

IV-263 – O MODELO DE CORRELAÇÃO USO DO SOLO QUALIDADE DA ÁGUA – MQUAL E SUGESTÕES DE APRIMORAMENTO

Luis Otavio Kaneiوشي Montes Imagiire⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário SENAC.

Claudio Evaldo de Sousa Junior⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Faculdade União das Américas. Pós-graduação em Agrimensura e Geoprocessamento pela Faculdade União das Américas. Mestrado em Energia pela Universidade Federal do ABC.

Carlos Alberto Amaral de Oliveira Pereira⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

José Antônio Oliveira de Jesus⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Mestrado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Doutorado em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo.

Ricardo Tierno⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Nove de Julho. Mestre em Construção Civil e Urbana pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Capitão Antônio Rosa, 406 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 01443-010 - Brasil - Tel: (11) 3897-8000 - e-mail: luisimagiire@cobrape.com.br

RESUMO

O Modelo de Correlação Uso do Solo / Qualidade da Água – MQUAL é um modelo matemático que permite mensurar a geração/afluência de cargas difusas e pontuais de poluentes em uma bacia hidrográfica. Desde sua primeira versão, o modelo MQUAL vem sendo utilizado como um dos principais instrumentos dos PDPA's e das Leis Específicas das APRMs de interesse regional para o abastecimento público. Nesse sentido, o MQUAL foi a ferramenta que permitiu avaliar a dimensão do impacto associado ao uso e ocupação do solo e quais seriam os investimentos necessários para o atingimento das metas. O modelo MQUAL apresenta uma estrutura que permite aperfeiçoamentos progressivos na medida em que novos conhecimentos sejam adquiridos. Ao longo do tempo foram desenvolvidas diversas versões do modelo para incluir aperfeiçoamentos e adaptações às peculiaridades de cada bacia hidrográfica em que o mesmo foi aplicado. As alterações variam desde pequenos ajustes nos coeficientes de exportação até a utilização apenas do conceito do modelo com mudança completa de sua estrutura. A partir da análise da aplicação deste modelo em diversos estudos foram identificados aprimoramentos necessários para maior efetividade na utilização desta ferramenta. Como resultado, sugere-se: registro dos dados de entrada de cada estudo no próprio modelo; incorporação da população rural na estimativa de geração de poluentes; estudo para revisão das categorias de uso do solo utilizadas, determinando uma nova composição que seja aplicável a qualquer bacia hidrográfica; estabelecimento de uma metodologia padrão para obtenção e preparação dos dados de entrada; estabelecimento das cargas meta com base na capacidade de suporte dos reservatórios a partir de modelos específicos para esta finalidade; revisão da metodologia da estimativa de esgoto exportado na bacia, com a incorporação das perdas ao longo dos sistemas de elevatórias; validação dos coeficientes, quando houver atualização, em bacias aleatórias para verificar se os mesmos representam a totalidade da bacia; estabelecimento de margem aceitável de erro para validação dos coeficientes; reavaliação dos potenciais de retenção de fósforo ao longo dos rios e sub-bacias. Ressalta-se que a discussão e compreensão do funcionamento do modelo e das metodologias adotadas entre os técnicos de todas as instituições envolvidas na gestão da bacia são fundamentais para que esse modelo seja um instrumento de gestão e planejamento efetivo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Matemática, PDPA, Qualidade da Água, MQUAL, Mananciais.

INTRODUÇÃO

O Modelo de Correlação Uso do Solo / Qualidade da Água – MQUAL é um modelo matemático que permite mensurar a geração/afluência de cargas difusas e pontuais de poluentes, a partir da análise do uso e ocupação do solo e condições infraestrutura de saneamento, em uma bacia hidrográfica. Desta forma, esta ferramenta é utilizada para indicar qual o impacto gerado por determinado cenário na bacia hidrográfica, sendo ele representativo da situação atual ou de situações futuras, sob diversas perspectivas de ocupação e de programas e ações de redução da poluição previstos ou propostos.

Sua primeira versão foi desenvolvida em 1998, no âmbito do Programa de Saneamento Ambiental da Bacia do Guarapiranga – Programa Guarapiranga, durante os estudos do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Guarapiranga – PDPA Guarapiranga. Desde então, o modelo MQUAL vem sendo utilizado como um dos principais instrumentos dos Planos de Desenvolvimento e Proteção Ambiental - PDPAs e das Leis Específicas das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais - APRMs de interesse regional para o abastecimento público. Os PDPAs são instrumentos de planejamento e gestão estabelecidos pela Lei 9.866, de 29 de novembro de 1997, que apresentam diretrizes para o estabelecimento de políticas setoriais relativas as questões que interfiram na qualidade dos mananciais, além de programas e metas para obtenção de padrões de qualidade ambiental. Os PDPAs subsidiaram o estabelecimento de normas e diretrizes a serem fixadas nas Leis Específicas de cada APRM. Estas, por sua vez, determinam metas de qualidade que podem estar relacionadas a cargas afluentes máximas ou manutenção dos corpos hídricos em conformidade com os padrões de qualidade da água estabelecidos na legislação estadual (Lei nº 997/1976, regulamentada pelo Decreto nº8.468/1976) e federal (Resolução CONAMA nº 357/2005, alterada pelas Resoluções CONAMA 410/2009 e 430/2011). Nesse sentido o modelo MQUAL tem sido a principal ferramenta utilizada para verificação do atingimento das metas estabelecidas nas leis específicas.

O modelo MQUAL em sua concepção original (primeira versão) é constituído por três módulos conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Composição do modelo MQUAL.

MQUAL	Descrição
Módulo 1 – Geração de Cargas	Nesse módulo são estimadas as cargas de poluentes (DBO _c , DBO _n , fósforo, nitrogênio, coliformes totais e sólidos suspensos) de fontes difusas e pontuais. A estimativa das cargas associadas às fontes pontuais é feita através de coeficientes de exportação baseados na quantidade de habitantes em área urbana (kg/hab.dia), com distinção para aqueles providos de infraestrutura sanitária ou de soluções individuais e ainda de acordo com a densidade demográfica. Para as fontes difusas são utilizados coeficientes de exportação associados à tipologia de uso do solo dividida, de forma simplificada, em 8 categorias (mata, campo/capoeira, reflorestamento, atividade agrícola, chácaras/movimento de terra, comercial/industrial, uso urbano de padrão superior e uso urbano de padrão inferior) baseados na área ocupada por cada categoria (kg/km ² .dia).
Módulo 2 – Simulação dos principais Tributários	As cargas de poluentes podem sofrer abatimentos por autodepuração/sedimentação ao longo dos cursos d'água até chegar ao corpo receptor final da bacia. Esse módulo simula esses abatimentos através da utilização do modelo SIMOX-III que se baseia no modelo de streeter-phelps para o decaimento da DBO, na lei de chick para o decaimento dos coliformes e em uma equação de decaimento de primeira ordem para os nutrientes (fósforo e nitrogênio).
Módulo 3 – Simulação de reservatórios	Avalia o abatimento de cargas nos reservatórios, calculando as concentrações ao longo dos mesmos. A qualidade da água nos reservatórios é estimada através do modelo HAR03.

Fonte: Adaptado de SMA/CPLEA, 2011.

