

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA
FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DULCELYA MÔNICA DE QUEIROZ SOUZA

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA LOCAÇÃO DE PONTOS DE
AMOSTRAGEM EM CORPOS HÍDRICOS PARA MONITORAMENTO
DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS (PROFÁGUA)

DULCÉLYA MÔNICA DE QUEIROZ SOUZA

**PROPOSTA PARA ALOCAÇÃO DE PONTOS DE AMOSTRAGEM EM
CORPOS HÍDRICOS PARA MONITORAMENTO DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Prof. Dra. Liliane Lazzari Albertin
Orientadora

Ilha Solteira
2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S729p Souza, Dulcélya Mônica de Queiroz.
Proposta de metodologia para locação de pontos de amostragem em corpos
hídricos para monitoramento de estações de tratamento de esgoto sanitário /
Dulcélya Mônica de Queiroz Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2019
106 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos, 2019

Orientador: Liliane Lazzari Albertin
Inclui bibliografia

1. Autodepuração. 2. Modelagem. 3. Amostragem. 4. Qualidade da água.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ALOCAÇÃO DE PONTOS DE AMOSTRAGEM EM CORPOS
HÍDRICOS PARA MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO ESTADO
DE MATO GROSSO DO SUL**

AUTORA: DULCÉLYA MÔNICA DE QUEIROZ SOUZA

ORIENTADORA: LILIANE LAZZARI ALBERTIN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos
pela Comissão Examinadora:



Profª. Drª. LILIANE LAZZARI ALBERTIN

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCIO RICARDO SALLA

Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Uberlândia

Ilha Solteira, 21 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, deste modo agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Prof-Água Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Agradeço também aos professores e funcionários do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Prof-Água, em particular ao Coordenador Geral Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira por todo apoio, confiança e dedicação ao Programa.

A minha orientadora, Prof. Dra. Liliane Lazzari Albertin, pela confiança e orientações imprescindíveis durante a realização desta pesquisa.

Aos professores que aceitaram, na condição de banca de defesa, se envolver na construção desta dissertação e às valorosas contribuições oferecidas.

Aos amigos de mestrado que fizeram desta uma caminhada alegre.

À Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul, em especial a Diretoria de Engenharia e Meio Ambiente na pessoa dos Engenheiros José Carlos Queiroz e João Carlos da Silva Jorge que compreenderam a minha dedicação aos estudos.

Aos colegas da Gerência de Meio Ambiente e Ação Social da Sanesul Odila, Vera, Flávia, Evaldo, Jane Laura e Letícia pelo incentivo e apoio.

Aos meus pais Cleuza e Célio, que me proporcionaram a melhor educação, e sempre foram meus maiores incentivadores. Aos meus irmãos que mesmo distantes, acompanharam minha dedicação e torceram por mim.

Ao meu esposo Thiago, que me apoiou em todos os momentos, soube compreender minhas ausências e me deu forças ao longo de todo o mestrado.

(...)

*As águas são a epifania da criação.
Agora eu penso nas águas do Pantanal.
Penso nos rios infantis que ainda procuram declives para
escorrer.
Porque as águas deste lugar ainda são espraçadas para alegria
das garças.
Estes pequenos corixos ainda precisam de
formar barrancos para se comportarem em
seus leitos.
Penso com humildade que fui convidado
para o
banquete das
águas
Porque sou bugre.
Porque sou do
brejo
Acho agora que estas águas que bem
conhecem a
Inocência de seus pássaros e de suas
árvores.
Que elas pertencem também de nossas
origens.
Louvo portanto esta fonte de todos os seres e de todas as
plantas.
Vez que todos somos devedores destas
águas.
Louvo ainda as vozes dos habitantes deste
lugar, que trazem para nós, a umidez de
suas palavras, a boa
inocência de nossas
origens*
(BARROS, 2013)

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto sanitário que lançam efluentes tratados em corpos hídricos devem monitorá-los continuamente, a montante e a jusante dos emissários, de modo a evitar danos à saúde humana e ao ecossistema, além de atender às demandas do órgão ambiental. Todavia, durante o processo de licenciamento ambiental no Estado de Mato Grosso do Sul não são dadas orientações quanto à localização adequada dos pontos de monitoramento. Por meio do estudo de autodepuração dos corpos hídricos, que recebem efluentes sanitários tratados, os pontos de monitoramento de 49 (quarenta e nove) estações de tratamento de esgoto foram alocados, para locais que de fato são representativos da qualidade dos corpos receptores, considerando as zonas de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de áreas limpas. Para isto foi necessário estimar a vazão e caracterizar a qualidade dos corpos hídricos receptores e dos efluentes sanitários tratados nas 49 (quarenta e nove) estações de tratamento de esgoto bem como calcular/estimar os coeficientes necessários a modelagem.

Palavras-chave: Autodepuração. Modelagem. Amostragem. Qualidade da água.

ABSTRACT

The wastewater treatment facilities that discharge effluents in water bodies should have continuous monitoring upstream and downstream from the pipe outfall, by the way to avoid damages for public health and ecosystems loss, beyond to follow demands of environmental state agency. However, during environmental permit process on Mato Grosso do Sul State the location of monitoring points are not oriented. Through of self-depuration studies for water bodies that receives treated effluent, the monitoring points for 49 (forty nine) wastewater treatment facilities have been defined for actually representative points by the water quality in water bodies, considering degradation zone, active decomposing zone, recovery zone and clean area zone. To achieve this were necessary to estimate flow rates and characterize the water bodies quality and treated effluent for 49 (forty nine) waste water treatment facilities as well calculate/estimate the needed coefficients for modeling.

