

CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA URBANOS EM SITUAÇÕES DE VAZÕES CRÍTICAS: O CASO DO CÓRREGO PERNADA, PARAÍSO DO TOCANTINS – TO.

SELF-PURIFICATION CAPACITY OF URBAN WATERCOURSES IN CRITICAL FLOW SITUATIONS: THE CASE OF PERNADA STREAM, PARAÍSO DO TOCANTINS - TO.

Ítalo Wanderley Almeida¹
Girlene Figueiredo Maciel²
Rejane Freitas Benevides Almeida³

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de autodepuração do Córrego Pernada, localizado no município de Paraíso do Tocantins – TO, em situações de vazão crítica. Para tanto, inicialmente, foi realizado um levantamento dos principais usos desenvolvidos ao longo do curso d'água, sendo observado que o lançamento de efluentes tratados pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) seria o uso com o maior potencial para o comprometimento de sua capacidade de autodepuração. O passo seguinte foi a realização de medições de vazão a montante do lançamento de efluentes no período de maio a outubro de 2015 com o intuito de identificar a vazão crítica do curso d'água. Por fim, aplicou-se o modelo matemático de Streeter-Phelps, sendo observado prejuízos na capacidade de autodepuração do córrego no período de vazão crítica, o qual apresentou resultados em desacordo com a legislação para o parâmetro DBO₅.

Palavras-chave: Autodepuração; Córrego Pernada; Modelo de Streeter-Phelps.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the self-purification capacity of the Pernada Stream, located in the municipality of Paraíso do Tocantins – TO, in critical flow situations. Therefore, initially, it was performed a surveying of the main uses developed along the watercourse, being observed that the discharge of effluents treated by Sewage Treatment Station would be the use with the greatest potential for compromising its self-purification capacity. The next step was to flow measurements upstream of the

¹ Docente do Instituto Federal do Pará, *Campus* Conceição do Araguaia – IFPA. E-mail: italo.almeida@ifpa.edu.br

² Docente da Universidade Federal do Tocantins – UFT. E-mail: maciel@uft.edu.br

³ Docente do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Paraíso do Tocantins – IFTO. E-mail: rejane@ifto.edu.br

discharge of effluents in the period from May to October 2015 with finality to identify the critical flow of the watercourse. Finally, the Streeter-Phelps mathematical model applied, being observed losses in the self-purification capacity of the stream during the critical flow period, which presented results in disagreement with the legislation for the parameter BOD₅.

Keywords: *Self-purification; Pernada Stream; Streeter-Phelps' Model.*

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a decorrente ocupação desordenada dos espaços urbanos têm por consequência o uso excessivo dos recursos naturais, criando um cenário de intensa degradação do meio ambiente (SEGALA et al., 2017. p. 02), em especial aos corpos hídricos, que são os destinos principais das diversas fontes de poluição produzidas nas cidades.

Pimenta et al. (2016) destacam que a proporção dos danos causados a um corpo hídrico urbano vai depender dos usos desenvolvidos, da concentração dos poluentes e das características do curso d'água. Neste aspecto, Guimarães e Santos (2015) citam que o impacto ambiental mais danoso sofrido pelos rios urbanos é a poluição e/ou contaminação provocada pelo despejo de esgotos não tratados e pelo lançamento de resíduos sólidos às margens dos cursos d'água que, além de degradar a qualidade das águas, podem causar danos diretos à saúde das populações ribeirinhas, constituindo-se em um problema socioambiental.

Dentro dessa abordagem, além do impacto na saúde da população, tem-se o impacto nos corpos receptores destes resíduos, que conforme explicitado por Moruzzi et al. (2012), trazem alterações, que, em sua maioria, podem ultrapassar a possibilidade de assimilação dos ambientes aquáticos.

Otarola e Reis (2015) citam que após as alterações induzidas pelos despejos, um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos se estabelece no corpo d'água, buscando restabelecer o equilíbrio do corpo hídrico. Este conjunto de processos é usualmente denominado autodepuração, variando a resposta dos cursos d'água ao lançamento de despejos domésticos em função das características físicas, químicas e biológicas, da natureza das substâncias lançadas e, principalmente, das vazões envolvidas (curso d'água e despejos) (SEGALA et al., 2017. p. 02).

É importante mencionar que a autorecuperação dos corpos d'água é um processo natural, estando tal condição relacionada diretamente com as características hidráulicas do sistema, que, de acordo com Mendonça et al. (2020), se desenvolve gradativamente ao longo do tempo e em toda extensão longitudinal do corpo hídrico receptor. Dessa maneira, quando as atividades humanas passam a provocar alterações acima da capacidade suporte desses ambientes, as consequências são sentidas diretamente pelos corpos hídricos.

Nesta perspectiva, Mendonça et al. (2020) ressaltam a importância de estudos de capacidade de autodepuração, uma vez que, quando lançadas quantidades maiores que a capacidade de assimilação dos corpos receptores, além de afetarem a qualidade da água, se tornam também um problema socioambiental e de saúde pública.

Frente a isso, o estudo da capacidade de autodepuração do Córrego Pernada torna-se necessário, pois o mesmo além de funcionar como corpo receptor responsável pela diluição dos efluentes gerados na estação de tratamento de esgoto de Paraíso do Tocantins é um canal que vem sofrendo as consequências do uso e ocupação desordenados ao longo de seu percurso. Desse modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de autodepuração do córrego Pernada, localizado no município de Paraíso do Tocantins, TO com vistas a compreender o potencial de degradação oferecido pelas atividades urbanas em seu entorno.

