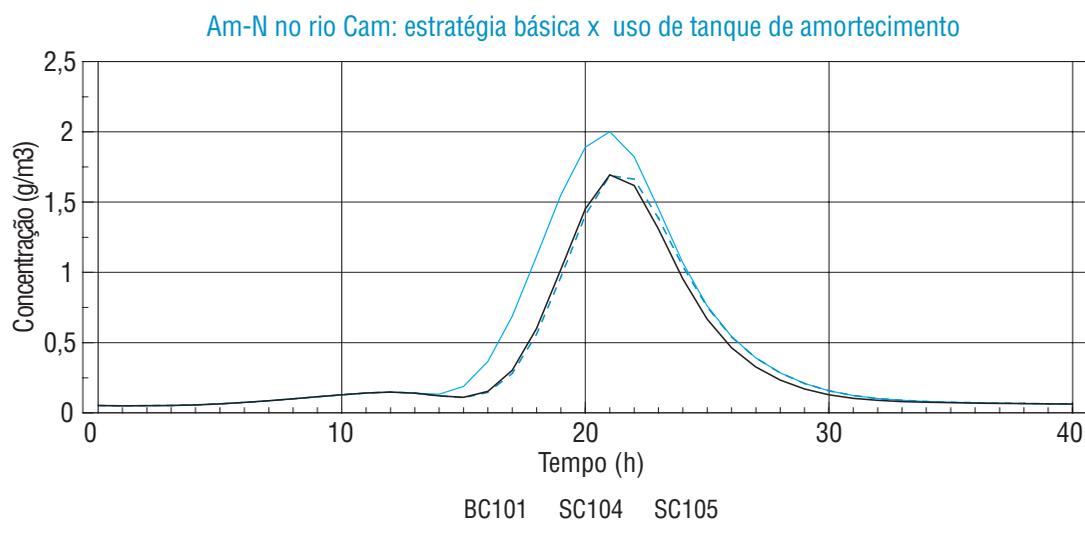


FIGURA 8 – Concentrações de Am-N simuladas no rio Cam em Bottisham (seção jusante do trecho estudado)

Poder-se-ia analisar outras mudanças de ranking com base em gráficos (REDA, 1996), mas aqui isto é feito empregando os resultados de performance cotejados na Tabela 2. Nela, as estratégias recebem cinco tipos de avaliação, gerando portanto cinco listas de ranking, a saber:

- a) por redução nas concentrações fluviais de pico de DBO em Bottisham,
- b) por redução nas concentrações fluviais de pico de Am-N em Bottisham,
- c) por redução na massa total de DBO que passa por Bottisham no período do evento,
- d) por redução na massa total de Am-N que passa por Bottisham no período do evento,
- e) pelo tempo em que OD persiste abaixo de 4g/m<sup>3</sup> (limite além do qual passa a sofrer risco de morte a maioria dos peixes de águas fluviais) em Bottisham.

