

IV-099 - MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA COMO FERRAMENTA DE APOIO NO PROCESSO DE ENQUADRAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAÍ

Rafael Siqueira Souza⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS). Doutorando Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS).

Carlos Ronei Bortoli

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS.

Sidnei Gusmão Agra

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS).

Endereço⁽¹⁾: Rua Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia – Porto Alegre - RS - CEP: 91310-002 - Brasil - Tel: (51) 3308 66 54 - e-mail: rafa030380@yahoo.com.br

RESUMO

A Lei nº 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo como instrumentos de gestão dos recursos hídricos os Planos de Recursos Hídricos e o Enquadramento dos corpos d'água em classes, conforme os usos preponderantes da água. Na prática, dependendo da magnitude das fontes poluidoras na bacia hidrográfica, esta compatibilizarão entre usos e qualidade da água pode representar um dos maiores desafios no âmbito dos Planos de Bacias Hidrográficas para alcançar o cenário de enquadramento dos recursos hídricos desejado. Modelos matemáticos de qualidade da água que integram processos físicos, químicos e biológicos surgem como uma importante ferramenta de apoio à decisão no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos superficiais, sobretudo na etapa de enquadramento dos corpos d'água para avaliar alternativas ou medidas de controle de cargas poluidoras. Neste contexto, este estudo apresenta a simulação matemática da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Caí, desenvolvido no âmbito do seu Plano de Bacia Hidrográfica com o objetivo de subsidiar informações para o enquadramento da bacia. Como resultado, a modelagem da bacia possibilitou o mapeamento de pontos críticos na bacia quanto aos esforços necessários para atingir o cenário de pré-enquadramento. A atividade serviu também como uma importante ferramenta de apoio para o estabelecimento de um cenário de enquadramento factível com a realidade da bacia hidrográfica, apontando as alternativas de controle realmente eficazes para o atendimento do enquadramento no médio e longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem matemática, enquadramento dos recursos hídricos, QUAL2K, rio Caí.

INTRODUÇÃO

Através da Lei nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabeleceram-se como instrumentos de gestão dos recursos hídricos os Planos de Recursos Hídricos e o Enquadramento dos corpos d'água em classes, conforme os usos preponderantes da água. Neste contexto, a citada lei estabeleceu também como unidade territorial de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos as bacias hidrográficas.

Na prática, percebe-se muitas vezes no processo de gestão, a incompatibilidade dos usos existentes na bacia hidrográfica e a classificação dos ofertados, segundo a resolução CONAMA nº 357/05. Dependendo da magnitude das fontes poluidoras na bacia hidrográfica, esta compatibilização entre usos e qualidade da água pode representar um dos maiores desafios no âmbito dos Planos de Bacias Hidrográficas para alcançar o cenário desejado para o enquadramento dos recursos hídricos.

É de suma importância no planejamento de bacias hidrográficas a avaliação das possibilidades reais de atendimento do cenário de pré-enquadramento definido pelos atores envolvidos durante o processo de gestão da bacia. Esta avaliação passa ainda pela definição de alternativas de controle das cargas poluidoras e metas que

Estes estudos devem considerar a alocação espacial das fontes poluidoras, demandas e disponibilidades hídrica na rede de drenagem para uma vazão de referencia e características fisiográficas da bacia hidrográfica, a fim de quantificar o tempo de residência da água na rede de drenagem. Neste sentido, modelos matemáticos de qualidade da água que integram processos físicos, químicos e biológicos surgem como uma importante ferramenta de apoio à decisão no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos superficiais. O avanço tecnológico da computação aliado aos avanços nas áreas de modelos numéricos, geoprocessamento e processos ecológicos têm facilitado a integração das informações ambientais e possibilitado a avaliação integrada da qualidade da água em bacias hidrográficas.

Neste contexto, este estudo apresenta a simulação matemática da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Caí. Esta atividade foi desenvolvida no âmbito do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Caí e teve como objetivo subsidiar informações que direcionassem as alternativas de controle necessárias para alcançar o cenário de pré-enquadramento proposto no médio e longo prazo.

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Caí limita-se a Oeste e Norte com a Bacia Taquari-Antas, ao Sul com a Bacia Baixo Jacuí e a Bacia do Sinos e a Oeste com Bacia do Sinos (Figura 1). A área de drenagem da Bacia é de 4.983,38 km². Os principais afluentes do rio Caí são: arroio Belo, Pinhal e Piaí, que drenam os esgotos gerados no município de Caxias do Sul, e o rio Cadeia, tanto pela magnitude de sua área de drenagem, quanto por drenar os esgotos domésticos de Ivoti e Dois Irmãos, e efluentes da indústria do couro.