A formulação básica do módulo 1, a seguir, apresenta os três componentes para estimativa da geração de cargas em cada sub-bacia: (i) somatório das cargas difusas resultantes dos produtos das áreas de cada categoria

de uso do solo pelos respectivos coeficientes de exportação; (ii) somatório das cargas pontuais resultantes dos produtos das categorias de população pelos respectivos coeficientes de exportação; (iii) somatório de cargas pontuais como lançamentos de estações de tratamento de esgoto ou lançamentos específicos como indústrias, contribuições de transposições etc. Além disso, para casos específicos onde sejam verificadas condições diferenciadas nas sub-bacias pode ser introduzido um fator de autodepuração.

$$\text{Carga Média} = f_t \times [\sum_i (A_i \times c_i) + \sum_j (P_j \times e_j) + \sum_k B_k] \quad \text{equação (1)}$$

Na qual:

f_t = coeficiente de autodepuração na sub-bacia

A_i = área ocupada por cada categoria de uso (km²)

c_i = coeficiente de exportação (kg/km².dia)

P_j = População urbana residente (hab)

e_j = coeficiente de exportação (kg/hab.dia)

B_k = outras cargas pontuais

O modelo MQUAL apresenta uma estrutura que permite aperfeiçoamentos progressivos na medida em que novos conhecimentos sejam adquiridos. Ao longo do tempo foram desenvolvidas diversas versões do modelo para incluir aperfeiçoamentos e adaptações às peculiaridades de cada bacia hidrográfica em que o mesmo foi aplicado. A Tabela 2 apresenta as principais versões desenvolvidas do modelo MQUAL e os estudos nos quais foram aplicadas.

Tabela 2: Versões do modelo MQUAL e estudos correlatos.

Versão do modelo	Contexto/Estudo
MQUAL 1.0	Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Guarapiranga – PDPA Guarapiranga (SRHSO, 1997).
MQUAL 2.0	Avaliação da poluição por fontes difusas afluente ao reservatório Guarapiranga (SMA/CETESB, 1998).
MQUAL 2.aj	Versão incorporando o trabalho “Monitoramento e estudos de intervenções em várzeas na bacia do Guarapiranga – Estudos de viabilidade de lagoas de decantação nas entradas do reservatório” (SRHSO, 1998).
MQUAL 1.5	Versão incorporando atualizações de softwares, desenvolvido para a SMA (2003).
MQUAL 1.6G	Apuração, caracterização e distribuição da população da bacia do Guarapiranga e atualização e ajuste do MQUAL (SERHS, 2006).
MQUAL 2.5J	Estabelecimento da correlação do uso do solo com a qualidade da água e a indicação de áreas de intervenção e respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional na bacia hidrográfica do reservatório Jaguari (SMA/CPLA, 2006).
MQUAL - Alto Juquery	Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Sub-bacia do Juquery-Cantareira (CBH-AT, 2008).
MQUAL 2.6 - Guaió	Bacia do Rio Guaió - Diagnóstico preliminar da qualidade ambiental da bacia hidrográfica visando estabelecer a correlação do uso do solo e qualidade da água (SMA/CPLA, 2009).
MQUAL - SPAT	Avaliação de poluição proveniente de fontes difusas na área de influência do Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT – Reservatórios Taiaçupeba, Jundiá, Biritiba, Ponte Nova e Paraitinga (SSRH, 2016).
MQUAL – PDPA ATC	Plano de Desenvolvimento Regional dos Mananciais do Subcomitê Alto Tietê-Cabeceiras: Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA e assessoria para elaboração das lei específicas (FABHAT, 2014).

Entre as diferenças mais significativas ressalta-se a variação nos valores dos coeficientes de exportação de cargas. O modelo MQUAL estima as cargas de poluentes considerando os parâmetros: fósforo total, nitrogênio total, demanda de oxigênio carbonácea, demanda de oxigênio nitrogenada, sólidos em suspensão e coliformes

termotolerantes. Entretanto, por sua relevância como nutriente limitante aos processos de eutrofização em reservatórios, o fósforo tem sido o principal parâmetro de referência para o estabelecimento de cargas meta e controle da poluição antrópica nos estudos dos PDPAs. Desta forma, a Tabela 3 apresenta a comparação dos coeficientes para o parâmetro fósforo nas principais versões do modelo.

Tabela 3: Comparação de coeficientes de fósforo nas principais versões do MQUAL.

Categorias	Unidade	MQUAL 1.0	MQUAL 2.0	MQUAL Jaguari	MQUAL Juquery	MQUAL Guaió	MQUAL SPAT
Atividade Agrícola	kg/km ² .dia	0,3460	0,0660	0,0660	0,0100	0,0265	0,0923
Reflorestamento	kg/km ² .dia	0,0391	0,0020	0,0020	0,0020	0,0075	0,0220
Mata / Capoeirão	kg/km ² .dia	0,0391	0,0020	0,0020	0,0020	0,0075	0,0259
Capoeira / Campo	kg/km ² .dia	0,0279	0,0010	0,0010	0,0030	0,0053	0,0120
Chácaras	kg/km ² .dia	0,0502	0,0050	0,0050	0,0040	0,0019	0,0844
Áreas Urbanas - SPAT*	kg/km ² .dia	-	-	-	-	-	0,1128
Áreas Urbanas - Padrão Superior	kg/km ² .dia	0,0338	0,1360	0,1360	0,1000	0,0544	0,1360
Áreas Urbanas - Padrão Inferior	kg/km ² .dia	0,1353	0,2720	0,2720	0,2000	0,1088	0,2719
Áreas de Uso Industrial e Comercial	kg/km ² .dia	0,0812	0,1900	0,1900	0,1500	0,0761	0,1904
População com lançamento direto	kg/hab.dia	0,00093	0,00151	0,00151	0,00259	0,00101	0,00151
População com sistemas individuais - Alta Densidade	kg/hab.dia	0,00079	0,00121	0,00121	0,00050	0,00081	0,00121
População com sistemas individuais - Baixa Densidade	kg/hab.dia	0,00060	0,00076	0,00076	0,00010	0,00050	0,00076

* A categoria de áreas urbanas – SPAT foi introduzida no estudo sobre avaliação das cargas difusas nas bacias do Sistema Produtor Alto Tietê para representar um tipo de ocupação característica da região que apresenta baixa densidade.

Fonte: SRHSO, 1997; SMA/CETESB, 1998; SMA/CPLEA, 2006; SMA/CPLA, 2009; SSRH, 2016.

Observa-se que a calibração dos coeficientes em diferentes bacias resultou em variações significativas dos coeficientes, sobretudo nas categorias relacionadas ao uso do solo (carga difusa). Os estudos elaborados até o momento contribuíram para a evolução e disseminação do modelo. Entretanto, há pontos a serem aprimorados na aplicação e atualização do modelo MQUAL. O presente trabalho objetiva avaliar quais os aprimoramentos necessários para efetivar o modelo MQUAL como instrumento de planejamento e gestão pública.

MATERIAIS E MÉTODOS

De modo a identificar as fragilidades e pontos a serem aprimorados do modelo MQUAL, foram analisados os principais estudos e PDPAs que subsidiaram a elaboração das leis específicas e que utilizaram este modelo como ferramenta para estimativa da geração/afluência de cargas nas respectivas bacias. A Tabela 4 apresenta a relação de estudos considerados nesta análise.