Key-word: Self-depuration modeling. Sampling. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil de concentração de matéria orgânica (a), bactérias decompositoras (b) e oxigênio dissolvido (c) ao longo de um curso d' água.....	27
Figura 2 – Localização do estado de Mato Grosso do Sul	38
Figura 3 – Microrregiões Geográficas de Mato Grosso do Sul.....	39
Figura 4 – Regiões hidrográficas de Mato Grosso do Sul	40
Figura 5 – Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Mato Grosso do Sul	41
Figura 6 – Municípios onde estão localizadas as estações de tratamento de esgoto, objeto de estudo.....	42
Figura 7 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Chapadão do Sul.....	54
Figura 8 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Maria Leite.....	55
Figura 9 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Coxim	56
Figura 10 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Presídio	57
Figura 11 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado da ETE Fátima do Sul	59
Figura 12 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do córrego Bonito	60
Figura 13 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Aporé ...	61
Figura 14 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Paraguai	63
Figura 15 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Taquari.	64
Figura 16 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Córrego Laranja Doce	65
Figura 17 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Dourados	67
Figura 18 – Perfil de Oxigênio dissolvido após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q_{95}) do Córrego Bonito.....	73
Figura 19 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q_{95}) do Córrego Bonito	74
Figura 20 – Perfil de E. coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q_{95}) do Córrego Bonito	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de qualidade de acordo com a CONAMA 357/2005 para as águas doces e ambientes lóticos.	20
Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluente sanitário tratado.	22
Tabela 3 – Valores típicos de esgoto bruto.	23
Tabela 4 – Eficiências médias de sistema de tratamento de esgoto.	24
Tabela 5 – Valores tabulados para o coeficiente K_1	31
Tabela 6 – Valores tabulados para o coeficiente K_1 e K_d	31
Tabela 7 – Valores tabulados para o coeficiente K_1 e K_d	32
Tabela 8 – Equações empíricas utilizadas na determinação de K_2	33
Tabela 9 – Valores médios de coeficiente de reaeração.	33
Tabela 10 – Característica do efluente tratado na ETE Bonito.	52
Tabela 11 – Característica do efluente tratado na ETE Chapadão do Sul.	53
Tabela 12 – Característica do efluente tratado na ETE Maria Leite.	54
Tabela 13 – Característica do efluente tratado na ETE Coxim.	55
Tabela 14 – Característica do efluente tratado na ETE Presídio no município de Dourados.	56
Tabela 15 – Característica do efluente tratado na ETE Inocência.	57
Tabela 16 – Característica do efluente tratado na ETE Fátima do Sul.	58
Tabela 17 – Característica do Córrego Bonito a montante do lançamento.	61
Tabela 18 – Característica do Rio Aporé a montante do lançamento.	62
Tabela 19 – Característica do Rio Paraguai a montante do lançamento.	63
Tabela 20 – Característica do Rio Taquari a montante do lançamento.	65
Tabela 21 – Característica do Córrego Laranja Doce a montante do lançamento.	66
Tabela 22 – Característica do Córrego São José a montante do lançamento.	66
Tabela 23 – Característica do Rio Dourados a montante do lançamento.	68
Tabela 24 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes.	68
Tabela 25 – Dados da seção transversal do Córrego Laranja Doce.	69
Tabela 26 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes.	69
Tabela 27 – Dados da seção transversal do Rio Paraguai.	69
Tabela 28 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes.	70
Tabela 29 – Dados da seção transversal do Rio Taquari.	70
Tabela 30 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes.	70
Tabela 31 – Dados da seção transversal do Córrego Laranja Doce.	71
Tabela 32 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes.	71
Tabela 33 – Dados da seção transversal do Córrego São José.	71
Tabela 34 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes.	72
Tabela 35 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes.	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CECA	Conselho Estadual de Controle Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
E. coli	Escherichia coli
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
FBP	Filtro Biológico Percolador
DS	Decantador Secundário
LM	Lagoa de Maturação
LF	Lagoa Facultativa
FA	Filtro Anaeróbio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVA.....	14
3	OBJETIVO GERAL	16
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4	REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1	RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E VAZÕES DE REFERÊNCIA	17
4.2	QUALIDADE DAS ÁGUAS EM CORPOS RECEPTORES	18
4.3	PADRÕES DE LANÇAMENTO DE ESGOTO	21
4.3.1	Tratamento de Esgoto	22
4.4	MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA.....	24
4.5	AUTODEPURAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS.....	26
4.6	MODELAGEM DE AUTODEPURAÇÃO EM AMBIENTE LÓTICO	28
4.6.1	Coeficiente de Desoxigenação (K_1).....	31
4.6.2	Coeficiente de Remoção de DBO Efetiva do Rio (K_d)	31
4.6.2.1	<i>Influência da Temperatura</i>	32
4.6.3	Coeficiente de Reaeração (K_2).....	32
4.7	MODELAGEM DE COLIFORMES EM CORPOS HÍDRICOS.....	34
4.7.1	Coeficiente de Decaimento Bacteriano.....	35
4.8	Modelo de Qualidade de Corpos Hídricos QUAL-UFGM.....	35
5	MATERIAIS E MÉTODOS	37
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	37
5.2	LEVANTAMENTO DE DADOS	44
5.2.1	Estações de Tratamento de Esgoto	44
5.2.2	Corpos Hídricos	45
5.2.2.1	<i>Vazão de Permanência</i>	47
5.2.2.2	<i>Obtenção dos Coeficientes</i>	48
5.3	MODELAGEM DE QUALIDADE	49
5.4	ALOCAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO	49
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6.1	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	51
6.1.1	ETE Bonito.....	52
6.1.2	ETE Chapadão do Sul	53
6.1.3	ETE Corumbá (Maria Leite).....	54
6.1.4	ETE Coxim.....	55

6.1.5	ETE Dourados (Presídio).....	56
6.1.6	ETE Inocência.....	57
6.1.7	ETE Fátima do Sul	58
6.2	CORPOS RECEPTORES	59
6.2.1	Córrego Bonito corpo receptor da ETE Bonito	59
6.2.2	Rio Aporé corpo receptor da ETE Chapadão do Sul.....	61
6.2.3	Rio Paraguai corpo receptor da ETE Corumbá (Maria Leite)	62
6.2.4	Rio Taquari corpo receptor da ETE Coxim.....	64
6.2.5	Córrego Laranja Doce corpo receptor da ETE Dourados (Presídio).....	65
6.2.6	Córrego São José corpo receptor da ETE Inocência	66
6.2.7	Rio Dourados corpo receptor da ETE Fátima do Sul	67
6.3	OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES	68
6.3.1	Coeficientes da ETE Bonito	68
6.3.2	Coeficientes da ETE Chapadão do Sul.....	69
6.3.3	Coeficientes da ETE Corumbá (Maria Leite)	69
6.3.4	Coeficientes da ETE Coxim	70
6.3.5	Coeficientes da ETE Presídio (Dourados).....	71
6.3.6	Coeficientes da ETE Inocência	71
6.3.7	Coeficientes da ETE Fátima do Sul.....	72
6.4	MODELAGEM DE QUALIDADE	72
6.4.1	Modelagem de Qualidade da ETE Bonito	73
6.4.2	Modelagem de Qualidade da ETE Chapadão do Sul.....	75
6.4.3	Modelagem de Qualidade ETE Corumbá (Maria Leite)	76
6.4.4	Modelagem de Qualidade ETE Coxim.....	78
	Figura 29 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Taquari.....	80
6.4.5	Modelagem de Qualidade ETE Dourados (Presídio)	81
6.4.6	Modelagem de Qualidade ETE Fátima do Sul.....	83
6.4.7	Modelagem de Qualidade ETE Inocência	84
6.5	ALOCÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO	86
6.5.1	Pontos de Monitoramento da ETE Bonito	87
6.5.2	Ponto de Monitoramento ETE Chapadão do Sul	88
6.5.3	Pontos de Monitoramento da ETE Corumbá (Maria Leite).....	88
6.5.4	Ponto de Monitoramento ETE Coxim.....	89
6.5.5	Ponto de Monitoramento da ETE Dourados (Presídio).....	89
6.5.6	Ponto de Monitoramento ETE Fátima do Sul.....	90

