



INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

ENGENHARIA AMBIENTAL

**MODELAGEM DE QUALIDADE DE ÁGUA DO CÓRREGO DO
SAPO EM RIO VERDE - GO**

DIEGO PINHEIRO DORNELLES

Rio Verde, GO
2019

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA AMBIENTAL

**MODELAGEM DE QUALIDADE DE ÁGUA DO CÓRREGO DO
SAPO EM RIO VERDE - GO**

DIEGO PINHEIRO DORNELLES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde,
como requisito parcial para a obtenção do Grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Junior

Rio Verde – GO

Dezembro, 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Dornelles, Diego
DD713m MODELAGEM DE QUALIDADE DE ÁGUA DO CÓRREGO DO SAPO
EM RIO VERDE - GO / Diego Dornelles; orientador Édio
Silva Júnior. -- Rio Verde, 2019.
22 p.

Monografia (em Engenharia Ambiental) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Autodepuração. 2. Recurso hídrico. 3. QUAL-UFMG.
4. Oxigênio Dissolvido. 5. Demanda química de
oxigênio. I. Silva Júnior, Édio , orient. II. Título.



Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico | <input type="checkbox"/> Educacional |
| e | |
| Tipo: | |

Nome Completo do Autor: Diego Pinheiro Dornelles

Matrícula: 2015102200730105

Título do Trabalho: Modelagem de qualidade de água do Córrego do Sapo no trecho canalizado do município de Rio Verde - GO

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 18/12/2019

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 06/12/2019.


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CURSO (TC)

ANO	SEMESTRE
2019	2

No dia 06 do mês de dezembro de 2019 às 10h00min, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes, Dr. Édio Damásio da Silva Júnior, Ma. Andriane de Melo Rodrigues e Ma. Bruna Elói do Amaral, para examinar o Trabalho de Curso intitulado: Modelagem de qualidade de água do Córrego do Sapo no trecho canalizado do município de Rio Verde - GO, do acadêmico Diego Pinheiro Dornelles, matrícula nº 2015102200730105, do curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. Após a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela aprovação da acadêmica. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que segue datada e assinada pelos examinadores.

Rio Verde, 06 de dezembro de 2019.

Édio Damásio da Silva Júnior
Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior
(Orientador)

Andriane de Melo Rodrigues
Prof. Ma. Andriane de Melo Rodrigues
(Membro)

Bruna Elói do Amaral
Prof. Ma. Bruna Elói do Amaral
(Membro)

Observação:

() O(a) acadêmico(a) não compareceu à defesa do TC.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter me possibilitado estar firme durante toda essa trajetória, caminho esse que irá me levar à realização dos meus sonhos.

Ao meu pai Sidnei Dornelles, minha mãe Célia Pinheiro Franco, a minha irmã Lorayne Pinheiro Dornelles e a todos os meus familiares e amigos pelo apoio e incentivos durante esta caminhada.

Dedico o meu TCC para todos aqueles que fizeram parte da minha graduação, como, meu orientador, professores, amigos e colegas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado a oportunidade de chegar aqui hoje, realizando um sonho.

A minha Mae Celia Pinheiro Franco, ao meu Pai Sidnei Dornelles, a minha irmã Lorayne Pinheiro Dornelles e todos os meus familiares, por sempre me apoiar, incentivar e me ajudar de várias maneiras.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, ao seu corpo docente, direção e administração, pela oportunidade de fazer o curso de Engenharia Ambiental em uma instituição tão comprometida com o ensino e a pesquisa.

Meus professores do curso de Engenharia Ambiental, por se mostrarem sempre dispostos, incentivando e despertando seus alunos.

E em especial ao professor Édio Damásio da Silva filho pela orientação, zelo, disciplina e ética que conduziu este trabalho.

Ao Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente, por todo o auxílio e estrutura fornecida para realização deste trabalho.

Ao Laboratório Culturas de Tecidos Vegetais do IF Goiano, por todo o auxílio e estrutura fornecida, nos períodos de iniciação científica.

Aos meus orientadores de iniciação científica ao longo dos 5 anos de curso, Fabiano Guimarães Silva, Aurélio Rúbio Neto e Paula Fabiane Martins.

Aos meus amigos que tive ao meu lado durante esta caminhada, Moara Mariely Vinhais Souza, Joao Vitor Vinhais Souza, Talles Gustavo Castro Rodrigues, Vinicius de Oliveira Marques, Isabella Pelosi Borges de Deus, e todos os demais amigos e colegas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela a bolsa de iniciação científica e auxílio financeiro.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desse trabalho e de toda a trajetória da minha graduação. Obrigado!

DORNELLES, Diego Pinheiro. **Modelagem de qualidade de água do córrego do Sapo em Rio Verde - GO**. 2019. 41 p Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2019. Orientador: Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior.

Resumo

A água é um recurso natural de grande importância para a preservação da vida e desenvolvimento econômico vindo a ter múltiplos usos. Com o populacional e o desenvolvimento econômico promovem a utilização excessiva dos recursos naturais e diminuição da qualidade devido as diversas atividades geradoras de efluentes, onde em sua maioria são lançados sem tratamentos, o que aumenta a carga de matéria orgânica do corpo hídrico, afetando sua qualidade e seu potencial de autodepuração. Sendo necessário a quantificação de alguns parâmetros para conseguir mensurar a qualidade da água de um corpo hídrico, como oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), entre outros. A modelagem matemática é uma ferramenta de grande importância na gestão dos corpos hídricos, onde tem demonstrado ótimos resultados no prognóstico da qualidade da água. O Córrego do Sapo corta a cidade de Rio Verde, é canalizado e margeado pela avenida Paulo Roberto Cunha, fato que o torna passível de poluições pontuais ou difusas. Este trabalho objetiva-se caracterizar e efetuar a modelagem de qualidade de água na bacia do Córrego do Sapo a partir do modelo modificado QUAL-UFMG, simulando o OD e DQO, ao longo do trecho canalizado do Córrego do Sapo. Foram realizadas análises de OD e DQO, além de mesurar a vazão de pontos contribuintes ao curso d'água. Foi aplicado coeficientes de calibração eficientes, onde nos deu uma simulação de OD e DQO a cada 0,1 Km do trecho estudado. Com pouca variação concentrações de OD e DQO pelos pontos de contribuição de esgoto devido a sua baixa vazões, mas sendo alterada pelos seus afluentes e pelo fato das vazões mais altas e pelas condições hidráulicas. Porem resultados de corpo hídrico altamente poluído, com 84,6% do trecho, sendo enquadrado como classe 4. Com isso necessitando de mais estudos aprofundados na sua bacia.

Palavras-chaves: Autodepuração; Recurso hídrico; QUAL-UFMG; Oxigênio Dissolvido; Demanda química de oxigênio.

DORNELLES, Diego Pinheiro. Water quality modeling of the Sapo stream in Rio Verde - GO. 2019. 41 p Monograph (Bachelor's Degree in Environmental Engineering). Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás - Rio Verde Campus, Rio Verde, GO, 2019. Advisor: Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior.

