

XIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

METODOLOGIA TMDL COMO ESTRATÉGIA DE SUPORTE AO PROCESSO DE ENQUADRAMENTO DE UM RECURSO HÍDRICO

Joyce Helly da Anunciação Soares¹; Camilo Rafael Pereira Brandão²; Laize Eloy Teixeira³; Romeu Boto Dantas Neto⁴; Daniella Rocha⁵.

RESUMO: A poluição dos recursos hídricos é um dos problemas mais comuns no processo de urbanização, sendo necessário definir estratégias de planejamento que permitam o desenvolvimento das cidades atrelados à capacidade de suporte desses recursos para determinados poluentes. A metodologia TMDL caracteriza-se como metodologia eficaz que permite a identificação de pontos focais para adoção de medidas de controle da poluição, permitindo a efetivação progressiva do enquadramento de um dado corpo hídrico. O trabalho objetivou a aplicação da metodologia TMDL a um trecho do rio Poxim dentro de um cenário prospectivo, apresentando possíveis estratégias de controle e gestão no que diz respeito ao aporte de cargas poluidoras, visando atender enquadramento do rio. A metodologia possibilitou a caracterização do trecho do Rio em estudo, principalmente no que diz respeito à avaliação do comportamento das cargas poluidoras. Foi possível identificar a violação dos padrões de qualidade almejados e assim projetar a alocação das cargas que divergiram do limite. A partir disso, foram estabelecidas possíveis medidas de gerenciamento para alocação das cargas, como aumento do índice de atendimento com rede de coleta de esgoto ou instalação de estações individuais de tratamento seguida de constantes fiscalizações para manutenção da qualidade final dos efluentes.

Palavras-Chave – *Total Maximum Daily Load; Gestão de recursos hídricos; Cargas poluentes.*

INTRODUÇÃO

Um dos desafios ambientais mais proeminentes da atualidade está ligado às alterações das características quanti-qualitativas dos recursos hídricos provocadas principalmente pelas crescentes aglomerações urbanas que desenvolvem diferentes usos associados a esses recursos (ZHAO *et al.*, 2021). Ainda segundo o autor, a poluição da água é um dos problemas mais comuns no processo de urbanização, sendo necessário definir estratégias de planejamento que permitam o desenvolvimento das cidades atrelados à capacidade de suporte dos recursos hídricos impactados.

Com relação às legislações, a Lei N° 9.433/1997 em consonância com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 2005, preveem a articulação do planejamento associando metodologias que representem o comportamento do sistema, permitindo previsões.

¹ Graduada em Engenharia Civil pela Faculdade Pio Décimo (Aracaju/SE), Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe. Integrante do GESEA/UFS. (79) 99641-0997. helly.joycel@gmail.com.

² Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado da Bahia. Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe. Integrante do GPFIMA/UFS. (75) 9 8873-9183. rafa-elbrandao@hotmail.com.

³ Graduada em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Sergipe, Mestranda no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe. (79) 98816-5845. laizeeloy@gmail.com.

⁴ Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Pernambuco, Mestrando no Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Sergipe. (79) 3046-1033. romeubotoneto@gmail.com.

⁵ Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe, Doutora em Engenharia Civil - Interdisciplinar Meio Ambiente pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia COPPE/UFRJ. daniellarocha.ufs@gmail.com.

A metodologia *Total Maximum Daily Load (TMDL)* caracteriza-se como uma metodologia eficaz na mitigação da poluição de recursos hídricos e adoção de medidas de controle para efetivação do enquadramento baseadas na concentração e capacidade de depuração de poluentes específicos (FAN *et al.*, 2020).

O presente trabalho objetiva a aplicação da metodologia *TMDL* a um trecho do rio Poxim dentro de um cenário factível, apresentando possíveis estratégias de controle e gestão quanto ao aporte de cargas poluidoras da indústria e da população visando atender enquadramento definido no Plano de Bacia Hidrográfica do rio Sergipe.

MATERIAL E MÉTODOS

Construção do cenário e prospecções

Para aplicação da metodologia foi necessário fazer projeções populacionais e de produção de uma indústria fictícia, para ser possível estimar o potencial poluidor dessas duas fontes de poluição. Levando em conta a situação atual da área de estudo, que não apresenta coleta de esgoto sanitário SANTOS (2018), foi reproduzido esse cenário para os anos de projeção, a médio prazo, para o período de 2026 à 2031 a fins de observação do possível comportamento futuro do rio frente ao crescimento das cargas poluidoras e manutenção de índices de coleta de esgoto para a região.