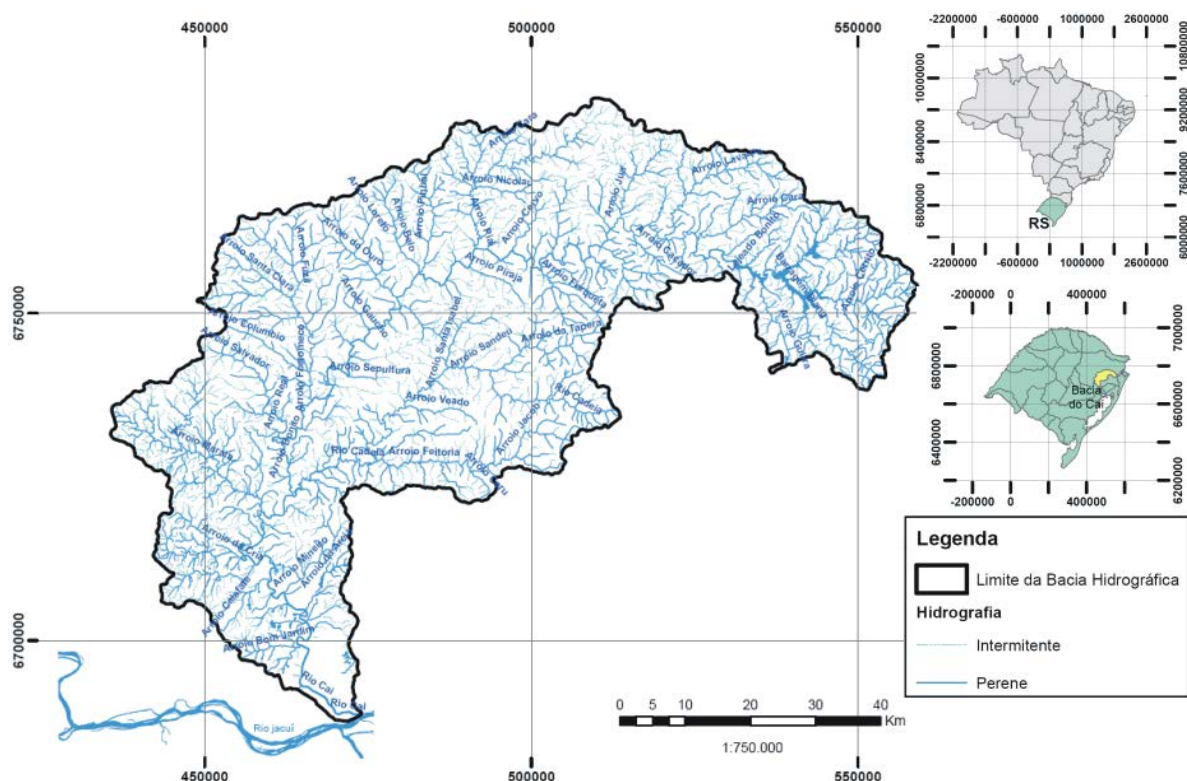


Figura 1: Situação e localização da bacia hidrográfica do rio Caí, RS, Brasil.

MODELO QUAL2K

A simulação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Caí foi desenvolvida através do uso do modelo matemático QUAL2K. O modelo empregado é indicado, especialmente, para simulação de rios e arroio, considerando condições de contorno constantes, tais como vazões e concentrações dos parâmetros simulados. Estes aportes podem ser estabelecidos de maneira pontual ou difusa (não-pontual) ao longo dos cursos d'água simulados. Além disso, a rede hidrográfica pode ser discretizada em função da ordem de contribuição, como na representação de afluentes diretos e afluentes de segunda ordem do canal principal da bacia hidrográfica. Maiores informações sobre o modelo utilizado podem ser obtidas em Chapra *et al* (2006) e Kannel, *et al* (2007).

DISCRETIZAÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Caí foi discretizada, para fins de modelagem matemática, em 14 trechos segundo a segmentação proposta pelo Comitê Caí no decorrer dos estudos desenvolvidos, totalizando 589 elementos computacionais de 1,0 km de comprimento. Os trechos foram classificados da seguinte maneira: a) trecho principal (Rio Caí), b) trechos que correspondem às contribuições pontuais dos tributários ou afluentes secundários, ou seja, aqueles cursos d'água que deságuam em afluentes principais (Arroio Feitoria, Arroio Pinhal e Arroio Serraria), e c) trechos de entradas pontuais de tributários ou afluentes principais que deságuam no trecho principal (arrosios Belo, Forqueta, Caracol, Ouro, Forromeco, dentre outros).

Considerou-se como condição de contorno de montante do rio Caí a vazão de ecológica da Barragem do Salto. O limite final ou condição de contorno de jusante do modelo refere-se à foz do Rio Caí, na confluência com o Rio Jacuí.

Para aqueles cursos d'água em que as contribuições de vazão são importantes em razão da significativa área de drenagem – porém suas bacias não foram contempladas na segmentação proposta – estes foram considerados no modelo como aportes pontuais. Neste caso se enquadram, por exemplo, o Arroio Cará e o Arroio Lava-Pés. Para os demais cursos d'água, as contribuições foram assumidas de maneira distribuída ao longo do segmento.

As informações topobatemétricas, como perfil longitudinal dos trechos e seções transversais dos cursos d'água foram obtidos, respectivamente, através do modelo numérico do terreno (MNT) da Bacia Hidrográfica do Rio Caí e através dos levantamentos de campo. Os dados levantados em campo possibilitaram ajustar curvas-chave para as seções localizadas nos exutórios dos segmentos, as quais posteriormente foram utilizadas como condições de contorno de jusante na modelagem matemática.

CONDIÇÕES DE CONTOURNO

Inicialmente o modelo foi simulado para as seguintes vazões de referência: Q_{lp}, Q₅₀, Q₉₀, Q₉₅ e Q₉₇, as quais foram estimadas através da simulação hidrológica da bacia hidrográfica do rio Caí utilizando o modelo MGB-IPH (Collischonn, 2001). Foram simulados os seguintes parâmetros de qualidade da água para fins de enquadramento: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), fósforo total (PT), nitratos (N-NO₃), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) e coliformes fecais (CF).

As demandas hídricas consideradas na modelagem se referem aos consumos consuntivos, tais como para fins de abastecimento público e industrial, irrigação e dessedentação animal.

As demandas hídricas superficiais para o abastecimento público e industrial foram consideradas como retiradas pontuais. As captações industriais incluídas no modelo se referem àquelas indústrias que possuem outorga para o uso. Da mesma forma, para o abastecimento público, foram consideradas as captações de responsabilidade das concessionárias públicas como, por exemplo, CORSAN e SAMAE, no caso particular de Caxias do Sul. Por outro lado, as demandas para irrigação e dessedentação animal, para fins de modelagem, foram consideradas distribuídas ao longo dos trechos principais nas sub-bacias correspondentes. A demanda hídrica para o cultivo de arroz, existente no trecho inferior do rio Caí.

As cargas consideradas na simulação se referem às fontes de origem pontual: industrial e esgotos domésticos das sedes municipais, e difusas: agricultura e pecuária, estimadas na etapa de diagnóstico do Plano do Caí com base em parâmetros por capita de produção.

