

Subsídios para o Enquadramento dos Cursos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim Considerando Aportes de Esgotos Sanitários

Ana Paula Santos Calmon*, Joseline Corrêa Souza*, José Antonio Tosta dos Reis*,
Antonio Sérgio Ferreira Mendonça*

ana.calmon@ufes.br; joseline.correa@gmail.com; jatreis@gmail.com; anserfm@terra.com.br

Recebido: 21/09/12 - revisado: 30/10/12 - aceito: 23/10/13

RESUMO

Considerando a relevância do enquadramento como instrumento de gestão, o presente trabalho tem como objetivo avaliar cenários de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, considerando o setor de esgotamento sanitário como única fonte de cargas poluidoras. Para composição dos diferentes cenários de enquadramento foram estabelecidos quatro panoramas de tratamento de esgotos associados com distintas eficiências de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$), para diferentes horizontes de avaliação (2012, 2020 e 2030). A bacia hidrográfica do rio Itapemirim foi dividida em nove sub-bacias, para as quais a disponibilidade hídrica foi determinada por meio de curvas de permanência regionalizadas. A partir das referidas curvas foram produzidas curvas de permanência de qualidade, correspondentes às máximas cargas de $DBO_{5,20}$ associadas às Classes de enquadramento 1, 2 e 3. A sobreposição das curvas de permanência de qualidade e de cargas remanescentes totais correspondentes aos diferentes cenários propiciou a apropriação do percentual de tempo em que cada sub-bacia apresentaria qualidade compatível com a estabelecida para cada classe de enquadramento. Para a condução do estudo assumiu-se cursos d'água funcionando em regime permanente; adicionalmente, não foram incluídos, a favor da segurança, os diferentes processos que dão forma ao fenômeno de autodepuração que, em alguma medida, importam o abatimento de parcela da carga orgânica disposta nos rios. Os resultados permitiram associar diferentes possíveis cenários de enquadramento dos cursos d'água da bacia do rio Itapemirim com diferentes níveis de cobertura de tratamento de esgoto, além de sugerirem que a metodologia considerada para a condução do presente trabalho pode ser utilizada para subsidiar, em geral, decisões acerca do enquadramento de cursos d'água superficiais, além de possibilitar o acompanhamento da evolução do atendimento de metas intermediárias estabelecidas no momento de implementação deste instrumento de gestão.

Palavras-chave: Enquadramento, esgoto doméstico, rio Itapemirim.

INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento urbano tem propiciado relevante destaque ao gerenciamento dos recursos hídricos, em virtude da crescente demanda por este recurso, além da disponibilidade d'água se constituir em fator essencial para o desenvolvimento socioeconômico e cultural de uma região (BRITES, 2010).

A Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve propor-

nar o uso múltiplo das águas, sem a dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, adequando-se às diversidades regionais e integrando-se à gestão ambiental, de forma a regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A PNRH representa um marco na gestão integrada dos corpos d'água brasileiros ao adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, o comitê de bacia hidrográfica como organismo de decisão e ao prever que o enquadramento dos corpos d'água (principal instrumento de integração de qualidade e quantidade de água) deve ser parte do processo de planejamento descentralizado e de gestão participativa (PORTO et al., 2006).

O instrumento de enquadramento de corpos d'água existe no Brasil desde 1976, quando a Portaria Nº 13 do Ministério do Interior estabeleceu a base legal federal para o enquadramento dos corpos d'água. No entanto, a despeito de diferentes

* - Departamento de Engenharia Ambiental/Universidade Federal do Espírito

esforços relacionados com a discussão ou consolidação do enquadramento como instrumento de gestão (GASTALDINE e OPPA, 2011; SOUZA e PIZELLA, 1998; SILVEIRA et al., 2003; CUNHA e CALIJURI, 2010), a sua efetiva implementação ainda é incipiente, de caráter tecnocrático, pouco participativa e não leva em consideração os aspectos financeiros (ANA, 2007, 2009).

Como o esgoto doméstico constitui a principal fonte de poluição na maioria das bacias hidrográficas brasileiras, a elaboração dos programas de efetivação de enquadramento depende de intensa articulação dos comitês de bacias hidrográficas com o setor de saneamento, devendo, portanto, haver compatibilidade entre as metas do enquadramento e os planos de saneamento, de forma que se garanta coerência entre os investimentos a serem realizados na bacia e os usos da água desejados pela sociedade (ANA, 2009).

Neste contexto, o presente trabalho busca discutir alternativas de enquadramento para cursos d'água da bacia do rio Itapemirim, importante bacia hidrográfica da porção sul do estado do Espírito Santo, considerando exclusivamente as contribuições associadas ao setor de saneamento, cursos d'água funcionando em regime permanente e desconsiderando, a favor da segurança, eventuais reduções das cargas orgânicas em decorrência da autodepuração dos rios.

ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Itapemirim (Figura (01)), importante bacia da porção sul do estado do Espírito Santo, localizada entre os meridianos 40°48' e 41°52' de Longitude Oeste e entre os paralelos 20°10' e 21°15' de Latitude Sul.

A bacia do rio Itapemirim abrange um município de Minas Gerais (Lajinha) e dezessete municípios do Espírito Santo (Alegre, Atílio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição do Castelo, Ibitirama, Jerônimo Monteiro, Muniz Freire e Venda Nova do Imigrante, em suas totalidades; e, parcialmente inseridos na bacia, Ibatiba, Irupi, Itapemirim, Iúna, Marataízes, Muqui, Presidente Kennedy e Vargem Alta).

A bacia, localizada majoritariamente no território do estado do Espírito Santo, possui área de 5.913,68 km², abrigando uma população de cerca de 461.669 habitantes (IBGE, 2011). As principais atividades econômicas estão associadas ao extrativismo e

beneficiamento mineral (mármore, granitos e moagem de calcário), atividades de pesca, agropecuária, produção cimento, calçados, laticínios, açúcar e álcool (INCAPER, 2009; AQUACONSULT, 2011).

Esgoto sanitário bruto ou sem tratamento adequado é responsável pela quase totalidade da carga orgânica lançada em corpos d'água da bacia do rio Itapemirim. Efluentes orgânicos industriais, gerados por limitado número de empreendimentos, geralmente passam por sistemas de tratamento nos quais cargas são reduzidas antes de lançamento.

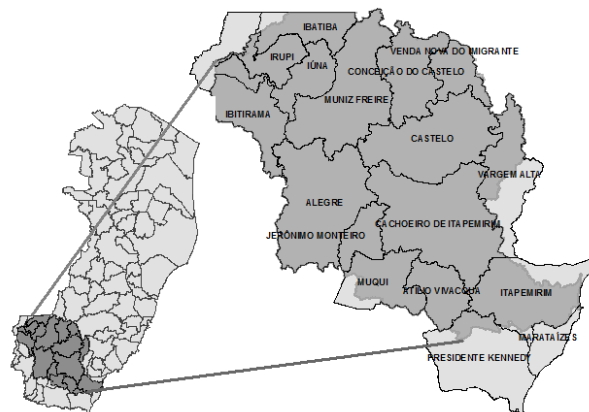


Figura (01) - Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no estado do Espírito Santo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados nessa pesquisa foram adaptados do trabalho desenvolvido por Garcia et al. (2012). As diferentes etapas que deram forma ao trabalho serão sumariamente descritas nos itens subsequentes.

ETAPA 1 – Definição das unidades hidrográficas de análise

Para a definição das unidades hidrográficas de análise – sub-bacias que permitiriam a avaliação detalhada do sistema hídrico considerado – foi adotada a subdivisão da bacia do rio Itapemirim segundo método desenvolvido por Otto Pfafstter (PFAFSTETTER, 1989) considerando-se o nível 5, cuja definição de limites encontra-se disponível na base de dados do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do estado do Espírito Santo. Os referidos limites estão apresentados na Figura (02). A Tabela (01), por sua vez, apresenta a área de drenagem de cada sub-bacia delimitada.