Tabela 4: Relação de planos e estudos considerados.

Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Guarapiranga – PDPA Guarapiranga (SRHSO, 1997).
Avaliação da poluição por fontes difusas afluente ao reservatório Guarapiranga (SMA/CETESB, 1998).
Monitoramento e estudos de intervenções em várzeas na bacia do Guarapiranga – Estudos de viabilidade de lagoas de decantação nas entradas do reservatório (SRHSO, 1998).
Apuração, caracterização e distribuição da população da bacia do Guarapiranga e atualização e ajuste do MQUAL (SERHS, 2006).
Estabelecimento da correlação do uso do solo com a qualidade da água e a indicação de áreas de intervenção e respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional na bacia hidrográfica do reservatório Jaguari (SMA/CPLEA, 2006).
Atualização do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga (SMA/CPLEA, 2006).
Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Sub-bacia do Juquery-Cantareira (CBH-AT, 2008).
Bacia do Rio Guaió - Diagnóstico preliminar da qualidade ambiental da bacia hidrográfica visando estabelecer a correlação do uso do solo e qualidade da água (SMA/CPLA, 2009).
Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings (SMA/CPLEA, 2011).
Plano de Desenvolvimento Regional dos Mananciais do Subcomitê Alto Tietê-Cabeceiras: Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA e assessoria para elaboração das leis específicas (FABHAT, 2014).
Avaliação de poluição proveniente de fontes difusas na área de influência do Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT – Reservatórios Taiacupeba, Jundiá, Biritiba, Ponte Nova e Paraitinga (SSRH, 2016).
Monitoramento da qualidade das águas da área de proteção e recuperação dos mananciais da bacia hidrográfica dos reservatórios Billings e Guarapiranga (SSRH, 2016).
Elaboração e revisão dos Planos de Desenvolvimento e Proteção Ambiental das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo (SSRH, no prelo).

DISCUSSÃO E RESULTADOS

O modelo MQUAL desde sua primeira aplicação em 1998 no âmbito do PDPA da Guarapiranga foi disseminado e aplicado para outras bacias hidrográficas, sobretudo as inseridas na bacia do Alto Tietê. Apesar disso, possui maior histórico de aplicação nas bacias dos Reservatórios Guarapiranga e Billings. Essas duas bacias sofreram um processo de ocupação intensa e desordenada, com uma parcela significativa da população localizada em áreas de alta densidade, de situação irregular e de favelas. Sendo assim, os impactos dessas ocupações sobre a qualidade da água nos reservatórios são bastante relevantes. Desde os primeiros estudos que aplicaram o MQUAL, verificou-se que a quantidade de poluentes afluente aos reservatórios é muito superior à capacidade de suporte dos mesmos, para que seja mantida a qualidade da água dentro dos padrões aceitáveis para os usos a que são destinados. Esses estudos subsidiaram a determinação das cargas meta fixadas nas leis específicas, a serem aferidas através da aplicação do modelo.

Nesse sentido, o MQUAL foi a ferramenta que permitiu avaliar a dimensão do impacto e quais seriam os investimentos necessários (através de cenários com ações previstas e propostas) para o atingimento das metas. Ao longo do tempo observou-se a evolução das cargas afluentes nessas bacias, a Figura 1 apresenta as cargas de fósforo total resultantes dos estudos disponíveis sobre a bacia da Guarapiranga. Esta figura apresenta as cargas de fósforo em tempo seco utilizando-se as versões do MQUAL 1.0 e 2.0, além de estimativas feitas a partir de monitoramento e estimativas de carga potencial (carga total gerada sem considerar o abatimento pela infraestrutura sanitária e nos principais tributários). Verifica-se que apesar do incremento populacional, os investimentos em infraestrutura sanitária e redução da poluição mantiveram as cargas em valores relativamente estáveis, embora distantes da carga meta (147 kg P/dia) estabelecida na lei específica nº 12.233/2006.

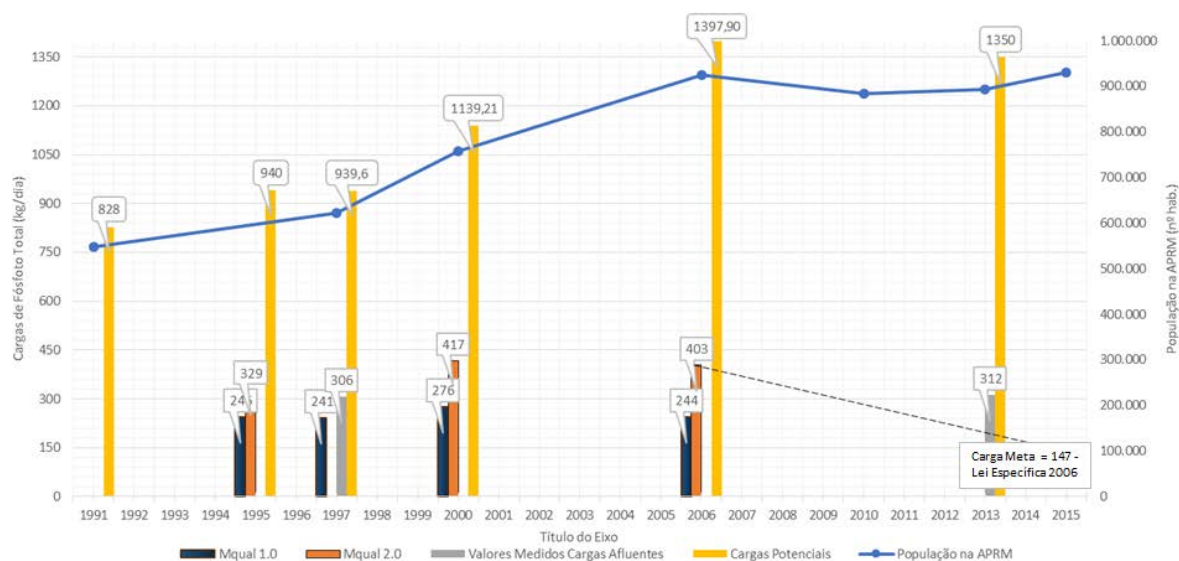


Figura 1: Evolução das cargas de fósforo na bacia da Guarapiranga.

Fonte: SSRH, no prelo.

Entretanto, por sua simplicidade e flexibilidade, na maior parte dos estudos em que foi aplicado o modelo MQUAL foram feitas alterações e adaptações, sobretudo nos coeficientes de exportação. Ressalta-se a atualização do modelo da versão MQUAL 1.0 para a versão MQUAL 2.0, na qual através de campanhas de monitoramento dos principais tributários da Guarapiranga foram ajustados e calibrados os coeficientes de exportação (módulo 1) e os coeficientes de reação do modelo SIMOX III (módulo 2), além da inclusão de estimativa da carga associada aos eventos de chuva. Apesar da atualização para a versão MQUAL 2.0 contemplar o cálculo de cargas de tempo úmido (eventos de chuva), nos estudos existentes optou-se pela utilização apenas do cálculo de cargas em tempo seco como referência.