Com relação aos despejos gerados pelas atividades industriais, foram contabilizadas no modelo somente as indústrias que compõe o Sistema de Auto-Monitoramento (SISAUTO) da FEPAM, e que, portanto, dispõem de informações de vazões e concentração dos efluentes tratados, além da localização dos empreendimentos. As indústrias cadastradas no SISAUTO são as de maior significância em termos de carga poluidora, potencial poluidor e porte dentre as indústrias do Estado. Neste contexto, foram alocadas no modelo 48 indústrias dos diversos ramos de atividades.

Para as cargas oriundas do esgoto doméstico, a estimativa das vazões e cargas de esgotos das sedes municipais foi realizada com base em dados da literatura para produção *per capita*. A vazão de esgotos gerada pela população é função do consumo médio *per capita* de água, visto que grande parte deste consumo é retornada ao sistema de esgotamento sanitário. Neste sentido, considerou-se uma demanda *per capita* de água de 200,0 L/hab/dia. A taxa de retorno para as redes de esgotos foi estabelecida em 80%, ou seja, a produção *per capita* de vazão de esgoto domiciliar considerada neste estudo é de 160,0 L/hab/dia. As cargas poluidoras assumidas na simulação para os parâmetros simulados são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Cargas poluidoras (g/ha.dia) e concentrações típicas (mg/l) de poluentes no esgoto doméstico.

| Parâmetro | Carga | Concentração | Carga adotada | |
|----------------------------------|--|---|------------------------|--|
| Nitrogênio total | 4,2 ^(a) | 3-24 ^(b) | 5,0 | |
| | 5,6 ^(b) | | | |
| | 4,0 ^(c) | 35-70 ^(d) | | |
| | 6,0-12,0 ^(d) | | | |
| Fósforo Total | 1,06 ^(a) | 1-11 ^(b) | 1,0 | |
| | 1,1 ^(b) | | | |
| | 0,8-1,1 ^(c) | 5-25 ^(d) | | |
| | 1,0-4,5 ^(d) | | | |
| DBO | 43,28 ^(a) | 60-200 ^(b) | 50,0 | |
| | 18,25-21,90 ^(b) | | | |
| | 16,0-19,0 ^(c) | 250-350 ^(d) | | |
| | 40,0-60,0 ^(d) | | | |
| Coliformes totais ^(e) | 2,32x10 ¹⁰ ^(a) | 10 ⁵ -10 ⁷ ^(b) | 10¹⁰ | |
| | 10 ¹⁰ ^(c) | | | |
| | 10 ⁹ -10 ¹² ^(d) | 10 ⁶ -10 ⁹ ^(d) | | |
| | | | | |

Fonte: (a) Pró-Guaíba (1991) *apud* DeLuca *et al.* (1996); Overcash (1980) *apud* DeLuca *et al.* (1996); Rast (1993) *apud* DeLuca *et al.* (1996); (b) Novotny (2003) *apud* Larentis (2001); (c) SUDERHSA (1997) *apud* Larentis (2001); (d) Von Sperling (1997); (e) Carga [org/hab.dia]; Concentração [org/100ml]

As fontes poluidoras de origem difusa, consideradas no modelo matemático QUAL2K de forma distribuída ao longo dos cursos d'água principais, foram alocadas para representar o retorno de uma parcela da vazão demandada para irrigação. Esta parcela que atinge os cursos d'água, no entanto, retorna para o sistema contendo elevados níveis de sólidos e nutrientes, por conta da atividade de adubação do solo. Esta parcela de vazão foi considerada como um percentual da quantidade demandada. Para as atividades de oleiculturas foi considerado o valor de 10%, enquanto para as áreas com plantio de arroz a estimativa foi de 30% da demanda. As cargas provenientes das atividades de irrigação foram estimadas utilizando coeficientes de produção *per capita* empregados na literatura (Tabela 2). Salienta-se que foram consideradas somente as cargas de nutrientes.

Tabela 2: Cargas poluidoras e concentrações típicas de poluentes na irrigação de culturas.

| Parâmetro | Carga (kg/ha.ano) |
|-------------------|-------------------|
| Nitrogênio total | 20,81 |
| Fósforo Total | 4,49 |
| DBO | NP |
| Coliformes totais | NP |

CALIBRAÇÃO DO MODELO

Para calibração do modelo matemático foram utilizados dados do monitoramento da qualidade da água realizado pela FEPAM-RS em diversas seções ao longo do rio Caí. Campanhas de amostragem adicionais

foram executadas nas sub-bacias do rio Caí para ajuste do modelo no exutórios dos tributários considerados na simulação. Utilizou-se uma avaliação visual para a etapa de ajuste do modelo aos dados observados. Considerou-se a concertação média dos parâmetros amostrados como meta para definir a calibração do modelo.

CENÁRIOS

Os resultados obtidos na etapa de calibração foram definidos como o cenário atual de qualidade da água na bacia do rio Caí. A partir deste foram simulados cenários de intervenção para atingir o pré-enquadramento proposto. Resultados preliminares indicaram que as medidas deveriam ser direcionadas às fontes pontuais de esgotos gerados nas sedes urbanas. Neste sentido, foram simulados 3 cenários de intervenção levando em conta variações nos percentuais de população urbana atendida por sistema de tratamento de esgoto (30-100%), em função do tamanho da população e capacidade de diluição do curso d'água, e nível do tratamento nos municípios (secundário ou terciário). A vazão Q95 da curva de permanência foi adotada para a avaliação da qualidade da água nas cenarizações do Enquadramento. A Tabela 3 apresenta a situação atual e o cenário de pré-enquadramento definida para as unidade de gestão na bacia do rio Caí.

