

## XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA COM EMPREGO DE MODELO IMPLEMENTADO EM AMBIENTE SIG**

*Murilo Brazzali Rodrigues<sup>1</sup> ; Glaucia de Laia Nascimento Sá<sup>2</sup> & José Antônio Tosta dos Reis<sup>3</sup>*

**RESUMO** – Este trabalho tem por objetivo aplicar um modelo de qualidade de água implementado em ambiente SIG para simular a qualidade da água dos cursos d’água da bacia hidrográfica do rio Pardo, sistema hídrico localizado na região sul do estado do Espírito Santo. A simulação da qualidade da água foi realizada por meio do modelo *Water Resources Management GIS Integrated Tools*. Foram consideradas as captações para abastecimento público e os lançamentos de esgoto doméstico. Foram simulados os parâmetros DBO, OD, nitrogênio e suas frações, fósforo e suas frações e coliformes termotolerantes. A representação gráfica da variação espacial dos referidos parâmetros foi apresentada por meio de mapas ou perfis de concentração. A manipulação do WARM-IPH Tools permitiu concluir que o modelo fornece um ambiente de fácil visualização dos resultados, principalmente devido implementação em ambiente SIG, aspecto que facilita a espacialização da variação das concentrações dos constituintes modelados na rede de drenagem da bacia hidrográfica objeto de análise.

**ABSTRACT**– This work aims to apply a water quality model implemented in GIS environment to simulate the water quality of the watercourses of the Pardo River basin, a water system located in the southern region of the state of Espírito Santo. Water quality was simulated using the Water Resources Management GIS Integrated Tools model. The captures for public supply and the release of domestic sewage were considered. The parameters BOD, OD, nitrogen and their fractions, phosphorus and their fractions, and thermotolerant coliforms were simulated. The graphical representation of the spatial variation of these parameters was presented by means of maps or concentration profiles. The manipulation of WARM-IPH Tools allowed us to conclude that the model provides an environment of easy visualization of the results, mainly due to implementation in a GIS environment, an aspect that facilitates the spatialization of the variation of the concentrations of the constituents modeled in the drainage network of the watershed object of analysis.

**Palavras-Chave** – WARM-GIS, qualidade da água, rio Pardo.

---

1) Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 514, Goiabeiras, Vitória-ES. CEP: 29075-910 - Brasil - Tel: (27) 4009-2075- e-mail: murilobrazzali@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A adequada gestão dos recursos hídricos é tema recorrente, uma vez que a disponibilidade da água, em especial para fins nobres como o abastecimento humano, tem sofrido restrições significativas em função do comprometimento de seus aspectos de qualidade e quantidade (NOORHOSSEINI, 2017).

De acordo com Nkwonta et al (2017), a modelagem de sistemas de recursos hídricos é um componente essencial do processo de planejamento dos recursos hídricos, pois fornece um ambiente de teste para avaliar o comportamento de um sistema sob qualquer número de cenários selecionados antes da experiência real. A modelagem fornece, portanto, uma base importante para testar os impactos potenciais da implementação de projetos de infraestrutura, operacionais e de gerenciamento e outras medidas, além de fornecer uma base confiável para o estabelecimento de decisões importantes a esse respeito (XUE; YIN; MING, 2015).

Keupers e Willems (2017), de maneira complementar, ressaltam que os modelos matemáticos de qualidade da água permitem simular a evolução temporal e espacial das concentrações de poluentes no corpo de água, considerando as particularidades das bacias hidrográficas e relacionando diretamente os aspectos quantitativos e qualitativos da água, interação sistêmica essencial ao planejamento e controle da qualidade da água ao longo do tempo.

Os modelos espacialmente distribuídos de qualidade da água, que se baseiam em sistemas de informações geográficas (SIG), são adequados para essas tarefas, uma vez que, além de simular a qualidade da água, fornecem uma visualização espacial das concentrações de poluentes, facilitando a identificação de locais críticos em termos de carga poluidora (SILVA; FARIA; MOURA, 2017).