Abstract

Water is a natural resource of great importance for the preservation of life and economic development and has multiple uses. With population and economic development, they promote the excessive use of natural resources and decrease in quality due to the various activities that generate effluents, where most of them are released without treatments, which increases the organic matter load in the water body, affecting its quality. and its potential for self-purification. It is necessary to quantify some parameters to be able to measure the water quality of a water body, such as dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), among others. Mathematical modeling is a tool of great importance in the management of water bodies, where it has shown excellent results in the prognosis of water quality. The Córrego do Sapo cuts through the city of Rio Verde, is channeled and bordered by Avenida Paulo Roberto Cunha, a fact that makes it subject to occasional or diffuse pollution. This work aims to characterize and carry out the water quality modeling in the Córrego do Sapo basin from the modified QUAL-UFGM model, simulating the DO and COD, along the channeled stretch of the Córrego do Sapo. Analyzes of DO and COD were performed, in addition to measuring the flow of points contributing to the watercourse. Efficient calibration coefficients were applied, giving us a simulation of DO and COD for each 0.1 km of the section studied. With little variation in concentrations of OD and COD by the points of contribution of sewage due to its low flow rates, but being altered by its tributaries and the fact of the higher flow rates and hydraulic conditions. However results of highly polluted water body, with 84.6% of the stretch, being classified as class 4. Therefore, it needs more in-depth studies in its basin.

Keywords: Self-purification; Water resource; QUAL-UFGM; Dissolved oxygen; Chemical oxygen demand.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Recursos hídricos.....	2
2.2 Qualidade da água.....	3
2.3 Comportamento dos poluentes em rios	5
2.4 Modelagem matemática	6
2.4.1 Modelo QUAL-UFMG	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Pontos de coleta.....	9
3.2 Variáveis analisadas	10
3.2.1 Análise de OD	11
3.2.2 Análise de DQO	11
3.2.3 Medição de vazão	11
3.3 Modelagem matemática utilizada	12
3.1 – Aplicação dos dados	12
3.2 Calibração do QUAL – UFMG	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5 CONCLUSÃO	19
6 REFERENCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de grande importância para a preservação da vida e desenvolvimento econômico vindo a ter múltiplos usos como abastecimento público, agricultura, pecuária, indústria de geração de energia, saneamento básico, recreação, lazer, entre outros. O planeta Terra tem uma enorme quantidade de água, no entanto, entorno 97,5% da água se encontra em forma de água salina, onde seu custo é muito elevado, para utilização para os principais usos, como por exemplo para irrigação, abastecimento público e dessedentação animal. Somente 2,5% da água do planeta é considerada água doce, dos quais, 69% estão concentrados nas geleiras, 30% em águas subterrâneas e 1% disponível em rios ou lagos (ANA 2019). Tais dados se apresenta preocupantes, devido à pouca quantidade de águas acessíveis nos cursos hídricos, quando comparada com à demanda industrial, agrícola e urbana.

O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico são os principais responsáveis pelo uso excessivo dos recursos naturais e pela diminuição da qualidade dos mesmos, já que após os usos consultivos, a água retorna ao corpo hídrico como efluente sanitário. No Brasil, o esgoto sanitário tem uma porcentagem baixa de tratamento adequado sendo lançado nos mananciais hidricos, o que aumenta a carga de matéria orgânica reduzindo oxigênio dissolvido (OD), afetando a qualidade e o potencial de autodepuração nos corpos d'guas (SOARES, 2018). Para garantir a qualidade e os múltiplos usos dos corpos hídricos é importante que suas propriedades físicas, químicas e biológicas se encontrem em equilíbrio. Sendo necessário a quantificação de alguns parâmetros para mensuração da qualidade de água em um corpo hídrico, por exemplo oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), turbidez, coliformes termotolerantes entre outros.

A modelagem matemática é uma ferramenta de grande importância na gestão dos corpos hídricos, na busca pela preservação dos ecossistemas aquáticos e na garantia da qualidade da água. A aplicação de modelos em diferentes localidades vem demonstrado ótimos resultados no prognóstico de melhora na qualidade de água. (PANAGOPOULOS et al., 2012).

Rio Verde é uma cidade do estado de Goiás, sendo de grande importância econômica, onde se concentra suas principais atividades econômica vinculadas à agricultura. Nos últimos anos a cidade se desenvolveu muito, sendo implantadas indústria de atividades agrícolas e agropecuária, aumentando exponencialmente a população da cidade, devido ao aumento de

empregos, tornando a cidade uma das maiores do estado. Em consequência do crescimento populacional acelerado, tem sido observado o aumento de impactos ao ambiente, e incluindo a degradação dos cursos d'água.

O Córrego do Sapo atravessa a cidade de Rio Verde, onde é canalizado e margeado pela avenida Paulo Roberto Cunha, fato que o torna passível de poluição pontual ou difusa. Dentre os possíveis pontos de poluição se encontra o sistema de drenagem fluvial, onde possivelmente existem ligações clandestinas de lançamento de esgoto e junto ao sistema de drenagem fluvial, que ainda recebe sedimentos e resíduos de grande parte da área urbana, acarretando em uma baixa qualidade para o córrego.

Desse modo, o objetivo deste trabalho é caracterizar e efetuar a modelagem de qualidade de água na bacia do Córrego do Sapo, utilizando o modelo hrhQual2K, a partir do modelo modificado QUAL-UFGM, simulando o OD (oxigênio dissolvido) e DQO (demanda química de oxigênio), ao longo do trecho canalizado do Córrego do Sapo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Recursos hídricos

Segundo Tundisi e Tundisi (2015), dentre os principais problemas vinculados a crise hídrica se encontra as enchentes, extremos de precipitação, seca e deterioração da qualidade da água. As soluções mais usuais aplicadas a crise hídrica são: o reúso de água, a redução das perdas de água na rede, avanços na governança de água, tecnologias, preservação das águas subterrâneas, saneamento básico e gestão integrada de recursos hídricos, educação e capacitação de recursos humanos.

Para melhorar o gerenciamento e monitoramento dos recursos hídricos foi implantada a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) conforme a Lei Federal 9.433/97, que tem como fundamentos: I) a água como um bem de domínio público; II) a água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; III) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; IV) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; V) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH); VI) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e da sociedade (BRASIL, 1997).

No Brasil, o enquadramento dos corpos hídricos em classes, conforme seus usos preponderantes, são baseados na qualidade da água, sendo considerado um dos instrumentos mais importantes da PNRH. Tal instrumento é implantado a nível federal, cujos parâmetros avaliativos e decisórios são apresentados pela Resolução CONAMA 357/05 e, no estado de Goiás, pelo Decreto 1745/79 (BRASIL, 1997; GOIÁS, 1979).

Esta resolução prevê cinco categorias de classe: classe especial, que possui as melhores qualidades, e classes 1, 2, 3 e 4, cuja qualidade da água decresce, reduzindo a possibilidade de uso e aumentando as restrições do uso da água respectivamente, conforme o Quadro 1.