Tabela 3: Classificação atual e de Pré-Enquadramento nos segmento da bacia do rio Caí.

| Trecho | Situação Atual | Pré-Enquadramento |
|--|----------------|-------------------------------|
| Alto Caí - Barragens | CLASSE 1 | CLASSE 1 |
| Alto Caí - Lava Pés | CLASSE 1 | CLASSE 1 |
| Alto Caí - Macaco Forqueta - Margem Direita | - | CLASSE 1 (Rio Caí - CLASSE 2) |
| Alto Caí - Macaco Forqueta - Margem Esquerda | CLASSE 4 | CLASSE 2 (Rio Caí - CLASSE 2) |
| Alto Caí - Caracol Juá - Margem Direita | - | CLASSE 1 (Rio Caí - CLASSE 1) |
| Alto Caí - Caracol Juá - Margem Esquerda | CLASSE 3 | CLASSE 2 (Rio Caí - CLASSE 1) |
| Arroio Piaí - Leste | CLASSE 4 | CLASSE 1 |
| Arroio Piaí - Oeste | - | CLASSE 2 |
| Arroio Pinhal | CLASSE 4 | CLASSE 3 |
| Arroio Belo | CLASSE 3 | CLASSE 2 |
| Arroio do Ouro | CLASSE 1 | CLASSE 1 |
| Arroio Forromeco | CLASSE 3 | CLASSE 2 |
| Alto Caí - trecho baixo | CLASSE 3 | CLASSE 2 |
| Médio Caí - trecho alto | - | CLASSE 2 |
| Médio Caí - Tupandi | CLASSE 3 | CLASSE 2 |
| Arroio Maratá - Nascentes | - | CLASSE 1 |
| Arroio Maratá | CLASSE 3 | CLASSE 2 |
| Alto Cadeia | CLASSE 4 | CLASSE 2 |
| Arroio Feiroria - Serraria | - | CLASSE 1 |
| Arroio Feitoria - trecho alto | - | CLASSE 1 |
| Arroio Feitoria - trecho médio | CLASSE 4 | CLASSE 2 |
| Arroio Feitoria - trecho baixo | CLASSE 4 | CLASSE 3 |
| Baixo Cadeia | CLASSE 4 | CLASSE 3 |
| Médio Caí - trecho baixo | CLASSE 2 | CLASSE 2 |
| Baixo Caí - trecho alto | CLASSE 2 | CLASSE 2 |
| Baixo Caí - trecho médio | CLASSE 3 | CLASSE 2 |
| Baixo Caí - trecho médio - Bom Jardim | CLASSE 4 | CLASSE 3 |
| Baixo Caí - trecho baixo | CLASSE 1 | CLASSE 2 |

RESULTADOS

CALIBRAÇÃO DO MODELO QUAL2K

A seguir são apresentados alguns perfis longitudinais do rio Cai e tributários, nos quais comparam-se os dados simulados com o modelo QUAL2K e dados observados. No caso da vazão, a comparação é feita com os resultados da simulação hidrológica desenvolvida com o modelo MGB-IPH. De uma maneira geral, os resultados simulados apresentaram uma boa concordância com os dados observados ou calculados, no caso da vazão.

Os resultados de vazão (Figura 2) demonstram que a hipótese empregada para estimar as vazões de entrada no sistema foi satisfatória. Algumas discordâncias entre os valores, principalmente próximo da foz, podem ser explicadas pelo fato dos valores discretos representarem a disponibilidade hídrica, enquanto que o perfil contínuo é o resultado do balanço hídrico contabilizando as demandas dos usos múltiplos na bacia. O coeficiente de Manning utilizado foi de 0,035.

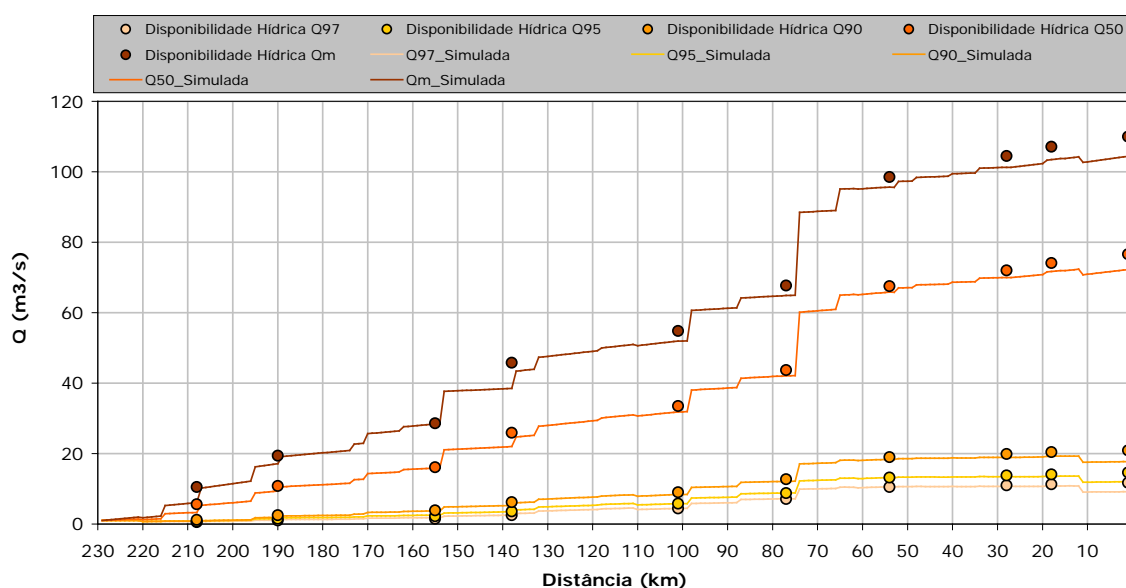


Figura 2: Perfil longitudinal de vazões simuladas no Rio Cai.

