

REVISÃO DA LITERATURA

2.1. TRABALHOS RELACIONADOS

Ao longo dos últimos 10 anos, diversos autores vêm utilizando o Qual2E como ferramenta para auxiliar o gerenciamento de recursos hídricos, mais precisamente de sistemas fluviais. A maioria dos trabalhos publicados possui o mesmo escopo e seguem, basicamente, a mesma metodologia: (i) discretização do sistema, de acordo com a descrição do Qual2E e calibração do modelo através de dados coletados em campo; (ii) validação dos parâmetros de calibração em simulações prováveis, de forma a prever danos à qualidade da água ou ao volume hídrico e (iii) discussão dos resultados, permitindo a tomada de ações presentes e futuras que incidam sobre a bacia.

A primeira etapa, que consiste na discretização do sistema a ser modelado e subsequente calibração de dados experimentais, é fundamental para que haja consistência entre as simulações e a realidade e, com isso, a modelagem possa ser efetivamente usada como ferramenta em processos decisórios. A confiabilidade dos dados observados, o domínio das condições hidráulicas e morfológicas da bacia, a exata localização dos pontos de descarga e retirada das indústrias e municípios circunvizinhos são fatores fundamentais para uma calibração bem feita. Quanto maior o nível de conhecimento sobre a bacia a ser modelada, mais precisa será a calibração, a ser concluída na definição de uma boa correlação entre os dados calculados e observados.

A segunda etapa utiliza os parâmetros ajustados na calibração para prever, através de simulações hipotéticas, cenários futuros que gerem ameaças ou mesmo

melhorias sobre a qualidade de água. Esta etapa, também conhecida como validação dos parâmetros, será mais representativa quanto melhor ajustada for a calibração. É, efetivamente, a etapa que definirá as ações a serem tomadas sobre a bacia.

A terceira etapa é a própria análise da situação da bacia em função dos resultados obtidos nas etapas anteriores, permitindo a consistência no gerenciamento recursos e no processo de tomada de decisões sobre o sistema fluvial

Dentro deste mesmo contexto, diversos trabalhos podem ser mencionados e todos seguem a metodologia citada anteriormente, sendo diferenciados apenas pelos parâmetros investigados e pela bacia escolhida como objeto de estudo.

Van Orden e Uchrin (1993) utilizaram o Qual2E para a modelagem da dinâmica de OD, no rio Whippany, localizado a noroeste de Nova Jersey. A calibração do modelo considera os parâmetros de DBO (carbonácea e nitrogenada), DSO, série nitrogenada e processos naturais de fotossíntese e respiração de algas. A validação dos parâmetros calibrados foi realizada através de dados observados por 5 anos consecutivos. As principais fontes de remoção de OD foram detectadas nas ETEs das cidades de Morristown e Hanover e concluiu-se que uma melhoria na qualidade dos efluentes em DBO-5 e amônia, além de uma remoção mais eficiente dos sólidos dissolvidos, elevaria a concentração de OD para níveis permissíveis pela legislação.

Seguindo a mesma linha, Gosh e McBean (1995) calibraram o Qual2E para um trecho de 10 km de um tributário do rio Ganges, o rio Kali, cuja área de drenagem é basicamente agrícola. Neste trabalho, a taxa de sedimentação da DBO-5 foi estimada experimentalmente através de valores de turbidez. Os demais parâmetros seguiram correlações do próprio Qual2E ou mesmo correlações externas, sendo posteriormente ajustados em função do resultado da calibração. Os dados gerados pelo modelo mostraram grande proximidade com os dados observados na estiagem.

Em 1996, Drolc e Koncan realizaram a modelagem da qualidade da água do rio Sava, na Eslovênia, através do Qual2E, para a avaliação do impacto da descarga de dois tributários, na região de Ljubljana. O modelo foi alterado para que somente os

efeitos mais críticos sobre a concentração de OD foram considerados, em detrimento da fotossíntese. A calibração é ainda complementada com uma análise de sensibilidade dos parâmetros ajustados, tais como DBO₅, k_1 , k_2 , SOD, temperatura e vazão, sendo estes dois últimos, determinados como os fatores mais impactantes sobre a concentração de oxigênio dissolvido.