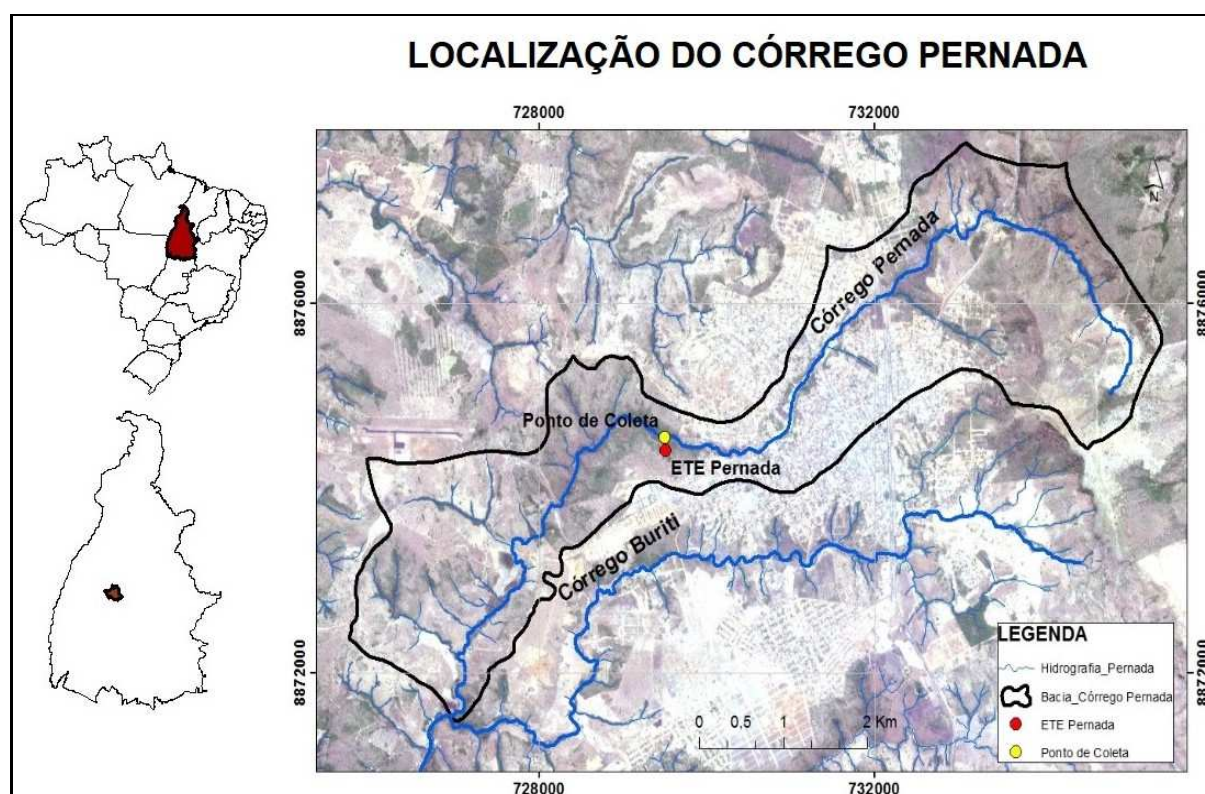
2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no Córrego Pernada a jusante do lançamento do efluente doméstico tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Município de Paraíso do Tocantins – TO, o qual possui uma população estimada de 51.252 habitantes (IBGE, 2019), ocupando a quinta posição em tamanho populacional no Estado do Tocantins, localizado na região Centro-Oeste do Estado aproximadamente 66 km da capital Palmas.

A base econômica da região tem como atividades principais a agropecuária e o comércio, sendo o município considerado referência comercial na região do Vale do Araguaia, uma vez que possui um polo comercial importante para o suprimento de vários produtos na região. Além disso, a sua localização é considerada estratégica, com acesso às rodovias relevantes, com destaque a BR – 153.

O Córrego Pernada tem suas nascentes principais localizadas na Serra do Estrondo, a uma altitude de aproximadamente 600 m e apresenta cerca de 15 km de extensão até se juntar com o Córrego Buriti, passando a ser denominado a partir deste ponto de Córrego Coco do Meio. Cabe ressaltar que uma parcela representativa do curso d'água está inserida na zona urbana de Paraíso do Tocantins, fato que tem causado grandes inconvenientes em relação a qualidade ambiental do corpo hídrico.

Figura 01 – Localização do Córrego Pernada.



FONTE: Autores (2015).

3 MÉTODOS

Para uma melhor compreensão dos problemas ambientais e seus efeitos ao longo do Córrego Pernada, inicialmente, foi realizado um levantamento dos principais usos desenvolvidos ao longo do curso d'água com vistas a compreender o cenário de degradação em que o mesmo estava inserido. Tal processo ocorreu por meio de visitas a campo, a qual percorreu o corpo hídrico em toda sua extensão, visando identificar os usos de maior significância para o comprometimento da capacidade de autodepuração

do Córrego.

Após esse levantamento, identificou-se que o lançamento de efluentes tratados pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) seria o uso com o maior potencial para alteração da qualidade do corpo hídrico de modo a comprometer a sua capacidade autodepuração. Assim, foi selecionado um ponto a jusante do lançamento de efluentes tratados para a realização da modelagem da qualidade da água.

O passo seguinte se deu com a realização de medições de vazão do Córrego Pernada a montante do lançamento de efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto (Figuras 2A e 2B) com o intuito de identificar a vazão crítica do curso d'água. Para tanto, foram realizadas 18 medições de vazão no intervalo de maio a outubro de 2015, as quais foram efetuadas, em sua maioria, semanalmente, sendo a vazão mensal obtida a partir das médias aritméticas das medições semanais de cada mês.

Figura 2A - Trecho de medição de vazão. Figura 2B - Trecho de medição de vazão.



Fonte: Autores (2015).

O método utilizado para a realização das medições de vazão foi o Método do Flutuador, de acordo Palhares et al. (2007). Todavia, com vistas a validar os dados obtidos pelo referido método foi realizada uma medição de vazão na seção de estudo utilizando medidor de vazão ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) FlowTracker da SONTEK, sendo o resultado encontrado próximo ao calculado pelo método do flutuador, gerando mais confiança nos levantamentos realizados.

A avaliação da capacidade de autodepuração do Córrego Pernada foi realizada por meio do uso do modelo matemático de Streeter–Phelps, a partir do qual se obteve os perfis de Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Os dados de vazão do efluente, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio à montante do lançamento e temperatura do líquido, bem como, a DBO do esgoto foram obtidos através dos relatórios mensais de controle e monitoramento de efluentes realizados pela Concessionária responsável pelo tratamento de esgoto.

Foi utilizado o Coeficiente de Desoxigenação (K_1) definido em literatura, sendo adotada a média aritmética de K_1 para cursos d'água que recebem efluente com tratamento secundário, conforme Fair et al. (1973), Arceivala (1981) citado por Von Sperling (2007).

Em relação ao Coeficiente de Reaeração (K_2) foram utilizados métodos de acordo com valores médios tabelados e em função das características hidráulicas do corpo hídrico. Para o primeiro método utilizaram-se os valores de profundidade para rios rápidos e rasos (1,15), de acordo com Fair et al. (1973), Arceivala (1981) citado por Von Sperling (2007). Para o segundo método fez-se o uso das equações de Owens et al. citado Branco (1978); Chapra, (1997), considerando as características de velocidade e altura da lâmina d'água, bem como Tsivoglou e Wallace citado por Thomann e Mueller (1987), para cursos d'água pequenos e rasos, considerando dados de declividade e velocidade da água, conforme Quadro 01.

Quadro 01. Valores do coeficiente K_2 (d^{-1}) segundo modelos baseados em dados hidráulicos do curso d'água (base e, 20°C) utilizados para a modelagem.

Pesquisador	Fórmula	Faixa de aplicação aproximada
Owens et al. (apud Branco, 1978; Chapra, 1997)	$5,3 \cdot v^{0,67} \cdot H^{-1,85}$	$0,1m \leq H < 0,6m$ $0,05m/s \leq v < 1,5m/s$
Tsivoglou e Wallace (apud Thomann e Mueller (1987)	$K_2 = 31,6 \cdot v \cdot i$	Q entre 0,03 e 0,3 m ³ /s

Notas: v = velocidade do curso d'água (m/s); H = altura da lâmina d'água (m); i = declividade do curso d'água (m/km).