A avaliação da calibração para o módulo de qualidade da água do modelo foi realizada com base na comparação visual entre os dados máximos, mínimos e médios medidos, e os resultados simulados nas correspondentes seções de amostragem. O ajuste foi considerado satisfatório, pois o modelo foi capaz de representar os níveis de concentração dos parâmetros monitorados na rede de drenagem e a variabilidade espacial da qualidade da água na bacia. O ajuste foi obtido para coeficientes cinéticos mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Coeficientes cinéticos utilizados na calibração do modelo.

| Coeficiente cinético | Faixa de valores | Valor adotado |
|---|------------------|---------------|
| Taxa de decaimento da DBO (dia^{-1}) | 0,1-5,0 | 0,1-0,5 |
| Taxa de reaeração (dia^{-1}) | 0,1 - 50 | Owen-Gibbs |
| Taxa de decaimento de Fósforo (dia^{-1}) | 0,01-0,7 | 0,3 |
| Taxa de hidrólise do nitrogênio orgânico (dia^{-1}) | 0,01-0,4 | 0,01 |
| Taxa de sedimentação do nitrogênio orgânico (dia^{-1}) | 0,01-0,1 | 0,1 |
| Taxa de nitrificação (dia^{-1}) | 0,01-10 | 0,2 |
| Taxa de sedimentação de coliformes fecais (dia^{-1}) | 0,1-2,0 | 0,5 |
| Taxa de decaimento de coliformes fecais (dia^{-1}) | 0,1-10 | 2,0 |

Fonte: USEPA (1985)

De uma maneira geral, independente do parâmetro simulado, o modelo responde de forma diferente em relação à disponibilidade hídrica considerada. Na sequência, as figuras apresentam valores de concentração maiores para a vazão Q97, devido à menor vazão ofertada pela bacia e, portanto, mostra um cenário mais concentrado

das cargas poluidoras. Por outro lado, uma vazão reduzida resulta em um menor tempo de residência de um determinado constituinte ao longo da rede de drenagem, favorecendo a sua remoção.

A Figura 3 apresenta a comparação entre o perfil simulado e os dados medidos para oxigênio dissolvido ao longo do rio Caí. Verifica-se que OD obteve um bom ajuste às concentrações médias observadas ao longo do curso d'água. Nota-se também que os valores simulados não demonstraram grande sensibilidade em relação à disponibilidade hídrica considerada na bacia. Sugere-se que este fato pode ser atribuído aos elevados coeficientes de reaeração obtidos da equação de Owen-Gibbs devido às características hidráulicas do canal, que realmente favorecem este processo, sobretudo no seu trecho superior e das contribuições de afluentes.

O impacto dos tributários e fontes pontuais das sedes urbanas ao longo do rio Caí pode ser verificado mais claramente na Figura 4. Os principais tributários, no sentido de alterar a qualidade da água na rede de drenagem, referem-se àqueles que drenam os esgotos cloacais de Caxias do Sul, como arroios Piaí (km190), Belo e Pinhal (km 172), e ao rio Cadeia (km 138), que drena através do arroio Feitoria os esgotos de sedes urbanas importantes como Ivoti e Dois Irmãos, além de indústrias do ramo de couro.

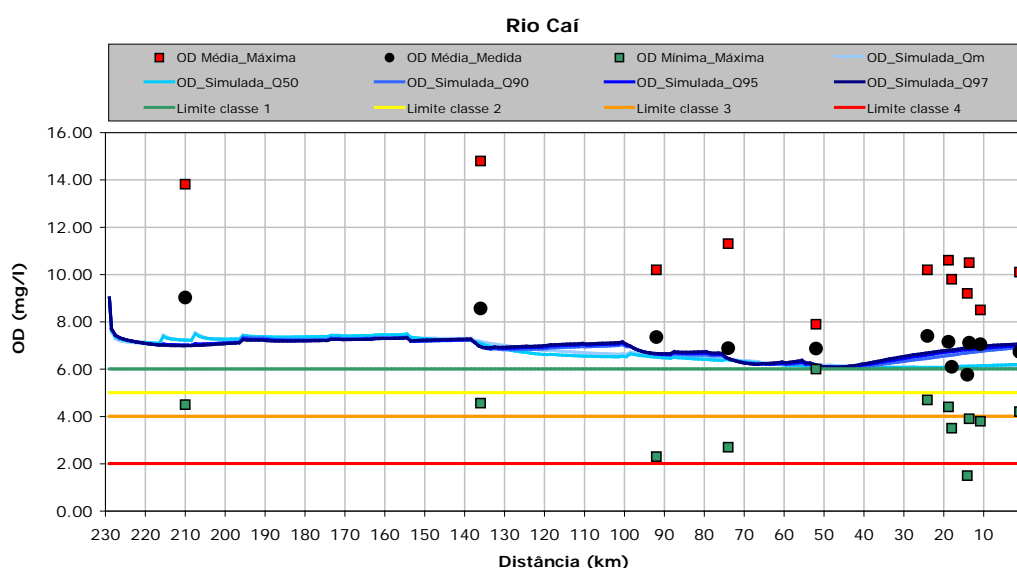


Figura 3: Perfil longitudinal simulado para oxigênio dissolvido no Rio Caí.

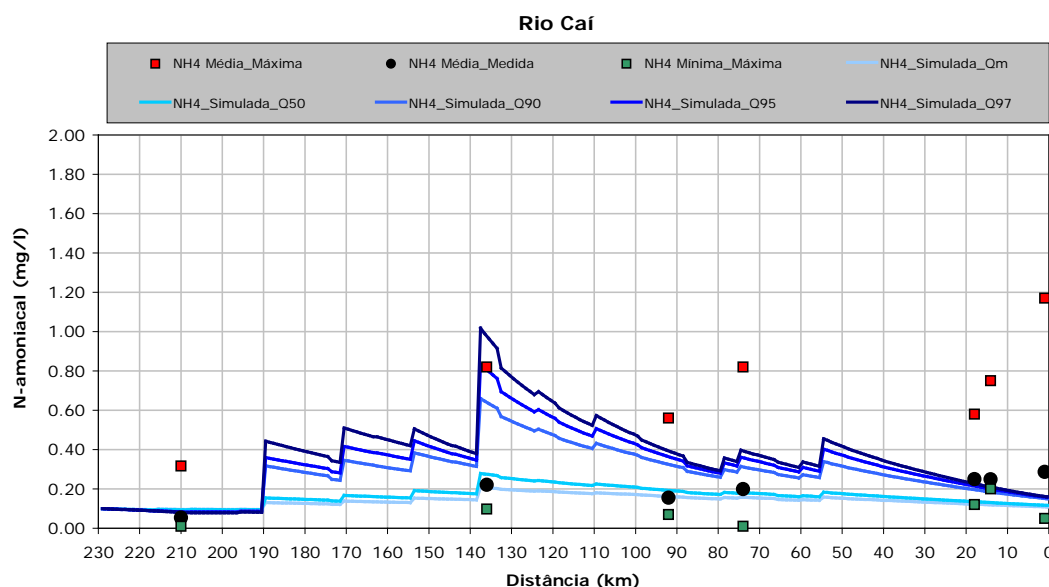


Figura 4: Perfil longitudinal simulado para N-NH₃ dissolvido no Rio Caí.