6.5.7	Ponto de Monitoramento ETE Inocência	90
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICES.....	98
	Apêndice A - Estações de Tratamento de Esgoto objeto do estudo.....	99
	Apêndice B – Classificação dos corpos receptores de esgoto sanitário tratado.....	101
	Apêndice C - Estações Fluviométricas na área de interesse	103

1 INTRODUÇÃO

Países em desenvolvimento, tal como o Brasil, possuem índices de atendimento com coleta e tratamento de esgoto sanitário insatisfatórios, principalmente devido ao processo de urbanização desordenado, em que a população de baixa renda é condicionada, por sua situação econômica, a ocupar áreas de risco sem acesso aos serviços básicos de saneamento e aos problemas nas formas históricas de estruturação da prestação dos serviços de saneamento.

Apenas 61,4% da população brasileira tem acesso às redes coletoras de esgoto, assim mais de 65 milhões de pessoas ainda não dispõem de sistema coletivo para coleta e afastamento de esgoto e apenas 42,6% da população urbana é atendida com coleta e tratamento de esgoto (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA, 2017b).

É de extrema importância a coleta e o tratamento de esgoto para a qualidade de vida da população, pois a ausência destes serviços pode contribuir com a proliferação de doenças de veiculação hídrica e ocasionar a perda de qualidade dos recursos hídricos.

De acordo com ANA (2017b), nos locais onde há monitoramento de qualidade da água em corpos hídricos, verifica-se degradação da qualidade da água nos grandes centros urbanos. O resultado foi considerado "Ruim" ou "Péssimo" próximo aos grandes perímetros urbanos, enquanto a maioria dos pontos de monitoramento apresentou Índice de Qualidade da Água na categoria "Boa" no período de 2001 a 2015.

Em Mato Grosso do Sul a parcela da população atendida com coleta de esgoto é de 43%, enquanto a porcentagem de tratamento é de 42%. Deste modo, 98% do esgoto coletado é tratado, um dos maiores índices brasileiros (ANA, 2017c).

No Estado, os efluentes sanitários tratados são lançados em corpos hídricos. Assim sendo, as estações de tratamento de esgoto devem ser monitoradas continuamente, pois as águas superficiais, em condições naturais, possuem várias substâncias alteradas pelo lançamento de efluentes com possibilidade de causar sérios danos à saúde humana e ao ecossistema.

O monitoramento de corpos hídricos tem como finalidade acompanhar as características de rios e córregos, por meio de coleta de amostras de água e

determinação de parâmetros em locais específicos com dada frequência ao longo do tempo (CHAPMAN, 1996). Para definição da localização dos pontos de amostragem deve-se considerar o objetivo que se pretende alcançar com o monitoramento, detectar violações, determinar danos à saúde humana, à vida aquática e aos usos dos corpos hídricos entre outros.

No caso das estações de tratamento de esgoto, os objetivos do monitoramento são: identificar o atendimento aos padrões de qualidade estabelecidos para cada bacia hidrográfica, verificar o comportamento dos corpos hídricos após o lançamento de efluentes e avaliar a eficiência das estações de tratamento de esgoto.

Atualmente as estações de tratamento de esgoto operadas no Estado são monitoradas mensalmente, por amostras coletadas compostas de efluente bruto e tratado e por amostras de água coletadas a montante e a jusante dos corpos hídricos receptores de efluentes sanitários. O órgão ambiental define a frequência e os parâmetros a serem monitorados tanto nos efluentes quanto nos corpos hídricos e exige a apresentação periódica de relatórios de automonitoramento de estações de tratamento de esgoto.

Assim sendo, o monitoramento dos corpos receptores é definido principalmente pela facilidade do acesso, não considerando as características dos corpos hídricos e nem os estudos de autodepuração, definido como a diluição e assimilação de esgoto por processos físicos, químicos e bacteriológicos.

2 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011a), os efluentes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados diretamente em corpos hídricos após tratamento. Além disso, os efluentes também não poderão conferir ao corpo hídrico características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias, progressivas, intermediárias e finais do seu enquadramento.

Deste modo, tão importante quanto a definição da qualidade do efluente a ser diluído, é a realização de um monitoramento adequado em rios e córregos, pois permite avaliar o impacto das alterações nos corpos d'água em resposta às variáveis de entrada.

Ocorre que muitas vezes o ponto de monitoramento em corpos hídricos é definido pela facilidade do acesso para a coleta, portanto em locais com ausência de área de preservação permanente, embaixo de pontes, adjacentes a vias existentes e extremamente próximos aos emissários, o que acarreta resultados de análises dos parâmetros de qualidade com grande variabilidade, e por muitas vezes não representativos, resultando em conclusões precipitadas e até infrações ambientais.

Adicionalmente, algumas vezes os dados coletados não podem ser utilizados, para estudos ambientais devido à baixa confiabilidade, posto que as amostragens foram realizadas em locais inoportunos tais como em áreas de estagnação de água, próximo à margem interna de curvas e áreas de refluxo, excluindo assim uma extensa série de análises de qualidade, em um Estado que possui uma grande quantidade de corpos hídricos com ausência de dados de monitoramento de qualidade de água.

Para um monitoramento adequado, é necessário garantir a heterogeneidade longitudinal do corpo hídrico no local da coleta, no caso de lançamento de esgoto sanitário em corpos hídricos, o ponto propício é logo após a zona de mistura.