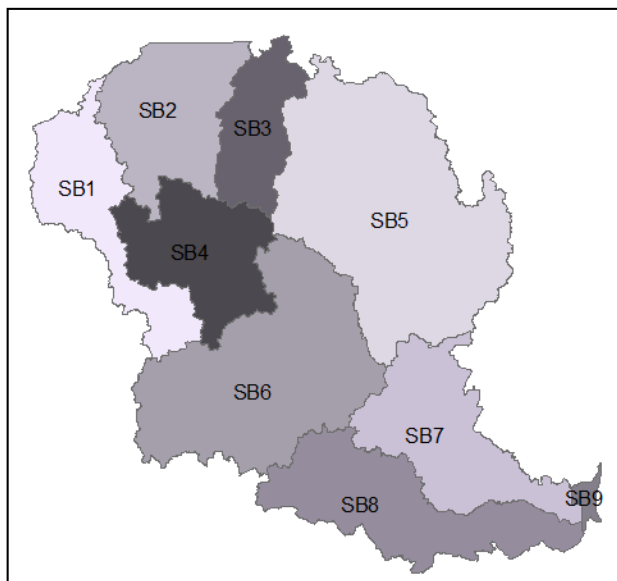


Figura (02) - Divisão por sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Itapemirim

Tabela (01) - Área de drenagem contribuinte para cada sub-bacia

Sub-bacia	Sigla	Área de drenagem (km ²)
Braço Norte Direito	SB1	509,96
Pardinho	SB2	573,59
Braço Norte Esquerdo	SB3	333,52
Lambari Frio	SB4	1432,73
Castelo	SB5	1481,89
Vala do Souza	SB6	3086,43
Coqueiro	SB7	5882,85
Muqui do Norte	SB8	683,9
Itapemirim	SB9	5913,68

ETAPA 2 – Determinação da disponibilidade hídrica superficial

A disponibilidade hídrica superficial das sub-bacias foi estimada a partir de curvas de permanência de vazões médias regionalizadas. Essas curvas de permanência foram obtidas por meio dos seguintes procedimentos:

Seleção das estações fluviométricas

As séries históricas das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Itapemirim foram obtidas na base de dados do HidroWeb.

Para a análise da qualidade e da quantidade dos dados hidrológicos das estações fluviométricas

selecionadas, utilizou-se a ferramenta ‘Disponibilidade de Dados’ do Sistema Computacional para Análise Hidrológica (SisCAH 1.0), programa desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. A seleção das estações fluviométricas e respectivas séries históricas de vazões envolveram os seguintes critérios:

- Foram eliminadas as estações com série histórica inferior a 20 anos;
- Foram eliminados anos apresentando mais de 20 dias sem registros (aproximadamente 5%).

A adoção dos referidos critérios conduziu à seleção de 8 estações fluviométricas com período comum de observações de 23 anos, compreendido entre os anos 1973 e 2005. A ocorrência de falhas nas estações e período selecionados foi considerada insignificante (menor ou igual a 3%, ocorrentes em apenas 4 estações).

O Quadro (01) apresenta nomes das estações selecionadas, rios principais nos quais as estações estão localizadas, áreas de drenagem e coordenadas geográficas.

Quadro (01) - Identificação e localização das estações fluviométricas da bacia do rio Itapemirim

Nome da estação	Área de drenagem (Km ²)	Rio Principal	Coordenadas geográficas	
			Latitude	Longitude
Usina Fortaleza	192	Braço Norte Esquerdo	-20°22'17"	-41°24'25"
Terra Corrida	544	Pardo	-20°25'49"	-41°30'10"
Itaici	1020	Braço Norte Esquerdo	-20°31'42"	-41°30'41"
Ibitirama	337	Braço Norte Direito	-20°32'26"	-41°39'56"
Rive	2220	Itapemirim	-20°44'49"	-41°27'58"
Usina São Miguel	1450	Castelo	-20°42'09"	-41°10'25"
Coutinho	4600	Itapemirim	-20°45'30"	-41°10'25"
Usina Painceiras	5170	Itapemirim	-20°57'09"	-40°57'10"

Construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas das estações fluviométricas selecionadas

A partir dos dados pré-processados das séries históricas de vazões foram construídas as curvas de permanência de vazões para as estações fluviométricas selecionadas utilizando-se os recursos disponíveis no programa SisCAH. Neste programa computacional é empregada metodologia empírica para determinação dessas curvas, baseada na análise de frequência associada a cada dado de vazão.

Posteriormente, para a regionalização das curvas de permanência de vazões das estações fluviométricas selecionadas, foi adotada metodologia indicada por Tucci (2002), a partir da qual se ajusta uma função exponencial (Equação (01)) às vazões com permanência variando entre 50% (Q_{50}) e 95% (Q_{95}).

$$Q_R = e^{(a \cdot P + b)} \quad (01)$$

Na Equação (01) Q_R representa a vazão regionalizada, P a probabilidade de ocorrência das vazões (em %) e a e b coeficientes determinados por intermédio das Equações (02) e (03).

$$a = -\frac{\ln\left(\frac{Q_{50R}}{Q_{95R}}\right)}{0,45} \quad (02)$$

$$b = \ln(Q_{50R}) - (0,5 \cdot a) \quad (03)$$

Nas duas últimas expressões Q_{50R} (m^3/s) representa a vazão regionalizada com permanência de 50% e Q_{95R} (m^3/s) a vazão regionalizada com permanência de 95%.

Para o estabelecimento das funções regionais para apropriação das vazões Q_{50R} e Q_{95R} foram estabelecidas, por análise de regressão, curvas que relacionassem as vazões Q_{50} e Q_{95} das estações fluviométricas estudadas com áreas de drenagem. As referidas funções assumiram a forma de uma equação do tipo potência, conforme Equação (04).

$$Q_{PR} = c \cdot A^d \quad (04)$$

Na Equação (04) Q_{PR} (m^3/s) indica a vazão de permanência regionalizada, A (Km^2) a área de

drenagem das bacias (variável independente da função regional) e c e d parâmetros ajustados por meio de análise de regressão.

A verificação da homogeneidade hidrológica da região de estudo foi realizada por meio da análise da qualidade do ajuste do modelo de regressão de vazões específicas (Q_{50} e Q_{95}). Essa análise foi baseada nos valores do coeficiente de determinação (R^2) da equação de regressão (não se aceitando coeficientes de determinação inferiores a 80%) e no desvio percentual entre os valores das vazões observadas e estimadas pelo modelo de regressão (acolhendo-se desvios de, no máximo, 20%).

ETAPA 3 - Determinação da capacidade de carga dos rios em função das classes de qualidade

A capacidade de carga dos rios, em função das diferentes classes de qualidade de água doce estabelecidas pela Resolução N° 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, foi obtida a partir do cruzamento de informações referentes à carga remanescente total com as curvas de permanência de cargas de cada sub-bacia.

As curvas de permanência de cargas de cada sub-bacia foram estabelecidas por meio do produto das vazões associadas às curvas de permanência de vazões regionalizadas pelas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) referentes aos padrões ambientais estabelecidos pela Resolução N° 357/2005 para rios Classes 1, 2 e 3 (3, 5 e 10 mg/L, respectivamente). Cabe observar que o parâmetro $DBO_{5,20}$ foi escolhido pela sua estreita relação com aportes de esgotos sanitários e com teores de oxigênio dissolvido em corpos receptores e pelo fato de ser o parâmetro mais utilizado por órgãos de controle ambiental na implementação e aplicação de instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Os diferentes processos que dão forma ao processo de autodepuração não foram considerados para a condução deste estudo. Como a incorporação dos efeitos da autodepuração conduziria a menores cargas orgânicas no exutório de cada sub-bacia analisada, ignorar o referido fenômeno conduz a uma análise ambientalmente mais conservadora. A capacidade de autodepuração de cursos d'água é altamente variável e dependente de inúmeros fatores físicos, químicos e biológicos. Cabe observar que, à medida que sejam obtidas informações a respeito destes fatores, o fenômeno de autodepuração poderá ser incorporado à metodologia, tornando-a menos conservadora.

ETAPA 4 - Determinação das cargas totais remanescentes de DBO por sub-bacia

Nesta etapa foram determinadas as cargas remanescentes totais de $DBO_{5,20}$ em cada sub-bacia, considerando-se apenas cargas provenientes do setor de saneamento básico, especificamente aquelas associadas ao esgotamento sanitário. Estas cargas correspondem às cargas domésticas $DBO_{5,20}$ produzidas e não coletadas (cargas diretas) e às cargas oriundas do tratamento de esgoto (cargas remanescentes de $DBO_{5,20}$ nos efluentes dos sistemas de tratamento de esgoto).