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007).

A declividade do córrego utilizada foi a declividade baseada nos extremos, sendo as cotas máximas e mínimas mensuradas pelo modelo digital de elevação (MDE), no software *ARCGIS 10.1*.

Após a aplicação dos métodos utilizados para determinação de K_2 , observou-se uma grande variação nos coeficientes obtidos, dessa forma, na incerteza de qual valor seria mais adequado, adotou-se a aplicação da média geométrica, recomendada para os casos em que os dados variam em sua ordem de grandeza, conforme sugestão de Von Sperling (2007).

A determinação de K_d também considerou os valores de referência na literatura. A equação utilizada foi a que considera corpos hídricos com profundidade menor e/ou igual a 2,5m devido às características do Córrego Pernada, conforme EPA (1985) e Thomann e Mueller (1987) citado por Von Sperling (2007).

De posse dos valores de K_1 , K_2 e K_d foram realizados os ajustes para a temperatura do líquido, conforme Tabela 01.

Tabela 01. Valores obtidos de K_1 , K_2 e K_d para o período em estudo.

Mês	Temperatura do Líquido (°C)	K_1 (dia ⁻¹)	K_2 (dia ⁻¹)	K_d (dia ⁻¹)
Maio	24,5	0,22	61,91	1,33
Junho	23,1	0,20	53,90	1,29
Julho	22,7	0,19	58,35	1,39
Agosto	22,5	0,20	52,24	1,42
Setembro	25,5	0,23	53,35	1,74
Outubro	25,7	0,23	48,41	1,58

As velocidades do córrego e o tempo de percurso foram determinados a partir das campanhas de campo durante as medições de vazão, onde se avaliou o tempo percorrido pelo flutuador de uma seção a outra. Após a determinação do tempo obteve-se a velocidade média (m/s), ou seja, produto do espaço percorrido pelo tempo. O trecho analisado foi de 5,6 km, o qual representa a distância entre o ponto de lançamento e o ponto de confluência do Córrego Pernada com o Córrego Buritis, onde, neste ponto, passa a ser denominado de Córrego Coco do Meio.

A concentração de saturação do oxigênio foi determinada pela equação de Pöpel (1979) citado por Von Sperling (2005) e os valores mínimos permissíveis de OD foram estabelecidos de acordo com a legislação vigente (CONAMA 357/2005) para cursos de água doce Classe 2, neste caso 5,0 mg/l.

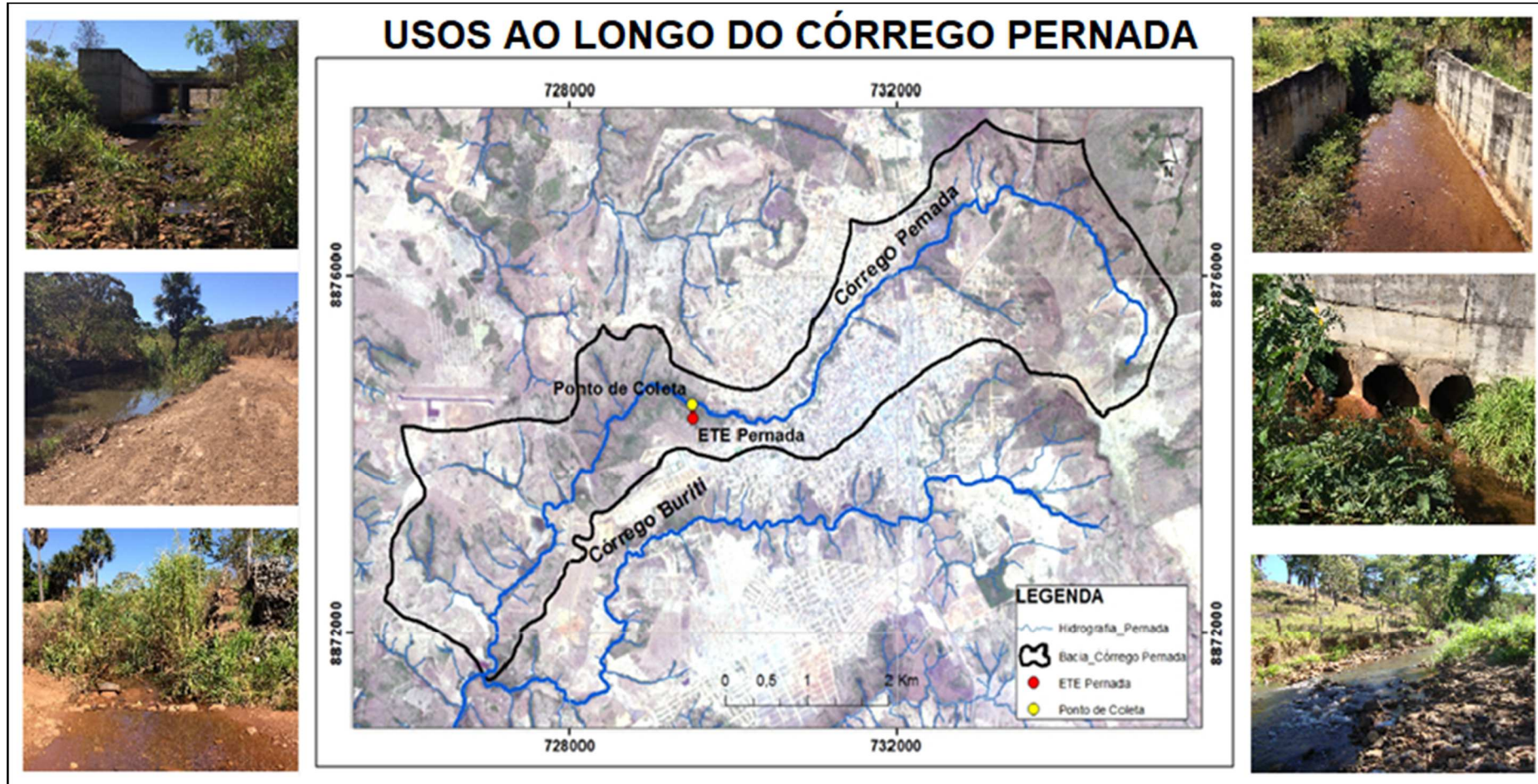
Por fim, de posse dos dados de entrada exigidos para o modelo de Streeter-Phelps e obtidos conforme descrições acima, fez-se o uso do programa Excell®, utilizando planilha proposta por Von Sperling (2007) para a realização da modelagem. Com a inserção dos dados de entrada e informações referentes à eficiência do tratamento da ETE puderam ser gerados os gráficos com os perfis de OD e DBO para cada mês de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Córrego Pernada

Durante o levantamento de campo pode-se observar que a qualidade ambiental do Córrego Pernada está intrinsecamente ligada as atividades desenvolvidas em suas adjacências, as quais, em sua maioria, ocorrem de forma desordenada trazendo reflexos diretos sobre a qualidade da água, em especial para a sua capacidade de recuperação. Assim, é possível afirmar que, de forma semelhante a outros corpos d'água urbanos, o córrego tem se tornado cada vez mais refém da ausência de planejamento urbano e de todas as mazelas produzidas pela sociedade em seu entorno. É comum observar-se irregularidades nas áreas de preservação permanente, acúmulo de lixo, pocilgas, além de pontos de drenagem de águas pluviais conectadas com lançamento de esgotos clandestinos e/ou efluentes produzidos em oficinas e lava-jatos (Figura 03).