Como a caracterização de corpos hídricos é complexa e envolve muitas variáveis, pode-se conduzir à elaboração de programas de amostragem com uma relação custo/benefício inadequada (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, 2011) Assim sendo, a definição de um monitoramento conciso e que cumpra o objetivo a que foi destinado é extremamente importante.

Uma possibilidade para alocação ideal destes pontos é o uso da modelagem matemática, utilizada para determinar a variação de determinada carga poluente em função do espaço e do tempo, baseada em dados de qualidade e vazão dos corpos

hídricos receptores e de efluentes, estabelecendo as zonas de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de áreas limpas.

3 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é alocar de forma adequada os pontos de monitoramento nos corpos hídricos a montante e a jusante dos emissários de 49 estações de tratamento de esgoto no Estado de Mato Grosso do Sul, considerando as zonas de mistura e de decomposição ativa, fazendo uso de modelagem de qualidade da água

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) caracterizar a qualidade e vazão dos corpos hídricos nas seções de monitoramento a montante dos emissários de esgoto tratado;
- b) possibilitar a modelagem de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Escherichia coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado em diversos corpos hídricos, conhecendo o comportamento dos rio se córregos após o lançamento de efluente;
- c) propor uma metodologia para definição de pontos de monitoramento em corpos hídricos após o lançamento de esgoto sanitário tratado.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E VAZÕES DE REFERÊNCIA

As vazões de corpos hídricos variam conforme o clima, cobertura vegetal e sazonalmente, e são medidas indiretamente por estações fluviométricas, medem-se os níveis de água que depois são transformados em vazões por meio da curva chave, característica daquele local. Estudos hidrológicos dependem da qualidade e representatividade dos registros fluviométricos, de modo que caracterizem a variabilidade das vazões de corpos hídricos (VON SPERLING, 2014).

As vazões máximas dos cursos de água ocorrem de fortes precipitações e podem ser obtidas a partir de uma distribuição de probabilidade. A vazão média é relacionada à disponibilidade hídrica da bacia, enquanto a vazão mínima é utilizada para planejamento da bacia e avaliação dos padrões ambientais do corpo receptor, para alocação de cargas poluidoras e para concessão de outorgas de captação e de lançamento (TUCCI, 2009).

Nas vazões mínimas os corpos hídricos são alimentados pela lenta drenagem da água armazenada nos lençóis subterrâneos, durante longos períodos de estiagem. A frequência e severidade destes fenômenos podem provocar problemas de abastecimento, a manutenção dos ecossistemas aquáticos bem como redução da capacidade de autodepuração de corpos hídricos.

As vazões mínimas podem ser extraídas de curvas de permanência, calculadas a partir de dados fluviométricos dos cursos de água, entre os métodos mais utilizados a Q_{95} , vazões que em 95% dos dados diários de vazão são iguais ou superiores a vazão de permanência (VON SPERLING, 2014).

No estado de Mato Grosso do Sul, a Resolução CERH/MS 25, de 3 de março de 2015 (MATO GROSSO DO SUL, 2015a), que estabeleceu critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos, definiu a utilização vazão de referência Q_{95} (vazão com permanência de 95% do tempo) para a análise de disponibilidade hídrica dos corpos hídricos superficiais no estado.

Enquanto a Resolução SEMADE 21, de 27 de novembro de 2015 (MATO GROSSO DO SUL, 2015b), que estabeleceu normas e procedimentos para a outorga de recursos hídricos, definiu como vazão de diluição de efluente, que representa a

vazão outorgável, a vazão do corpo hídrico necessária para diluir a concentração do parâmetro de qualidade até a concentração de sua classe de enquadramento.

Em Mato Grosso do Sul, os parâmetros de qualidade considerados na análise da outorga são Demanda Bioquímica de Oxigênio e Temperatura. Em locais suscetíveis à eutrofização, também são analisados o Nitrogênio Amoniacal Total e o Fósforo.

Os critérios de outorga de uso de recursos hídricos para o setor de saneamento foram definidos pela Resolução CERH/MS 44, DE 13 de julho de 2017 (MATO GROSSO DO SUL, 2017), que estabeleceu como vazão máxima outorgável para lançamento de efluentes, 100% da vazão de referência (Q_{95}) em locais onde possuam estações de tratamento de esgoto instaladas ou em processo de instalação até a data de publicação da resolução e de 50% da vazão de referência em caso de novos empreendimentos de saneamento.

4.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS EM CORPOS RECEPTORES

A qualidade das águas é resultado de fenômenos naturais e do uso e ocupação do solo, e pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características. Na sequência são apresentados alguns parâmetros relacionados à avaliação da poluição dos corpos de água por matéria orgânica (VON SPERLING, 2014).

- a) oxigênio dissolvido é de essencial importância para os organismos aeróbios, em caso de consumo total tem-se as condições anaeróbias e geração de mal odores;
- b) temperatura é a medição da intensidade de calor, elevações das temperaturas aumentam as taxas de reações e as taxas de transferência de gases e diminui a solubilidade dos gases, além de aumentar a sedimentação.
- c) matéria Orgânica é a principal causa da poluição das águas; Devido à grande dificuldade da determinação laboratorial da caracterização da matéria orgânica, faz-se uso de métodos indiretos de quantificação, sendo a principal categoria a medição do consumo de oxigênio (Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO);
- d) coliformes fecais são grupos de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e de outros animais;

e) *Escherichia Coli* é a principal bactéria do grupo coliformes fecais, abundante em fezes humanas e de animais. A sua detecção em laboratório é simples, além disso, é o único parâmetro de contaminação exclusivamente fecal, motivo por qual é largamente utilizado atualmente.

A *E. coli* é considerada o indicador de contaminação fecal, mais apropriado para água doce (VON SPERLING, 2017; HEALTH CANADA, 2012), pois é abundante em fezes humanas e de outros animais homeotérmicos, mais resistente do que bactérias patogênicas em ambientes livres, tem simples detecção e é o único indicador que dá a garantia de contaminação exclusivamente fecal, não necessariamente humana, motivos por qual é largamente utilizado atualmente.

Um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) é o enquadramento de corpos hídricos em classes de acordo com a qualidade requerida para seus usos preponderantes. O enquadramento é um instrumento de gestão de recursos hídricos, no âmbito do planejamento, que manifesta por meio de metas intermediárias e finais de qualidade.

Na resolução CONAMA 357/2005, alterada pela resolução e 430/2011 (BRASIL, 2011a), são indicados as condições e padrões de cada classe, conforme a destinação da água (Quadro 1), além dos limites individuais para cada substância em cada classe (Tabela 1).