Foram estabelecidos quatro panoramas para a determinação das cargas remanescentes totais de $DBO_{5,20}$ doméstica na região de estudo, assim descritos:

1. Panorama 1: para a determinação das cargas domésticas de $DBO_{5,20}$ foram consideradas as informações fornecidas pelas concessionárias responsáveis pelo serviço de esgotamento sanitário nos municípios inseridos na área de estudo. Neste panorama foram consideradas informações sobre número de ligações à rede coletora de esgoto com destinação para tratamento e tipo de sistema de tratamento de esgoto utilizado.
2. Panoramas 2, 3 e 4: para os panoramas 2, 3 e 4 foram consideradas eficiências de remoção de $DBO_{5,20}$ nos sistemas de tratamento de esgoto de 0%, 70% e 85%, respectivamente. Nesses panoramas assumiu-se que toda a população urbana seria atendida com serviço de coleta e tratamento de esgoto e que os sistemas de tratamento receberiam exclusivamente as cargas de esgoto doméstico produzidas pela população urbana. É relevante registrar que os panoramas 1 e 2 apresentarão resultados idênticos para sub-bacias nas quais não existam sistemas de tratamento de esgotos implantados.

As estimativas de cargas totais remanescentes em todos os panoramas foram realizadas para os anos 2012, 2020 e 2030. As projeções de crescimento populacional para os anos de interesse foram realizadas por meio da aplicação da taxa média geométrica de crescimento anual da população residente, indicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de acordo com tendência média anual verificada entre os anos de 2000 e 2010 para o estado do Espírito Santo (IBGE, 2011). Essa taxa de crescimento populacional (1,27% ao ano)

foi aplicada sobre a população da área de estudo obtida no Censo demográfico de 2010.

A determinação da população contida em cada sub-bacia foi realizada utilizando-se a sobreposição das imagens correspondentes aos limites das sub-bacias e dos limites dos setores censitários utilizados para levantamento das informações do Censo demográfico de 2010. Os arquivos dessas imagens, em formato shapefile, foram manipulados no ArcMap, uma das ferramentas do pacote ArcGIS 9.3 da empresa Environmental Systems Research Institute.

Os setores censitários foram considerados integralmente em uma dada sub-bacia quando 95% ou mais de sua área estavam nela contido. Neste caso, toda a população do setor censitário foi então associada à sub-bacia à qual ele foi vinculado. Para os casos em que a fração de área do setor censitário contida na sub-bacia foi inferior a 95%, a população associada foi obtida pela Equação (05).

$$P_{\text{Sub}} = \left(\frac{\text{Área do setor contido na bacia}}{\text{Área total do setor}} \right) P_{\text{Set}} \quad (05)$$

Na última expressão P_{Sub} representa a população do setor censitário contida na sub-bacia e P_{Set} a população do setor censitário.

As populações dos setores censitários foram estabelecidas com base na variável População Residente, considerando-se a classificação adotada pelo IBGE (populações urbana e rural).

É relevante registrar que, uma vez que as concessionárias que prestam serviço de esgotamento sanitário atuam no âmbito dos municípios, as cargas estimadas de $DBO_{5,20}$ associadas à população urbana foram alocadas nas sub-bacias onde a população urbana de cada município está contida, tendo em vista que existem municípios cujas áreas estão distribuídas por mais de uma sub-bacia. Por outro lado, considerou-se que o esgoto doméstico gerado pela população rural não é coletado e tratado, sendo o mesmo disposto na própria região onde a população reside. Assim, para o cálculo da carga de $DBO_{5,20}$ associada à população rural, foi utilizada a população contida em cada sub-bacia.

Estimativa do Percentual de Atendimento Urbano com Esgotamento Sanitário

O percentual de atendimento urbano com esgotamento sanitário foi estimado baseado no cálculo do Índice de Atendimento Urbano de Esgoto (I_a), apropriado pela Equação (06) (SNIS, 2011).

$$I_a = \frac{(N_i \cdot T_{OC})}{P_{u_r}} \cdot 100 \quad (06)$$

Na expressão (06) P_{u_r} representa a população urbana residente do município, N_i o número de economias residenciais ativas de esgoto na zona urbana do município e T_{OC} a taxa média de habitantes por domicílio do município.

Tendo em vista que algumas concessionárias forneceram o número de ligações à rede coletora de esgoto da localidade atendida, com o respectivo valor do percentual do esgoto coletado que de fato recebe tratamento, o percentual efetivo de atendimento à população com esgotamento sanitário foi estimado por meio da Equação (07).

$$\%E_{fa} = I_a \cdot \%Esg_{Ct} \quad (07)$$

Na última expressão, $\%E_{fa}$ indica o percentual efetivo de atendimento à população com serviço de coleta e tratamento de esgoto e $\%Esg_{Ct}$ o percentual do esgoto coletado.

Nas localidades urbanas sem tratamento de esgoto e para população rural esse percentual foi considerado igual à zero.

Estimativa da Vazão Doméstica Média de Esgoto

A vazão doméstica média de esgotos da população urbana e rural foi calculada por meio das Equações (08) e (09), respectivamente, baseadas em Von Sperling (2005).

$$Q_u = P_u \cdot Q_{PC} \cdot R \quad (08)$$

$$Q_r = P_r \cdot Q_{PC} \cdot R \quad (09)$$

Nas Equações (08) e (09) Q_u representa a vazão doméstica média de esgotos inerente à população urbana (L/d), Q_r a vazão doméstica média de esgotos inerente à população rural (L/d), P_u a população urbana, P_r a população rural, Q_{PC} a Quota per capita de água (L/hab.d) e R o Coeficiente de retorno esgoto/água.

Neste estudo, assumiu-se coeficiente de retorno 0,8. O valor adotado para a Q_{PC} (150 L/hab.d) corresponde aproximadamente ao consumo médio per capita de água no Brasil, relativo ao ano de 2009, conforme SNIS (2011) (148,5 L/hab.d).

Estimativa das Cargas Diretas de DBO Doméstica

Para o cálculo da carga direta de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa à população rural e à população urbana não atendida com esgotamento sanitário, foram empregadas as Equações (10) e (11), baseadas em Von Sperling (2005):

$$CDu_{DBO} = Q_u \cdot (1 - \%E_{fa}) \cdot Cb_{DBO} \quad (10)$$

$$CDr_{DBO} = Q_r \cdot Cb_{DBO} \quad (11)$$

Nas expressões anteriores CDu_{DBO} (mg/d) indica a Carga direta de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa à população urbana não atendida com esgotamento sanitário; Cdu_{DBO} (mg/d) a Carga direta de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativa à população rural; e Cb_{DBO} (mg/L) a Concentração de $DBO_{5,20}$ doméstica de esgoto bruto. Neste estudo adotou-se o valor de 400 mg/L para a concentração de $DBO_{5,20}$ presente no esgoto doméstico bruto. Esse valor corresponde ao limite superior da faixa de concentração de $DBO_{5,20}$ característica de esgoto doméstico bruto, conforme sugerem Von Sperling (2005) e Jordão e Pessoa (2009).

Estimativa da Carga Remanescente de $DBO_{5,20}$ Doméstica do Esgoto Tratado

A carga remanescente de $DBO_{5,20}$ do esgoto doméstico tratado referente à população urbana foi calculada utilizando-se a Equação (12), empregada para o panorama 1, e a Equação (13), empregada para os panoramas 2, 3 e 4.

$$CRu(P_1)_{DBO} = Q_u \cdot \%E_{fa} \cdot Ct_{DBO} \quad (12)$$

Na Equação (12) $CRu(P_1)_{DBO}$ (mg/d) representa a carga remanescente de $DBO_{5,20}$ do esgoto doméstico tratado, relativa à população urbana e Ct_{DBO} (mg/L) a concentração de $DBO_{5,20}$ do esgoto doméstico tratado.

Neste estudo, adotou-se o valor superior da faixa de concentração média remanescente de $DBO_{5,20}$ doméstica, indicada por Von Sperling (2005), em função do tipo de sistema de tratamento de esgoto utilizado pela concessionária, conforme Tabela (02). Exceções foram estabelecidas para as localidades de Castelo, Piaçu (Muniz Freire) e Venda Nova do Imigrante, uma vez que a concessionária responsável pelo serviço de esgotamento sanitário nessas regiões forneceu o valor da concentração $DBO_{5,20}$ do esgoto tratado.

$$CRu(P_{2,3,4})_{DBO} = Q_u \cdot C_{b_{DBO}} \cdot (1 - \%Er_{DBO}) \quad (13)$$

Na Equação (13) $CRu(P_{2,3,4})_{DBO}$ representa a carga remanescente de $DBO_{5,20}$ do esgoto doméstico tratado da população urbana, relativa aos panoramas 2, 3 e 4 (mg/d) e $\%Er_{DBO}$ o percentual de eficiência de remoção de $DBO_{5,20}$ relativo aos panoramas 2, 3 e 4.