Neste contexto, este trabalho tem objetivo por aplicar um modelo de qualidade de água implementado em ambiente SIG para simular a qualidade da água dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Pardo, sistema hídrico localizado na região sul do estado do Espírito Santo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Embora aplicável a quaisquer bacias hidrográficas, a metodologia proposta neste estudo foi empregada na bacia hidrográfica do rio Pardo, importante tributário do rio Itapemirim, curso d'água localizado na porção sul do estado do Espírito Santo, conforme apresentado pela Figura 1. A área da bacia do rio Pardo possui aproximadamente 611 km<sup>2</sup> e compreende partes de quatro municípios localizados no estado do Espírito Santo (Ibatiba, Irupi, Iúna, e Muniz Freire) e de um município do

estado de Minas Gerais (Lajinha). O rio Pardo nasce no município de Ibatiba e possui extensão aproximada de 50 km. O rio Pardo possui como principais afluentes o ribeirão São José, o rio Pardinho e o ribeirão da Perdição.

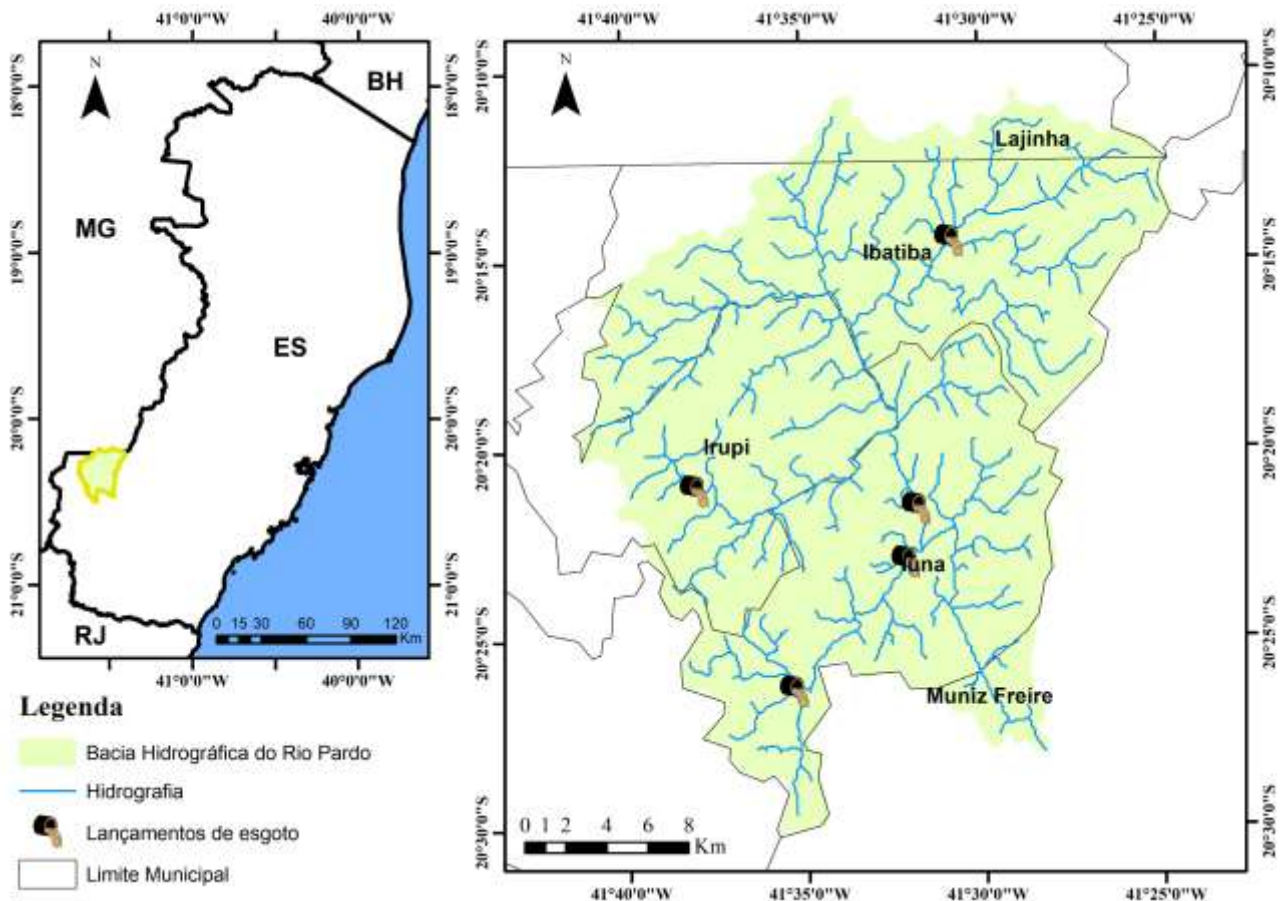


Figura 01 – Representação da bacia hidrográfica do rio Pardo.

O rio Pardo recebe diretamente os esgotos domésticos brutos gerados nos núcleos urbanos dos municípios de Ibatiba e Iúna. O rio Pardinho, por sua vez, recebe os esgotos gerados no núcleo urbano do município de Irupi. Já o ribeirão da Perdição recebe os esgotos gerados nas localidades de Santíssima Trindade e Nossa Senhora das Graças. Não existem estações de tratamento de esgotos em operação em qualquer dos referidos pontos de geração de esgotos brutos na bacia do rio Pardo.

É relevante registrar que a bacia hidrográfica do rio Pardo não possui enquadramento aprovado, condição que impõe que os cursos d'água da bacia sejam, à priori, classificados como rios classe 2, conforme artigo 42 da Resolução no 357, editada em 17 de março de 2005 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente.