Em Mato Grosso do Sul, a atribuição das classes dos rios do Estado foi estipulada pela Deliberação CECA 36/2012 (MATO GROSSO DO SUL, 2012). Recentemente também foi aprovado o enquadramento dos corpos de água superficiais dos córregos Água Boa, Rêgo d'Água e Paragem, localizados no município de Dourados, em classes de uso pela Resolução CERH/ MS 056, de 13 de dezembro de 2018 (MATO GROSSO DO SUL, 2018).

Quadro 1 – Usos das águas doces de acordo com a CONAMA 357/2005

	Abastecimento para consumo	Recreação	Comunidades Aquáticas	Irrigação	Pesca e Pecuária
Classe Especial	Com desinfecção		Preservação do equilíbrio natural e Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de Proteção integral		
Classe 1	Após tratamento simplificado	De contato primário	Proteção das comunidades aquáticas inclusive em terras indígenas	Hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolve rente ao solo	
Classe 2	Após tratamento convencional		Proteção das comunidades aquáticas	Hortaliças, plantas frutíferas, de parques, jardins, campos de esporte	Aquicultura e pesca
Classe 3	Após tratamento convencional ou avançado	De contato secundário	-	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	Pesca amadora e dessedentação de animais
Classe 4	Harmonia paisagística e navegação				

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005).

Tabela 1 – Padrões de qualidade de acordo com a CONAMA 357/2005 para as águas doces e ambientes lóticos

Parâmetro	Unidade	Padrões para classe dos corpos hídricos			
		1	2	3	4
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C				
Materiais sedimentáveis	mL/L				
DBO₅	mg/L	3	5	10	-
Óleos e graxas	mg/L				
Oxigênio Dissolvido	mg/L	≥6	≥5	≥4	≥2
Cor	mg Pt/L		75	75	
Coliformes termotolerantes	org/100 ml	200	1000	2500	-

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005,2011).

Em relação ao parâmetro coliforme, tanto a Resolução CONAMA 357/2005 quanto a Deliberação CECA 36/2012, permite a substituição do parâmetro coliforme

termotolerante por *E. coli*, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Com a finalidade de alterar a legislação ambiental do Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do Estado de São Paulo realizou análises de *E. coli* e coliformes termotolerantes em águas superficiais entre 2004 e 2005. Assim concluíram que, levando em consideração as análises realizadas e os parâmetros estatísticos aplicados, poder ia-se adotar valores para *E. coli* equivalente a 80% das concentrações de coliformes termotolerantes (CETESB, 2008).

Dessa forma, considerando os limites estabelecidos de *E. coli* para corpos hídricos o máximo permissível para classe 1 seria de 160 UFC/100 mL, classe 2 de 800 UFC/100 mL e classe 3 de 2.000 UFC/100 mL.

4.3 PADRÕES DE LANÇAMENTO DE ESGOTO

A Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011a), trata dos padrões de lançamento de esgoto sanitário tratado e admite que concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade serão admitidos na zona de mistura, desde que não comprometa os usos previstos para o mesmo. Sendo a zona de mistura definida como região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente.

Tal resolução têm como objetivo a preservação dos corpos hídricos porque o esgoto sanitário tratado, além de atender os padrões de qualidade de lançamento, também não deve desenquadrar o corpo hídrico receptor. Isto é, a qualidade e os usos previstos devem ser mantidos.

Em Mato Grosso do Sul, os padrões de lançamento de esgoto sanitário tratado foram definidos pelo Conselho Estadual de Controle Ambiental por meio da Deliberação CECA 36, de 27 de junho de 2012 (MATO GROSSO DO SUL, 2012), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências.

De modo geral, esta deliberação se assemelha à legislação federal, sendo mais restritiva em relação aos parâmetros óleos e graxos e DBO. De acordo com a legislação estadual, só pode ocorrer lançamento de esgoto tratado com DBO acima

de 120 mg/L se a eficiência do sistema de remoção da DBO for superior a 80% enquanto a concentração de óleos e graxas deve ser inferior a 50 mg/L.

Na tabela 1 são mostrados os padrões de qualidade de lançamento de efluentes sanitários tratados.

Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluente sanitário tratado

Parâmetro	Unidade	Padrões de lançamento de efluente sanitário de acordo com a CONAMA 430/2011	Padrões de lançamento de efluente sanitário de acordo com a CECA/2012
pH	-	5 a 9	5 a 9
Temperatura	°C	<40 ⁽¹⁾	<40 ⁽¹⁾
Materiais sedimentáveis	mL/L	1	1
DBO	mg/L	120 ⁽²⁾	120 ⁽³⁾
Óleos e graxas	mg/L	100	50
Oxigênio Dissolvido	mg/L	-	-
Cor	mg Pt/L	-	-
Coliformes termotolerantes	org/100 ml	-	-

Notas: ⁽¹⁾: variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura. ⁽²⁾: O limite poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. ⁽³⁾: O limite poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 80% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005, 2011) e CECA (2012)

4.3.1 Tratamento de Esgoto

O esgoto sanitário é composto por esgotos domésticos, águas de infiltração e eventualmente por despejos industriais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1986).

As características dos esgotos sanitários variam em função do uso da água, do clima, dos hábitos da população e também ao longo do tempo, o que torna extremamente complexa a sua caracterização. Há também variação da quantidade de esgoto gerado, pois o consumo de água oscila ao longo do dia, da semana e do ano (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999; NUVOLARI, 2011; JORDÃO; PESSOA, 2014).

Os parâmetros de qualidade indicam as características dos efluentes e são extremamente importantes para definição dos sistemas de tratamento de esgoto.

Alguns parâmetros importantes e respectivos valores típicos encontrados no esgoto bruto são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores típicos de esgoto bruto

Parâmetro	Unidade	Faixa	Típico
DBO_{5,20°C}	mg/L	200 – 500	350
DQO	mg/L	400 – 800	700
Oxigênio dissolvido	mg O ₂ /L	0	0
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ -N/L	20 – 40	30
Fósforo	mg P/L	5 – 25	14
pH	-	6,5 - 7,5	7,0
Sólidos suspensos	mg/L	200 – 450	400
Sólidos sedimentáveis	mg/L	10 – 20	15
E. coli	org/100mL	10 ⁹ -10 ¹²	-
Coliformes termotolerantes	org/100mL	10 ⁹ -10 ¹²	-

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005), Von Sperling (2014) Jordão e Pessoa (2014) e Metcalf e Eddy (2003).