Tabela (02) – Concentrações médias efluentes de $DBO_{5,20}$ nos esgotos domésticos

Sistema de tratamento de esgoto	Concentração de $DBO_{5,20}$ (mg/L)
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	50-80
Tanque séptico + filtro anaeróbio	40-80
UASB + filtro anaeróbio	40-80
Lodos Ativados Convencional	15-40
Filtro biológico percolador de alta carga	30-60
Biofiltros aerado submerso	15-35

Fonte: Von Sperling, 2005 (adaptado).

Estimativa da Carga Remanescente Total de $DBO_{5,20}$ Doméstica por Sub-bacia

A carga remanescente total de DBO doméstica em cada sub-bacia foi determinada por meio das Equações (13) (panorama 1) e (14) (panoramas 2, 3 e 4).

$$CRT(P_1)_{DBO} = CDu_{DBO} + CDr_{DBO} + CRu(P_1)_{DBO} \quad (14)$$

$$CRT(P_{2,3,4})_{DBO} = CDr_{DBO} + CRu(P_{2,3,4})_{DBO} \quad (15)$$

Nas duas últimas equações, $CRT(P_1)_{DBO}$ (mg/d) representa a carga remanescente total de $DBO_{5,20}$ doméstica nas sub-bacias, relativa ao panorama 1; e $CRT(P_{2,3,4})_{DBO}$ (mg/d) a carga remanescente total de $DBO_{5,20}$ doméstica na sub-bacia, relativa aos panoramas 2, 3 ou 4.

É relevante observar que no cálculo das cargas remanescentes totais de $DBO_{5,20}$ doméstica, relativas aos panoramas 2, 3 e 4, não foi inserida a carga direta de $DBO_{5,20}$ associada à população não atendida, tendo em vista que, nesses panoramas, foi considerado que toda população urbana seria atendida com serviços de esgotamento sanitário.

A apropriação das cargas totais remanescentes exigiu a definição da origem (sub-bacias contribuintes) e do destino (sub-bacias de lançamento) do esgoto doméstico produzido nas nove sub-bacias estudadas (Quadro (02)).

Quadro (02) - Origem e destino das cargas totais remanescentes de $DBO_{5,20}$ nas sub-bacias

Origem	Destino
SB1	SB1
SB2	SB2
SB3	SB3
SB2, SB3 e SB4	SB4
SB5	SB5
SB1, SB2, SB3, SB4 e SB6	SB6
SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7 e SB8	SB7
SB8	SB8
SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7, SB8 e SB9	SB9

Foram realizadas as seguintes considerações para as estimativas das cargas totais remanescentes por sub-bacias:

- No panorama 1 não foi considerada a ocorrência de investimentos para a ampliação do percentual de atendimento urbano com serviço de esgotamento sanitário durante os horizontes de tempo analisados, mantendo-se constante o percentual da população atendida por esse serviço, conforme dados de atendimento urbano fornecidos pelas concessionárias. Dessa forma, avaliou-se o impacto que o crescimento vegetativo da população produziu em cada sub-bacia, de acordo com o cenário de enquadramento considerado. Nos demais panoramas, conforme já observado, considerou-se toda a população urbana atendida por serviço de esgotamento sanitário.
- A avaliação das cargas totais remanescentes na bacia do rio Itapemirim se restringiu à carga gerada pela população efetivamente situada nos limites da bacia. Deste modo, não foram considerados os casos em que ocorre a transposição de cargas de esgoto doméstico. Exceção a esta regra corresponde ao caso da população urbana do município de Marataízes, litorânea, cuja estação de tratamento de esgotos se encontra dentro da bacia do rio Itapemirim;

- c) Não foi considerado o processo de autodepuração nos corpos d'água, reproduzindo-se condições de avaliação estabelecidas por Garcia et al. (2012);
- d) A carga gerada em uma sub-bacia contribuinte é encaminhada para a sub-bacia situada à jusante (sub-bacia de lançamento), sendo somada à carga gerada nesta última. Tal processo se dá continuamente até que se atinja o exutório da bacia.

ETAPA 6 – Determinação da probabilidade de permanência nas classes de enquadramento

Foram considerados, por panorama avaliado, nove cenários de enquadramento, estabelecidos a partir de três possíveis classes de enquadramento (Classes 1, 2 e 3) e três horizontes de tempo (2012, 2020 e 2030).

A avaliação qualitativa, para cada sub-bacia, foi realizada com base na probabilidade de enquadramento da sub-bacia em determinada classe de uso. Dessa forma, a probabilidade de permanência nas classes de enquadramento pode ser compreendida como o tempo de permanência da vazão natural necessária à diluição da carga de $DBO_{5,20}$ remanescente da sub-bacia, de forma a se permitir o enquadramento do rio nas Classes 1, 2 ou 3.

ETAPA 7 – Determinação das cargas de $DBO_{5,20}$ a serem tratadas em cada sub-bacia segundo os cenários propostos

A determinação da carga remanescente de $DBO_{5,20}$ a ser tratada em cada sub-bacia, por classe de enquadramento, foi realizada em função da capacidade de suporte dos cursos d'água e da carga total remanescente no corpo receptor.

Assim, para a fração da vazão de referência adotada neste estudo (50% da vazão Q_{90}) como reserva para diluição das cargas, foi estimada, por sub-bacia e por classe de enquadramento, a parcela correspondente à carga remanescente a ser tratada em cada um dos panoramas estabelecidos.

DISCUSSÃO E RESULTADOS

Disponibilidade hídrica superficial

As Equações (16) e (17) representam as funções regionais aplicáveis à apropriação das vazões Q_{50} e Q_{95} na bacia do rio Itapemirim, respectivamente.

Ambas as equações apresentaram coeficiente de correlação muito próximos da unidade, com R^2 igual a 0,9879 para a vazão Q_{50} e igual a 0,9922 para a vazão Q_{95} .

$$Q_{50R} = 0,0409.A^{0,8338} \quad (16)$$

$$Q_{95R} = 0,0163.A^{0,8434} \quad (17)$$

As Tabelas (03) e (04) apresentam os valores observados e estimados com auxílio das funções regionais das vazões com permanência de 50% (Tabela (02)) e 95% (Tabela (03)). Estas tabelas apresentam, adicionalmente, os desvios percentuais entre os valores reais e estimados das referidas vazões.

Tabela (03) - Valores observados e estimados da vazão Q_{50} para as estações fluviométricas selecionadas

Nome da Estação	Q_{50} (Observada, m^3/s)	Q_{50R} (Estimada, m^3/s)	Desvios Percentuais (%)
Ibitirama	6,48	5,06	-19,19
Usina São Miguel	9,57	12,28	15,61
Usina Fortaleza	3,04	3,16	7,95
Terra Corrida	7,36	7,55	6,12
Rive	26,80	24,52	-5,86
Coutinho	19,16	20,02	4,46
Itaici	12,65	12,78	4,31
Usina Paínciras	49,00	45,13	0,63

Tabela (04) - Valores observados e estimados da vazão Q_{95} para as estações fluviométricas selecionadas

Nome da Estação	Q_{95} (Observada, m^3/s)	Q_{95R} (Estimada, m^3/s)	Desvios Percentuais (%)
Ibitirama	2,37	2,21	-6,84
Usina São Miguel	6,52	7,56	16,01
Usina Fortaleza	1,28	1,37	7,54
Terra Corrida	3,62	3,31	-8,64
Rive	11,98	10,83	-9,61
Coutinho	15,30	17,16	-5,48
Itaici	5,37	5,62	4,67
Usina Paínciras	22,80	22,09	-3,14

Todos os desvios percentuais obtidos, tanto para Q_{50} quanto para a Q_{95} , apresentam-se abaixo de 30%, valor limite sugerido por Eletrobrás (1985) para estudos de regionalização de vazões.