Para a indústria fictícia foi considerada uma do setor de laticínios, tendo como base a produção de queijo coalho de uma fábrica em Nossa Senhora da Glória – SE. Silva; Silva (2016) realizaram um levantamento de produção de 3690 Kg/dia de queijo coalho, que convertido a litros de leite, equivale a 36900L/dia. Assim, a partir de projeções feitas por Silva (2016) foi possível projetar a produção média.

A estimativa da vazão do efluente, da carga orgânica e da concentração de efluentes da indústria foram calculadas a partir das características de águas residuárias na produção de laticínios com queijaria identificadas por Von Sperling (2014), com vazão específica de esgoto de 6m³/unid e carga específica de DBO de 22,5 Kg/unid. Apresentadas abaixo (Tabela 1). Considerou-se como tratamento dos efluentes da indústria em questão o uso de reator UASB combinado com sistemas de lodos ativados, apresentando eficiência de 85% para remoção de DBO de acordo com Von Sperling (1995).

Tabela 1 – Dados de vazão, concentração e potencial poluidor da indústria.

Período (média)	Produção (%)	Prod. queijo (l/dia)	Carga (kg/dia)	Efic. tratam.	Carga reman. (kg/dia)	Vazão (m ³ /s)	Concentração (mg/L)
2026-2031	60	38400	864,00	0,85	129,60	0,0027	562,50

Já a população do bairro Jabotiana, especificamente dos conjuntos Sol Nascente e JK foi estimada a partir dos dados do censo do IBGE para os anos 2000 e 2010, sendo determinado a partir da progressão geométrica. A partir do potencial poluidor de esgoto urbano indicado por Von Sperling (2014) como 0,054kg de DBO/dia e adotando um índice de atendimento de 50% da população com rede de esgoto segundo o PMSB (2016), foi possível estimar a carga poluidora (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados de população, concentração e potencial poluidor da população.

População (média)	Pop. Atendida (%)	Carga (kg/dia)	Vazão (m ³ /s)	Concentração (mg/L)
24.904	0*	1344,816	0,042**	370,595

Notas – (*) Cenário atual PMSB (2016); SANTOS (2018); (**) vazão per capita segundo Von Sperling (1995).

Avaliação da carga máxima total diária (Total Maximum Daily Load – TMDL)

O *TMDL*, ou a carga máxima total diária, é a quantidade máxima estimada de um poluente que pode ser liberado em um corpo d'água para atender a um padrão de qualidade da água aos seus usos designados. A aplicação da metodologia *TMDL* deve contemplar a definição de metas para redução

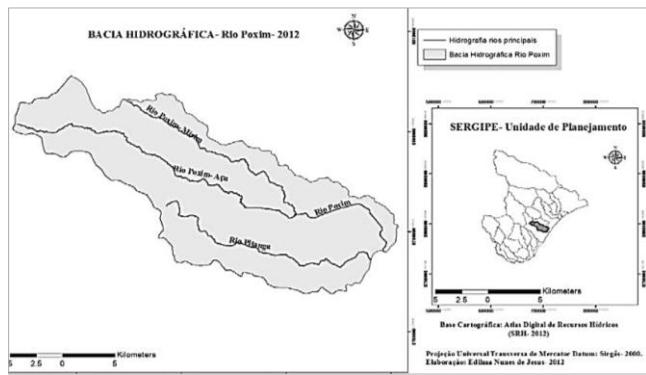


de poluentes, caso se faça necessário, e redução da carga de resíduos das fontes de poluição identificadas (FAN *et al.*, 2020).

O TMDL é composto pela soma de três indicadores, sendo eles: a carga máxima permitida de fontes pontuais; a carga máxima permitida de fontes difusas; e uma margem de segurança usada para contabilizar a incerteza na relação entre as cargas poluentes e a qualidade do corpo receptor (FAKHRAEI *et al.*, 2017). Para isso é necessário seguir uma sequência na aplicação de metodologia envolvendo a caracterização do recurso hídrico em estudo, identificação do problema e avaliação das fontes poluidoras, com posterior alocação de cargas e apresentação de planos de implementação e monitoramento.