Nos esgotos brutos os teores de Oxigênio Dissolvido são normalmente nulos ou próximos a zero em razão da grande quantidade de matéria orgânica existente, implicando em um elevado consumo de oxigênio por micro-organismos decompositores (VON SPERLING, 2007; JORDÃO; PESSOA, 2014).

O tratamento de esgoto pode ser dividido em tratamento preliminar, secundário e terciário. O tratamento preliminar, na maioria das vezes, é composto por gradeamento e desarenador, de modo a remover sólidos grosseiros e partículas sedimentáveis. Também há instalações de equipamentos, tais como calha parshall, para medição de vazão do esgoto bruto.

Já o tratamento secundário é biológico e tem como principal objetivo a remoção da carga orgânica. De modo geral é similar aos processos naturais que ocorrem em corpos hídricos após o lançamento de despejo, todavia em condições controladas e em taxas mais elevadas.

Já o tratamento terciário tem como finalidade a remoção de poluentes específicos como nitrogênio, fósforo e coliformes.

Em Mato Grosso do Sul a maioria dos sistemas implantados é composto por tratamento preliminar seguido de tratamento secundário. Na tabela 4 são apresentadas as faixas de eficiência na remoção de DBO e coliformes em sistemas de tratamento de esgotos domésticos usualmente empregados no Estado.

Tabela 4 – Eficiências médias de sistema de tratamento de esgoto

Tipo de Sistemas de Tratamento		Eficiência média na remoção de DBO (%)	Eficiência na remoção de coliformes (%)
Lagoas de estabilização	Lagoa Facultativa	75%-85%	80-99%
	Lagoa Facultativa+Lagoa de Maturação ⁽¹⁾	75%-85%	80-99%
	Lagoa Anaeróbia+Lagoa Facultativa+Lagoa de maturação	80%-85%	99-99,99%
Reatores Anaeróbios + Eeróbios	Reator UASB	60-75%	70-90%
	Reator UASB + Filtro Anaeróbio	75-87%	70-90% ⁽²⁾
	Reator UASB + Filtro Biológico Percolador	80-93%	70-90% ⁽²⁾
	Reator UASB + Filtro Biológico Percolador + Decantador Secundário ⁽³⁾	80-93%	70-90% ⁽³⁾
	Reator UASB + Lagoa de Polimento	77-87%	99-99,9% ⁽²⁾
	Reator UASB + Biofiltro aerado	83-93%	75-90% ⁽²⁾
	Reator UASB+lodos ativados	83-93	75-90% ⁽²⁾

Notas: ⁽¹⁾ Foi considerada a eficiência média da lagoa facultativa na remoção de DBO e a eficiência média da lagoa de maturação na remoção de coliformes.

⁽²⁾ A eficiência global foi considerada como a eficiência do pós-tratamento, como se o efluente tratado fosse bruto.

⁽³⁾ Para este sistema foi desconsiderado a eficiência do decantador secundário.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007)

4.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA

De acordo com Von Sperling (2007), ao se programar o monitoramento de corpos hídricos, deve-se ter definido o seu principal objetivo: realização de estudos específicos e emergenciais, calibração de modelos, acompanhamento periódico da qualidade das águas, de modo a formar um banco de dados e a avaliação do atendimento à legislação.

O monitoramento para atendimento à legislação é extremamente importante, pois quando há lançamento de efluente em corpos hídricos, dependendo da vazão e qualidade do efluente, podem ocorrer danos ao corpo hídrico receptor, principalmente a redução da concentração de oxigênio dissolvido, afetando a biota aquática.

A primeira etapa para determinar as características do corpo d' água e do efluente é coletar informações das unidades hidrográficas como: uso do solo, concentração populacional e densidade demográfica, uso das águas superficiais e informações hidrológicas, cartográficas e climatológicas, caracterização das fontes poluidoras, determinações de vazões, aspectos de saúde e sanitários além da avaliação da necessidade de bioensaios (ABNT, 1987).

Após o levantamento de informações, deve ser realizado um reconhecimento em campo para verificação das vias de acesso aos possíveis pontos de coleta de dados. Para o monitoramento de atendimento à legislação, devem ser escolhidos pontos onde a probabilidade de ocorrência de violação seja maior, além disso, devem ser definidos no mínimo dois pontos de amostragem, sendo que um deles deve ser a referência do corpo receptor (ABNT, 1987).

Entretanto, a norma não define uma regra para demarcação dos pontos de amostragem. Já a CETESB (2011) determina que quando o objetivo do monitoramento é avaliar os efeitos de um efluente na qualidade da água de um rio ou córrego, é extremamente necessário selecionar os locais de amostragem cuidadosamente, porque considerando a heterogeneidade dos corpos hídricos, deve-se escolher um local representativo de todo o sistema.

No caso do lançamento de esgoto sanitário em corpos hídricos, o fator responsável pela heterogeneidade de um corpo hídrico é a zona de mistura, deste modo a coleta deve ser realizada após a completa mistura do efluente tratado com o corpo hídrico.

Recomenda-se também que amostras não sejam retiradas próximas às margens de rios e canais, em áreas de estagnação, pois as coletas nestes locais não são representativas de todo o corpo de água, e nem embaixo de pontes, visto que sua presença pode interferir ou alterar as características dos corpos hídricos.

Em relação à periodicidade, caso o objetivo do monitoramento seja controle das amostragens em corpos hídricos, deve ser realizado no mínimo mensalmente (ABNT, 1987), todavia a CETESB (2011) recomenda estudar a concentração dos constituintes de um corpo d'água ao longo do tempo para a determinação da temporalidade, possivelmente visando a economia de recursos.

Já em relação aos parâmetros a serem monitorados, deve-se considerar as características do efluente bruto e dos processos que produzem o efluente tratado. Segundo a ABNT (1987), os parâmetros para o controle de esgotos sanitários tratados são 30, sendo os principais: alcalinidade, coliformes fecais, coliformes totais, DBO₅, DQO, óleos e graxas, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrato, nitrito, e nitrogênio total, fosforo total, sólidos sedimentáveis e temperatura.