A Figura 5 mostra o impacto os esgotos cloacais urbanos oriundos dos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, ao longo do arroio Feitoria, através do perfil longitudinal da densidade de coliformes fecais. Enquanto no trecho superior do rio Feitoria os níveis de coliformes situam-se abaixo de 20 NMP/100ml (classe 1), a jusante do km 23,0 os níveis são majorados acima do limite da classe 3.

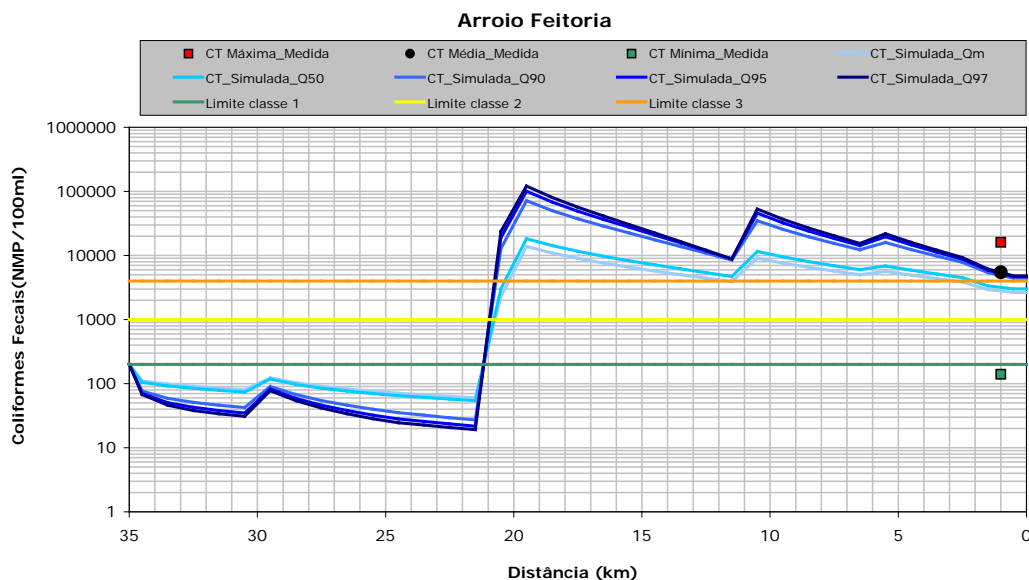


Figura 5: Comparação entre os dados simulados e observados para Coliformes Fecais (NMP/100ml) no arroio Feitoria.

Depois de considerada satisfatória a etapa de ajuste do modelo, foram realizadas simulações considerando separadamente as cargas poluidoras segundo sua origem: esgoto municipal, indústria e cargas difusas. Os resultados obtidos nesta abordagem são mostrados nas Figuras 6 e 7, para o rio Caí e Cadeia, respectivamente, e revelaram que uma parcela significativa de carga oriunda dos esgotos municipais em relação às demais fontes poluidoras.

Na grande maioria dos trechos simulados, o esgoto doméstico é responsável por mais de 80% da carga poluidora, enquanto os 20% restantes são dirigidos aos efluentes industriais e cargas difusas. Esta avaliação definiu em um segundo momento no processo as medidas de controle necessárias para atingir o pré-enquadramento desejado na simulação dos cenários.

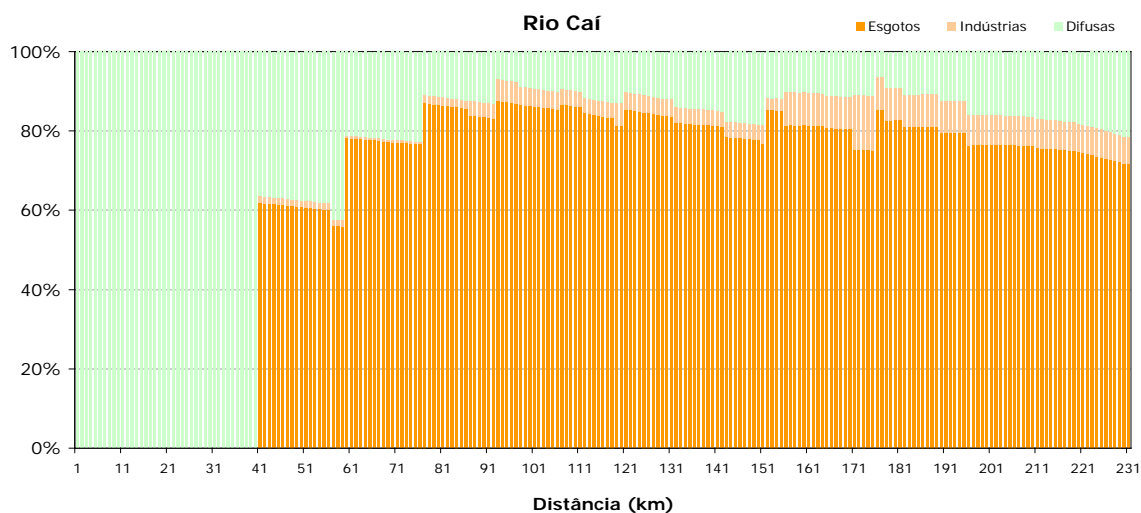


Figura 6: Representatividade das cargas poluidoras (DBO) ao longo das seções simuladas no rio Caí