Mesmo com essa atualização de coeficientes, nos estudos subsequentes foram utilizados os coeficientes da versão anterior MQUAL 1.0, pois a carga meta fixada (147 kg P/dia) na lei específica 12.233/2006 foi estabelecida com base no denominado “cenário referencial” que representa condições de ocupação da bacia no ano de 1980, época na qual não eram constatados problemas frequentes associados a eutrofização (SRHSO, 1997). Desta forma, para comparação com a carga meta estabelecida na lei se faz necessária a utilização dos mesmos parâmetros utilizados para geração deste cenário referencial. Em alguns dos estudos subsequentes foram apresentados cenários com a versão MQUAL 2.0, porém apenas de modo comparativo pois não poderiam ser utilizados para verificação de atingimento da meta.

O estabelecimento de metas a partir de cenários do MQUAL não é compatível com o ajuste e o refinamento do modelo em estudos posteriores. Caso seja simulado um determinado cenário com os mesmos dados de entrada haverá variações nos resultados dependendo da versão do modelo utilizado. Nesse sentido, sugere-se que as cargas meta sejam estabelecidas com base em outros critérios como capacidade de suporte do meio (assimilação de efluentes) para manutenção de qualidade que seja compatível com os usos a que o corpo hídrico for destinado, através de modelos específicos para essa finalidade. A partir daí a carga meta estabelecida será fixa e não vinculada a determinada versão do modelo. Com isso as versões atualizadas do modelo MQUAL serão cada vez mais precisas e aderentes à realidade da geração/afluência de cargas nas bacias, podendo sempre ser utilizadas para verificação do atingimento das metas.

As alterações nos modelos variam desde pequenos ajustes nos coeficientes de exportação até a utilização apenas do conceito do modelo com mudança completa de sua estrutura. Essas diferenciações que se utilizam de critérios diversos dificultam a comparação dos resultados com aqueles de estudos anteriores, pois os parâmetros aplicados podem não ter sido considerados nos estudos precedentes. Para que o modelo permita avaliar qual o efeito dos investimentos (programas e ações) realizados é necessário que a base de comparação (parâmetros, metodologia e equações) entre os resultados de um estudo e os de seu precedente seja similar.

Portanto, sugere-se que seja mantido registro dos dados de entrada de cada estudo no próprio modelo. Desta forma, quando houver atualizações e aperfeiçoamentos será possível revisar os resultados de estudos anteriores a partir do modelo mais atual.

O modelo MQUAL utiliza como unidade de estudo a bacia hidrográfica segmentada em sub-bacias, permitindo a espacialização das cargas e identificação das regiões mais críticas (maior geração de carga, déficit de infraestrutura de saneamento e impacto local). Desta forma, os dados de entrada devem ser quantificados para cada sub-bacia, sendo eles: a população urbana, os índices de infraestrutura sanitária (coleta, exportação e tratamento), as áreas de cada categoria de uso e ocupação do solo e a densidade das áreas urbanas.

Apesar da estrutura simples, uma das maiores dificuldades da aceitação do modelo MQUAL entre os agentes envolvidos está na compreensão da metodologia de inserção dos dados de entrada e como eles se traduzem nas cargas de poluentes estimadas. Conforme Ikematsu (2014) “quando se coloca a questão do MQUAL e do monitoramento da qualidade da água, o que se diz é a grande dificuldade entender o modelo e seus parâmetros, aplicá-lo e replicá-lo, o que inviabiliza o conhecimento sobre os aprimoramentos e investimentos necessários para assegurar e ampliar a produção de água para o abastecimento da população”.

Ferrara (2013) aponta para dificuldades na aferição das metas estabelecidas por município, uma vez que os limites não coincidem com os limites de sub-bacias utilizados no MQUAL. A metodologia de distribuição da população urbana (obtida através dos setores censitários do IBGE) sobre as unidades de análise no modelo (sub-bacias, compartimentos e municípios) é complexa, pois os limites de cada uma são diferentes.

Essa distribuição é feita de forma ponderada cruzando-se bases georreferenciadas de uso do solo, de sub-bacias ou compartimentos hidrográficos e de setores censitários. Por essa razão, ressalta-se que a maior complexidade do modelo está na preparação dos dados de entrada. Alterações significativas nos resultados podem ocorrer utilizando-se as mesmas bases, caso os procedimentos adotados na preparação dos dados de entrada não sejam padronizados.

Analisando-se a delimitação de sub-bacias adotada nas bacias em que o modelo MQUAL foi aplicado verificam-se diferenças nos critérios utilizados. A variação de tamanho das sub-bacias dificulta a comparação de informações entre as mesmas. Sub-bacias muito extensas não permitem localizar com maior foco as áreas críticas, ou seja, as informações estão diluídas por toda a bacia. Parte da bacia pode apresentar condições muito distintas de outras (concentração populacional, infraestrutura sanitária, usos do solo etc.). Por outro lado, sub-bacias muito pequenas, além de exigir maior esforço na construção do modelo, dificultam a distribuição da população e obtenção de outros dados de entrada como infraestrutura sanitária (percentuais de coleta, exportação e tratamento de esgoto).

Outra questão importante é a fragmentação das sub-bacias de acordo com limites municipais (quando os mesmos não forem coincidentes), pois com isso será possível apresentar os resultados diretamente por município, bem como acompanhar o atingimento das metas estabelecidas para os mesmos.

Sugere-se que a fragmentação de uma sub-bacia pelo limite municipal mantenha o número correspondente a essa sub-bacia, atribuindo-se caracteres do alfabeto às partes da fragmentação. A Figura 2 apresenta a delimitação das sub-bacias da APRM Alto Juquiá considerando os limites municipais (SSRH, no prelo). Desta forma, recomenda-se que sejam revistas as delimitações de sub-bacias utilizadas, com o objetivo de permitir a obtenção de informações mais precisas e, também, quantificáveis por município.