As equações empíricas obtidas para construção das curvas de permanência de vazões regionalizadas entre 50% e 95% estão apresentadas na Tabela (05).

A Figura (03) apresenta uma comparação entre a curva de permanência de vazões reais e a de vazões regionalizadas (entre 50% e 95% de permanência) para a estação Terra Corrida - Montante. Gráficos semelhantes foram produzidos para as demais estações fluviométricas consideradas neste estudo.

Tabela (05) - Equações das curvas de permanência de vazões regionalizadas no trecho de 50% a 95% para as estações fluviométricas selecionadas.

Nome da Estação	Equações das curvas de permanência (Q_R em m^3/s)
Usina Fortaleza	$Q_R = e^{(-1,93.P + 2,15)}$
Terra Corrida	$Q_R = e^{(-1,91.P + 3,01)}$
Itaici	$Q_R = e^{(-1,90.P + 3,53)}$
Ibitirama	$Q_R = e^{(-1,92.P + 2,62)}$
Rive	$Q_R = e^{(-1,88.P + 4,17)}$
Usina São Miguel	$Q_R = e^{(-1,89.P + 3,82)}$
Coutinho	$Q_R = e^{(-1,86.P + 4,77)}$
Usina Paineiras	$Q_R = e^{(-1,86.P + 4,86)}$

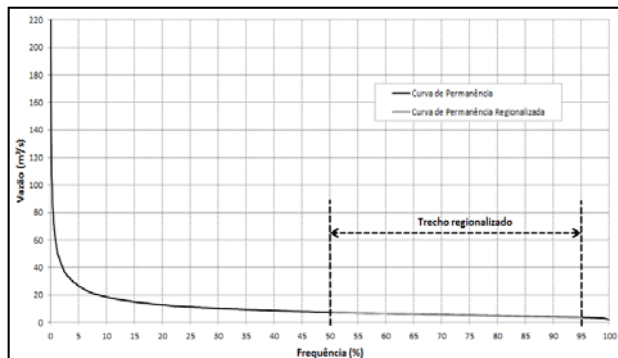


Figura (03) - Comparação entre a curva de permanência de vazões e a de vazões regionalizadas (trecho entre 50% e 95% de permanência) para a estação Terra Corrida Montante

A partir das funções regionais estabelecidas foram construídas curvas de permanência de vazões aplicáveis às sub-bacias. As vazões estimadas para permanências de 50% e 95% no exutório de cada sub-bacia estão apresentadas na Tabela (06). As equações empíricas obtidas para construção das curvas de permanência de vazões, por sua vez, estão apresentadas na Tabela (07).

Tabela (06) - Vazões estimadas (Q_{50R} e Q_{95R}) para os exutórios das sub-bacias consideradas

Nome da Sub-bacia	Sigla	Q_{50R} (m^3/s)	Q_{95R} (m^3/s)
Braço Norte Direito	SB1	7,40	3,13
Pardinho	SB2	8,16	3,46
Braço Norte Esquerdo	SB3	5,19	2,19
Lambari Frio	SB4	17,51	7,48
Castelo	SB5	18,01	7,70
Vala do Souza	SB6	33,21	14,30
Coqueiro	SB7	56,86	24,63
Muqui do Norte	SB8	9,45	4,01
Itapemirim	SB9	57,11	24,74

Tabela (07) - Equações das curvas de permanência de vazões regionalizadas associadas aos exutórios das sub-bacias selecionadas

Nome da Sub-bacia	Sigla	curvas de permanência de vazões regionalizadas(m^3/s)
Braço Norte Direito	SB1	$Q_P = e^{(-1,91.P + 2,96)}$
Pardinho	SB2	$Q_P = e^{(-1,91.P + 3,05)}$
Braço Norte Esquerdo	SB3	$Q_P = e^{(-1,92.P + 2,61)}$
Lambari Frio	SB4	$Q_P = e^{(-1,89.P + 3,81)}$
Castelo	SB5	$Q_P = e^{(-1,89.P + 3,84)}$
Vala do Souza	SB6	$Q_P = e^{(-1,87.P + 4,44)}$
Coqueiro	SB7	$Q_P = e^{(-1,86.P + 4,97)}$
Muqui do Norte	SB8	$Q_P = e^{(-1,91.P + 3,20)}$
Itapemirim	SB9	$Q_P = e^{(-1,86.P + 4,97)}$

Cargas remanescentes totais por sub-bacia

As cargas remanescentes totais correspondem à soma das cargas originadas na sub-bacia em análise com as provenientes da(s) sub-bacia(s) localizada(s) à montante desta.

Desta forma, para as sub-bacias SB4, SB6, SB7 e SB9, as cargas totais remanescentes foram estimadas acrescentando-se as contribuições da(s) sub-bacia(s) de montante. Os resultados desta etapa do trabalho estão reunidos nas Tabelas (08) a (11).

Tabela (08) - Cargas totais remanescentes associadas às sub-bacias avaliadas considerando o panorama 1

Sub-bacia	Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)											
	Direta	Direta	Remanescente	Total	Direta	Direta	Remanescente	Total	Direta	Direta	Remanescente	Total
	rural	urbana	do tratamento	2012	rural	urbana	do tratamento	2020	rural	urbana	do tratamento	2030
SB1	0,40	0,09	0,02	0,50	0,44	0,11	0,02	0,57	0,50	0,15	0,02	0,67
SB2	1,04	1,64	0,00	2,68	1,15	1,81	0,00	2,96	1,31	2,06	0,00	3,36
SB3	0,29	0,38	0,00	0,68	0,32	0,43	0,00	0,75	0,37	0,49	0,00	0,86
SB4	1,59	2,10	0,00	3,69	1,76	2,32	0,00	4,08	2,00	2,64	0,00	4,64
SB5	1,57	1,06	0,33	2,95	1,73	1,30	0,33	3,36	1,97	1,65	0,33	3,94
SB6	2,71	3,41	0,06	6,18	3,00	3,83	0,06	6,88	3,40	4,40	0,06	7,86
SB7	5,64	6,68	1,09	13,40	6,24	8,31	1,09	15,64	7,08	10,60	1,09	18,76
SB8	0,61	0,83	0,00	1,44	0,67	0,92	0,00	1,59	0,76	1,05	0,00	1,81
SB9	5,65	7,33	1,29	14,27	6,25	9,15	1,29	16,69	7,09	11,69	1,29	20,07

Tabela (09) - Cargas totais remanescentes associadas às sub-bacias avaliadas, considerando o panorama 2

Sub-bacia	Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	Direta	Remanescente	Total	Direta	Remanescente	Total	Direta	Remanescente	Total
			2012			2020			2030
SB1	0,40	0,24	0,63	0,44	0,26	0,70	0,50	0,30	0,79
SB2	1,04	1,64	2,68	1,15	1,81	2,96	1,31	2,06	3,36
SB3	0,29	0,40	0,70	0,32	0,45	0,77	0,37	0,51	0,87
SB4	1,59	2,12	3,71	1,76	2,34	4,10	2,00	2,66	4,65
SB5	1,57	2,31	3,88	1,73	2,56	4,29	1,97	2,90	4,87
SB6	2,71	3,88	6,60	3,00	4,30	7,30	3,40	4,87	8,28
SB7	5,64	15,38	21,02	6,24	17,01	23,25	7,08	19,30	26,38
SB8	0,61	0,83	1,44	0,67	0,92	1,59	0,76	1,05	1,81
SB9	5,65	17,08	22,73	6,25	18,89	25,14	7,09	21,43	28,52

Tabela (10) - Cargas totais remanescentes associadas às sub-bacias avaliadas considerando o panorama 3

Sub-bacia	Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	Direta	Remanescente	Total	Direta	Remanescente	Total	Direta	Remanescente	Total
		do tratamento	2012		do tratamento	2020		do tratamento	2030
SB1	0,40	0,07	0,47	0,44	0,08	0,52	0,50	0,09	0,59
SB2	1,04	0,49	1,53	1,15	0,54	1,70	1,31	0,62	1,92
SB3	0,29	0,12	0,41	0,32	0,13	0,46	0,37	0,15	0,52
SB4	1,59	0,64	2,23	1,76	0,70	2,46	2,00	0,80	2,79
SB5	1,57	0,69	2,26	1,73	0,77	2,50	1,97	0,87	2,84
SB6	2,71	1,17	3,88	3,00	1,29	4,29	3,40	1,46	4,87
SB7	5,64	4,61	10,25	6,24	5,10	11,34	7,08	5,79	12,87
SB8	0,61	0,25	0,86	0,67	0,28	0,95	0,76	0,31	1,08
SB9	5,65	5,12	10,77	6,25	5,67	11,92	7,09	6,43	13,52