A simulação da qualidade da água foi realizada por meio do modelo *Water Resources Management GIS Integrated Tools (WARM-GIS Tools)* (KAYSER; COLLISCHONN, 2013), complemento gratuito e de código aberto do software MapWindow e que permite simular os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio e suas frações, série de fósforo e coliformes termotolerantes. O modelo é operado em regime permanente e permite a inserção de captações e lançamento de esgotos, assim como de dados de monitoramento da qualidade da água. Além disso, o modelo requer a inserção de dados fisiográficos e informações de disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica em estudo.

A determinação das características topológicas da bacia hidrográfica foi realizada a partir da manipulação de modelo digital de elevação disponibilizado pelo *Consultative Group on International Agricultural Research -CGIAR* (CGIAR, 2019). Nesta etapa do trabalho foi utilizada imagem SRTM correspondente a área de estudo (srtm\_28\_17) em formato ASCII com resolução espacial de 90 metros. Na manipulação da imagem SRTM foi empregado o complemento *IPH-Hydro Tools* (SIQUEIRA et. al., 2016) do software QGIS 2.18. Os procedimentos realizados encontram-se detalhadamente apresentados por Medeiros et al (2019). Entre os arquivos de saída encontram-se a delimitação da bacia hidrografia, a rede de drenagem e a delimitação de minibacias.

As unidades de resposta hidrológicas (URH) foram apropriadas com o auxílio do ArcGIS 10.6, tendo como dados de entrada o tipo de solo disponibilizado pelo Instituto Estadual de Meio ambiente do estado do Espírito Santo (IEMA-ES) e as informações de uso do solo provenientes da base de dados geoespaciais do estado do Espírito Santo (GEOBASES), com resolução espacial de 1 metro, ambos os arquivos em formato *Shapefile*. Assim, para a delimitação das URH, foram adotados os procedimentos detalhados por Fleischmann, Fan e Collischonn (2013). Foram consideradas 9 unidades de resposta hidrológicas, conformadas a partir de dois tipos de solo (raso e profundo) e seis classificações de uso do solo (floresta, agricultura, pastagem, afloramento rochoso, áreas artificiais e corpos hídricos).