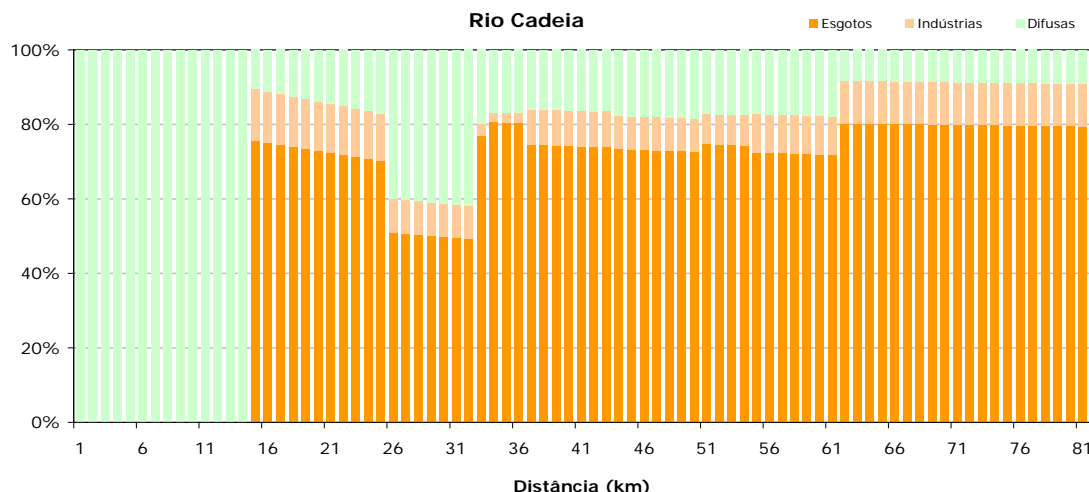


Figura 7: Representatividade das cargas poluidoras (DBO) ao longo das seções simuladas no rio Cadeia

AVALIAÇÃO DO CENÁRIO PARA ATINGIR O PRÉ-ENQUADRAMENTO

Os 3 cenários avaliados foram sintetizados em uma única proposta de medidas com o intuito de atingir o enquadramento proposto. A seguir, por brevidade, é abordado somente o cenário final de medidas de intervenção.

As simulações indicaram que as medidas de intervenção sobre a agricultura e indústrias são pouco eficazes, visto que ambos os setores são pouco representativos em termos de cargas e, no caso das indústrias, já ocorre o tratamento dos efluentes.

O principal poluidor na bacia são os municípios, visto que atualmente o percentual de tratamento de esgotos das sedes urbanas na bacia do rio Caí é extremamente baixo. Como agravante a bacia possui sedes localizadas nos divisores da bacia e sub-bacias, o que inviabiliza a diluição dos esgotos brutos gerados, como é o caso, por exemplo, de Caxias do Sul.

Desta forma, as medidas de intervenção sugeridas para o cenário final referem-se unicamente à coleta e tratamento dos esgotos domésticos gerados nas sedes urbanas inseridas na bacia. A proposta flexibiliza o percentual da população urbana (PU) atendida por sistema de esgotamento sanitário (SES) levando-se em conta o impacto da sede municipal sobre a qualidade da água. Sendo assim, a proposta final é função da população urbana conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Percentual da população urbana atendida por SES – Cenário Final para o Enquadramento.

| Faixa de População Urbana | Pop. Atendida (%) |
|-------------------------------|-------------------|
| P.U. < 5.000 hab | 30% |
| 5.000 hab < P.U. < 10.000 hab | 50% |
| P.U. > 10.000 hab | >80% |

A simulação permitiu também o mapeamento da bacia do rio Caí em níveis de criticidade, os quais refletem de certa forma o nível de esforços necessários para atender o cenário de pré-enquadramento (Figura 8). Fósforo total mostrou-se como a principal restrição ao atendimento do pré-enquadramento (Figura 9) seguido por DBO (Figura 10). Para aqueles municípios localizados em sub-bacias classificadas como críticas indicou-se uma eficiência de remoção de fósforo em nível terciário.



Figura 8: Nível de criticidade para o atendimento do cenário de pré-enquadramento.

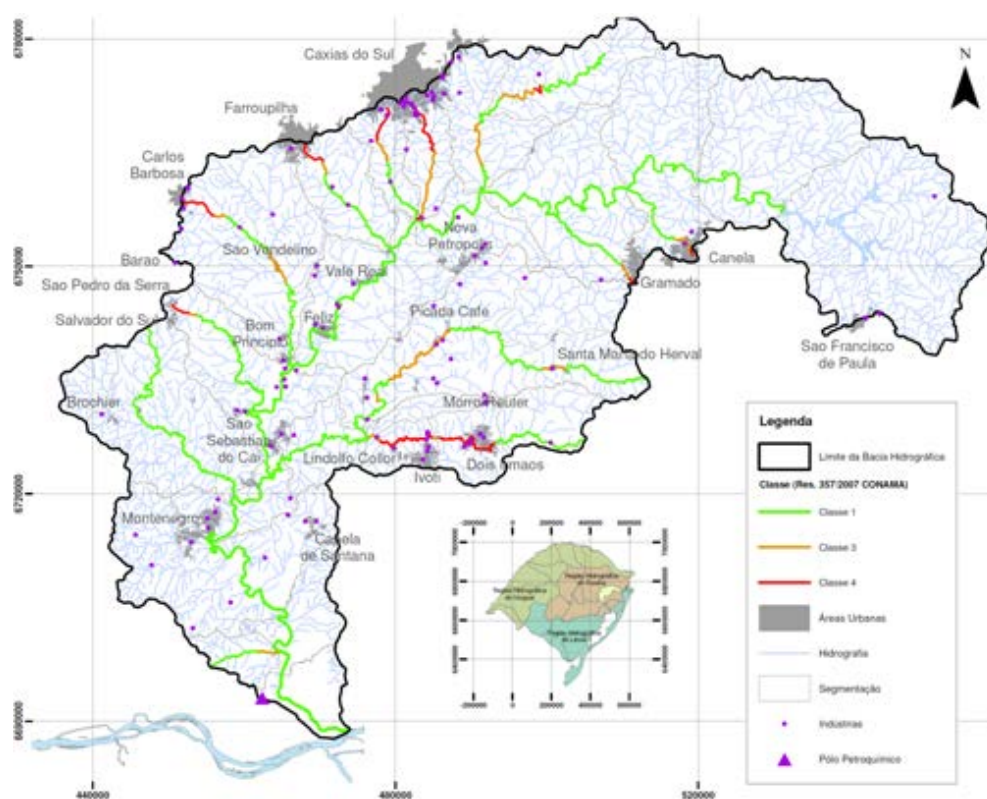


Figura 9: Resultados da simulação com o modelo QUAL2K para fósforo total considerando a composição final dos 3 cenários.