Figura 03. Uso do solo ao longo da Bacia do Córrego Pernada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os trechos com qualidade ambiental mais afetados ao longo do Córrego Pernada estão situados nas zonas mais habitadas, onde se observam as maiores alterações para a implantação das estruturas urbanas (como ruas, avenidas, pontes, canalizações), confirmando que o ambiente urbano tem um grande impacto sobre os corpos hídricos (ALMEIDA et al., 2019a).

É importante mencionar que tais alterações podem trazer consequências severas por meio de perturbações nos ecossistemas naturais, uma vez que introduz novos elementos no meio, alterando toda a qualidade ambiental do sistema hídrico, visto que a maioria dos organismos aquáticos são muito sensíveis a qualquer variação no ambiente, respondendo de diferentes formas às alterações produzidas pela poluição (MAHANAYAK and PANIGRAHI, 2021).

Vale ressaltar que, embora tenham sido identificadas alterações significativas ao longo do canal, durante as visitas realizadas a campo, o uso com maior potencial de alteração da capacidade de autodepuração do corpo d'água em situações de vazão crítica observado no manancial refere-se ao lançamento de esgoto tratado, uma vez que o volume de água do córrego reduz consideravelmente no período de estiagem.

De acordo com Almeida et al. (2019 b), o efluente oriundo do sistema de tratamento de esgotos tem efeitos sobre a qualidade da água do Córrego Pernada, em função das características e composição do líquido despejado. Entretanto, os autores enfatizam que não se pode anular os efeitos dos usos desenvolvidos a montante do ponto de lançamento da estação de tratamento de esgoto.

As alterações constantes no rio dificultam o processo de purificação do efluente lançado, fazendo a recuperação de todo o sistema uma tarefa difícil (MENEZES et al., 2015), posto que as descargas de poluentes não cessam. Com base no exposto, considera-se de extrema importância que as ações de conservação e uso/ocupação do solo no decorrer do corpo hídrico sejam monitoradas e geridas pelo poder público e órgãos de controle, pois a atual situação pode comprometer ainda mais a qualidade da água e, conseqüentemente, o equilíbrio dos ecossistemas da bacia.

4.2 Vazão Crítica

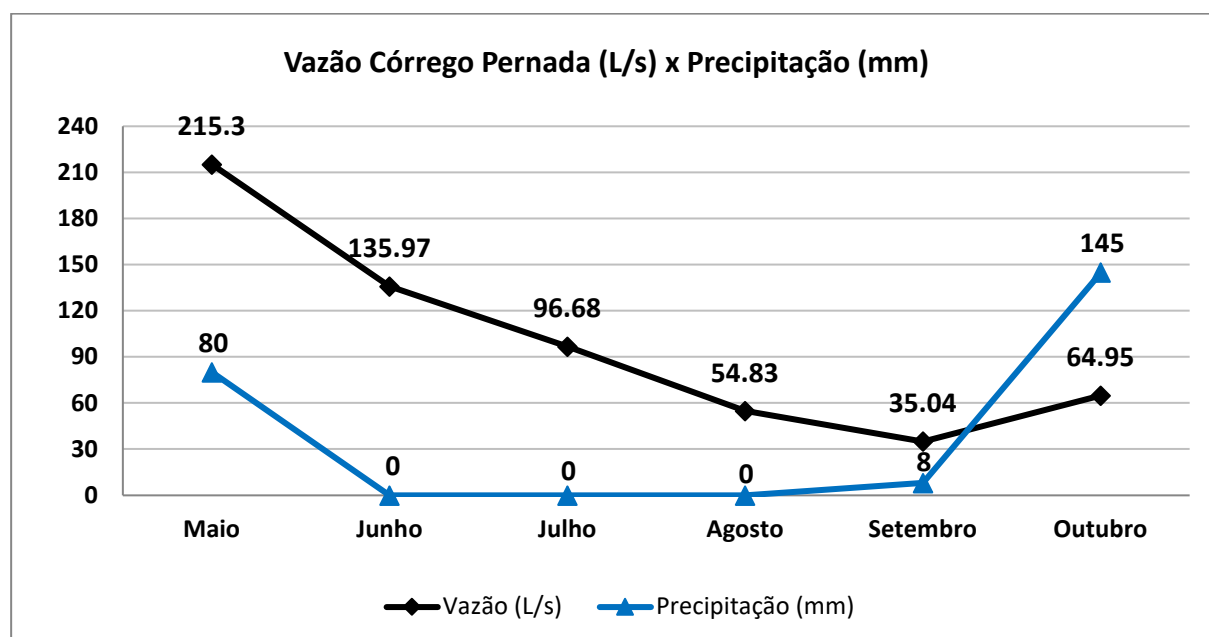
Com intuito de avaliar a variação das vazões no Córrego Pernada durante o período de estiagem, bem como indicar a sua vazão crítica com vistas a compreender

os impactos das atividades desenvolvidas em seu entorno, em especial, os efeitos do lançamento de efluentes tratados sobre a sua capacidade de autodepuração, realizou-se o monitoramento de vazão durante os meses de maio a outubro de 2015 a montante do ponto de lançamento do efluente tratado e lançado pela ETE.

Na Figura 04 é possível observar o cruzamento dos dados de vazão obtidos durante o monitoramento juntamente com a precipitação ocorrida no período. Os resultados encontrados demonstram variações significativas para a vazão do Córrego Pernada, sendo verificado um decaimento dos valores ao longo dos meses avaliados. No mês de maio foi registrado um valor médio mensal de 215,3 L/s, representando a vazão máxima observada, tendo no mês de setembro a menor média mensal de 35,04 L/s. Já no mês de outubro, devido à ocorrência de algumas chuvas, a vazão do manancial obteve uma recuperação, onde se registrou valores médios de 64,95 L/s.

Vale ressaltar que no mês de setembro foram realizadas quatro medições, para as quais se obteve a média mensal apresentada (35,04 L/s), entretanto, foram registrados valores inferiores da média supracitada, especificamente no dia 28 de setembro onde se constatou uma vazão de 21,67 L/s.