Em Ciravolo et al. (2000), o modelo foi aplicado para o rio Simeto, na região da Sicília, Itália. O trabalho seguiu primeiramente as etapas usuais de discretização e calibração, seguindo uma etapa posterior de validação através de simulações de possíveis cenários, visando avaliar os efeitos de tratamento de descargas poluentes e reciclagem de efluentes municipais na agricultura, de forma a atingir os limites legais de emissão. Foi possível desenhar indicações sobre a qualidade de água diante de diversos graus de depuração impostos, explorando a ferramenta de gerenciamento disponível com o modelo.

Chaudhury et al. (1998) calibraram o Qual2E para o rio Blackstone, no noroeste dos EUA utilizando dados de estiagem levantados em 1991. Os efeitos de fotossíntese algal, demanda bentônica e nitrificação foram adicionalmente considerados, o que permitiu uma validação muito bem sucedida na tentativa de identificar previamente os efeitos de uma alocação pontual de descarga de poluentes no rio.

Em 2000, Yang, Sykes e Merry estimaram as taxas de crescimento e respiração algal utilizando o Qual2E - como modelo unidimensional - e dados de qualidade coletados em duas dimensões através de imagens do satélite SPOT. Neste caso, as imagens do satélite foram convertidas em dados de concentração de clorofila ao longo do reservatório Te-chi. Uma correlação não-linear entre os dados gerados pelo modelo e determinados pelo satélite permitiu minimizar a diferença entre o observado e o simulado, através do método estatístico de mínimos quadrados. Os autores demonstraram uma maneira alternativa eficiente de se evitar medidas de campo para validação do modelo.

Após o ano de 2000, mais 2 trabalhos foram publicados no continente asiático, onde a demanda por recursos hídricos de boa qualidade é cada vez maior, devido à grande massa populacional que consome direta ou indiretamente água dos rios. Nesta região há uma desproporção entre oferta e demanda, daí a preocupação em gerar trabalhos que permitam prever e atuar sobre a qualidade da água.

O rio Kao-Ping, também em Taiwan foi modelado em 2000 por Ning et al. focando os parâmetros OD, DBO, nitrogênio sob a forma de amônia e fósforo total. O procedimento natural de calibração foi realizado, utilizando-se dados de estiagem para a calibração e dados de cheia para a validação do modelo. A correlação entre os dados observados e calculados pelo Qual2E foi bastante satisfatória ao longo dos 110 km do rio.

Finalmente em 2002, o rio Nakdong, na Coreia, foi modelado por Park e Lee através do Qual2E. Neste trabalho porém, os autores realizaram modificações na estrutura computacional do modelo, inserindo alguns parâmetros adicionais, tais como: conversão de mortalidade de algas em DBO, denitrificação e alteração no OD causada por plantas fixas. Estas mudanças geraram um novo modelo, o Qual2K, cuja calibração foi executada e comparada com o Qual2E. Ambas as versões apresentaram bom desempenho junto aos dados observados, porém para os parâmetros DBO, OD e nitrogênio total, o Qual2K apresentou melhor correlação com os dados de campo, devido a suas propriedades de considerar outras interações. Para a estimativa dos coeficientes de reação, foram utilizados valores dentro das faixas indicadas pelo manual do modelo, tanto para a simulação no Qual2E quanto no Qual2K. O rio Nakdong possui uma extensão de 341 km em seu curso principal onde, somada a mais 400 km de seus principais tributários, foi aplicada a modelagem.

2.2. LIMITAÇÕES DO MODELO

Shanahan et al. (1998) publicaram um trabalho sequencial em 3 etapas, onde são abordadas a evolução, limitações e sugestões de melhoria no que diz respeito à aplicação do Qual2E na modelagem da qualidade de água. Uma breve colocação

sobre as principais limitações do modelo faz-se aqui necessária, visto que o trabalho convive com muitas delas e estas se constituem nas maiores fontes de erro entre as curvas calculada e observada, acarretando falhas na calibração.

2.2.1. NA APLICAÇÃO

As limitações do Qual2E se tornam aparentes quando se tenta simular condições fora do fluxo estacionário ou de emissões constantes, para o qual foi projetado. Apesar de estar adequado a cargas pontuais de poluição, o modelo esbarra em qualquer intermitência das cargas ou mesmo do fluxo.