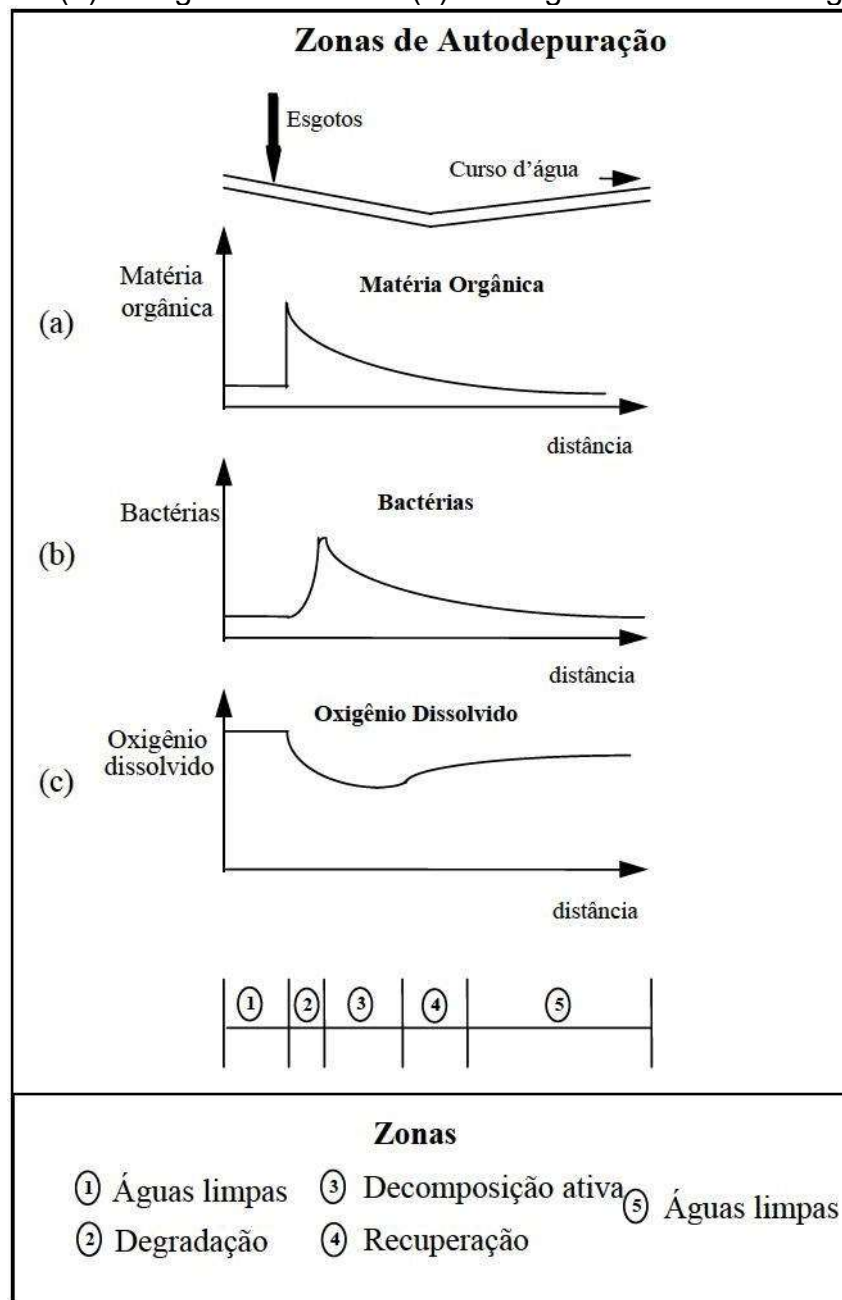
4.5 AUTODEPURAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS

O fenômeno da autodepuração é definido como o restabelecimento do equilíbrio nos corpos hídricos após as alterações provocadas por lançamento de efluentes. Contudo, de acordo com Von Sperling (2007), o meio aquático e os ecossistemas atingem o equilíbrio em condições diferentes das anteriores, posto que há acréscimos de produtos e subprodutos de decomposição.

Como a autodepuração se desenvolve ao longo do tempo, apresenta quatro zonas distintas: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas (VON SPERLING, 2007).

A zona de degradação é caracterizada pela alta concentração de matéria orgânica no corpo hídrico, a zona de decomposição ativa apresenta forte atividade microbiana, é onde a qualidade da água encontra-se mais deteriorada, a zona de recuperação, é onde se inicia a etapa de restabelecimento do equilíbrio e, por fim, a zona de água limpas em que o rio apresenta as características anteriores quanto ao oxigênio dissolvido, matéria orgânica e coliformes (Figura 1).

Figura 1 - Perfil de concentração de matéria orgânica (a), bactérias decompositoras (b) e oxigênio dissolvido (c) ao longo de um curso d' água



Fonte: Von Sperling (2007).

Todavia, quando a carga de lançamento de esgoto é maior que a capacidade de autodepuração do corpo de água, a ausência de oxigênio provoca, além de problemas estéticos, a liberação de odor e mortandade de seres aquáticos.

Para que isto não ocorra, deve-se fazer uso de modelos matemáticos de qualidade da água em que é permitido simular condições reais, que poderiam ocorrer em uma faixa de incertezas, prevendo assim a capacidade de corpos hídricos de

receber efluentes, além de quantificar os impactos em decorrência destes lançamentos (TUCCI, 1998).

A utilização de modelos permite então a definição da zona de mistura, que se estende desde o ponto de lançamento de efluente e é delimitada pela superfície em que é atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e do corpo receptor (BRASIL, 2011b). Isto define onde ocorre a mistura completa do efluente com as águas do corpo receptor (MATO GROSSO DO SUL, 2012).

De acordo com a legislação federal, na zona de mistura são admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo (BRASIL, 2011b).

Enquanto a legislação estadual trata que os limites de DBO, estabelecidos para as águas doces de classe 2 e 3 poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor, em condições de vazão de referência, demonstre que as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido previstas não serão desobedecidas com exceção da zona de mistura (MATO GROSSO DO SUL, 2012).

4.6 MODELAGEM DE AUTODEPURAÇÃO EM AMBIENTE LÓTICO

O lançamento de matéria orgânica é uma das principais causas de degradação dos corpos hídricos devido ao excesso de consumo de oxigênio dissolvido pela respiração dos micro-organismos decompositores durante a estabilização da matéria orgânica. Com isto, a matéria orgânica é transformada em compostos tais como gás carbônico e água e o oxigênio dissolvido é reincorporado aos corpos hídricos seja pela respiração das algas ou por processos de aeração (VON SPERLING, 2014).