Figura 04. Resultado das vazões obtidas para o Córrego Pernada no período de maio a outubro de 2015.



Nota: Dados de precipitação oriundos do Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb/ANA.

É possível observar que os resultados encontrados foram diretamente

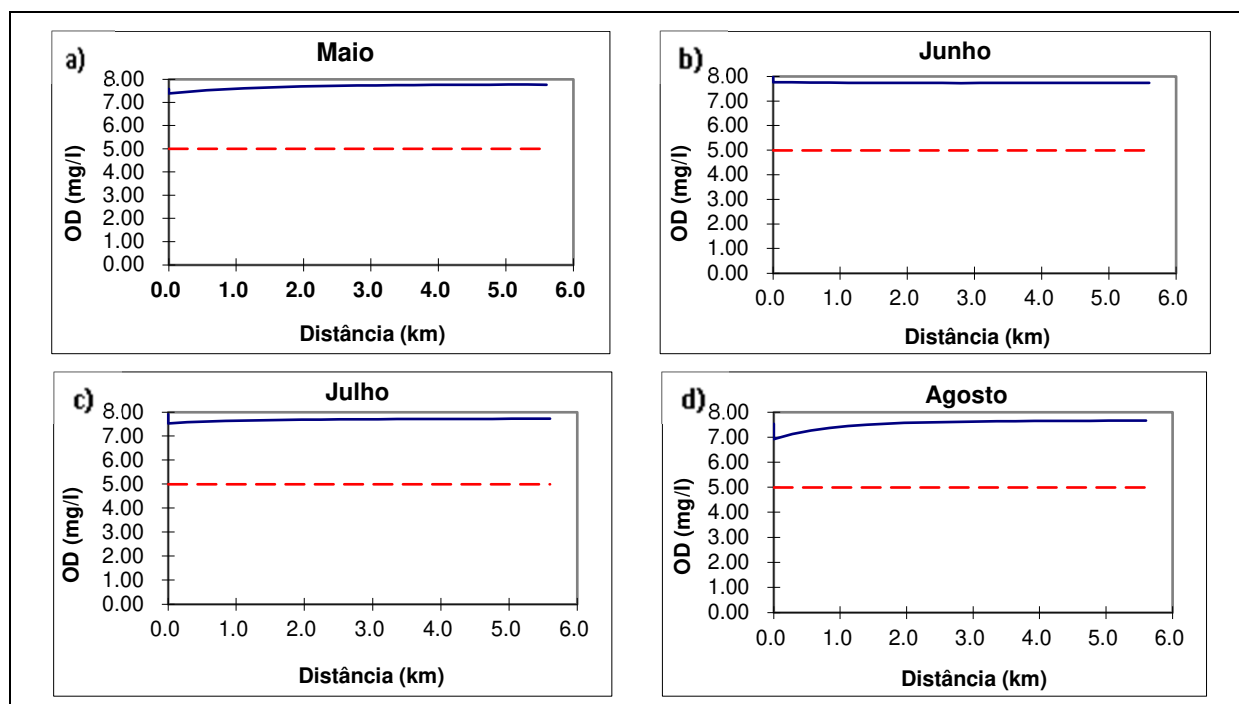
influenciados pelos efeitos da sazonalidade. Tal análise baseia-se no decaimento dos índices pluviométricos observados para o período. No mês de maio foram registrados 80 mm de chuva, já a partir de junho esse índice chegou a zero, permanecendo até agosto. Em setembro, registrou-se um índice de 8 mm e em outubro de 145 mm, marcando a transição para do período chuvoso na região, momento em que se verificou o início da recuperação da vazão no corpo d'água.

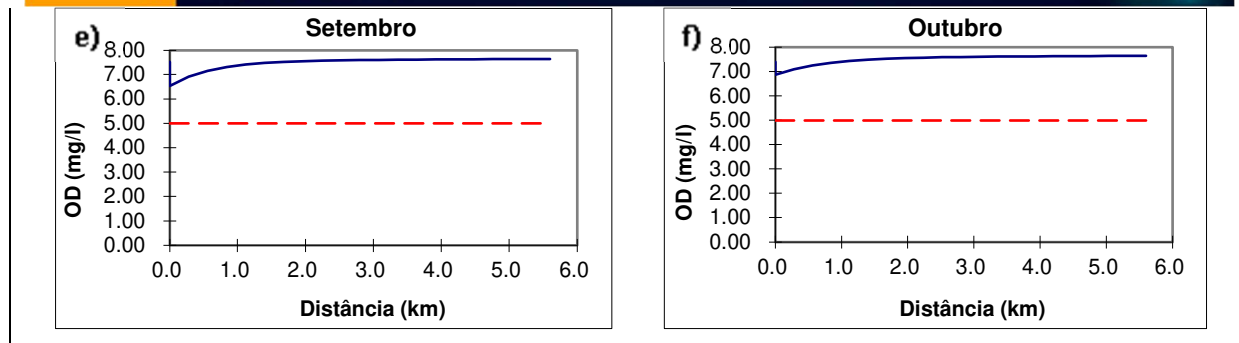
Estudos realizados no Córrego Pernada em 2005 também verificaram essa variação na vazão do curso d'água entre o período chuvoso e o seco, sendo registrado um valor máximo de vazão de 318,51 L/s no mês de maio e mínimo de 39,57 L/s no mês de setembro de 2005 (BRUN, 2006).

4.3 Avaliação da capacidade de autodepuração do Córrego Pernada

Na Figura 05 observam-se os resultados obtidos pela modelagem a partir dos perfis de OD durante os meses de estudo (maio a outubro de 2015) para um trecho de 5,6 km do Córrego Pernada. Em cada perfil se avaliou o decaimento do oxigênio dissolvido comparando os resultados obtidos com os limites mínimos estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 2 (5mg/L).

Figura 05. Perfis de OD durante os meses de maio a outubro de 2015.





Nota: — Curva de OD (mg/L); - - - Limite mínimo de OD estabelecido pela Resolução Conama 357/2005.

De maneira geral, os perfis de OD obtidos pelo modelo de Streeter-Phelps revelam que o Córrego Pernada detém de uma capacidade significativa de estabilização dos níveis de oxigênio na água. De acordo com a modelagem realizada, para os meses de maio, junho e julho as variações na concentração de OD foram imperceptíveis, porém, a partir do mês de agosto observam-se alterações na concentração do parâmetro após a mistura com efluente lançado, notadamente no mês de setembro, para o qual foi registrado o menor valor de OD. Por fim, mesmo nas condições de menor vazão (mês de setembro) as vazões efluentes analisadas não impactaram significativamente nos valores de OD, se comparados com os valores mínimos permitidos pela legislação.