Uma vez realizada a manipulação da imagem SRTM e gerados os arquivos de direções de escoamento, modelo digital de elevação corrigido, minibacias, rede de drenagem segmentada na bacia, subbacias e unidades de resposta hidrológica, realizou-se, com o auxílio da ferramenta *MGB-Processing* (complemento do *IPH-Hidro Tools*), a geração do arquivo *mini.gtp*. Este arquivo contém informações topológicas do modelo, fornecendo para cada minibacia, informações como área de drenagem, comprimento e declividade do trecho, e fração de classes de resposta hidrológica. Esse

arquivo constitui entrada para o modelo MGB, conforme procedimento detalhado por Medeiros et. al (2019).

As informações de disponibilidade hídrica da bacia do rio Pardo foram determinadas com o auxílio do Modelo de Grandes Bacias (MGB), modelo desenvolvido e disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foram adotados dados de seis estações pluviométricas localizadas na bacia e no seu entorno e duas estações fluviométricas inseridas na bacia.

Os dados de chuva e vazão foram obtidos a partir do Sistema de Informações Hidrológicas gerenciado pela Agência Nacional de Águas (HIDROWEB). Os dados de entrada de clima corresponderam aos fornecidos por *Climatic Research Unit* (CRU) (NEW et al, 2002). Foram realizados downloads dos dados “*Elevation*”, “*Relative Humidity*”, “*Sunshine*”, “*Mean Temperature*” e “*10m Wind Speed*”.

A partir da análise das séries hidrológicas de dados de chuva, vazão e clima, optou-se pela utilização dos registros disponíveis entre os anos de 1969 e 2002. Demais considerações como parâmetros da vegetação e parâmetros de solo necessários a execução do MGB seguiu recomendações apresentadas por Medeiros et al (2019).

Na sequência, com auxílio do software *MapWindow* foi aplicado o modelo WARM-IPH *Tools*, tendo como dados de entrada a definição da rede de drenagem em formato vetorial e o arquivo de delimitação de minibacias associado ao arquivo *mini.gtp*. Foram consideradas as captações para abastecimento público e os lançamentos de esgoto doméstico. Os parâmetros simulados foram DBO, OD, nitrogênio e suas frações, fósforo e suas frações e coliformes termotolerantes. A representação gráfica da variação espacial dos referidos parâmetros foi apresentada por meio de mapas ou perfis de concentração. Os dados referentes ao serviço de esgotamento sanitário seguiram as informações levantadas no processo de diagnóstico da bacia do rio Itapemirim para elaboração do plano e enquadramento dos corpos hídricos (AGERH, 2019). As estimativas de esgoto adotadas foram referentes à condição atual do serviço de coleta e tratamento de esgoto, estimativas associadas ao ano de 2018.



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A disponibilidade hídrica da bacia do rio Pardo determinada pelo MGB foi de uma vazão de referência no exutório da bacia, definida pela permanência de 90% no tempo (Q90), de aproximadamente 5,11 m<sup>3</sup>/s.

A Figura 02 apresenta a evolução das concentrações dos parâmetros DBO, OD, Coliformes Termotolerantes e Fósforo Total para os cursos d'água da bacia do rio Pardo, simuladas com o auxílio do modelo WARM-IPH *Tools*. Na Figura 03 estão apresentados os perfis da série nitrogenada.

Em relação à DBO, observa-se que o rio Pardo e seus principais tributários apresentaram, em diferentes trechos, concentrações superiores a 10 mg/L apresentando, portanto, condições de qualidade compatíveis apenas com a classe 4 de enquadramento, classe para a qual não há limite estabelecido para as concentrações máximas de matéria orgânica. As maiores concentrações de DBO estão associadas, invariavelmente, aos lançamentos de esgotos domésticos sem tratamento.

No rio Pardo, as concentrações de OD permaneceram, recorrentemente, próximas dos limites mínimos impostos para as classes 3 ou 4. Em dois trechos do sistema hídrico simulado, no entanto, a demanda de oxigênio dissolvido para oxidação da fração carbonácea da matéria orgânica e dos compostos de nitrogênio foi elevada o suficiente para esgotar a disponibilidade de oxigênio dos cursos d'água. É relevante observar que a ausência de estações de tratamento pressiona os cursos d'água da bacia hidrográfica, função dos expressivos aportes de carga orgânica associados à disposição final de esgotos domésticos.