Nome e Localização

Segundo Vasco e colaboradores (2011), a sub-bacia hidrográfica do rio Poxim está localizada sob as coordenadas geográficas 11°01' e 10°47' de latitude sul e 37°01' e 37°24' de longitude oeste, permeando 6 municípios do Estado de Sergipe. Essa sub-bacia pertence à bacia hidrográfica do rio Sergipe e é composta pelos rios Pitanga, Poxim-Mirim e Poxim-Açu, sendo que estes dois últimos afluem no rio Poxim (Figura 1). (GONÇALVES; GOMES, 2014; BRITTO *et al.*, 2012).



O rio Poxim possui relevada importância, destacando-se quanto à sua função de abastecimento humano, principalmente na cidade de Aracaju, sendo alvo de constantes intervenções antrópicas como o lançamento de efluentes sanitários, o despejo de resíduos sólidos e a devastação de vegetação nativa, causando impactos de diversas ordens (LIMA *et al.*, 2020; BISPO *et al.*, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação do problema

O rio Poxim, especificamente o trecho “POX_4”, do Plano de Bacia do rio Sergipe, que abrange a confluência dos rios Poxim Açu e Poxim Mirim até o rio Pitanga, possui enquadramento aprovado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Sergipe como Água Doce Classe 2 (ENGEPLUS; ÁGUA E SOLO, 2018).

De acordo com Santos (2018), o trecho em estudo apresenta grande degradação da mata ciliar aos arredores do rio Poxim, o que torna de fácil acesso para a instauração de residências. Além disso, apresenta grande aporte de lançamento de efluentes e resíduos sólidos descartados de modo irregular às margens ou diretamente no recurso hídrico. Bispo *et al.*, (2019) também identificaram como fontes de poluição as galerias e os canais de drenagem das residências com ligações às margens do rio.

Para garantir os usos previstos para o trecho analisado, os padrões definidos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005, para o enquadramento de água Doce Classe 2 é de máximo de 5mgO₂/L para Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias à 20°C (DBO_{5,20}) e mínimo de 5mgO₂/L para Oxigênio Dissolvido (OD).



Carga Poluidora Máxima

Considerando a vazão para o rio Poxim $Q = 0,64\text{m}^3/\text{s}$ (SEMARH, 2011) e o valor padrão da concentração de DBO na Resolução CONAMA nº 357 de 2005, pode-se aplicar a seguinte equação:

$$\text{Carga} = \text{Concentração} * \text{Vazão} \quad (1)$$

Portanto, o valor obtido de 277kg de DBO/dia é adotado para que se possa chegar à condição de efetivação do enquadramento pretendido. Não obstante, deve-se salientar a necessidade de adoção de metas intermediárias de qualidade para que assim ser possível atingir o enquadramento desejado.

Carga poluidora que diverge do limite determinado

Com base nos cálculos realizados de estimativa de cargas poluidoras populacional e industrial, observa-se que a carga poluente remanescente da indústria de laticínios é da ordem de 129,600 kg de DBO5,20/dia. Já em relação à carga de efluentes domésticos obteve-se o valor de 1344,816 kg de DBO5,20/dia. A partir daí, é possível calcular a concentração de DBO no recurso hídrico, após o recebimento das cargas poluidoras. A equação que determina o valor dessa concentração é dada por:

$$C_m = \frac{Q_d * C_d + Q_r * C_r}{Q_d + Q_r} \quad (2)^6$$

Para levar em consideração a capacidade de autodepuração do corpo d'água receptor utilizou-se o software Excel para confecção de gráfico tendo como valores de entrada a DBO do rio de 134,00 Kg/dia de acordo com Santos (2018), e as cargas iniciais e após mistura da indústria e da população.

No gráfico abaixo (Figura 2) pode-se observar que não há violação do *TMDL* para o lançamento da indústria, mas o valor chega muito próximo ao valor do *TMDL* com 264 Kg de DBO/dia. Porém, quando ocorre o lançamento da carga efluente decorrente da população, há uma acumulação de cargas e uma consequente violação do valor máximo diário permitido, chegando a 1484,816 Kg de DBO/dia.