QUADRO 1 - Classes dos recursos hídricos e seus respectivos usos

CLASSES	USOS
Especial	abastecimento para consumo humano, com desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades e ambientes aquáticos de proteção integral
1	abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; recreação contato irrigação de hortaliças e frutas que são ingeridas cruas e se desenvolvam rente ao solo proteção das comunidades aquáticas
2	abastecimento para consumo humano após tratamento convencional recreação de contato irrigação de hortaliças frutas, jardins e campos de esporte e lazer, com os quais o público passa a vir a ter contato
3	abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado irrigação de arvores, cereais e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário Dessedentação de animais.
4	usos menos exigentes como a navegação e harmonia paisagística

2.2 Qualidade da água

Na ótica ambiental o conceito de qualidade de água vai muito além do que a sua fórmula molecular H_2O . Devido suas propriedades solventes e sua capacidade de transportar partículas, incorporando a si diversas impurezas. A qualidade da água ainda se dá em função de suas condições naturais, além do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2005). Existem diversos parâmetros para avaliar a qualidade da água, tais como,

Oxigênio dissolvido (OD), alcalinidade, matéria orgânica, acidez, Turbidez entre outros físico-químicos e biológico. Todos esses parâmetros são de grande importância para a qualidade do corpo hídrico e são utilizados para classificá-los conforme a Resolução CONAMA 357 como mostra o Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetro para classificação dos recursos hídricos conforme Resolução CONAMA 357/05

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
DBO 5, 290(mg O ₂ /L)	3	5	10	10
OD (mg O ₂ /L)	>6	>5	>4	>2
Turbidez (NTU)	40	100	100	101
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
SDT (mg/L)	500	500	500	500
Cloreto (mg/L)	250	250	250	250
Ferro (mg/L)	0,3	0,3	5	5
Nitrato (mg/L)	10	10	10	10
Nitrito (mg/L)	1	1	1	1
N Amoniacal (mg/L) p/ pH<7,5	3,7	3,7	13,3	13,8
N Amoniacal (mg/L) p/ pH>7,5	2	2	5,6	5,6

O OD é essencial para a preservação da vida aquática, uma vez que vários organismos precisam de oxigênio para respirar. Uma das principais causas da diminuição do OD é a concentração de matéria orgânica na água, já que o oxigênio é consumido no processo de decomposição (ANA, 2019).

A turbidez da água é devida à presença de sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência (BRASIL, 2013), atenuando a intensidade em que um feixe de luz sofre ao passar pela água, devido à presença de sólidos em suspensão (CETESB, 2009). A turbidez é expressa por meio de unidades de turbidez (também denominadas unidades nefelométricas - UNT).

A acidez da água pode ser entendida como sua capacidade de reagir com uma base forte até um determinado valor definido de pH, devido à presença de ácidos fortes (ácidos minerais: clorídrico, sulfúrico, nítrico etc.), ácidos fracos (orgânicos: ácido acético, e inorgânicos: ácido carbônico) e sais que apresentam caráter ácido (sulfato de alumínio, cloreto férrico, cloreto de amônio) (PIVELI; KATO, 2006).

Matéria orgânica é um parâmetro de grande, pois podem influenciar na qualidade da água. A matéria orgânica é analisada por dois parâmetros importantes, DBO (demanda

bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). A DBO é obtida pela quantidade de oxigênio requerida na degradação da matéria orgânica pelos microrganismos. Já a DQO é dada pela quantidade de oxigênio necessário para a oxidação da matéria orgânica por reagentes químicos (NUNES, 2018).

2.3 Comportamento dos poluentes em rios

A matéria orgânica presente no esgoto sanitário, lançado no corpo hídrico se apresenta na forma particulada, que tende a sedimentar e compor o lodo de fundo, e na forma dissolvida, que permanece na massa líquida. Matéria orgânica, é oxidada através de processos de degradação realizados bactérias aeróbicas, reduzindo a concentração de OD no meio líquido (SOARES, 2018).

O processo de reestabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos de efluentes é denominado de autodepuração. Segundo Von Sperling (2014), é um fenômeno de sucessão ecológica, a capacidade do curso d'água em recuperar-se, realizada por meio de mecanismos puramente naturais. É de suma importância, o entendimento desse fenômeno, sendo necessário sua quantificação, no intuito de conhecer a verdadeira capacidade de assimilação dos mananciais quanto a carga orgânica.

Durante o processo de autodepuração, é possível identificar, 4 zonas as quais as concentrações de DBO e oxigênio dissolvido (OD) variam consideravelmente, conforme explica a figura 1 (BRAGA, 2005).

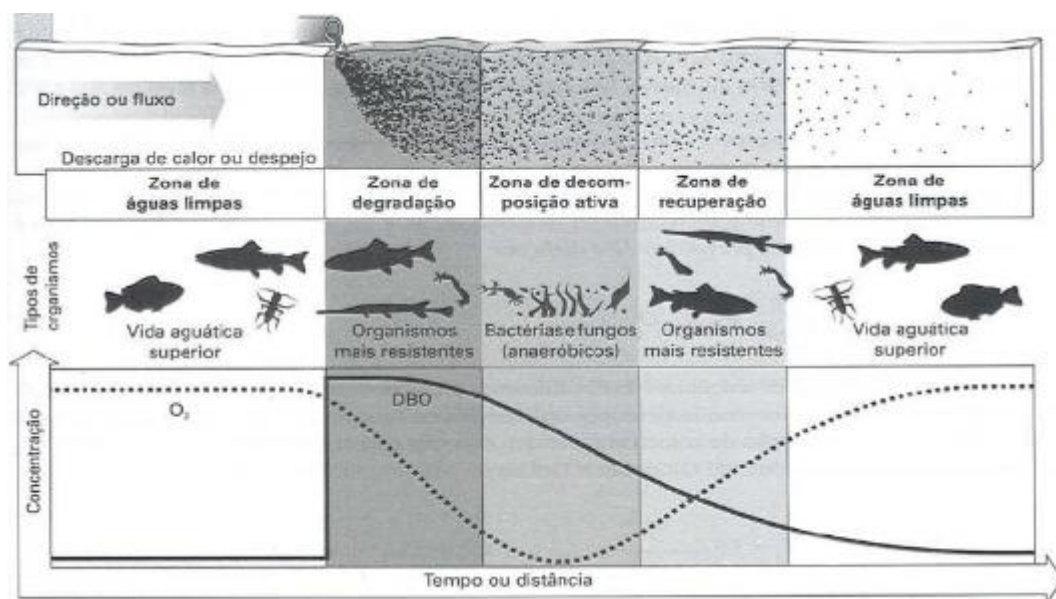


Figura 1 – Zonas de autodepuração e os tipos de microrganismos em cada zona.

A primeira zona identificada, é a de águas limpas, zona a montante do ponto de lançamento do efluente no corpo receptor. Onde o efluente irá se misturar com a água do corpo receptor, tendo uma nova concentração de OD e DBO, sendo denominado ponto de mistura. Na zona de degradação o efluente após percorrer um determinado trecho passa a se dispersar no meio aquático, aumentando a concentração de DBO e conseqüente mente diminuindo o oxigênio dissolvido. Na zona de decomposição ativa, os microrganismos decompositores começam a predominar no ambiente, encontrando-se as menores concentrações de OD.