É importante destacar que as taxas de aeração natural do corpo hídrico também influenciam na diluição do efluente lançado (COSTA et. al, 2019). No caso do Córrego Pernada, observou-se que o mesmo possui uma boa capacidade de reaeração em função de suas características hidráulicas, tais como velocidade da água e declividade do canal observadas em campo. Haja vista que o fluxo da água em ambientes mais íngremes proporciona maior turbulência na água, o que tende a aumentar a troca de oxigênio entre a interface ar-água e por consequência aumenta a concentração do oxigênio dissolvido no curso d'água (BLUME et al., 2010).

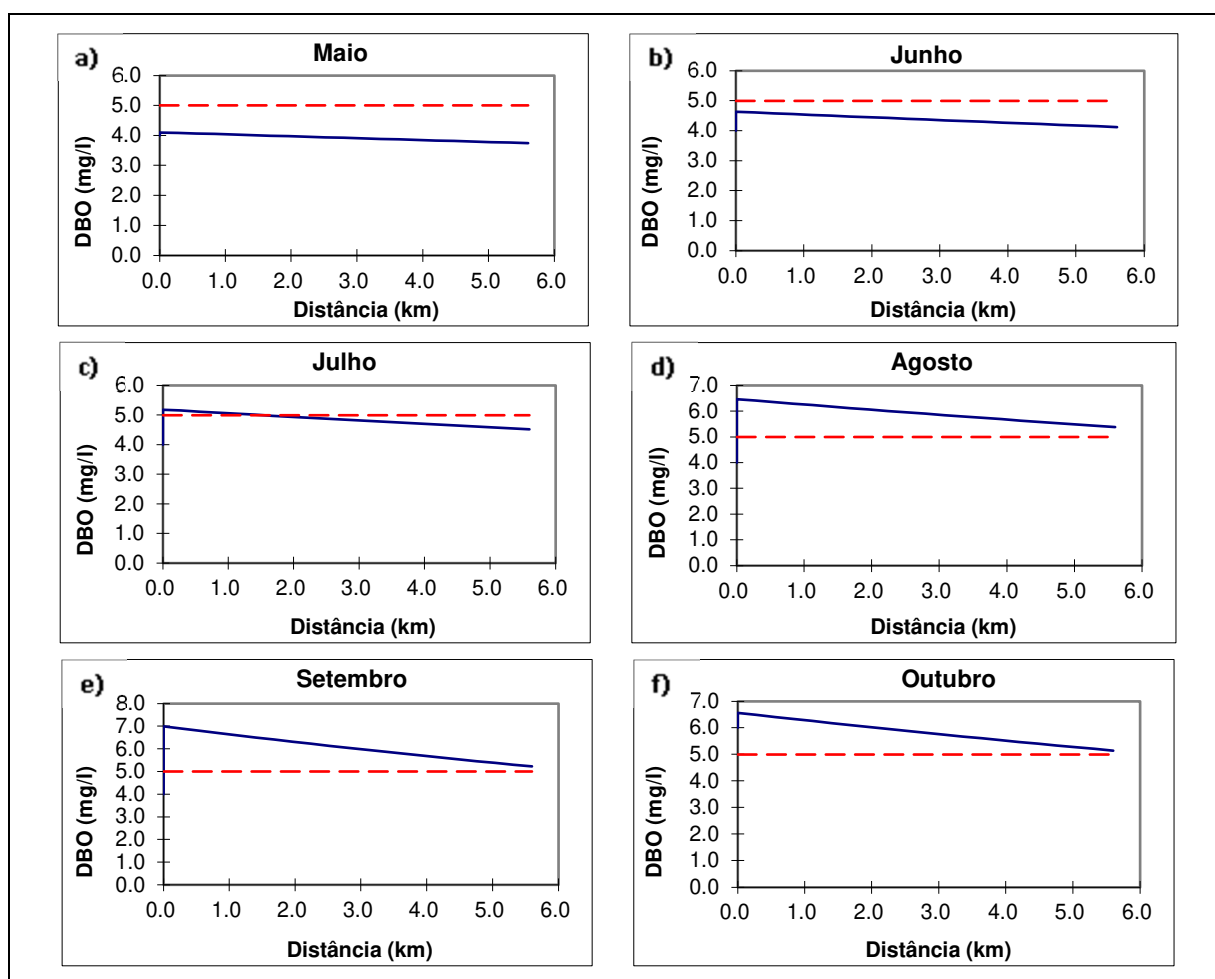
Deve-se considerar ainda que as causas antrópicas que mais contribuem para o decréscimo do oxigênio na água são: as descargas de efluentes e resíduos sólidos orgânicos e a elevação da temperatura hídrica devido a despejos industriais (BÁRBARA, 2006). Nota-se que apesar do lançamento de efluentes no Córrego Pernada levar a uma redução nas concentrações de oxigênio dissolvido na água logo após a mistura com o efluente, após poucos metros já se observa a recuperação do parâmetro, o qual se mantém dentro dos limites preconizados. Dessa forma, pode-se

indicar que a eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto contribui sobremaneira para os resultados de OD modelados.

Estudos de autodepuração realizados no Córrego dos Arcos, no município de Arcos (MG) obtiveram resultados semelhantes, sendo observado que mesmo após a mistura do efluente com o corpo receptor as concentrações de oxigênio dissolvido atenderam ao padrão exigido pela legislação, no entanto, em relação à DBO, os autores observaram valores acima do permitido no ponto de mistura com o efluente, permanecendo em todo trecho estudado (ALCÂNTARA et al., 2014).

Para o parâmetro DBO, os resultados para o período em estudo (maio a outubro de 2015) podem ser observados através dos perfis demonstrados na Figura 06.

Figura 06. Perfis de DBO₅ durante os meses de maio a outubro de 2015.



Nota: — Curva de DBO (mg/L); - - - Limite mínimo de DBO estabelecido pela Resolução Conama 357/2005.

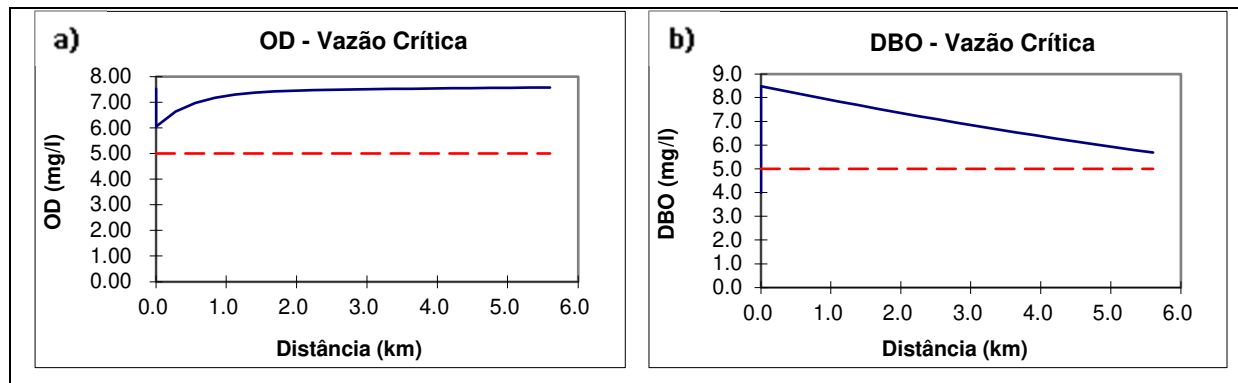
Os perfis de DBO determinados pela modelagem expressam de maneira clara a influência dos valores de vazão na representação dos resultados. Para os meses de maio e junho, o manancial apresentou valores de DBO, no ponto da mistura com o efluente, dentro dos valores permitidos pela legislação. No mês de julho, o corpo hídrico já indica os primeiros sinais de não equilíbrio na zona de mistura, onde até os 1.000 primeiros metros do trecho estudado a DBO ultrapassa os limites preconizados. A recuperação volta a ocorrer a partir dos 1.100 metros do ponto de lançamento.