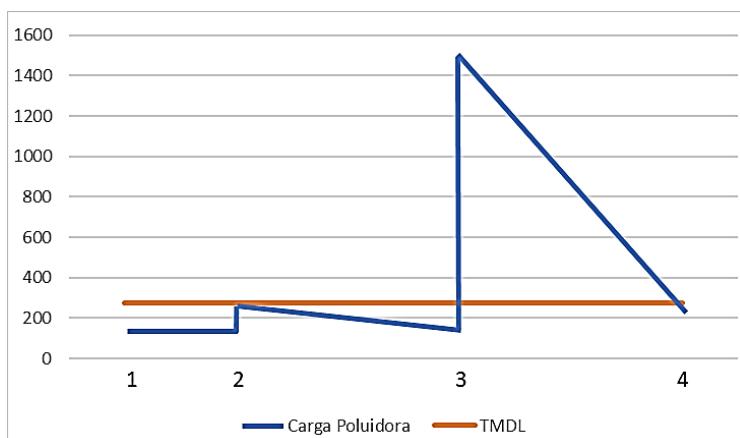


Figura 2 – Distribuição do aporte de carga poluidora kg/dia por trecho.

Do ponto 1 ao 2, no gráfico, representa o estado inicial do rio com a carga de 134,00 Kg de DBO/dia. Já no ponto 2 ocorre o lançamento da carga da indústria acumulando com o background do rio. Na sequência, o ponto 3 representa a carga após a mistura. Ainda nesse ponto, quando o eixo das ordenadas atinge o maior valor positivo (1484,816), ocorre a acumulação de DBO com o lançamento da carga da população, por fim o ponto 4 representa as cargas acumuladas após a mistura no corpo hídrico, melhor representado na (Figura 3).

⁶ Cm - Concentração de determinado poluente no corpo receptor, após a mistura com o despejo (mg/l); Cd – Concentração do poluente no efluente (mg/l); Cr – Concentração do poluente, no corpo receptor, antes de receber o efluente (mg/l); Qd – Vazão de efluentes (m³/s); Qr – Vazão do corpo receptor (m³/s).

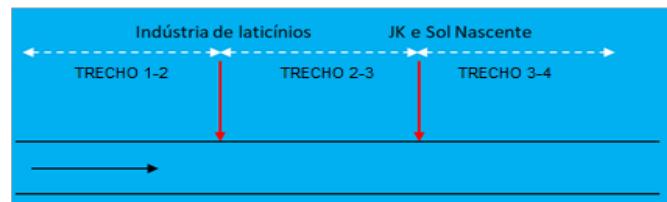


Figura 3 – Alocação das cargas ao longo do recurso hídrico.

Associação entre os objetivos de qualidade e as fontes poluidoras

Há a necessidade de estabelecer um nível de 90% atendimento com rede de coleta para a população dos conjuntos JK e Sol nascente, com eficiência de tratamento com eficiência de 90%, como considerado no cenário otimista projetado no Plano Municipal de Saneamento Básico, para que os níveis possam voltar a atender a carga poluidora máxima para alcance do enquadramento desejado para o rio Poxim naquele trecho. A (Figura 4) ilustra a nova distribuição do aporte de carga poluidora para essa condição, identificando que entre os trechos 2 e 4 não é possível que haja nenhum novo lançamento de DBO para que não haja comprometimento do enquadramento desejado.

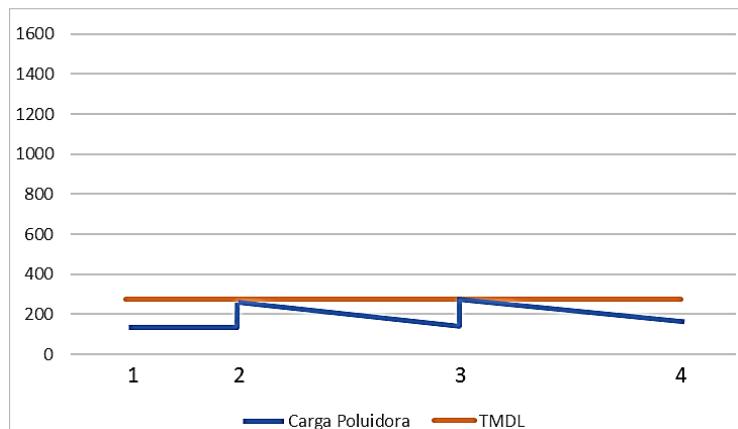


Figura 4 – Distribuição do aporte de carga poluidora kg/dia por trecho.

Margem de segurança

Desde o início, as premissas adotadas para o cenário foram majoradas como instituição de uma margem de segurança, por isso, não foi necessário estabelecer um valor de margem de segurança na metodologia TMDL. De acordo com Rocha (2007) não é recomendável adotar margens de seguranças altamente majoradas para que não haja dificuldade na implementação e no controle da poluição.