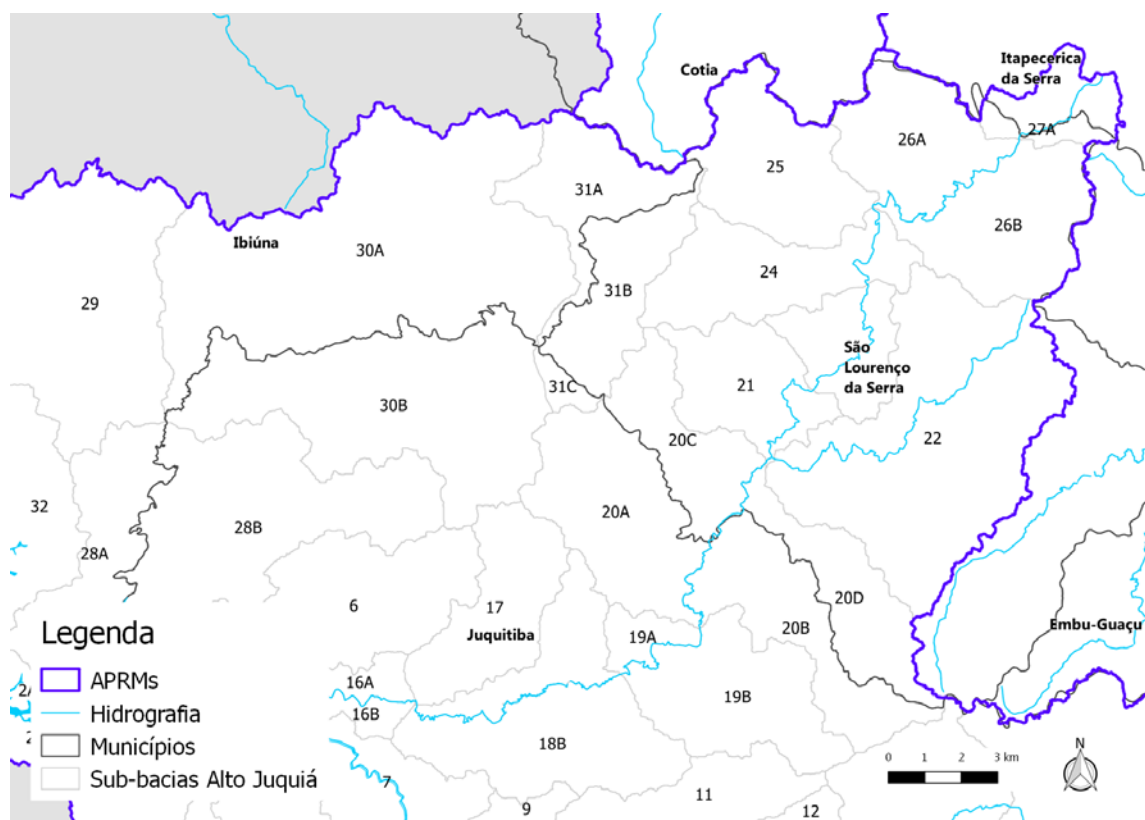


Figura 2: Delimitação de sub-bacias na APRM Alto Juquiá.

Fonte: SSRH, no prelo.

Nos estudos mais recentes, os dados referentes a população têm sido obtidos a partir do censo demográfico do IBGE de 2010 com projeção realizada pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação SEADE). Uma vez que as projeções da Fundação SEADE são feitas para o município como um todo, dependendo dos critérios adotados na distribuição do crescimento pelos setores censitários, podem ocorrer variações nos resultados finais de alocação de população projetada.

A alocação da população é realizada de forma ponderada sobre a base de uso do solo, sendo a principal fonte a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. - EMPLASA. Entretanto, a classificação de uso do solo utilizada pela EMPLASA apresenta um número muito superior de categorias em relação as adotadas no MQUAL, portanto, há necessidade de agrupamento das mesmas. Sendo assim, é importante que seja mantida uma correlação padrão de categorias, além de estabelecimento da fonte de uso do solo a ser utilizada. A Tabela 5 apresenta a correlação das categorias de uso do solo da EMPLASA com as categorias do MQUAL utilizada na elaboração dos PDPAs das APRMs de interesse para o abastecimento da RMSP (SSRH, no prelo).

Tabela 5: Correlação das categorias de uso do solo (continua).

Categorias MQUAL	Categorias EMPLASA/CPLA
USO NÃO URBANO	
Atividade Agrícola	Sítio, Chácara Agrícola ou de Produção; Fazenda, Haras ou Silvicultura; Açude, Lago, Lagoa para fins Agrícolas, Piscicultura e Outros
Reflorestamento	Reflorestamento
Mata	Parque, APA ou Reserva Florestal; Reserva Indígena; Mata; Vegetação de Várzea
Capoeira/Campo	Capoeira; Campo ou Vegetação Antrópica
Chácaras e Movimento de Terra	Loteamento de Chácara em Ocupação; Sede ou Edificação em Propriedade Rural; Loteamento de Chácara; Movimento de Terra/Solo Exposto; Mineração; Sem uso

Tabela 5: Correlação das categorias de uso do solo (conclusão).

USO URBANO	
Área Urbanizada - Padrão Superior	Condomínio Fechado em Ocupação; Condomínio Fechado Horizontal; Condomínio Fechado Vertical; Conjunto Habitacional em Construção; Conjunto Habitacional Horizontal; Conjunto Habitacional Vertical; Vertical; Horizontal; Área em Ocupação; Misto; Educação; Esporte e Lazer; Cultura e Lazer; Praça ou Área Verde
Área Urbanizada - Padrão Inferior	Especial; Saúde; Assentamento Precário; Favela
Área Comercial e industrial	Área Empresarial em Ocupação; Centro de Distribuição, Depósito e Transportadora; Centro Empresarial; Comercial, Serviços e Industrial; Comercio e Serviço; Desativado; Distrito ou Condomínio Industrial; Infraestrutura de Abastecimento Alimentar; Institucional; Shopping, Hipermercado e Atacadista; Residencial e Industrial; Residencial, Comercial e Serviço; Residencial, Comercial, Serviço e Industrial; Infraestrutura de Abastecimento de Água; Infraestrutura de Abastecimento de Gás; Infraestrutura de Drenagem; Infraestrutura de Energia; Infraestrutura de Telecomunicações; Infraestrutura de Transporte; Infraestrutura de Esgotamento Sanitário; Infraestrutura de Resíduos Sólidos

Fonte: SSRH, no prelo.

Nem sempre as bases de uso do solo correspondem à realidade atual da bacia, a verificação e eventual correção ocorre a partir de análise de imagens de satélite e visitas de campo. As categorias de área urbanizada de padrão superior e inferior não estão bem definidas, ou seja, estão sujeitas a interpretação (subjetividade) para a sua delimitação. Desta forma, a elaboração da base final de uso do solo pode apresentar diferenças entre estudos que utilizem as mesmas fontes de informação. No estudo que originou a versão do MQUAL 2.0 (SMA/CETESB, 1998), estão as seguintes definições para as áreas urbanizadas: (i) padrão superior – usos urbanos com baixa geração de cargas difusas, maior controle e destinação sustentável de cargas geradas, maior disponibilidade de infraestrutura e serviços urbanos instalada; (ii) padrão inferior – usos urbanos com alta geração de cargas poluidoras, principalmente esgotos, lixo e material particulado; áreas com carência de infraestrutura urbana e de saneamento e de serviços urbanos instalados e operantes ou baixa eficiência da infraestrutura instalada; e (iii) área industrial e comercial – áreas com grande intensidade de circulação de pessoas, veículos e substâncias. Portanto, há necessidade de maior clareza na definição das categorias e estabelecimento de critérios práticos para a identificação dessas categorias nas bases de uso do solo.

A distribuição da população sobre as categorias de uso do solo é realizada em cada setor censitário. Para tanto são identificados setores censitários homogêneos, que apresentem apenas uma categoria de uso do solo em toda a sua extensão. A partir da quantificação da população e áreas correspondentes aos setores homogêneos é obtida uma densidade média (habitantes/km²) por categoria de uso na bacia. A partir daí, nos setores heterogêneos, com duas ou mais categorias de uso do solo, é possível estabelecer uma relação entre as categorias e distribuir a população de forma proporcional. Portanto, o resultado desta distribuição será sensível a variações na base de uso do solo.

Após a distribuição da população nos setores censitários deve ser realizada a quantificação da população nas sub-bacias. Essa quantificação pode ser feita através da proporção de área de cada polígono de uso do solo de determinado setor censitário.