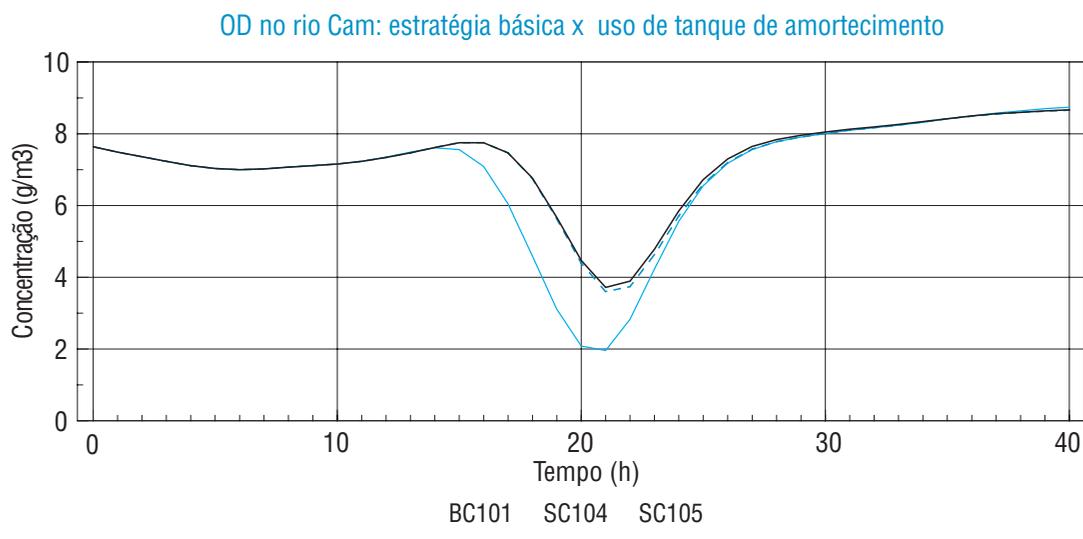


FIGURA 9 – Concentrações de OD simuladas no rio Cam em Bottisham (seção jusante do trecho estudado)

O gráfico da Figura 9 – concentrações de OD em Bottisham – pode ser analisado em conjunto com o ranking da Tabela 2, para mostrar, por exemplo, que a diferença entre as estratégias BC104 (uso do piscinão

à entrada da ETE) e BC101 (básica) é bem relevante. Se for adotado o projeto alternativo com piscinão, pode-se salvar o curso d'água de enfrentar cerca de 4,5 horas de DO persistente abaixo de 4g/m<sup>3</sup>. Comparando-se o ranking de acordo com a depleção no OD e com o baseado na redução de pico de DBO, nota-se total semelhança – como se era de esperar, uma vez mais a presença de matéria orgânica que exerce demanda de oxigênio é o fator mais responsável por sua depleção. Já comparando o ranking para OD com aquele para picos de Am-N, há mudança para mais de uma alternativa.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da análise e das conclusões acima, pode-se enunciar as conclusões gerais que seguem:

- No controle de uma ETE em tempo real sob uma visão industrial, para a gestão otimizada e integrada de qualidade fluvial, a simulação matemática do processo de tratamento de esgoto e da qualidade da água em sistemas fluviais receptores de descargas de esgoto sujeitos a variações transientes no tratamento devidas a ocorrências meteorológicas (tais como os influenciados pela inclusão não planejada da drenagem de tormentas) é ferramenta válida. O modelo matemático MCSTR, uma vez calibrado no sistema de interesse, é útil para tal fim.
- Após descargas líquidas poluidoras, é importante considerar a qualidade resultante nas águas receptoras (não somente a qualidade da descarga), pois nem sempre a produção de um efluente melhor tratado promove a melhor qualidade do corpo receptor rio abaixo.
- Deve-se considerar o tipo de objetivo ambiental, representado por limites máximos de poluição ou mínimos de qualidade a serem respeitados ou otimizados no corpo receptor, baseados em determinantes de qualidade específicos. Daí, o tratamento e a administração das vazões de esgoto para várias destinações, no âmbito da ETE durante seus processos e no ambiente, poderão ser controlados visando objetivos ambientais de uma forma mais integrada.

TABELA 2 – Ranking das estratégias de controle de acordo com qualidade simulada em Bottisham

Características do transporte de massa de poluentes e ranking para Am-N e DBO Rio Cam em Bottisham							
Valores máximos para as várias estratégias (g/h)							
Variável (período de integração)	BC101	SC101	SC102	SC103	SC104	SC105	DC102
DBO (7 a 90h)	375705	349406	327370	333264	269643	257029	308227
Am-N (7 a 90h)	29714	30903	31626	28790	25450	25155	32179
Massa total de poluentes para as várias estratégias (g)							
Variável (período de integração)	BC101	SC101	SC102	SC103	SC104	SC105	DC102
DBO (7 a 90h)	4638561	4499517	4380304	4374329	3900589	3851566	4160771
Am-N (7 a 90h)	258931	274309	291066	248310	216939	213130	261018
Ganho/perda de eficiência na redução de máximos (%)							
Variável (período de integração)	BC101	SC101	SC102	SC103	SC104	SC105	DC102
DBO (7 a 90h)	0.0	7.0	12.9	11.3	28.2	31.6	18.0
Am-N (7 a 90h)	0.0	-4.0	-6.4	3.1	14.3	15.3	-8.3