Na Zona de recuperação, ocorre diminuição significativa na concentração de DBO na água e como conseqüência a concentração de oxigênio dissolvido na água começa a se recuperar, oxigênio utilizado pelas bactérias é recomposto através da reaeração, com isso aumentando a concentração de OD para as próximas zonas. Ao final do processo ocorrido na zona de recuperação, o corpo receptor passa a apresentar, praticamente, os mesmos níveis de concentrações verificados na zona de águas limpas, voltando ao equilíbrio natural do corpo receptor.

Toda essa dinâmica nos corpos hídricos pode ser observada avaliada através de estudos de autodepuração, com o emprego de modelos matemáticos e que podem ser empregados no intuito de simular a DBO, nutrientes e microrganismos ao longo do corpo hídrico.

2.4 Modelagem matemática

Muitos estudos de qualidade de água vêm sendo realizados em busca de gerenciamento adequado dos recursos hídricos. Baseados nestes estudos, encontra-se modelos matemáticos, desenvolvidos e utilizados como ferramentas ou para avaliação da qualidade de ambientes aquáticos. Com a utilização desses modelos é possível calcular desde índices básicos de qualidade, como DBO e OD, até critérios de classificação complexos, como a eutrofização e impactos causados por substâncias tóxicas (FAN; WANG, 2008). Tais características, tornam os modelos instrumentos aceitos, tanto para o diagnóstico dos problemas de qualidade da água, quanto para o auxílio no desenvolvimento de estratégias para soluções dos problemas enfrentados (LINDIM et al., 2011).

A modelagem matemática representa um conjunto de fatores naturais a partir de equações descrevendo adequadamente processos físicos, químicos e biológicos (ANDRADE, 2005). O método prevê situações reais, cujos componentes mais importantes de um sistema

são identificados considerando suas interações, por meio dos quais se torna possível a resolução de problemas (PIMPAN; JINDAL, 2009). Um dos principais objetivos na modelagem é a determinação das variações de concentração de determinada carga poluente em função do espaço e tempo, baseado em dados conhecidos previamente e fundamentando-se em conhecimentos básicos sobre a cinética das reações biológicas envolvidas no processo (NUNES, 2008). Com isso a modelagem matemática se torna indispensável para a gestão de poluentes nos recursos hídricos no decorrer do tempo.

Os modelos de qualidade da água de rios vêm sendo utilizados desde o desenvolvimento do modelo clássico de OD e DBO, de Streeter-Phelps em 1925. Sendo pioneiro para os modelos matemáticos, abordando dois aspectos importantes: o consumo de oxigênio pela oxidação da matéria orgânica e a produção de oxigênio pela reaeração atmosférica.

De acordo com as propostas dos pesquisadores Streeter e Phelps, a concentração de OD em um fluxo é determinada por dois processos distintos: consumo de oxigênio (expresso em termos de DBO) como resultado da degradação da matéria orgânica realizada por bactérias, e entrada de oxigênio no meio aquático através da reaeração atmosférica. (GOTOVTSEV, 2010).

Neste modelo todo o processo de decomposição da matéria orgânica no meio aquático segue uma reação de primeira ordem, sendo a taxa de redução de matéria orgânica proporcional à concentração de matéria orgânica presente em um determinado instante de tempo (BRAGA, 2005).

2.4.1 Modelo QUAL-UFMG

Atualmente, uma ferramenta simples para a modelagem de qualidade de água e de crescente utilização é a plataforma QUAL-UFMG, criada por Von Sperling em 2007. O programa em Excel QUAL-UFMG foi desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais a partir do software QUAL-2K desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency*- EPA.

São várias as dificuldades de aplicação do software QUAL-2K, principalmente em relação a operação do aplicativo, já modelo QUAL-UFMG é um aplicativo intuitivo e de mais fácil utilização, Este novo modelo possibilitando a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio: DBO, OD, Nitrogênio Total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), Fósforo Total e suas frações (orgânico e inorgânico), Coliformes Termotolerantes ou E. coli.

O modelo incorpora os fenômenos envolvidos no balanço de OD, os modelando em condições de anaerobiose, considerando a sedimentação da matéria orgânica, o consumo de OD pela nitrificação, as cargas internas sem vazão e as cargas externas. Os resultados fornecidos pela simulação do modelo são apresentados na forma de tabelas e gráficos (PAULA, 2011). Também assume o escoamento uniforme em condutos livres, fazendo com que a profundidade, a área molhada da seção transversal e a velocidade sejam constantes ao longo do conduto (MOURÃO JÚNIOR, 2010).

O modelo QUAL-UFGM é um modelo unidimensional, adequado para rios com vazões relativamente baixas e escoamentos em regime permanente, uma vez que essas condições não favorecem o fenômeno de dispersão longitudinal (Costa; Teixeira, 2010). Atualmente tem sido muito utilizado no Brasil. No trabalho de Mourão Junior (2010), o modelo foi utilizado para simular OD (oxigênio dissolvido), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), série nitrogenada, fósforo (orgânico e inorgânico) e coliformes termotolerantes referente ao rio Piracicaba/MG. Já no trabalho de Pretzel (2017), o modelo QUAL-UFGM aplicado à bacia hidrográfica do Rio do Campo, por meio de dados quantitativos e qualitativos da água. Oliveira Filho e Lima Neto (2018) utilizou o modelo no rio Poti e no Parnaíba margeados pela cidade de Teresina – PI, eles afirmam que o QUAL-UFGM pode ser utilizado, na modelagem com múltiplos lançamentos de efluente ao longo da extensão dos corpos hídricos em perímetro urbano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido conforme da representação esquemática (Figura 2), onde foi realizado um estudo prévio no intuito de selecionar os pontos de coleta de amostras de água, identificando ao longo da extensão do corpo hídrico em estudo, fontes de possíveis contaminações, tais como, lançamento de esgoto sanitário clandestino na rede de drenagem fluvial e de outras contribuições de afluentes ao córrego do Sapo. Esse estudo prévio foi realizado nos meses de julho e agosto de 2019.

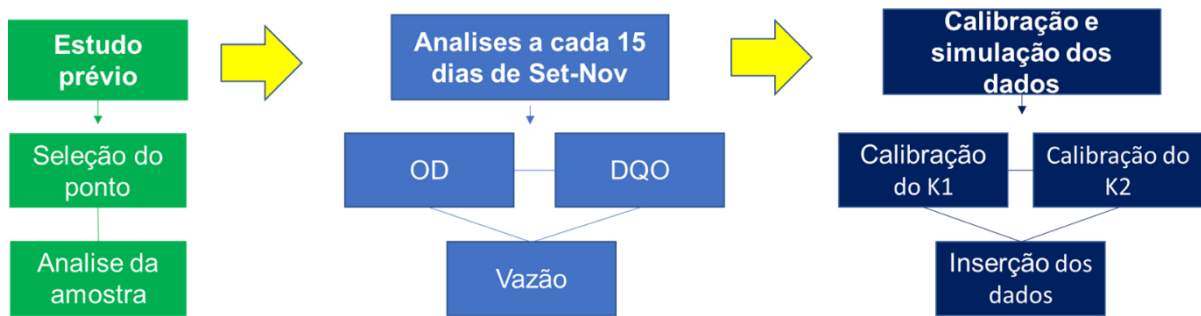


Figura 2 – Fluxograma geral do trabalho.