A infraestrutura sanitária pode ser obtida de informações municipais, dos serviços autônomos ou das concessionárias. O nível de detalhamento das informações varia desde índices gerais para o município até a obtenção de dados detalhados sobre cada ligação de esgoto e abrangência da cobertura de exportação e tratamento (PDPAs das APRMs da RMSP da SSRH, no prelo).

Portanto, a depender dos critérios e procedimentos adotados na preparação dos dados de entrada poderão ser obtidos resultados distintos a partir da mesma base de dados. Recomenda-se que seja estabelecida uma metodologia padrão para obtenção e preparação dos dados de entrada, podendo ser elaborado um manual com os procedimentos de preparação dos dados de entrada ou a inclusão de um módulo que realize esses procedimentos diretamente no aplicativo do modelo.

Por ter sido originalmente desenvolvido objetivando a aplicação em bacias urbanas e densamente ocupadas como as bacias dos reservatórios Billings e Guarapiranga, o modelo MQUAL considera apenas a população urbana na estimativa das cargas pontuais de poluentes, uma vez que nessas sub-bacias a população rural é muito pouco representativa, podendo a carga associada ser desprezada. Entretanto, na aplicação do modelo em bacias mais preservadas, com usos significativos de atividade agrícola e de chácaras, a carga associada à população rural passa a ser relevante. Na Bacia do Alto Tietê Cabeceiras foi estimado que em torno de 18% da população encontra-se na categoria de uso de solo de chácaras (SSRH, no prelo). Na concepção original do modelo MQUAL a carga pontual associada a esta população seria desprezada. Dessa forma, sugere-se que o modelo passe a incorporar a população rural na estimativa de geração de poluentes.

Da mesma forma, diante da “saturação” populacional das bacias Billings e Guarapiranga a carga associada às fontes difusas é muito pouco representativa em relação às cargas pontuais (esgoto). Por esse motivo, a utilização de apenas 8 categorias com pouca especificidade, ou seja, mais abrangentes, não causa prejuízo significativo na estimativa das cargas difusas. Entretanto, em bacias com ocupação mais dispersa, de baixa densidade nos centros urbanos, com maior quantidade e diversidade de usos agrícolas, a estimativa das cargas difusas, a partir das categorias das versões existentes do modelo, pode acarretar em erros substanciais. A Tabela 6 apresenta a proporção de carga difusa e pontual em relação à carga gerada total nas APRMs da RMSP (SSRH, no prelo).

Tabela 6: Distribuição percentual das cargas geradas de fósforo por APRM.

APRM	Carga Difusa	Carga Pontual
Cotia	3%	97%
Guaió	3%	97%
Billings	4%	96%
Alto Juquery	5%	95%
Guarapiranga	7%	93%
Alto Juquiá	12%	88%
Jaguari	20%	80%
Alto Tietê Cabeceiras	33%	67%

Fonte: SSRH, no prelo.

No estudo recente da SSRH (2016) sobre as bacias do Sistema Produtor Alto Tietê - SPAT foi introduzida uma nova categoria para quantificação das cargas difusas no modelo MQUAL, denominada “urbana SPAT”, com a intenção de representar as características de ocupação urbana nos pequenos núcleos e até mesmo na sede de alguns municípios que apresentam densidades muito inferiores às verificadas na Guarapiranga, na qual foram calibrados os coeficientes do MQUAL 1.0 e 2.0. Apesar desse avanço na questão urbana, particularmente nestas bacias do SPAT, o uso do solo para atividades agrícolas é relevante. Entretanto não foram determinadas novas categorias mais específicas para as atividades agrícolas, sendo a diversidade de culturas e práticas existentes na região representadas por um mesmo coeficiente de geração de cargas. Recomenda-se que seja estudada a revisão das categorias de uso do solo utilizadas no modelo MQUAL, determinando uma nova composição que seja mais coerente e aplicável a qualquer bacia hidrográfica.

Ao longo do tempo foram realizados alguns estudos para a calibração do modelo. A adequada calibração do modelo exige que sejam considerados os fatores mais significativos em termos de geração de cargas. Em sua concepção original, o modelo considera como exportado todo o esgoto que está sendo coletado e que está na área de abrangência do sistema de exportação (dados da concessionária). Entretanto, em muitos casos, a exportação do esgoto se dá através de sistemas complexos com cadeias de estações elevatórias. Essas estações elevatórias podem apresentar falhas de funcionamento que acarretam em extravasamentos. Com isso parte da carga que o modelo considera como exportada estaria retornando ao corpo receptor final da bacia.

Conforme estudo PDPAs das APRMs da RMSP (SSRH, no prelo), entre os principais motivos que contribuem para o extravasamento nas elevatórias estão: (i) vandalismo e furtos de materiais: de acordo com relatos da concessionária (Sabesp) são frequentes as ocorrências de depredação dos painéis de controle das EEE, além de furtos de peças, equipamentos e fiação elétrica; (ii) utilização inadequada das redes de esgoto: descarte de materiais e resíduos sólidos nas redes coletoras que obstruem ou danificam as EEE; (iii) sobrecarga dos sistemas: estações elevatórias com capacidade incompatível com a atual vazão de esgotos transportada nos sistemas; (iv) ausência de bombas reservas: indisponibilidade de bombas reserva para garantir o funcionamento em caso de falhas ou manutenção nas EEE; (v) ausência ou falta de manutenção de sistemas de retenção de areia e sólidos grosseiros: a ausência de sistemas de remoção de areia diminui a durabilidade das bombas; e (vi) ausência de controle remoto: a automação dos sistemas com implementação de monitoramento online nas EEE poderia contribuir para obtenção de maior eficiência na operação dos sistemas.

A Figura 3 apresenta o complexo de estações elevatórias de esgoto existente na bacia do reservatório Guarapiranga.