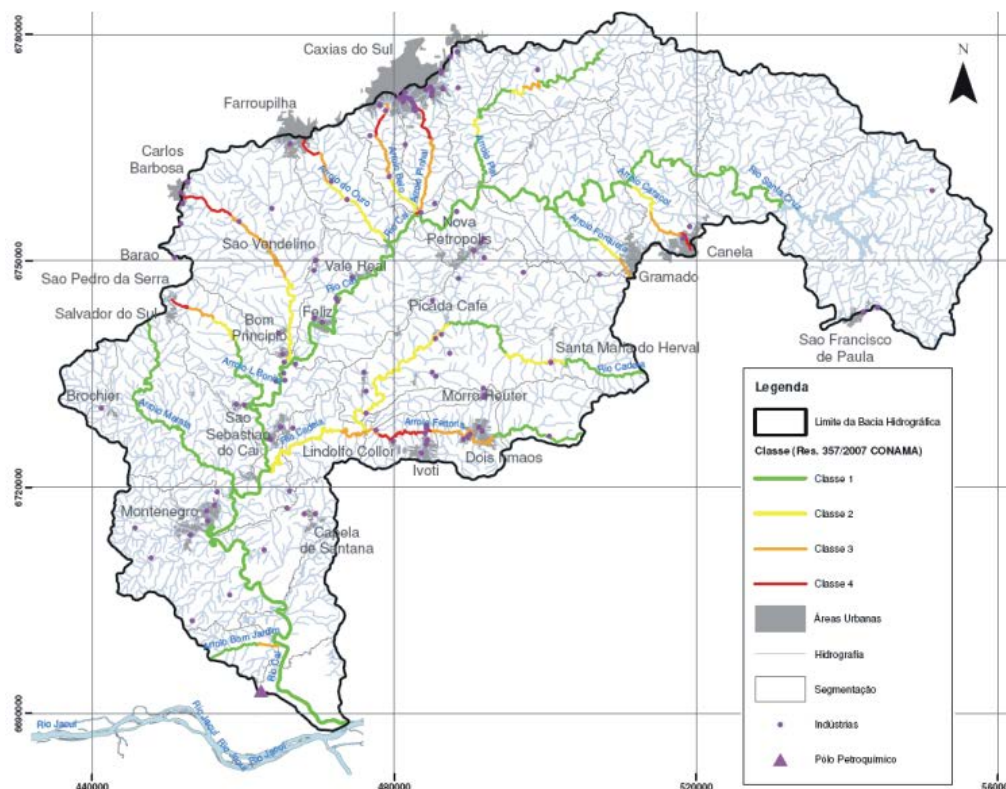


Figura 10: Resultados da simulação com o modelo QUAL2K para DBO considerando a composição final dos 3 cenários.

CONCLUSÕES

A atividade de simulação matemática da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Caí subsidiou informações relevantes no âmbito do Plano de Bacia não somente para o direcionamento das medidas de controle na bacia para atingir o Cenário de Pré-enquadramento, mas sobretudo para definir possibilidades concretas de enquadramento em alguns segmentos da bacia hidrográfica.

A modelagem da bacia resultou no mapeamento de pontos críticos na bacia quanto aos esforços necessários para atingir o cenário de pré-enquadramento proposto. Destacam-se como bacias de elevada criticidade a bacia do arroio Pinhal, onde se localiza uma grande parcela da sede urbana de Caxias do Sul, e a bacia do arroio Feitoria, trecho alto e médio, onde se localizam as sedes urbanas Dois Irmãos, Morro Reuter, Lindolfo Collor e Ivoti, além de indústrias do ramo coureiro-calçadista. Em todos os segmentos avaliados, fósforo total mostrou-se como o parâmetro com maior dificuldade para atingir o cenário de pré-enquadramento.

O estudo mostrou que modelos matemáticos podem funcionar como uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos. Deve-se destacar que a confiabilidade dos resultados de modelos é diretamente proporcional aos esforços contínuos realizados para o monitoramento da qualidade da água, a fim de se obter um conhecimento concreto das cargas poluidoras na rede de drenagem. Além disso, modelos podem representar ferramentas permanentes de gestão ambiental de bacias hidrográficas, os quais podem ser integrados ou não a sistemas de informação geográfica (SIG), atuando no apoio a tomada de decisão como, por exemplo, em processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos e projeção futura da qualidade da água devido ao desenvolvimento econômico de uma determinada região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chapra, S.C., Pelletier, G.J., Tao, H. (2006). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
2. Collischonn, W. (2001): Simulação hidrológica de grandes bacias, tese de doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 196p.
3. De Luca, S.J., Prates, S.H., Kotlhar, M.K., Cantelli, M., Santana, C.G., Sampaio, A. (1995). Diagnóstico da contaminação dos recursos hídricos na bacia do rio Caí/RS. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental-Sibesa, Rio de Janeiro.
4. Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y., Kanel, S.R., Pelletier, G.J. (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. Ecological Modelling, n°202, pg.503–517.
5. Larentis, D. (2001). Modelagem Matemática da Qualidade da Água em Grandes Bacias: Sistema Taquari-Antas, RS. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
6. Von Sperling, M. (1997). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Volume 4 - Lodos Ativados. 2ªed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais.
7. USEPA (1985). Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality, second ed. EPA 600/3-85-040, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.