Definidos os pontos, foram realizadas coletas de amostras de água, a cada 15 dias, nos pontos de contribuição (entrada de carga orgânica) ao longo corpo hídrico em estudo e na zona de mistura entre cada ponto de contribuição. Em seguida, foram realizadas as análises de OD e DQO, bem como a medição da vazão em cada ponto de amostragem. Após isso, foram tabulados os dados e realizada a calibração do modelo.

3.1 Pontos de coleta

Após análises preliminares, foram escolhidos 7 pontos, ao longo do trecho canalizado no Córrego do Sapo. Os pontos escolhidos foram aqueles que apresentaram contribuições de vazões constantes e valores positivos para demanda química de oxigênio (DQO) observado nas visitas *in loco*.

O trecho total analisado foi de 2,5 Km, entre o ponto inicial e ponto final, onde foram distribuídos pontos 7 pontos de amostragem, sendo 1 ponto no início do trecho, 3 de possíveis lançamentos de esgoto sanitário e outros 3 de contribuição por meio de afluentes hídricos (Figura 3). Cada ponto representa uma respectiva zona de mistura, nos quais também foram coletadas amostras. A Tabela 2 e Figura 4 caracterizam com detalhe os pontos de amostragem.



Figura 3 - Mapa com identificação dos pontos ao longo do córrego do Sapo.



FIGURA - 4 Identificação do ponto de contribuição e ponto de mistura.

Tabela 2 – Descrição dos pontos de Coleta

Pontos	Descrição	Latitude	Longitude	Distância (Km)
P1	Montante do córrego do Sapo, no início da avenida Paulo Roberto Cunha	17°47'17.74"S	50°56'12.60"O	0,0
P2	Ponto do 1° afluente no trecho do Sapo	17°47'24.56"S	50°56'17.23"O	0,2
P3	1° ponto de possível contaminação do corpo hídrico com esgoto	17°47'39.74"S	50°56'18.57"O	0,7
P4	2° ponto de possível contaminação do corpo hídrico	17°47'48.31"S	50°56'18.38"O	1,0
P5	Ponto 2° afluente no trecho do Sapo	17°48'13.05"S	50°56'17.72"O	1,9
P6	3° ponto de possível contaminação do corpo hídrico	17°48'21.10"S	50°56'6.06"O	2,3
P7	Ponto 3° afluente no trecho do Sapo	17°48'24.15"S	50°56'0.06"O	2,5

3.2 Variáveis analisadas

Foram realizadas análises de oxigênio dissolvido (OD) e demanda química de oxigênio (DQO), bem como a medição de vazão, a cada 15 dias nos pontos selecionados, durante os meses de setembro a novembro de 2019.

3.2.1 Análise de OD

O OD foi determinado através do método de titulação segundo Standard Methods: D888-12, onde foram coletadas as amostras em frasco *Winkler* de 300 ml. Logo após, foram introduzidos 2 ml de sulfato manganoso e 2 ml de solução alcali-iodeto, e homogeneizados por meio de inversão. No Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente, foram adicionados 2 ml de ácido sulfúrico e agitado por inversão até desaparecer os flóculos formados. Logo após foram transferidos 200 ml para um erlenmeyer e realizado a titulação com tiosulfato 0,002N, até a aparição novamente da cor original da amostra. O valor de OD, mg/L, é obtido diretamente pelo volume titulado.

3.2.2 Análise de DQO

Para análise de DQO foi determinado segundo Standard Methods: 5220D, onde foram coletados 100 ml de água, em cada ponto. No laboratório de Saneamento e Meio Ambiente foram pipetados 2,00 ml e disposto em um tubo de ensaio previamente limpo. Logo em seguida foram adicionados respectivamente, 1,2 mL de solução digestora (K₂Cr₂O₇ / HgSO₄ / H₂SO₄) e 2,8 mL da solução catalítica. Depois de fechados, o conteúdo dos tubos de ensaios foi homogeneizados e colocados em um digestor (bloco aquecedor) onde permaneceram 2h a 150°C para ocorresse a reação. Após tal procedimento, foi realizada a medição da absorbância no espectrofotômetro em 600 nm.

3.2.3 Medição de vazão

A medição de vazão (Q) do Ponto Inicial (P1), pontos dos afluentes (P2, P5 e P7) e com seus respectivos pontos de misturas, foram realizadas pelo método flutuométrico, onde o equipamento flutuador foi uma garrafa PET (100 ml), preenchida com 1/3 de água uma vez selecionado o trecho do corpo hídrico e o tempo de percurso da garrada no trecho foi cronometrado. Após isso, a profundidade e largura foram medidas de se obter a área do trecho. Os dados foram tabulados de acordo com a Equação (1).

$$Q = \frac{C \times L \times H}{T} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Q = Vazão (m³/s).

C = Comprimento do trecho (m).

L = Largura do trecho (m).

H = Profundidade do trecho (m).

T = Tempo gasto para percorrer o trecho (s).

Contribuições de águas pluviais na drenagem foram avaliadas pelo método volumétrico, utilizando um bequer de 5 L, para coletar a água residuária enquanto o tempo de enchimento foi cronometrado. A vazão foi obtida utilizando a Equação 2.

$$Q = \frac{0,005}{T} \quad \text{Equação (2).}$$

Onde:

Q = Vazão (m³/s)

T = Tempo gasto para encher o bequer de 5 L.

3.3 Modelagem matemática utilizada

Foi empregado o modelo matemático QUAL-UFMG, devido sua boa representatividade da autodepuração e pela facilidade de operação, que está disponível de forma gratuita no site da UFMG em formato de EXCEL. Para realização do estudo de autodepuração do corpo hídrico avaliado foram utilizados os resultados obtidos a partir das análises de OD, DQO e vazão, em 4 coletas nos 7 pontos. O modelo não é adaptado para recebimento de dados de DQO, apenas de DBO, na indicação da matéria orgânica. Assim, para este trabalho no modelo foi ajustado para valores de DQO, ao invés de DBO. Pois, não foi possível realizar análises de DBO no laboratório, devido à falta de reagentes, além disso a DQO, é um parâmetro de rápido apresentado métodos eficientes quanto a estimativa de matéria orgânica.

3.1 – Aplicação dos dados

Os valores médios de Q, OD e DQO, determinados nos pontos de contribuição por afluentes (P2, P5 e P7) e nos pontos de recebimentos de esgoto bruto (P3, P4 e P6), foram inseridos nos trechos correspondentes, de acordo com sua distância do ponto inicial (em Km). Onde o modelo forneceu valores estimados para os pontos de mistura, a partir da calibração manual, utilizado coeficientes ajustados aos valores obtidos em campo.