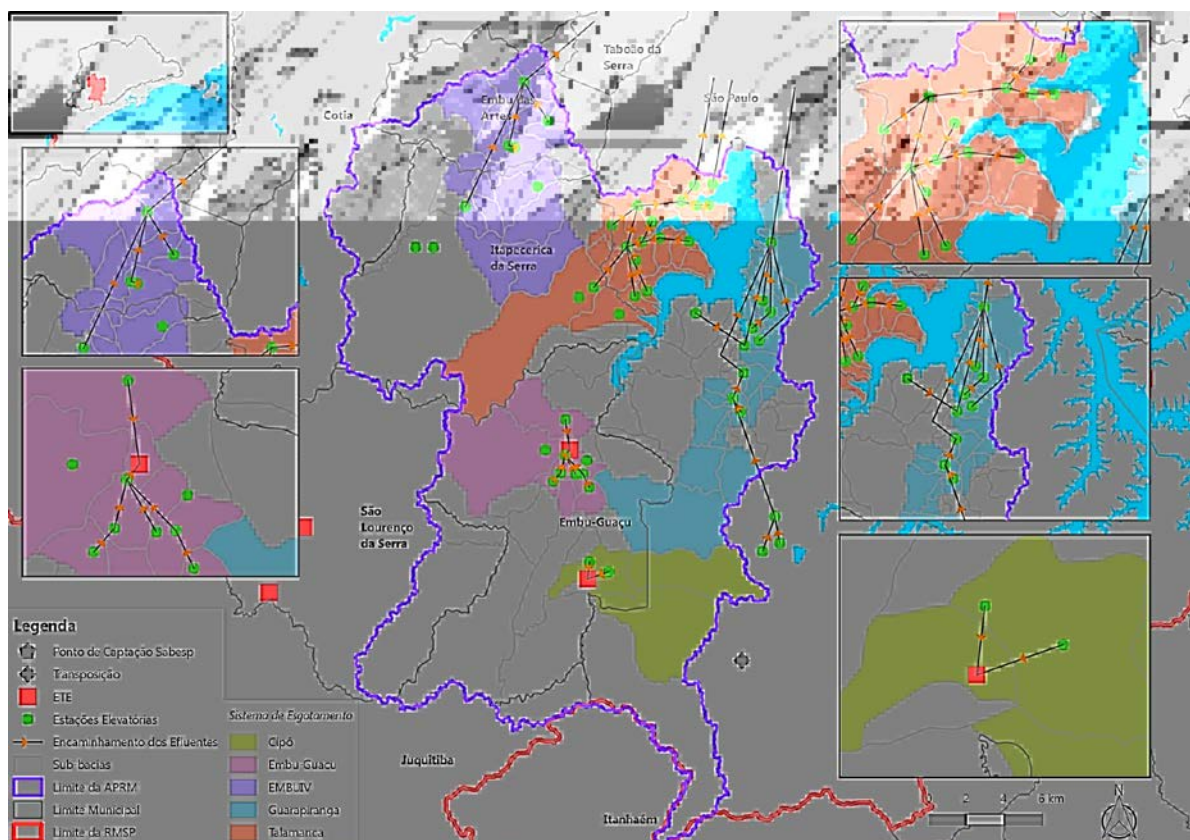


Figura 3: Sistemas de Estações Elevatórias de Esgoto na bacia do reservatório Guarapiranga.

Fonte: SSRH, no prelo.

Observa-se que a elaboração de uma estimativa de extravasamento não é simples, a ocorrência de falhas que resultem em extravasamentos em elevatórias de meio ou final de cadeia concentram cargas das estações elevatórias anteriores. São necessários dados detalhados de funcionamento das elevatórias para que a estimativa se aproxime da realidade. Portanto, recomenda-se que seja revista a metodologia da estimativa de esgoto exportado da bacia, objetivando a incorporação das perdas ao longo dos sistemas de elevatórias.

No estudo dos PDPAs das APRMs da RMSP (SSRH, no prelo) foi proposta uma nova metodologia para estimativa da carga potencial média de extravasão ao longo dos complexos de elevatórias nas bacias Billings e Guarapiranga. Foi estabelecido um percentual de eficiência para cada sistema de estações elevatórias, obtido através de uma média com base nos índices de regularidade operacional (IROs) ponderados pela vazão de esgoto recalçada. Desta forma, quanto mais próxima do final da cadeia maior é o peso atribuído a eficiência da estação elevatória na composição da média. A partir daí, a eficiência média de cada sistema foi diretamente

multiplicada ao percentual de exportação ou tratamento das sub-bacias. Ressalta-se que os dados obtidos sobre o índice de regularidade operacional referem-se ao período entre janeiro de 2015 a abril de 2016. Nesse sentido, o estudo indicou qual seria o impacto potencial associado à eficiência desses sistemas. Observa-se que diversos dos fatores que estão associados a ocorrência de falhas pontuais no funcionamento das estações elevatórias de esgoto apresentam muita variabilidade e são pouco previsíveis. Recomenda-se um estudo mais aprofundado sobre o funcionamento dos sistemas de estações elevatórias, com identificação e análise de situações pontuais e ocorrências frequentes que ocasionam redução na eficiência, para que possa ser elaborada uma metodologia mais precisa na estimativa de carga associada a essa questão.

O fósforo apresenta ciclos lentos e pouco dinâmicos em relação aos demais nutrientes, por isso, para efeito de modelagem de qualidade de água é tido como conservativo na maioria dos estudos relacionados, ou seja, não apresenta autodepuração/sedimentação ao longo dos cursos d'água. Entretanto, observou-se que em muitos dos estudos em que o MQUAL foi aplicado foram adotados abatimentos significativos de fósforo ao longo dos cursos d'água e em sub-bacias de grande extensão. Por exemplo, no módulo 2 do MQUAL aplicado à bacia da Guarapiranga o abatimento natural de fósforo ao longo dos principais tributários varia de 40% a 60% (considerando as diferentes versões analisadas). A aplicação das versões do MQUAL 1.0 e 2.0, mantendo-se os parâmetros do módulo de simulação de rios (SIMOX III) inalterados, na bacia da Guarapiranga para o cenário de 2015 (SSRH, no prelo) apresentou os seguintes percentuais de abatimento de fósforo para os corpos hídricos: Parelheiros – 61,9% com MQUAL 1.0 e 60% com MQUAL 2.0; Embu Guaçu – 49,5% com MQUAL 1.0 e 44,5% com MQUAL 2.0; e Embu Mirim – 59,5% com MQUAL 1.0 e 59,9% com MQUAL 2.0. Portanto, recomenda-se que sejam reavaliados esses potenciais de retenção de fósforo ao longo dos rios e sub-bacias.

O módulo 2 do MQUAL, no qual são simulados os abatimentos dos parâmetros ao longo dos rios, foi originalmente desenvolvido utilizando-se o modelo SIMOX III. Este modelo foi desenvolvido pelo Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais (CEPIS), sendo publicado em 1973 o primeiro manual do programa. As versões do MQUAL que se utilizam do módulo 2 com o SIMOX III requerem configurações computacionais específicas, não sendo compatível com sistemas operacionais mais recentes. O SIMOX III opera através de uma macro no software Microsoft Excel e apresenta parâmetros e coeficientes fixos pré-estabelecidos. Desta forma, a visualização, a compreensão e a alteração dos dados de entrada, parâmetros e coeficientes de reação são dificultadas. Por esse motivo sugere-se que sejam estudados modelos alternativos para a simulação dos rios e principais tributários, com maior facilidade de aplicação, análise, visualização de parâmetros e resultados. No estudo dos PDPAs das APRMs da RMS (SSRH, no prelo) optou-se pela utilização do modelo QUAL-UFMG, uma adaptação do mundialmente reconhecido modelo QUAL-2E desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency – USEPA. No referido estudo o QUAL-UFMG foi aplicado na simulação dos principais rios e tributários das bacias do Alto Juquiá, Cotia, Guaió e Jaguari. Este modelo apresenta como vantagens: a interface amigável; facilidade de inserção de dados de entrada; facilidade de visualização e de interpretação dos resultados; opera em planilha simples no software Microsoft Excel; fácil integração com o módulo 1 do MQUAL; desenvolvido totalmente em língua portuguesa; seus resultados apresentam gráficos e comparação com os padrões estabelecidos na legislação pertinente.

Ainda na questão da calibração do modelo, observa-se que nos estudos realizados não foi verificada a aderência dos novos coeficientes através do posterior monitoramento de outras sub-bacias. A metodologia empregada nos estudos analisados consiste na seleção de sub-bacias de usos homogêneos e monitoramento dos parâmetros nas mesmas. Geralmente a amostragem ocorre selecionando-se uma única bacia para calibração de cada coeficiente de uso do solo. Após a calibração nestas sub-bacias, os coeficientes têm sido considerados como validados para o restante da bacia. Sugere-se que após a determinação de novos coeficientes sejam monitoradas sub-bacias aleatórias para verificar se esses coeficientes representam a totalidade da bacia. Além disso, pela simplicidade do modelo, recomenda-se o estabelecimento de uma margem de erro aceitável para validação dos coeficientes.