Tabela (11) - Cargas totais remanescentes associadas às sub-bacias avaliadas considerando o panorama 4

Sub-bacia	Cargas totais remanescentes (t DBO/dia)								
	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2012	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2020	Direta	Remanescente do tratamento	Total 2030
SB1	0,40	0,04	0,43	0,44	0,04	0,48	0,50	0,04	0,54
SB2	1,04	0,25	1,29	1,15	0,27	1,42	1,31	0,31	1,62
SB3	0,29	0,06	0,35	0,32	0,07	0,39	0,37	0,08	0,44
SB4	1,59	0,32	1,91	1,76	0,35	2,11	2,00	0,40	2,40
SB5	1,57	0,35	1,91	1,73	0,38	2,12	1,97	0,44	2,40
SB6	2,71	0,58	3,29	3,00	0,64	3,64	3,40	0,73	4,13
SB7	5,64	2,31	7,94	6,24	2,55	8,79	7,08	2,90	9,97
SB8	0,61	0,12	0,73	0,67	0,14	0,81	0,76	0,16	0,92
SB9	5,65	2,56	8,21	6,25	2,83	9,08	7,09	3,22	10,30

Tabela (12) - Probabilidade de compatibilidade com as diferentes classes de enquadramento para as diferentes sub-bacias, horizontes e panoramas considerados

Sub-bacia	Ano	Panorama 1 (%)			Panorama 2 (%)			Panorama 3 (%)			Panorama 4 (%)		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
SB1	2012	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
SB2	2012	< 50	64,38	> 95	< 50	64,38	> 95	66,89	93,65	> 95	76,05	> 95	> 95
	2020	< 50	59,09	> 95	< 50	59,09	> 95	61,6	88,36	> 95	70,76	> 95	> 95
	2030	< 50	52,47	88,79	< 50	52,47	88,79	54,99	81,75	> 95	64,15	90,91	> 95
SB3	2012	85,69	> 95	> 95	84	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	80,3	> 95	> 95	79,06	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	73,58	> 95	> 95	72,49	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
SB4	2012	60,97	88,01	> 95	60,71	87,74	> 95	87,71	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	55,6	82,64	> 95	55,36	82,4	> 95	82,37	> 95	> 95	90,52	> 95	> 95
	2030	< 50	75,93	> 95	< 50	75,72	> 95	75,69	> 95	> 95	83,84	> 95	> 95
SB5	2012	74,31	95	> 95	59,79	86,84	> 95	88,39	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	67,38	94,43	> 95	54,44	81,49	> 95	83,04	> 95	> 95	91,86	> 95	> 95
	2030	58,99	86,04	> 95	< 50	74,81	> 95	76,36	> 95	> 95	85,18	> 95	> 95
SB6	2012	67,67	94,94	> 95	64,21	91,49	> 95	92,59	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	61,94	89,21	> 95	58,82	86,1	> 95	87,2	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	54,82	82,1	> 95	52,08	79,36	> 95	80,46	> 95	> 95	89,15	> 95	> 95
SB7	2012	55,11	82,58	> 95	< 50	58,39	> 95	69,52	> 95	> 95	83,24	> 95	> 95
	2020	< 50	74,3	> 95	< 50	52,96	90,24	64,09	91,57	> 95	77,81	> 95	> 95
	2030	< 50	64,49	> 95	< 50	< 50	83,45	57,31	84,78	> 95	71,02	> 95	> 95
SB8	2012	77,9	> 95	> 95	77,9	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2020	72,59	> 95	> 95	72,59	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
	2030	65,97	92,78	> 95	65,97	92,78	> 95	93,2	> 95	> 95	> 95	> 95	> 95
SB9	2012	51,96	79,43	> 95	< 50	54,42	91,7	67,1	94,58	> 95	81,71	> 95	> 95
	2020	< 50	71,03	> 95	< 50	50	86,27	61,67	89,15	> 95	76,28	> 95	> 95
	2030	< 50	61,1	> 95	< 50	50	79,48	54,88	82,36	> 95	69,49	> 95	> 95

Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento

Uma vez determinadas as curvas de permanência regionalizadas para as sub-bacias analisadas, foram estabelecidas curvas de permanência de carga para as Classes 1, 2 e 3. Estas curvas foram construídas para todas as sub-bacias consideradas neste estudo e serviram para identificar a probabilidade de permanência de cada sub-bacia nas diferentes classes de uso, de acordo com as cargas remanescentes totais previstas em cada um dos quatro panoramas estabelecidos nos anos 2012, 2020 e 2030.

A Figura (04) apresenta as curvas de permanência de cargas e as cargas remanescentes totais previstas nos panoramas 1, 2, 3 e 4 para sub-bacia Itapemirim, considerando o ano de 2012. Curvas semelhantes foram estabelecidas para as demais sub-bacias e horizontes de análise. Das referidas curvas pode ser extraído o percentual do tempo que cada sub-bacia permanece dentro de uma determinada classe de enquadramento, segundo os diferentes panoramas.

Na Figura (04) estão indicados, para a sub-bacia Itapemirim, os percentuais de permanência correspondentes à intercessão das curvas de permanência de cargas (curvas correspondentes às condições de qualidade esperadas para cursos d'água Classes 1, 2 ou 3) com as curvas correspondentes às cargas remanescentes totais associadas aos diferentes panoramas considerados que, a rigor, consistem em retas paralelas ao eixo das abscissas.

Analisando-se as intercessões da curva de carga remanescente associada ao panorama 1 (linha contínua) com as curvas de cargas associadas às diferentes classes de uso, observa-se permanência de 51,96% na Classe 1, e permanência de 79,43% na Classe 2. Observa-se que a curva de carga remanescente não toca a curva de carga correspondente à Classe 3 no intervalo de análise; desta forma, indicou-se permanência superior a 95% na Classe 3.

No caso do panorama 2, a sub-bacia Itapemirim apresenta uma permanência inferior a 50% na classe de uso 1. Para as Classes 2 e 3, as permanências em condições de qualidade compatíveis com estas classes foram de 54,42% e 91,70%, respectivamente.

Considerando-se a condição de disposição de efluentes referente ao panorama 3, foram obtidas permanências de 67,10% na Classe 1, 94,58% na Classe 2 e acima de 95% na Classe 3. Já para o panorama 4, as permanências foram de 81,71% na Classe 1 e acima de 95% nas Classes 2 e 3.

Aplicando-se o mesmo princípio de análise para as demais sub-bacias, horizontes e panoramas

considerados, foi produzida a Tabela 12, que apresenta os percentuais de permanência nas diferentes classes de enquadramento. Para todos os casos, a tabela apresenta, em destaque, a classe na qual cada sub-bacia apresenta maior percentual de permanência. Quando diferentes classes apresentaram mesmo percentual de permanência, foi destacada a classe de usos mais nobres.

Nas situações em que os percentuais de permanência se encontram fora do intervalo de análise, a permanência correspondente é representada por < 50%, (quando se trata de valor inferior a 50% da permanência), ou por > 95%, (quando o valor supera a permanência de 95%).

A Tabela (12) permite observar que, de modo geral, a situação atual da bacia (panorama 1) aproxima-se da condição associada ao panorama 2. Outro aspecto que merece destaque é o fato de que a perspectiva estabelecida pelo panorama 3 (tratamento com 70% de eficiência para 100% da população urbana) é suficiente para que seis das nove sub-bacias apresentem condições compatíveis com a perspectiva de enquadramento na Classe 2 ou superior. Quando se aumenta a eficiência do tratamento para 85%, conforme proposto por meio do panorama 4, observa-se que praticamente todas as sub-bacias, independentemente do cenário considerado, estabeleceriam condições de qualidade compatíveis com aquelas esperadas para cursos d'água Classe 2, apresentando-se como única exceção a sub-bacia SB2 para o cenário associado ao ano de 2030, que permaneceria na Classe 3.