Mais relevantes são as limitações devido à contribuição de cargas não pontuais, as quais o modelo não prevê e quase sempre estão presentes na bacia a ser modelada. A presença de pastagens, culturas intensivas – como a cana-de-açúcar – e ocupação populacional rural constituem importantes fontes de cargas não pontuais, as quais introduzem grande concentração de carga orgânica no rio, sobretudo em épocas de chuva.

Ambas as limitações para cargas pontuais e não pontuais comprometem a habilidade do modelo em tratar situações comuns como a presença de hidrelétricas ou outras barragens que causem flutuações diurnas no fluxo do rio; transbordamento de esgotos devido a fortes chuvas; ou ainda a descarga de efluentes industriais mais intensa em dados turnos.

2.2.2. NA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Como todos os modelos, o Qual2E incorpora certas simplificações e aproximações. Estas podem gerar limitações específicas para certas aplicações mas, em geral, reduzem a robustez do modelo.

O Qual2E trata o rio como um sistema unidimensional. Implícito a este tratamento está o fato de que nenhuma emissão de poluente é instantaneamente misturada ao longo da seção transversal do rio. Em termos de qualidade de água, o resultado é que a previsão de concentrações médias de poluentes no rio deveria ser muito menor do que as coletadas no ponto de descarga do efluente.

O princípio básico dos modelos de qualidade de água é a conservação de massa. Conseqüentemente, existe uma preocupação na abordagem atual quanto à má definição da DBO como variável de estado, o que significa que os balanços não podem ser fechados pois não estarão considerando toda a matéria orgânica presente no meio. Em vez de uma única substância, a DBO é um resultado das mudanças ocorridas no substrato consumido e na biomassa produzida, que podem variar consideravelmente. Os modelos que utilizam a DBO como única substância com respectiva taxa de decaimento não levam em conta tais variações. Isso significa que uma DBO proveniente de um esgoto urbano pode não ter decaimento similar à proveniente de um despejo industrial mais refratário.

Outro ponto a ser colocado é a deficiência no fechamento dos balanços envolvendo interações com o sedimento, mesmo apesar do coeficiente de demanda bentônica (K_4) presente nas equações do modelo. No Qual2E alguns constituintes são perdidos no balanço de massa devido à sedimentação de fundo: nitrogênio orgânico, fósforo orgânico, além da própria DBO. Sugestões de como reverter estas deficiências podem ser melhor entendidas em Shanahan et al (1998).

2.2.3. NA CALIBRAÇÃO

Além da escolha adequada da formulação do modelo, a calibração é uma etapa chave na modelagem. Um parâmetro bastante relevante na calibração é o coeficiente de reaeração k_2 , para o qual as previsões do modelo se mostram bem sensíveis. Geralmente, k_2 é tido como função da temperatura, profundidade do canal e velocidade. Entretanto, descargas intermitentes associadas à drenagem urbana, transbordamentos ou chuvas intensas geram fontes não pontuais que interferem

variações no fluxo do rio e, conseqüentemente, no valor de k_2 . Sendo assim, é no mínimo incorreta a suposição de que k_2 permanece um valor sempre constante em cada trecho.

A unicidade da combinação dos parâmetros ajustados também pode ser algo contestado na calibração do modelo. Isso porque deverão existir diversas combinações entre coeficientes, especialmente k_1 e k_2 que levarão a simulação ao mesmo resultado.

2.2.4. NA COLETA DOS DADOS

Um impedimento básico para uma modelagem bem sucedida de qualidade de água é a falta de dados adequados para a calibração e validação. Thomann apud Shanahan et al. (1998) descreve a importância de se utilizar conjuntos de dados que representem condições diferentes, porém reais, para a calibração e validação. Esta necessidade de dados independentes leva o usuário do modelo a buscar ou mesmo conduzir programas de coleta e medidas abrangendo as variações mais extremas de fluxo e clima.

A coleta de dados em campo esbarra em limitações de recursos financeiros e humanos. Tais levantamentos requerem periodicidade na coleta e rapidez nas análises, demandando uma equipe voltada para este fim. Apesar de toda a dificuldade em levantar dados consistentes, sempre existirá um desvio na qualidade e quantidade de água na bacia ao longo dos anos, inerente a sua dinâmica. Uma estatística para um período acima de 5 anos pode ocultar fatores que influenciaram a qualidade de água, – como a construção de novas ETEs, disposição de efluentes tratados por algumas indústrias, explosão populacional em dada área e outros – causando a inferência de valores médios incorretos no modelo.