3.2 Calibração do QUAL – UFMG

A calibração, ou seja, a inserção de coeficientes integrantes das equações representativos dos aspectos físicos e biológicos dos corpos hídricos, consistem em uma parte essencial para o desenvolvimento de qualquer modelo visando obter um bom ajuste entre os dados medidos em campo e os estimados pelo modelo.

O método mais comum para a estimativa de parâmetros é o da minimização de uma função objetivo representando a soma dos quadrados dos erros. Define-se erro ou resíduo como a diferença entre o valor observado e o valor estimado.

A calibração foi feita manualmente, variando-se os valores dos parâmetros, conforme dados da literatura adaptados a cursos d'água para adequar as suas características de forma, onde a soma dos quadrados dos resíduos decresça até que se obtenha um bom ajuste, aquele considerado satisfatório pelo analista.

Inicialmente, foram inseridos valores arbitrários (baseados na literatura) para o coeficiente desoxigenação (K_1), coeficiente de remoção de DBO efetiva no rio (K_d), coeficiente de sedimentação (K_s) e para o coeficiente de reaeração K_2 .

Foram utilizados os valores de K_1 , K_s e K_d para o curso d'água, conforme a Tabela 3. Os coeficientes adotados para corpo hídrico em estudo foram valores intermediários, correspondentes à corpos hídricos rasos, que recebam esgoto bruto concentrado foram escolhidos, $K_1 = 0,40$, $K_s = 0,20$ e $K_d = 0,80$.

Tabela 3 – Valores de K_1 normalmente utilizados para remoção de DBO.

Origem	K1 (laboratório)	Rios rasos	
		Decomposição Kd	Sedimentação Ks
Curso d'água recebendo esgoto bruto concentrado	0,35-0,45	0,50-1,00	0,10-0,35
Curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40	0,40-0,80	0,05-0,25
Curso d'água recebendo efluente primário	0,30-0,40	0,40-0,80	0,05-0,10
Curso d'água recebendo efluente secundário	0,12-0,24	0,12-0,24	-
Curso d'água limpas	0,08-0,20	0,08-0,20	-

Nota: rios rasos: profundidade inferior a 1,0m ou 1,5m.

Fonte: Von Sperling, 2014

Para o coeficiente K_2 foram utilizados valores diferentes ao longo dos trechos, correspondente as mudanças de suas características hidráulica ao longo do percurso, conforme

apresenta a tabela 4. Assim, foram adotados, K₂ de 12,9 para o trecho do 0 ao 1,9 km, K₂ de 15,6 para o trecho do 1,9 ao 2,2 Km e K₂ igual a 46,5 do 2,2 ao 2,6 Km.

Tabela 4 – Valores de K₂ segundo equação Owens et al.

V (m/s)*	H (m)*	
	0,2	0,4
0,2	35,4	9,8
0,3	46,5	12,9
0,4	56,3	15,6
0,5	65,4	18,1
0,6	73,9	20,5
0,7	82,0	22,7
0,8	89,6	24,9
0,9	97,0	26,9
1,0	104,1	28,9

*H: profundidade, V: velocidade

Adaptado de Von Sperlling 2017.

Após a inserção dos coeficientes foram realizado o teste do Erro Relativo (ER%) e o coeficiente de Determinação (CD) para verificar a validação do modelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração do modelo obteve Erro Relativo (ER%) e Coeficiente de Determinação (CD) respectivamente de 1,6% e 0,93. Von Sperlling (2017) afirma que para que sua calibração seja eficiente, onde o modelo matemático corresponde com a realidade encontrada no corpo hídrico estudado, os valores de CD têm que ser próximos a 1,00 e o ER seja próximo de 0. CD = 1 e ER = 0 seria a modelagem perfeita, caso quase impossível de ocorrer. Logo, os valores obtidos mostram que a calibração dos coeficientes utilizados foi eficiente.

Para os valores de OD nos pontos de lançamento de esgoto no corpo hídrico somente os pontos P4 obteve valores acima do limite mínimo para ser enquadrado como Classe 2 segundo o CONAMA/357, os demais foram abaixo como pode ser observado na Tabela 5.

Para os valores de OD dos afluentes hídricos do córrego do sapo (P2, P5 e P7) todos apresentaram valores próximo ou acima de 5 mg/L, dando um maior destaque para o P7 onde obteve uma concentração de 7,1 mg/L (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios nos pontos de monitoramento.

Pontos	Distância (Km)	Q (m ³ /s)	DQO (mg/L)	OD (mg/L)
P1	0,0	0,1275	69,89	3,6
P2	0,2	0,0197	64,89	4,8
P3	0,7	0,0016	194,33	2,9
P4	1,0	0,0001	166,00	5,2
P5	1,9	0,0552	162,63	4,9
P6	2,3	0,0033	128,50	2,9
P7	2,5	0,0834	64,33	7,1

Os pontos P3, P4 e P6 obtiveram valores de DQO elevado e OD baixos (com exceção do OD para o P4), isso pode ser caracterizado como possíveis fontes de lançamento esgoto sanitário, devido essas concentrações, se apresentarem elevados, além disso, tais pontos sempre mantiveram vazões constantes, mesmo em períodos de seca, mostrando que possivelmente há ligações clandestinas de esgoto nas redes pluviais. Na literatura vários estudos relatam a ocorrência de lançamento clandestino de esgoto sanitário em corpos hídricos no perímetro urbano.

Os P2 e P7 apresentam valores de DQO abaixo do P1 e maior concentrações de OD indicando baixa poluição. Já o ponto P5 apresentou alta DQO, devido possuir alta concentrações de algas, conforme apresentado na figura 4. Onde liberam além de matéria orgânica, também caracteriza águas com altas concentrações de nutrientes.



Figura 4 – Ponto P5 e seu ponto de mistura com o córrego do Sapo; (a) Presença de algas em mistura (b) coleta de amostra para análise de OD(b)

Com aplicação eficiente dos coeficientes, para o modelo Qual – UFMG estimou valores ao longo do Sapo a cada 0,1 km, para as concentrações de OD e DQO no percurso, conforme mostra a figura 5.