Valores de maior representatividade apresentam-se para os meses de agosto, setembro e outubro onde os padrões de DBO exigidos para corpos hídricos de classe 2 já não ocorrem nos limites do Córrego, ou seja, a estabilização ocorreu possivelmente após a confluência com o Córrego Buritis. No mês de agosto notou-se que o corpo receptor apresentou retardo para a depuração da matéria orgânica, sendo o mês em que se obteve uma maior distância no trecho do córrego para a diluição da carga de DBO (após 7 km). O mês de setembro destacou-se, pois apresentou valores de DBO mais elevados após a mistura do efluente, resultando em maior tempo para a estabilização da matéria orgânica. Já em outubro, a DBO ainda se manteve alterada, porém, com valores inferiores a setembro. Tal fato pode ser justificado pela ocorrência de algumas chuvas isoladas em relação ao mês anterior e possível reflexo destas em áreas ocupadas nas proximidades da bacia. Mesmo com esta alteração observou-se uma tendência de estabilização do corpo hídrico ainda nos limites do Córrego.

Um aspecto importante a ser considerado é a vazão do curso d'água. Braga et al. (2005) descrevem que quando um efluente de qualquer natureza é lançado no rio, a concentração imediatamente a jusante do ponto de lançamento é menor que aquela observada no próprio efluente devido a sua diluição, assim, quanto maior for a vazão do rio, menor será o impacto do poluente considerado, desde que a concentração do poluente a montante do rio seja pequena.

Dentro dessa abordagem, também foi aplicado o modelo de Streeter-Phelps para a menor vazão observada no córrego Pernada durante o período estudado (21,67 L/s), conforme apresentado na Figura 07.

Figura 07. Perfis de OD e DBO₅ para a menor vazão observada no Córrego Pernada.



Nota: — Curva de OD e DBO (mg/L); --- Limite mínimo de OD e DBO estabelecido pela Resolução Conama 357/2005.

Para a menor vazão encontrada durante as campanhas de campo percebe-se que a condição da água do corpo receptor para OD, após a zona de mistura, permanece dentro dos padrões da legislação. Entretanto, em relação aos valores de DBO, a concentração atinge a máxima para o estudo (>8,0 mg/L), apresentando a possível estabilização fora do limite do manancial (cerca de 7,5 km do ponto de lançamento).

Estudos de autodepuração realizados no Rio Jordão, no Estado de Minas Gerais, em períodos de estiagem verificaram resultados semelhantes aos encontrados no Córrego Pernada, com valores de OD dentro dos limites exigidos pela legislação, no entanto, para a DBO os valores se mantiveram fora dos recomendados em toda a extensão do rio analisada, sendo verificado um pico de 8,3 mg/L na zona de mistura, decrescendo até 6,0 mg/L, ao longo de todo o trecho analisado (SALLA et al., 2013).

De acordo com Cunha e Ferreira (2006), a capacidade de autodepuração do corpo d'água é bastante afetada pelas variações de vazão, portanto, quando há uma redução na vazão do manancial é de se esperar uma pior resposta do corpo d'água para a estabilização do material lançado. Assim, a demanda de oxigênio será maior no período de menor fluxo de água no canal, quando a concentração de poluentes será maior (MENEZES et al., 2015), uma vez que a diluição destes ficam prejudicadas em função do volume de água no curso hídrico (BLUME et al., 2010).

Tal afirmação, fortalece os resultados gerados a partir da aplicação do modelo, onde observou-se que uma redução da capacidade de autodepuração do Córrego Pernada no período de estiagem, especificamente no mês de setembro (vazão crítica). Os resultados encontrados indicam que para o período de vazão crítica, o Córrego Pernada terá maiores dificuldades em realizar a autodepuração do efluente lançado para atendimento da legislação ambiental, especialmente para DBO, mesmo que a estação de tratamento permaneça com índices de remoção elevados.

Por outro lado, é interessante notar que conforme observaram Almeida et al. (2019 b), em estudo realizado no Córrego Pernada, o efluente lançado curso d'água atende ao padrão de lançamento, estando em conformidade com os limites máximos exigidos pela Resolução Conama 430/2011 durante o período analisado em suas pesquisas. Os autores salientaram que o sistema de tratamento utilizado indicava estar adequado em seus processos de tratamento para a demanda local na época do estudo. Entretanto, no período de vazão crítica o atendimento passa a ser prejudicado em função da redução considerável de água no corpo hídrico.

Por fim, é importante mencionar que a modelagem foi realizada considerando a vazão efluente da ETE operada no ano de 2015 (5,25 L/s) e eficiência de remoção de DBO pela estação acima de 95%. Todavia, o atendimento em relação aos serviços de esgotamento sanitário no município tem sido ampliado, resultando em um volume maior de esgoto encaminhado a ETE. Frente a isso, é salutar observar que houve um incremento no volume de efluente tratado lançado no córrego, o que pode conduzir a um novo cenário em relação aos resultados de capacidade de autodepuração do curso d'água, o que futuramente caberá ser analisado.