Cargas remanescentes a serem tratadas por sub-bacia

Para a estimativa das cargas remanescentes a serem tratadas considerou-se que um percentual de 50% da vazão de referência para outorga no estado do Espírito Santo (Q_{90}) estaria disponível para diluição das cargas aportadas aos cursos d'água. Desta maneira, a referida vazão foi considerada como a parcela da vazão do corpo d'água que dilui as cargas remanescentes totais nele lançadas, de tal modo que a parcela a ser tratada corresponda à carga a ser removida para que seja alcançada determinada classe de enquadramento nas sub-bacias consideradas.

A Figura (05) apresenta o caso específico das parcelas de carga a serem tratadas em cada sub-bacia, no ano de 2012, para que elas possam apresentar condições de qualidade compatíveis com a Classe 2. Nesse gráfico estão representadas as cargas diluídas e as cargas a serem tratadas e, em alguns casos, uma parcela denominada capacidade de diluição não utilizada, que corresponde à parcela de

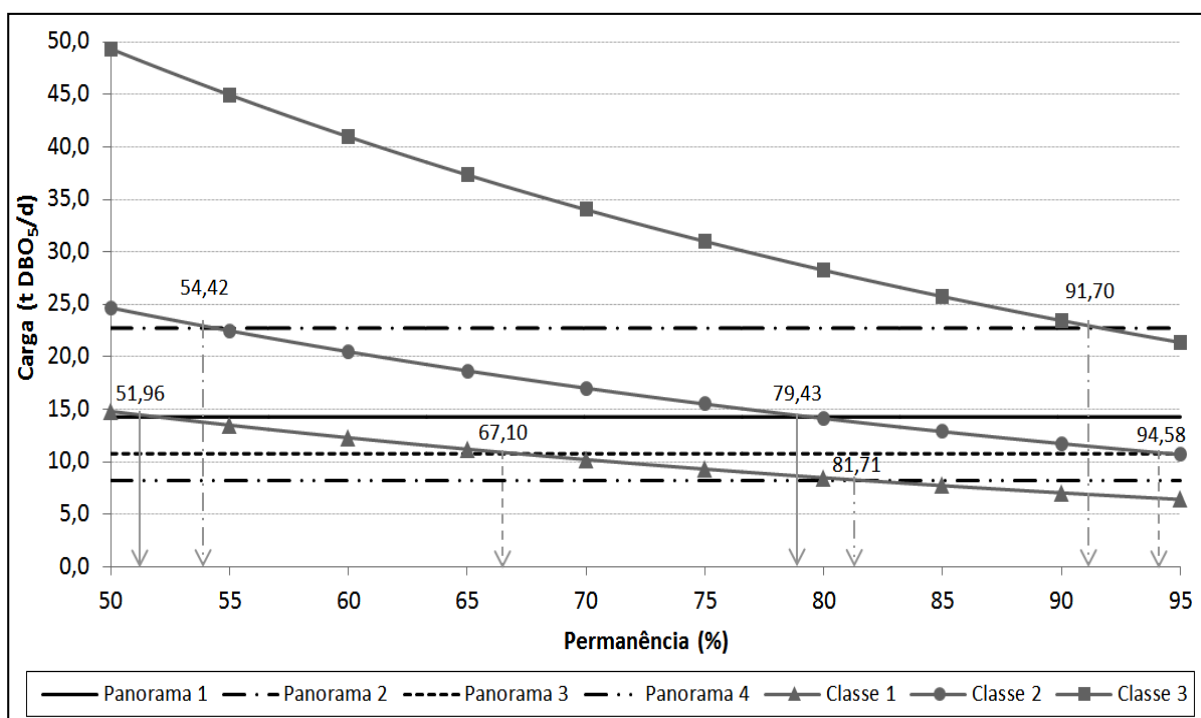


Figura (04) - Probabilidade de permanência nas classes de enquadramento da sub-bacia Foz do Rio Itapemirim (SB9) para o ano de 2012

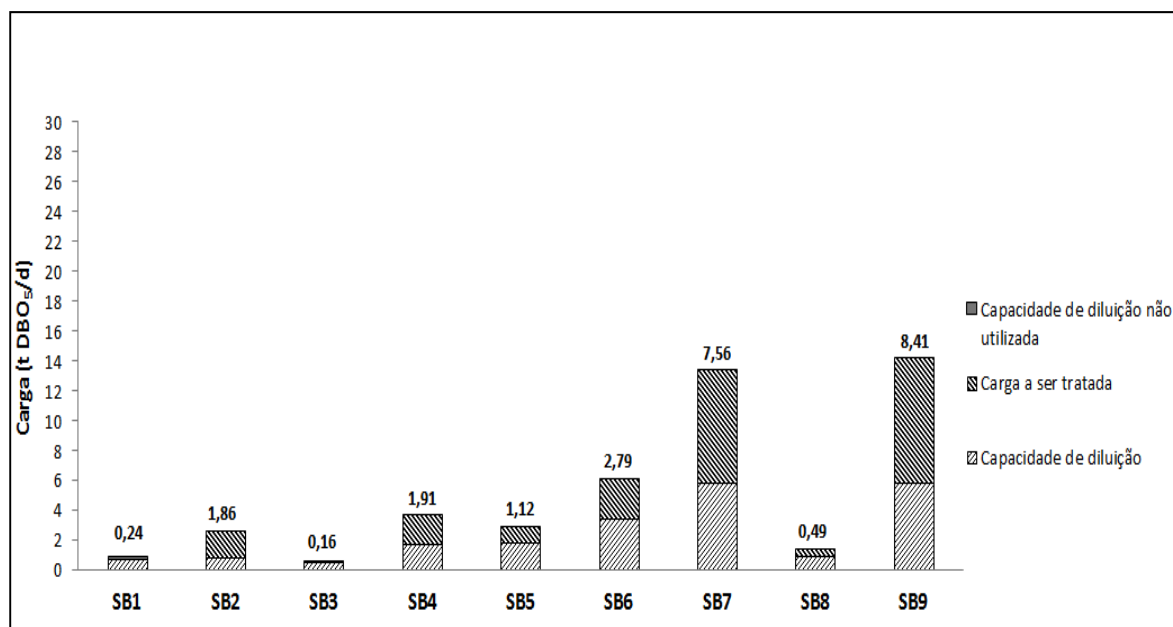


Figura (05) - Capacidades de diluição do corpo d'água e parcela das cargas a serem tratadas para qualidade compatível com a Classe 2 no ano de 2012.

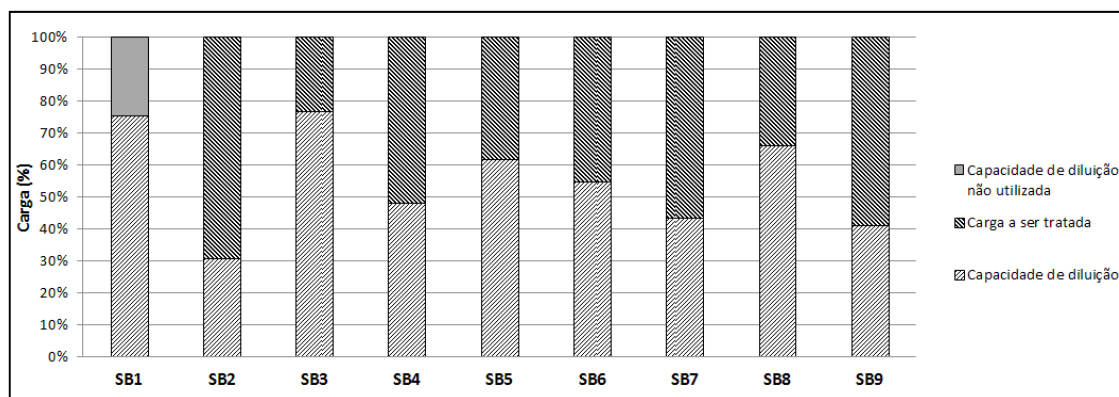


Figura (06) - Nível de estresse das sub-bacias para o panorama 1, Classe 2 e ano 2012

vazão que, teoricamente, não é comprometida na função de diluir a carga remanescente total.

É relevante observar que as maiores parcelas de carga a serem removidas estão nas sub-bacias SB7 e SB9, sub-bacias que recebem grandes quantidades de carga remanescente. Entretanto, é relevante observar que parte dessas cargas provém de sub-bacias localizadas à montante. Desta forma, não bastaria concentrar as ações de tratamento de esgotos nas sub-bacias que apresentam maior destinação de cargas, sendo relevante avaliar, também, a contribuição das sub-bacias nas quais as cargas são produzidas.