No rio Pardo, os perfis de concentração referentes aos parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total apresentaram-se, conforme Figura 02, mais alinhados as condições de qualidade estabelecidas para rios classes 3 ou 4.

Ainda que não tenham sido apresentados mapas que ilustrem a variação espacial das concentrações dos parâmetros referentes a série nitrogenada, as maiores concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal na bacia hidrográfica do rio Pardo foram registradas a jusante do maior aporte de esgoto (sede do município de Ibatiba) em seção fluviométrica na qual, para os referidos parâmetros, foram estimadas concentrações de 14 e 18 mg/L, respectivamente. As maiores concentrações de nitrito e nitrato foram observadas próximas à foz do rio Pardo, com concentrações de 0,63 e 0,21 mg/L, respectivamente.

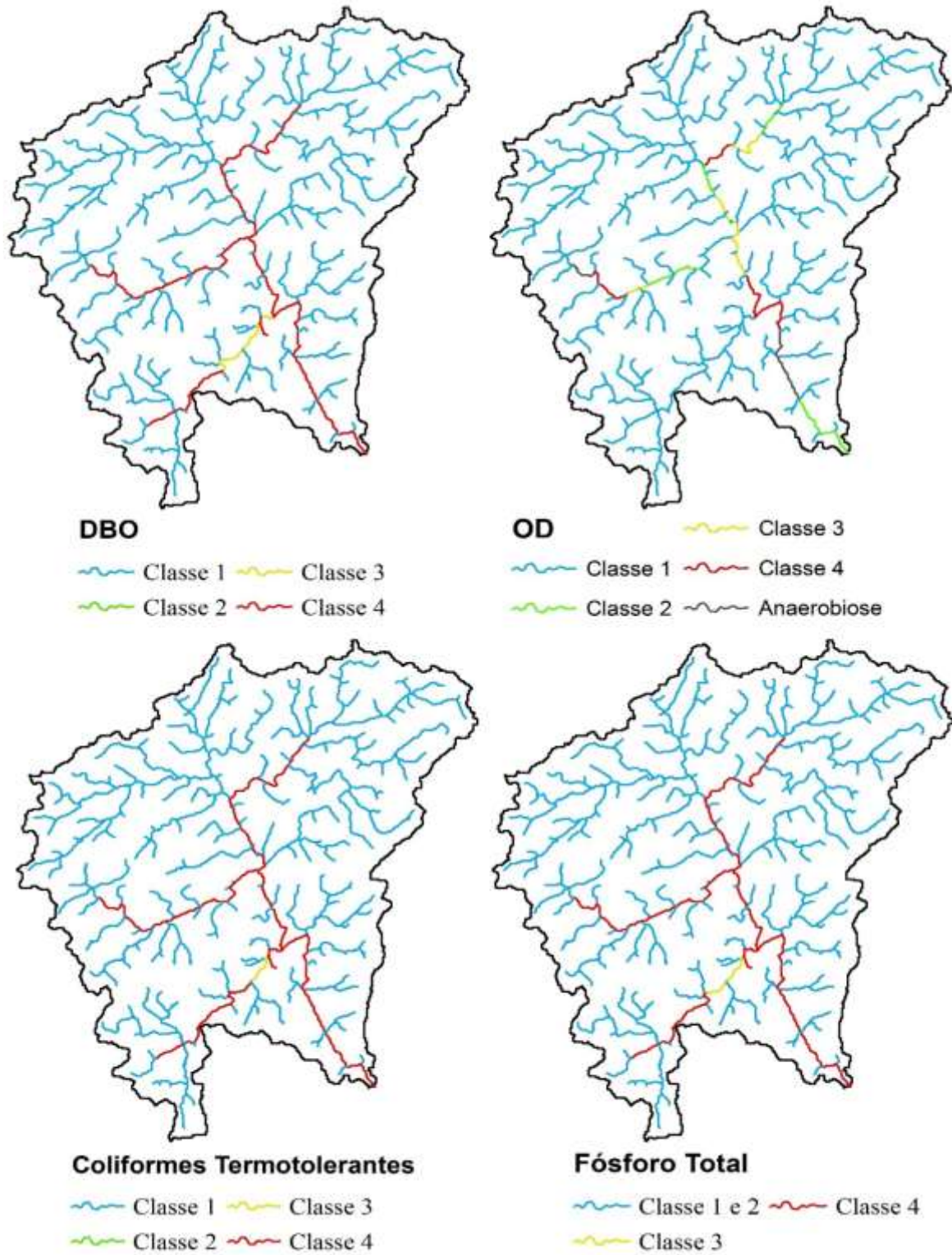