5 CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação da capacidade de autodepuração do Córrego Pernada em situações de vazão crítica permitem concluir que:

- O Córrego Pernada, assim como a maioria dos cursos d'água inseridos espaços urbanizados, vem sofrendo com as consequências da falta de planejamento e ordenamento urbano, o que tem efeitos diretos sobre a qualidade da água, em especial para a sua capacidade de autodepuração;
- A vazão crítica do curso d'água ocorre no mês de setembro, o qual apresentou

um valor médio de 35,04 L/s e mínimo de 21,67 L/s;

- A autodepuração realizada pelo Córrego Pernada após o ponto de mistura com o efluente lançado pela ETE de Paraíso – TO foi satisfatória para os meses analisados. No entanto, considerando as vazões críticas (mês de setembro) nota-se que o corpo hídrico se comporta com dificuldades para realizar a estabilização dos níveis de matéria orgânica no decorrer de sua extensão;
- Os resultados de Oxigênio Dissolvido (OD) revelaram que o manancial mesmo em condições de vazão crítica consegue restabelecer os níveis de oxigênio ainda no ponto de mistura, atendendo plenamente a legislação vigente;
- Em relação ao parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) percebeu-se que nos meses de agosto, setembro e outubro o Córrego Pernada não conseguiu garantir a depuração da matéria orgânica na extensão de seu leito, ocorrendo apenas após o ponto de confluência com o Córrego Bunitis;
- Para um cenário de ampliação do sistema de esgotamento sanitário do município, os estudos sinalizam que o Córrego Pernada, no período de vazão crítica, poderá não ser suficiente para a diluição do efluente tratado, o que poderá dificultar o atendimento aos padrões de qualidade do corpo receptor;

Por fim, é importante mencionar que a utilização de modelos matemáticos não gera resultados absolutos, pois as variáveis ambientais são muito dinâmicas e complexas, porém, aproximam-se satisfatoriamente, o que já é de bastante relevância para apoio nas tomadas de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, A. F.; CHAGAS, C. D.; SILVA, J. C. de R.; ALVES, L. J.; SILVA, M. S. Avaliação da autodepuração do Córrego dos Arcos, Município de Arcos – MG. In: XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, MG, 2014. **Anais [...]**. Poços de Caldas, MG, 2014. p. 05.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidro Web - Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=1048001>. Acesso em: 10 de abril de 2016.

ALMEIDA, R. F. B; OLIVEIRA, K. B. M.; SILVA, A. B. S.; CAETANO, K. C. F.; REIS, K. G. R. S. Utilização de protocolos de avaliação rápida como instrumento de diagnóstico ambiental de corpos d'água: o caso do Córrego Pernada. In: 10ª Jornada

de Iniciação Científica e Extensão do Instituto Federal do Tocantins. Palmas, TO, 2019. **Anais [...]**. Palmas, TO: Instituto Federal do Tocantins/Campus Palmas, 2019a. p.7.

ALMEIDA, I. W.; MACIEL, G. F.; ALMEIDA, R. F. B. Tratamento de efluentes domésticos e o desafio para o atendimento dos padrões de enquadramento do corpo receptor. In: SERRA, J. C. V.; SOUZA, M. H. R. de; OLIVEIRA, S. M. D. de. (orgs.). **Estudos ambientais, educacionais e de saúde para comunidades do Tocantins: ações de extensão**. 1. ed. Fortaleza, CE: Expressão Gráfica e Editora, 2019b. p. 27-61.

BÁRBARA, V. F. **Uso do modelo QUAL2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Araguari - AP (Amazônia)**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Universidade Federal do Goiás (UFG), 2006.

BLUME, K.K.; MACEDO, J.C.; MENEGUZZI, A.; SILVA, L.B.; QUEVEDO, D. M.; RODRIGUES, M. A.S. Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 70, no. 4 (suppl.), p. 1190 e 1193. 2010.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 93 p.

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

BRUN, A. de M. **Autodepuração do Córrego Pernada**. 44 f. Monografia (Pós-graduação em Saneamento Ambiental com Ênfase em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, TO, 2006.

CHAPRA, S. C. **Surface Water-Quality Modeling**. WCB/Mc Graw-Hill, 1997. 351 p.

COSTA, D. A.; ASSUMPÇÃO, R. dos S. F. V.; AZEVEDO, J. P. S.; SANTOS, M. A. dos. On water resources management instruments – Framing – as a tool for river rehabilitation. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro. v. 43, n. especial 3, p. 40, dez., 2019.

CUNHA, C. de L. da N.; FERREIRA, A. P. Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 8, p. 1715 e 1716, ago., 2006.

GUIMARÃES, L. G.; SANTOS, C. A. dos. Análise ambiental como subsídio ao planejamento urbano: o caso de boa esperança (MG). **Paisagem e ambiente: ensaios**, n. 36, p. 70, São Paulo, SP, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População Estimada**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/paraiso-do-tocantins/panorama>. Acesso em 13 de junho de 2020.

MAHANAYAK, B.; PANIGRAHI, A. K. Sustainable management of the aquatic ecosystem and the fishermen cooperative societies in india: a brief review. **Uttar Pradesh Journal of Zoology**, 42 (16), p. 29, 2021.

MENEZES, J. P. C. de; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de S.; BELLO, I. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de; FIA, R. Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. **Rev. Ambient. Água**, v. 10, n. 4, Taubaté, p. 753 e 754, Oct./Dec., 2015

MORUZZI, R. B.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. de S.; HONDA, F. P.; NAVARRO, G. R. B. Avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração no Córrego da Água Branca, Itirapina (SP). **Geociências**, v. 31, n. 3, p. 448. 2012.

PALHARES, J. C. P.; RAMOS, C.; KLEIN, J. B.; LIMA, J. M. M.; MULLER, S. M.; CESTONARO, T. **Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador**. EMBRAPA/Comunicado Técnico nº. 455. Concórdia, SC, julho, 2007. p. 02.

PIMENTA, R. H. O.; REIS, S. P.; FONSECA, M. da. Diagnóstico ambiental em três trechos distintos do Córrego Capão, Regional Venda Nova, Município de Belo Horizonte-MG. **Revista Petra**, v. 2, n. 1, p. 157, jan./jul., 2016.

STREETER, H. W.; PHELPS, Earle B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. **Public Health Bulletin**, United States Public Health Service, Washington, n. 146, p. 05 e 16, fev., 1925.

THOMANN, R. V.; MEULLER, J. A. Principles of surface water quality modeling and control. **Harper International Edition**. 1987. 644 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 77 - 189 p.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 326 - 336 p.

MENDONÇA, T. P.; PETRECA, W. L.; SOUZA, A. D. G. de. Autodepuração de corpos hídricos: estudo do lançamento de esgoto doméstico no Rio Lambari (Poços de Caldas/MG). **Geoambiente on-line**, Jataí, GO, n. 36, p. 89 e 90, jan./abr., 2020.

OTAROLA, S. J. P.; REIS, José Antônio Tosta dos. Seleção de eficiências de tratamento de efluentes no âmbito de bacias hidrográficas a partir do emprego da programação não-linear e de modelo matemático de qualidade de água. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, 2015. **Anais[...]**. Rio de Janeiro, RJ, 2015. p. 01.

SALLA, M. R.; PEREIRA, C. E.; ALAMY FILHO, J. E.; PAULA, L. M.; PINHEIRO, A. M. Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados. **Eng Sanit Ambient**, v. 18 n. 2, p. 106 e 113, abr./jun., 2013.

SEGALA, B. N.; BRUSA, A. B. S. de D.; CHAMMA, A. L. S.; MEDEIROS, F. P. Capacidade de autodepuração do Arroio Hermes como corpo receptor de efluentes domésticos. In: Congresso ABES/Fenasan, São Paulo, SP, 2017. **Anais[...]**. São Paulo, SP, 2017.