Planos de implementação e monitoramento

Para o caso estudado, algumas medidas podem ser descritas para promover a manutenção da qualidade de água desejada, voltadas à redução da carga poluidora da população. Essas medidas devem vir acompanhadas de um conjunto de ações de implementação gerenciamento e acompanhamento, envolvendo confecção de cronograma, definição de controle legal ou regulatório, estimativa de tempo requerido para alcance dos padrões e metas, planos de monitoramento e revisão de toda a aplicação da metodologia (ROCHA, 2007).

Portanto, dentre as principais medidas que podem ser tomadas para o caso estudado destacam-se: a) aumento do índice de atendimento com rede coletora e tratamento de esgotos domésticos alcançando 90% da população; e b) monitoramento e avaliação dos impactos potenciais e futuros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia TMDL possibilitou a caracterização do trecho do rio Poxim quanto ao seu comportamento frente as cargas de DBO. Identificou-se a violação dos padrões de qualidade



almejados e assim foi realizada a alocação das cargas divergentes. A partir disso foram estabelecidas possíveis medidas de gerenciamento, como aumento do índice de atendimento com rede de coleta de esgoto ou instalação de estações individuais de tratamento seguida de constantes fiscalizações.

Outrossim, as informações levantadas a partir da metodologia desenvolvida se demonstram de extrema relevância na adoção de medidas para manter a qualidade requerida para os cursos d'água segundo seus usos pretendidos.

REFERÊNCIAS

- BISPO, B.R.S.; (...) *et al.* (2019). *Percepção da comunidade do bairro Jabotiana frente aos seus aspectos ambientais*. XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe. Aracaju/SE.
- BRITTO, F.B.; (...) *et al.* (2012). *Herbicidas no alto Rio Poxim, Sergipe e os riscos de contaminação dos recursos hídricos*. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 2, p. 390-398.
- ENGEPLUS; ÁGUA & SOLO. (2018). *Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do Rio Sergipe, no estado de Sergipe – Relatório de análise e deliberação do CBH Sergipe*. 23p.
- ESUS, E.N.; *et al.* (2015). *Estrutura dos Fragmentos Florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Poxim-SE, como Subsídio à Restauração Ecológica*. Rev. Árvore, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 467-474.
- FAKHRAEI, H.; (...) *et al.* (2017). *Sensitivity and uncertainty analysis of PnET-BGC to inform the development of Total Maximum Daily Loads (TMDLs) of acidity in the Great Smoky Mountains National Park*. Environmental Modelling & Software, v. 95, pp. 156-167.
- FAN, C.; (...) *et al.* (2020). *Model-based carrying capacity investigation and its application to total maximum daily load (TMDL) establishment for river water quality management: A case study in Taiwan*. Journal of Cleaner Production. v. 125251.
- GONÇALVES, B.V.; GOMES, L.J. (2014). *Percepção ambiental de produtores rurais na recuperação florestal da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim – Sergipe*. Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente, Editora UFPR. v. 29, pp. 127-138.
- LIMA, M.H.R.; (...) *et al.* (2020). *Hydrochemical characteristics of water in the Poxim – Sergipe river hydrographic sub-basin*. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 11, pp. 89443-89455.
- ROCHA, D. (2007). *Proposta Metodológica para Integração dos Instrumentos de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Engenharia Civil, 285p.
- SANTOS, E.M. (2018). *Diagnóstico e modelagem matemática da qualidade da água como ferramentas na gestão de recursos hídricos: caso do Rio Poxim*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Sergipe (UFS). Departamento de Engenharia Ambiental, São Cristóvão, 85p.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. (2011). *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe – PERH-SE Relatório Final*. Aracaju.
- SILVA, E.O. (2016). *Importância socioeconômica e cultural da produção de queijo artesanal para o desenvolvimento rural em Nossa Senhora da Glória*. Trabalho de Conclusão de Curso. IFS, 62p.
- VASCO, A.N.; (...) *et al.* (2011). *Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil*. Ambiente & Água - Revista Interdisciplinar de Ciências Aplicadas, v. 6, is. 1, pp. 118-130.
- VON SPERLING, M. (1995). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. v.01. 4ed. Minas Gerais: ABES.
- VON SPERLING, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG. 472 p. ISBN 978-85-423-0053-6.
- ZHAO, Y.; (...) *et al.* (2021). *Comprehensive evaluation and influencing factors of urban agglomeration water resources carrying capacity*. Journal of Cleaner Production. v. 288, i. 125097.