Ranking de acordo com a redução de máximos

Variável (período de integração)	BC101	SC101	SC102	SC103	SC104	SC105	DC102
DBO (7 a 90h)	7	6	4	5	2	1	3
Am-N (7 a 90h)	4	5	6	3	2	1	7

Ranking de acordo com a redução de massa total de poluente

Variável (período de integração)	BC101	SC101	SC102	SC103	SC104	SC105	DC102
DBO (7 a 90h)	7	6	5	4	2	1	3
Am-N (7 a 90h)	4	6	7	3	2	1	5

Ranking para OD

	BC101	SC101	SC102	SC103	SC104	SC105	DC102
Tempo(h) em que DO persiste abaixo de 4.0g/m <sup>3</sup>	4.45	4.27	4.12	3.90	1.77	1.50	3.30
Ranking	7	6	5	4	2	1	3

## 6. REFERÊNCIAS

- AIDIS. Anais: Redes de Esgoto Sanitários e Galerias de Águas Pluviais- Interferências e interconexões. S.Paulo, 8-9, novembro. aidis@aidis.org.br. São Paulo: Assoc. Interamericana de Eng. Sanitária e Ambiental, 2004.
- BECK, M.B.; FINNEY, B.A. Operational water quality management: Problem context and evaluation of a model for river quality. **Water Resources Research**, 23(11), 1987. p.2030-42.
- BRAGA, B.P.F., Jr.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 2.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005. 320p.
- LESSARD, P. **Operational water quality management: control of stormwater discharges**. Tese submetida para a obtenção do título de PhD no Imperial College da Universidade de Londres. Londres, 1989. 390p.
- MELLO, G. S. L. de. **Investigação das oscilações diárias e transientes de vazão e qualidade em esgotos urbanos na Região Metropolitana de São Paulo**. Relat.Cient. (I.C.) ao Fundo de Apoio à Pesquisa do Estado de S.Paulo, 2002. 131p.
- ORDNANCE SURVEY. **Cambridge and Newmarket. 1:50 000 Landranger Series**, sheet 154, Ordnance Survey, Southampton, 1986. 1p.
- REDA, A.L.L. **Simulation and control of stormwater impacts on river water quality**. Tese submetida para a obtenção do título de PhD no Imperial College da Universidade de Londres. Londres, 1996. 512p.
- REDA, A.L.L.; BECK, M.B. Modelagem dinâmica da qualidade da água em rios como apoio à operação em tempo real de estações de tratamento de esgotos e de comportas fluviais em episódios de extravasão de esgoto misto. **Revista de Engenharia Mackenzie**, 171, 1997. p.17-27.
- REDA, A.L.L.; BECK, M.B.; ZINGEREVITZ, I. Dynamic river water-quality models: a tool to protect rivers from the increasing trend in combined storm-sewage discharges in tropical climates – the MCSTR scheme.

**Anais:** Regional [Americas] Conference on Global Change. São Paulo, 4-6 de dezembro, 1995. 3p.

REDA, A.L.L.; FERREIRA, M.P. **Esgoto afluente a ETE na Grande São Paulo: Impacto de tormenta urbana sobre vazão e qualidade.** V Encontro Estadual de Saneamento Ambiental. Lins, 1 e 2 de junho, 2005. 10p.

REDA, A.L.L.; MELLO, G.S.L. **Drenagem de tormentas urbanas: Impacto sobre vazão e qualidade do esgoto coletado.** V Encontro Estadual de Saneamento Ambiental. Lins, 1 e 2 de junho, 2005. 13p.

SCHUETZE, M.R. **Integrated simulation and optimum control of the urban wastewater system.** Tese submetida para a obtenção do título de PhD no Imperial College da Universidade de Londres. Londres, 1998. 450p.

TSUTIYA, M. T.; ALEM, SOBRINHO, P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário.** 3.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548p.