Figura 02 – Perfis de concentração simulados pelo WARM-IPH Tools.

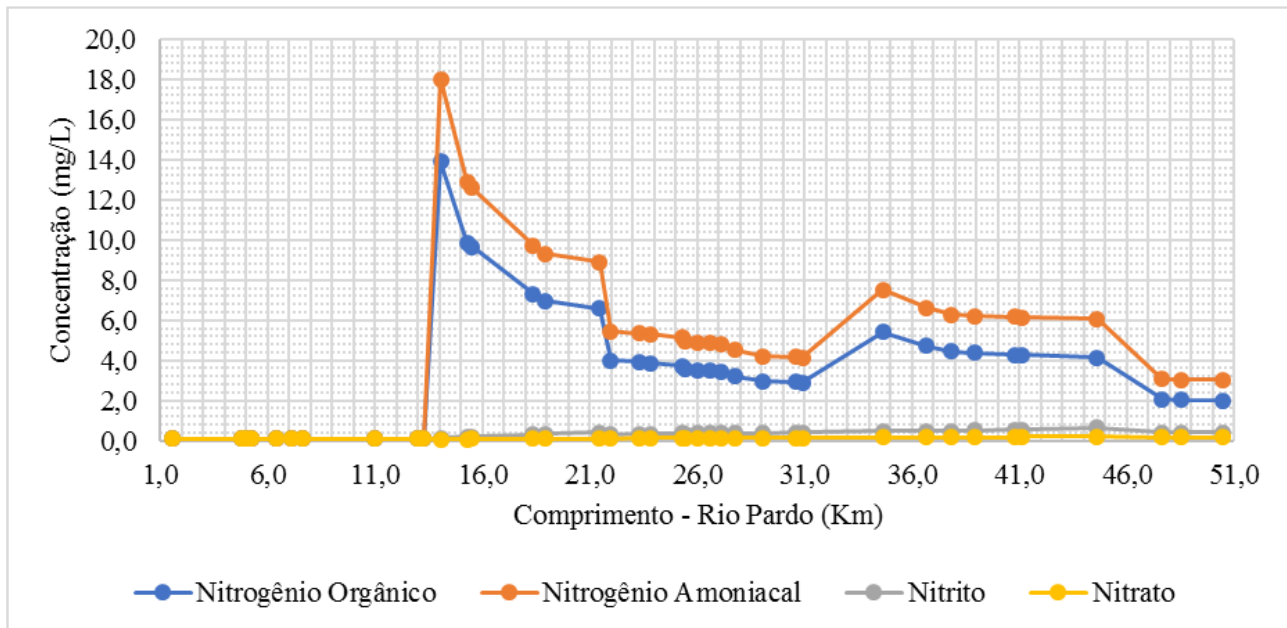


Figura 03 – Perfis da série nitrogenada para o rio Pardo modelados com auxílio do modelo WARM-IPH Tools.

## CONCLUSÕES

Ainda que ausência do enquadramento legal indique a necessidade de manutenção dos padrões de qualidade estabelecidos para rios classe 2 e que, em diferentes trechos dos cursos d'água da bacia tenham sido indicadas, a partir das simulações conduzidas com o modelo WARM-IPH, condições de qualidade compatíveis com a classe 1, diferentes trechos do rio Pardo e de seus tributários foram associados, para os diferentes parâmetros objetos de avaliação, às condições de qualidade estabelecidas para rios classe 3 ou 4. Nos trechos com maiores comprometimentos da qualidade as simulações sugeriram o eventual esgotamento das concentrações de oxigênio dissolvido.