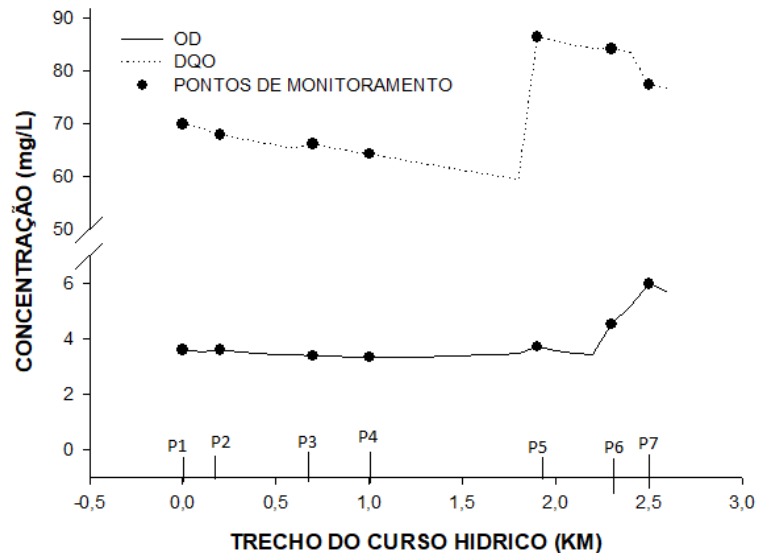


Figura 5– Gráfico de modelagem de OD e DQO do trecho canalizado do córrego do Sapo.

Observa-se na Figura – 5 que ao longo do trecho de 0 a 1,8 Km, a DQO foi reduzindo gradualmente de 69,9 para valores próximo de 60 mg/L. Aproximadamente no trecho de 1,9 Km a DQO apresentou-se elevada em torno de 86,4 mg/L, justamente no ponto de contribuição do P5, onde os resultados das análises laboratoriais de DQO também foram em consequência de presença de algas no afluente, podendo ser visualizado na Figura 5. Nos trechos de 1,9 a 2,6 km, observou-se a redução dos valores, onde o decréscimo mais acentuado foi nos trechos de 2,3 a 2,5 Km, aos quais os valores variaram de 84,2 a 77,4 mg/L de DQO. Isso se deve ao fato do trecho 2,5 km apresentar a contribuição do ponto P7, que apresenta a menor concentração de DQO.

Os valores de OD, são representados Figura 5 mostrando que as concentrações de OD decrescem 3,6 para 3,3 do trecho de 0 a 1 Km. Logo após no trecho de 1 a 1,9 km a concentração de OD volta a subir de 3,3 a 3,7. Houve um pequeno decréscimo de OD no trecho de 1,9 a 2,2 km, onde a OD vai de 3,7 para 3,3 mg/L. Após o ponto de 2,2 Km, os valores OD elevaram de 3,3 para 6,0 mg/l. Isso se deve pelo alto valor de OD do P7, Córrego Barrinha, que apresenta grande aeração por apresentar ao longo de seu trecho pequenas quedas (escadas). Ao fim do Córrego Barrinha existe um desnível acentuado, propiciando a introdução de oxigênio no corpo d'água (FIGURA 6).



Figura 6 – Reaeração no ponto de contribuição, P7.

Outro fator que também deve contribuir para o aumento de OD no Córrego do Sapo são as condições hidráulicas deste corpo hídrico, que apresenta alterações no trecho final, com mais velocidade maior e uma profundidade inferior, facilitando sua aeração. Uma vez que a reposição de oxigênio na água se dá principalmente pelo do contato da lâmina d'água do corpo hídrico com a atmosfera, podendo-se dizer que a aeração é principal mecanismo de reposição do oxigênio em cursos d'água (GONÇALVES, et. al., 2013).

A Demanda química de oxigênio e oxigênio dissolvido são inversamente proporcionais, pois quando um aumenta o outro diminui. No entanto, neste trabalho, isto não foi observado, principalmente para os trechos de 1,9 a 2,5 Km, onde apresentaram um crescimento de DQO e OD. Esse fato pode ser explicado pelas formas de reaeração da água e produção de O₂ pelas algas no P5. Águas que apresentam elevada presença de algas, se encontram com altas cargas de nutrientes, como fosforo e nitrogênio, conseqüentemente com a morte das algas tem-se também aumento da carga orgânica (Von Sperling, 2005) (Thebaldi et. al. 2017). Neste trabalho, foi observado o aumento de DQO e OD para os trechos.

De forma geral, observou-se tendências no decaimento de DQO (autodepuração) enquanto que os valores de OD se mantiveram constante ao longo do trecho, só variando após a contribuição do ponto P5, onde, devido as altas concentrações de alga, houve aumento de DQO no córrego principal. Os valores de OD aumentaram a partir da diminuição da profundidade e aumento da velocidade, até o ápice da contribuição do ponto P6, que apresentou concentrações baixas de DQO e elevada taxa de aeração.

Os pontos P3, P4 e P6 não obtiveram grandes impactos em relação a contribuição do córrego do Sapo, devido suas baixas vazões, comparadas as entradas dos P2 e P7 que mantiveram concentrações reduzidas de DQO, proporcionou uma diluição corpo hídrico ao longo do trecho.

Foi identificado que em torno 84,6 % do trecho analisado obteve concentrações de OD similares de corpos hídricos de classe 4 (muito poluído), onde os valores variam em torno de 2 a 4 mg/L. Cerca de 3,8%, do trecho se enquadra em classe 3 (4 a 5 mg/l) e o restante 11,5% enquadra-se em classe 2 apresentando concentrações maiores que acima de 5 mg/L conforme Figura 7.

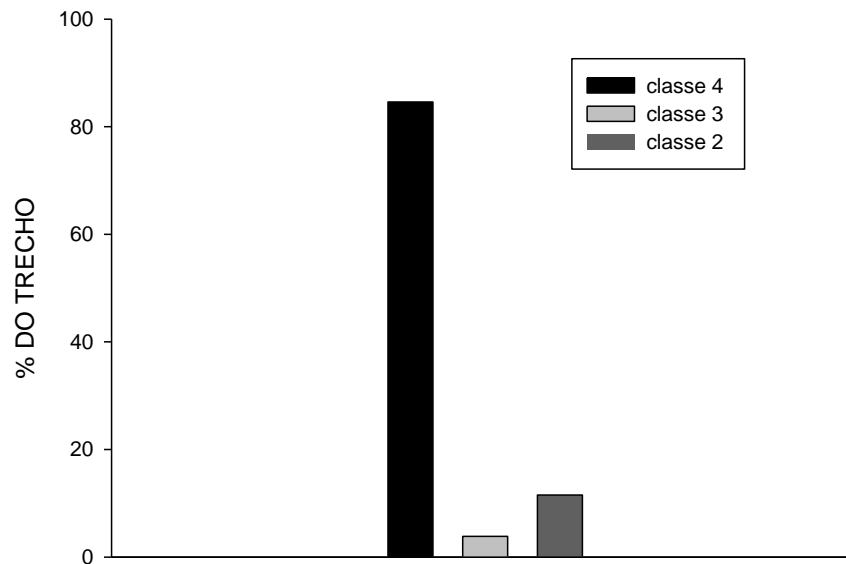


Figura 7 - Porcentagem de OD que atende suas respectivas classes.

Esses resultados de classe 4 corroboram com os estudos de Armani (2018), onde os rios urbanos das cidades de Matinho - PR e Pontal do Paraná – PR foram estudados. Oliveira Filho e Lima Neto (2018), o rio Poti e rio Parnaíba, no perímetro urbano da cidade de Teresina – PI, mostraram uma preocupação quanto aos rios em perímetros urbanos.