O estabelecimento de uma rede de monitoramento permanente nos principais mananciais, que seja adequada à calibração do modelo MQUAL (medições de qualidade e quantidade simultâneas), pode contribuir para o aprimoramento do mesmo. Dados de qualidade não associados a medidas de vazão não permitem estimar as cargas de poluentes. O monitoramento dos principais afluentes e de bacias com usos do solo mais homogêneos e representativos estabelecendo um histórico estatístico (banco de dados) contribuirá para aferição e ajustes de coeficientes. Além disso, a comparação da carga teórica (modelo) com a carga monitorada permite a

identificação de problemas associados a outros fatores não considerados no modelo MQUAL que deverão ser posteriormente investigados, tais como: ligações clandestinas na rede de drenagem pluvial, baixa adesão a rede coletora de esgoto, lançamentos pontuais, entre outros.

Apesar das sugestões apresentadas estarem baseadas na uniformização metodológica, isso não significa que os coeficientes devam ser os mesmos para todas as bacias. Devem ser consideradas as especificidades e características próprias de cada bacia, sendo calibrados coeficientes específicos através de monitoramento adequado seguido de validação. Observa-se que existem diversos fatores que influem na geração de cargas nas bacias, inclusive que se alteram no decorrer do tempo, tais como: mudança cultural e de hábitos da população, sobretudo em relação a disposição de resíduos; qualidade de prestação dos serviços de saneamento; densidade populacional; permeabilidade do solo. Desta forma, sugere-se que seja realizada a verificação e atualização periódica dos coeficientes.

CONCLUSÕES

Como resultado da análise da aplicação do modelo MQUAL ao longo tempo foram identificadas as principais deficiências ou pontos a serem melhorados, são eles: (i) dificuldade de comparação de resultados de um estudo e seus precedentes por diferenças metodológicas e atualizações nos modelos; (ii) não engloba na estimativa de cargas aspectos como diversidade de usos do solo e população rural; (iii) ausência de definições claras que permitam a definição mais precisa das categorias de uso do solo urbanas; (iv) ausência de critérios e procedimentos padrões para obtenção e preparação dos dados de entrada; (v) a definição de cargas meta a partir de cenários impossibilita a utilização de versões atualizadas dos modelos para verificação do atingimento das metas; (vi) a simplicidade na estimativa de esgoto exportado ou tratado que não leva em consideração perdas por extravasamento em sistemas de estações elevatórias; (vii) nos estudos de calibração dos coeficientes do MQUAL há necessidade de aprimorar a validação dos coeficientes; (viii) necessidade de reavaliação do potencial de autodepuração, sobretudo de fósforo, ao longo dos corpos hídricos dos modelos existentes; (ix) dificuldade de operação do módulo 2 do MQUAL com o modelo SIMOX III.

Com isso, são propostos os seguintes aprimoramentos: (i) estabelecimento das cargas meta com base na capacidade de suporte dos reservatórios a partir de modelos específicos para esta finalidade; (ii) registro dos dados de entrada de cada estudo no próprio modelo; (iii) revisão das delimitações de sub-bacias, objetivando a obtenção de informações mais precisas e quantificáveis por município; (iv) melhor definição das categorias de uso do solo do MQUAL e estabelecimento de critérios práticos para identificação nas bases de uso do solo; (v) estabelecimento de uma metodologia padrão para obtenção e preparação dos dados de entrada ou inclusão de módulo que realize os procedimentos diretamente no aplicativo do modelo MQUAL; (vi) incorporação da população rural na estimativa de geração de poluentes; (vii) estudo para revisão das categorias de uso do solo utilizadas, determinando uma nova composição que seja aplicável a qualquer bacia hidrográfica; (viii) revisão da metodologia da estimativa de esgoto exportado na bacia, com a incorporação das perdas ao longo dos sistemas de elevatórias; (ix) validação dos coeficientes, quando houver atualização, em bacias aleatórias para verificar se os mesmos representam a totalidade da bacia; (x) estabelecimento de margem aceitável de erro para validação dos coeficientes; (xi) reavaliação dos potenciais de retenção de fósforo ao longo dos rios e sub-bacias; (xii) verificação e atualização periódica de coeficientes; (xiii) estudo de modelos alternativos para o módulo 2 do MQUAL. Observa-se que essas sugestões requerem detalhamento e avaliação em estudo específico pelos órgãos gestores das bacias hidrográficas e órgãos de planejamento de recursos hídricos.

Ressalta-se que o processo de aprimoramento do modelo MQUAL deve ser realizado com acompanhamento de técnicos de todas as instituições envolvidas na gestão da bacia. Salienta-se que a discussão e compreensão do funcionamento do modelo e das metodologias adotadas são fundamentais para que esse modelo seja um instrumento de gestão e planejamento efetivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ – CBH-AT. Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Sub-bacia do Juquery-Cantareira. 2008.
2. FERRARA, L.N. Urbanização da natureza: da autoprovisão de infraestruturas aos projetos de recuperação ambiental nos mananciais do sul da metrópole paulistana. São Paulo, 2013. Tese de doutorado-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-Universidade de São Paulo, 2013.
3. FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ – FABHAT. Plano de Desenvolvimento Regional dos Mananciais do Subcomitê Alto Tietê-Cabeceiras: Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA e assessoria para elaboração das leis específicas. Relatório Final. Volume 2. 2014.
4. IKEMATSU, P. Conflitos e desafios na gestão da Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga. São Paulo, 2014. Dissertação de mestrado-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-Universidade de São Paulo, 2014.
5. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS – SRHSO. Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Guarapiranga – PDPA Guarapiranga. 1997.
6. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS – SSRH. Avaliação de poluição proveniente de fontes difusas na área de influência do Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT – Reservatórios Taiacupeba, Jundiá, Biritiba, Ponte Nova e Paraitinga. 2016.
7. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS – SSRH. Elaboração e Revisão dos Planos de Desenvolvimento e Proteção Ambiental das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo. No prelo.
8. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS – SSRH. Monitoramento da qualidade da área de proteção e recuperação dos mananciais da bacia hidrográfica dos reservatórios Billings e Guarapiranga. SSRH, 2015.
9. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Avaliação da poluição por fontes difusas afluente ao reservatório Guarapiranga. Programa Guarapiranga. 1998.
10. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL – CPLA. Bacia do Rio Guaió – Diagnóstico preliminar da qualidade ambiental da bacia hidrográfica visando estabelecer a correlação do uso do solo e qualidade de água. 2009.
11. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL – CPLA. Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings. 2011.
12. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL ESTRATÉGICO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL – CPLEA. Estabelecimento da correlação do uso do solo com a qualidade da água e a indicação de áreas de intervenção e respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional na bacia hidrográfica do reservatório Jaguari. 2006.
13. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL ESTRATÉGICO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL – CPLEA. Atualização do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga. 2006.
14. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL ESTRATÉGICO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL – CPLEA. Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings. 2011.