As informações reunidas na Figura (05) permitem que se faça uma avaliação comparativa entre as parcelas de carga diluídas e a serem tratadas nas diferentes sub-bacias. Contudo, o referido gráfico não permite inferências sobre como as cargas remanescentes comprometem os corpos d'água, não sendo possível determinar o nível de pressão que a carga lançada exerce sobre os rios.

Neste contexto foi estabelecida a Figura (06) que apresenta, em termos percentuais, para o panorama 1, Classe 2 de qualidade e ano 2012, a parcela da carga assimilada pela capacidade de diluição, a parcela da carga a ser tratada e a parcela da capacidade de diluição não utilizada. Nesta figura é possível observar quais sub-bacias, de fato, apresentam maior quantidade de carga a ser tratada em relação à parcela de carga remanescente total que é nela lançada. Por permitir a análise do grau de pressão sofrido pela sub-bacia em relação às cargas lançadas, a Figura (06) foi denominada nível de estresse das sub-bacias, de modo que as bacias que apresentam maiores percentuais de cargas a serem tratadas são consideradas sub-bacias mais pressionadas sob o ponto de vista de qualidade. A partir da sim-

ples inspeção da Figura (06) é possível observar que, considerando-se o panorama 1 para o ano de 2012, a sub-bacia mais pressionada é a denominada SB2. Este resultado se justifica pelo fato de que, apesar das cargas de esgotos provenientes desta sub-bacia serem inferiores às correspondentes a diversas outras sub-bacias, a sub-bacia SB2 apresenta menor disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, menor capacidade de suporte das cargas orgânicas.

CONCLUSÕES

A partir das estimativas das cargas produzidas em cada sub-bacia, observou-se que nas sub-bacias SB5, SB7 e SB2 seriam geradas as maiores cargas remanescentes de $DBO_{5,20}$ decorrentes do aporte de esgotos de origem doméstica, considerado o cenário de enquadramento associado à atual condição de tratamento de esgotos. Os percentuais relativos às cargas geradas nas sub-bacias SB5, SB7 e SB2 foram, respectivamente, 21, 20 e 19% de toda carga remanescente produzida na bacia hidrográfica do rio Itapemirim ($14,3 \text{ t } DBO_{5,20}/\text{d}$).

As maiores cargas remanescentes totais de $DBO_{5,20}$ foram associadas às sub-bacias SB9, SB7, SB6 e SB4, nessa ordem. Cabe ressaltar que estas sub-bacias recebem cargas provenientes de sub-bacias localizadas à montante.

Na maior parte das situações analisadas neste estudo, a permanência nas diferentes classes de uso no panorama 1 aproxima-se do percentual associado às mesmas classes no panorama 2, sugerindo a existência de baixos níveis de cobertura para o serviço de tratamento de esgotos.

Na condição de eficiência de tratamento relacionada ao panorama 3 (70% de remoção de DBO), seis das nove sub-bacias apresentariam condições de qualidade compatíveis com aquelas estabelecidas para as Classes 1 ou 2 (SB1, SB3, SB4, SB5, SB6 e SB8). Num cenário em que a eficiência do tratamento fosse elevada para 85% (panorama 4), a quase totalidade das sub-bacias seria levada às condições de qualidade compatíveis com a Classe 2, independentemente do panorama avaliado; como exceção apresentou-se a sub-bacia SB2 que permaneceria na Classe 3 no ano de 2030. Neste contexto, a metodologia empregada neste trabalho demonstra-se útil para a avaliação de metas intermediárias de enquadramento, permitindo que os decisores avaliem os investimentos referentes às diferentes possíveis classes de enquadramento. Adicionalmente, entende-se que o percentual de atendimento associado às curvas de permanência de carga pode ser empregado como parâmetro de mensuração das metas intermediárias de enquadramento.

Considerando-se a condição atual de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, foco deste estudo, as estimativas das cargas de $DBO_{5,20}$ relacionadas com o aporte de esgotos de origem doméstica (produzidas e a serem tratadas) e a análise do nível de estresse das sub-bacias, evidenciou-se que, objetivando a melhoria de qualidade de cursos d'água, as sub-bacias SB2, SB5 e SB7 apresentaram-se como regiões prioritárias para investimentos associados ao setor de esgotamento sanitário.

AGRADECIMENTOS

À empresa Foz do Brasil, à Companhia Espírito Santense de Saneamento e aos Serviços Autônomos de Água e Esgoto dos municípios de Alegre, Ibitirama, Itapemirim, Jerônimo Monteiro e Vargem Alta pela disponibilização de informações utilizadas na condução do presente estudo.

REFERÊNCIAS

Aquaconsult – Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda. (2011). **Plano Municipal de Água e Esgoto de Cachoeiro de Itapemirim**. Vitória: Aquaconsult.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2009). **Caderno de Recursos Hídricos 6: Implantação do enquadramento em Bacias Hidrográficas**. Brasília: ANA. 145 p.

_____. (2007). **Caderno de Recursos Hídricos 5: Panorama do Enquadramento dos Corpos D'água**. Brasília: ANA. 124 p.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei Nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 9 jan. 1997.

BRITES, A. P. Z. (2010). Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica. 177 f. **Tese** (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. (2010). Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.4, p. 337-346

ELETROBRÁS – Centrais Hidrelétricas Brasileiras S.A. (1985). **Metodologia para regionalização de vazões**. Brasília: Eletrobrás.

GARCIA, S. G.; LOPARDO, N.; ANDREOLI, C. V.; GONÇALVES; R. C. (2012). Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos no Saneamento Básico. In: PHILIPPI JR., Arlindo (Ed.). **Gestão do Saneamento Básico - Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Barueri, SP: Manole.

GASTALDINI, M. C. C.; OPPA, L. F. (2011). Análise de Alternativas de Enquadramento do Rio Vacacaí Mirim Utilizando Modelo Matemático de Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, p. 17-27.

Incapar – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. (2009). **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural (2011 - 2013) -**

Planejamento e Programação de Ações. Vitória: Incaper.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores Sociais Municipais – **Uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA C. A. (2009). **Tratamento de Esgotos Domésticos.** Rio de Janeiro: ABES.

PFAFSTETTER, O. Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989, p. 19. Manuscrito não publicado.

PORTO, M. F. A.; MORAES JR., J. M.; DINIZ, L. T.; YAZAKI, L. F. O. (2006). O Enquadramento de Cursos D'água na Legislação Brasileira. **Anais. I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, Curitiba.

SILVEIRA, G. L. da; SILVA, C. E. da; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C.; RETZ, E. F. (2003). Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Qualiquantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 5-11.

SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas. Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Acesso em 09 abr. 2013.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. (2011). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2009.** Brasília: Ministério Das Cidades – Secretaria Nacional De Saneamento Ambiental.

SOUZA, M. P.; PIZELLA, D. G. (1998). Análise da Sustentabilidade Ambiental do Sistema de Classificação das Águas Doces Superficiais Brasileiras. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n.2, p. 139-148.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Regionalização de Vazões.** Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002, 256 p.

VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: UFMG.

Contribution To The Selection Of Itapemirim River Watershed Water Quality Classes Considering Sewage Pollution Sources

ABSTRACT

Considering the relevance of the selection of CONAMA (Brazilian Environment Council) water quality classes for watercourse reaches as a management tool, the study aimed to evaluate classification scenarios for Itapemirim watershed by considering the sanitation sector as the only source of pollutant loads. In order to compose different scenarios, classification scenarios were established considering four sewage treatment conditions presenting different Biochemical Oxygen Demand ($BOD_{5,20}$) removal efficiencies for three different time horizons (2012, 2020 and 2030). Itapemirim watershed was divided into nine sub-basins, for which water availability was determined by flow duration regionalization procedures. Water quality duration curves corresponding to the maximum $BOD_{5,20}$ loads associated with the CONAMA 357/205 water quality classes 1, 2 and 3 were produced from regionalization curves. The overlapping duration curves and remaining total pollution loads corresponding to different scenarios, led to the appropriation of the percentage of time that each sub-basin would present quality compatible with the established water quality classes. The results allowed to associate different Itapemirim river watercourse classes scenarios with different sewage treatment cover conditions. They also suggest that the methodology adopted for the development of this study can be used generally to support decisions about the definition of water quality classes of watercourses reaches.

Key-words: Water quality class, sewage, Itapemirim river.