O trecho de enquadramento em classe 4 do córrego do Sapo, apresenta impedimento dos múltiplos usos, como é assegurado no CONAMA 357, sendo possível apenas os usos de paisagismo e navegação, no entanto devido a vazão este se torna inviável. Assim, existe a necessidade do melhor gerenciamento deste trecho. Próximos aos P1 e P2, existem hortas, onde poderiam se utilizar a água para irrigação, caso ele apresentasse uma melhor qualidade.

A qualidade do corpo hídrico em estudo poderia ser melhorada, a partir do gerenciamento adequado, fiscalização dos possíveis lançamentos clandestinos,

conscientização da população, ou até mesmo estudos mais completos referente a bacia do Sapo, investigando outros fatores que contribuirão para a poluição a jusante do ponto inicial, estudado neste trabalho, uma vez que o P1 apresenta concentrações de OD configurando-o como classe 4.

5 CONCLUSÃO

A modelagem do trecho canalizado do Córrego do Sapo foi eficiente, pois conseguiu simular as concentrações reais, onde as concentrações de OD e DQO pouco variam nos pontos de contribuição de esgoto devido as baixas vazões, no entanto observou-se alterada nos afluentes, devido aumento das vazões e condições hidráulicas.

O corpo hídrico apresenta fontes de poluições pontuais e os valores de OD que se enquadra em classe 4, revelando um córrego poluído. Porém, são necessários outros estudos para confirmar se a poluição é devida somente aos lançamentos de efluentes uma vez que o corpo hídrico já apresentava concentrações de OD baixas no ponto inicial avaliado neste trabalho.

6 REFERENCIAS

ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. Revista Ciência Agronômica, Ceará, v.36, n.2, p.135-142, 2005.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, Indicadores de qualidade - Índice de qualidade da água. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> acesso em: 12/05/2019.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, Situação da Água no Mundo, Disponível em <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>> acesso em: 05/04/2019

ARMANI, F. A. S.; FERREIRA, L. R. A.; GOETZE, P. F. B.; SILVA, C. A., QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS RIOS URBANOS DAS CIDADES DE MATINHOS - PR E PONTAL DO PARANÁ – PR. Revista Técnico-Científica do Crea-PR, 2018.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. Introdução à Engenharia Ambiental. 1. ed. São Paulo: Pretice Hall, 2003.

BRASIL. Lei Federal no 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e outras providências. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Brasília - DF: Casa Civil, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e outras providências. Diário Oficial da União. Brasília: MMA, 2005, p. 58–63

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Apêndice E - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 2009. 54 p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL; Norma técnica L196, Determinação de oxigênio dissolvido em águas - método de Winkler modificado pela azida sódica: método de ensaio, São Paulo 1978.

COSTA, D. J. L.; TEIXEIRA, D. Análise de incerteza em um modelo matemático de qualidade da água aplicado ao Ribeirão do Ouro, Araraquara, SP, Brasil. Revista Ambiente e Água, Taubaté, v.6, n.2, p.232-245, 2011.

FAN, C.; WANG, W. Influence of biological oxygen demand degradation patterns on waterquality modeling for rivers running through urban areas. *New York Academy of Sciences*, v.140, p.78-85, 2008.

GOIÁS. Decreto n° 1.745, de 06 de dezembro de 1979. Aprova o Regulamento da Lei n° 8544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Gabinete Civil da Governadoria. Goiânia - GO: Diário Oficial do Estado de Goiás, 1979.

GONÇALVES, J. C. S.; COSTA, D. J. L.; SILVEIRA, A.; GIORETTI, M. F., Reoxigenação Superficial e Sumidouro Físico de Oxigênio Dissolvido em um Tanque Agitado por Jatos. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2013.

BRASIL. Manual prático de análise de água. 4 ed. Brasília, DF: Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, 2013.

GOTOVTSEV, A. V. Modification of the Streeter–Phelps system with the aim to account for the feedback between dissolved oxygen concentration and organic matter oxidation rate. *Water Resources*, v.37, n. 2, p. 245-251, 2010.

KANNEL, P. R.; KANEL, S. LEE, S.; LEE, Y. S., A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Streams. *Environmental Modeling & Assessment*, 2011.

LINDIM, C.; PINHO, J. L.; VIEIRA, J. M. P. Analysis of spatial and temporal patterns in a large reservoir using water quality and hydrodynamic modeling. *Ecological Modelling*, v.222, n.14, p. 2485-2494, 2011.

MOURÃO JUNIOR, P. R.; Aplicação do Modelo de autodepuração de Qualidade das Águas QUAL-UFMG, Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Sócio-econômica e Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, OURO PRETO – MG, 2010.

NUNES, D. G. Modelagem de autodepuração e qualidade da água do Rio Turvo Sujo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

NUNES, E. M.; Proposta de pré-tratamento de água para a utilização em processos de tingimento e lavagem de roupa em escala industrial, UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Tubarão, 2018.

OLIVEIRA FILHO, A. A. de.; LIMA NETO, I. E.; Modelagem da qualidade da água do rio Poti em Teresina (PI), *Eng Sanit Ambient*, v.23 n.1,2018

PANAGOPOULOS, Y.; MAKROPOULOS, C.; MIMIKOU, M. Decision support for diffuse pollution management. *Environmental Modelling and Software*, abr. 2012.

PIMPAN, P.; JINDAL, R. Mathematical modeling of cadmium removal in free water surface constructed wetlands. *Journal of Hazardous Materials*, v.163, n.2-3, p. 1322-1331, 2009.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. *Qualidade das Águas e poluição: Aspectos físico-químicos*. São Paulo: ABES, 2006. 285 p.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo; Norma Técnica Interna SABESP NTS 003, DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio Método de Ensaio, São Paulo 1997.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo; Norma Técnica Interna SABESP NTS 008, Turbidez Método de Ensaio, São Paulo 1999.

SILVEIRA, C. A., CASTRO, F. B, G de, GODEFROID, R. S., SILVA, R. C. DA & SANTOS, V. L. P. dos,; *Análise microbiológica da água do Rio Bacacheri, em Curitiba (PR)*, Eng. Sanit Ambient, 2018.

SOARES, S. S., *MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UM TRECHO DO RIO DOS BOIS, GOIÁS*, Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2018.

THEBALDI, M. S.; SILVA, A. V.; VILELA, N. M. S.; LEAL B. P.; BORGES, I. C.; Martins I. P.; Fernandes L. R., *CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE DUAS LAGOAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE FORMIGA*, *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 2017.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, 2008. v. 22, n. 63, p. 7–16.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. As múltiplas dimensões da crise hídrica. *Revista USP*, 2 set. 2015. n. 106, p. 21–30.

VON SPERLING, M. 2005. “Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos”. Vol. 1, 3ª . edição, DESA, Ed. UFMG.

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 470 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1). ISBN 9788542300536.

ZHANG, Z.; TAO, F.; DU, J.; SHI, P.; YU, D.; MENG, Y. et al. Surface water quality and its control in a river with intensive human impacts—a case study of the Xiangjiang River, China. *Journal of Environmental Management*, 2010.