A manipulação do WARM-IPH Tools permitiu concluir que o modelo fornece um ambiente de fácil visualização dos resultados, principalmente devido implementação em ambiente SIG, aspecto que facilita a espacialização da variação das concentrações dos constituintes modelados na rede de drenagem da bacia hidrográfica objeto de análise.

A possibilidade de identificação, por meio dos mapas de concentração, dos trechos com eventuais comprometimentos das condições de qualidade em decorrência do lançamento de efluentes domésticos permite, de forma ágil, a identificação dos locais que demandem, de forma mais imediata, ações de controle da poluição.



## REFERÊNCIAS

- AGERH. *Agência Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. Definição do enquadramento e plano de recursos hídricos da bacia do rio Itapemirim*. 2019. Disponível em: <<https://agerh.es.gov.br>>. Acesso 10 de out. 2019.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *HidroWeb: Sistemas de Informações Hidrológicas*. 2019.
- CALMON, A. P. S.; SOUZA, J. C.; REIS, J. A. T. dos; MENDONÇA, A. S. F. *Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de Enquadramento de cursos d'água superficiais*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2016.
- CGIAR-CSI. *Consultative Group for International Agricultural Research-Consortium for Spatial Information*. Disponível em: <<http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90mdigital-elevation-database-v4-1>>. Acesso 30 de set. 2019.
- FLEISCHMANN, A. S.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. *Manual 1.1 de exemplo de preparação de dados de entrada do modelo SIAQUA IPH: Archydro e MGB IPH aplicação na bacia do rio dos Sinos*. 2013. Disponível em: < <https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/siaqua-iph/> Acesso em: 30 de set. 2019.
- GEOBASES - *Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo*. Navegador Geográfico. Disponível em: <<http://www.geobases.es.gov.br>>. Acesso em 22 set. 2019.
- KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. *Manual teórico-prático da ferramenta WARM-GIS Tools*. 2017. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/warmgis-tools/>> Acesso em: 30 de set. 2019.
- KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. *Integrando sistema de suporte à decisão genérico para gerenciamento de recursos hídricos a um SIG de código aberto*. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves – RS, 2013.
- KEUPERS, I.; WILLEMS, P. *Development and testing of a fast conceptual river water quality model*. *Water Research*, v. 113, p. 62-71, 2017.
- NEW, M.; LISTER, D.; HULME, M.; MAKIN, I. *A high-resolution data set of surface climate over global land areas*. *Climate research*, v. 21, n. 1, p. 1-25, 2002.
- MEDEIROS, S. M.; FLEISCHMANN, A. S.; OLIVEIRA, A. M.; CORATI, B. K.; FAN, F. M.; MARTINBIANCHO, G. K.; JARDIM, P. F.; CORREIA, S. W.; SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W. *Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB 2018 utilizando o IPH Hydro Tools*. 2019. Disponível em: < <https://www.ufrgs.br/hge/mgb-4-2/> Acesso em: 30 de set. 2019.

SILVA, M. M. A. Pi. de M.; FARIA, S. D.; MOURA, P. M. *Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG)*. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 133-143, Feb. 2017.

SIQUEIRA, V. A.; FLEISCHMANN, A. S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. *IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology aquisition in open-source environment*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, p. 274-287, 2016.

NKWONTA, O. I.; DZWAIRO, B.; OTIENO, F. A. O.; ADEYEMO, J. A. *A review on water resources yield model*. South African Journal of Chemical Engineering, v. 23, p. 107-115, 2017.

NOORHOSSEINI, S. A.; ALLAHYARI, M. S.; DAMALAS, C. A.; MOGHADDAM, S. S. *Public environmental awareness of water pollution from urban growth: The case of Zarjub and Goharrud rivers in Rasht, Iran*. The Science of the total environment, v.599, p. 2019, 2017.

XUE, C.; YIN, H.; MING, X. I. E. *Development of integrated catchment and water quality model for urban rivers*. Journal of Hydrodynamics, Ser. B, v. 27, n. 4, p. 593- 603, 2015.