A matéria orgânica e o oxigênio dissolvido são representados por um único parâmetro, a DBO, sendo que a DBO remanescente é a concentração de matéria orgânica remanescente no corpo hídrico e a DBO exercida é o oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica até um dado momento (VON SPERLING, 2007).

Os processos biológicos, em corpos hídricos, ocorrem segundo os três eixos do corpo d'água, embora seja predominante o eixo longitudinal (x) em rios (VON SPERLING, 2017). Deste modo, nos cálculos dos perfis de concentração em corpos

d'água assume-se a hipótese simplificadora de condições de fluxo em pistão ideal, nos quais a dispersão é nula.

A utilização destes modelos de qualidade de água, mesmo que não seja a condição ideal, permite uma melhor estimativa do espalhamento da concentração de poluentes lançados em rios e córregos.

O primeiro modelo clássico da variação da concentração de oxigênio dissolvido em razão do tempo foi descrito por Steeter e Phelps em 1925. Este modelo ainda hoje serve de base para maior parte dos modelos existentes, voltados a modelagem do oxigênio dissolvido em corpos hídricos.

No Brasil, de acordo com Von Sperling (2007), o modelo de Steeter & Phelps é largamente utilizado, devido à simplicidade e a menor necessidade de dados de entrada, para o controle da qualidade das águas e para prognosticar danos decorrentes da implantação de empreendimentos.

O modelo de Steeter e Phelps é constituído por duas equações diferenciais ordinárias: uma modela a oxidação da parte biodegradável da matéria orgânica e outra o fluxo de oxigênio proveniente da reaeração atmosférica. Essas equações são nomeadas de equações de demanda bioquímica de oxigênio e de reaeração.

A DBO remanescente, denominada como concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida em um dado instante, é processada segundo uma reação de primeira ordem, expressa de acordo com a equação (1)

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 \times L \quad (1)$$

Na qual:

L = concentração de DBO remanescente (mg/L);

t = tempo (dia);

K₁=coeficiente de desoxigenação (dia⁻¹).

Assim, quanto maior a concentração de matéria orgânica, mais rápida será a desoxigenação. Ainda de acordo com Von Sperling (2007), a integração da equação acima entre os limites de L=L₀ e L=L_t e t=0 e t=t, resulta em:

$$L = L_0 \times e^{-K_1 \times t} \quad (2)$$

Na qual:

L = DBO remanescente;

L_0 = DBO remanescente em $t=0$.

Na água, ao ser exposta a um gás, ocorre uma constante transferência de moléculas da fase líquida para gasosa e vice e versa. Quando a concentração de solubilidade na fase líquida é atingida, ambos os fluxos passam a ser de mesma intensidade, sendo este equilíbrio definido como concentração de saturação (C_s) do gás na fase líquida (VON SPERLING, 2017).

O consumo do oxigênio nos processos de estabilização da matéria orgânica faz com que a concentração de oxigênio esteja abaixo da saturação. Assim há uma maior passagem do oxigênio atmosférico para massa líquida.

A cinética da reaeração pode ser também caracterizada por uma equação de primeira ordem, do mesmo modo que a desoxigenação, com a seguinte equação:

$$\frac{dD}{dt} = -K_2 \times D \quad (3)$$

No qual:

D = déficit de oxigênio dissolvido, isto é a diferença entre a concentração de saturação (C_s) e a concentração existente em um tempo t (C) (mg/L);

t = tempo (dia);

K_2 = coeficiente de reaeração (dia⁻¹).

Deste modo, quanto maior o déficit, maior a taxa de transferência de oxigênio para a massa líquida. A integração da equação acima com D_0 em $t=0$ resulta em:

$$D = D_0 \times e^{-K_2 \times t} \quad (4)$$

Em que:

D_0 = déficit de oxigênio inicial.

Ou

$$C = C_s - (C_s - C_0) \times e^{-K_2 \times t} \quad (5)$$

Em que:

C = Concentração de OD em um tempo t (mg/L).

4.6.1 Coeficiente de Desoxigenação (K_1)

O coeficiente de desoxigenação da matéria orgânica (k_1) representa a taxa de degradação da mesma. Assim, efluentes tratados de modo geral possuem uma taxa de degradação lenta, pois a matéria orgânica facilmente degradada já foi removida durante o tratamento (VON SPERLING, 2007).

Seguem na Tabela 5 valores de K_1 obtidos em laboratório.

Tabela 5 – Valores tabulados para o coeficiente K_1	
Origem	K_1 (dia ⁻¹)
Esgoto bruto concentrado	0,35-0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40
Efluente primário	0,30-0,40
Efluente secundário	0,12-0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08-0,20

Fonte: Adaptado de Fair *et al* (1973) e Arceivala (1981).

4.6.2 Coeficiente de Remoção de DBO Efetiva do Rio (K_d)

Ao se comparar o coeficiente de desoxigenação medido em laboratório com o observado no corpo hídrico, nota-se que são diferentes. O do corpo hídrico tende a ser superior ao de laboratório, principalmente devido à sedimentação da DBO (CHAPRA, 1997).

Na Tabela 6 há um resumo das faixas de valores dos coeficientes K_1 e K_d para rios rasos, de profundidade inferior a 1,0 ou 1,5 metros, e para rios profundos, de profundidade superior a 1,0 ou 1,5 metros.

Tabela 6 – Valores tabulados para o coeficiente K_1 e K_d			
Origem	K_1 (dia ⁻¹) Laboratório	K_d (rio)	
		Rios rasos	Rios profundos
Esgoto bruto concentrado	0,35-0,45	Esgoto bruto concentrado	0,35-0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40	Esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40
Efluente primário	0,30-0,40	Efluente primário	0,30-0,40
Efluente secundário	0,12-0,24	Efluente secundário	0,12-0,24
Curso d' água com águas limpas	0,08-0,20	Curso d' água com águas limpas	0,08-0,20

Fonte: Von Sperling (2007).

4.6.2.1 Influência da Temperatura

Segundo Von Sperling (2007) a temperatura influencia o metabolismo microbiano. A correção da temperatura do coeficiente de desoxigenação pode ser realizada pela equação (6):

$$K_{1(T)} = K_{1(T=20)} \times \theta^{(T-20^{\circ}\text{C})} \quad (6)$$

Na qual:

K_1 = coeficiente de desoxigenação (dia^{-1});

Θ = coeficiente de temperatura;

T = temperatura do fluido ($^{\circ}\text{C}$).

Em geral o valor de Θ é tabulado, conforme os seguintes valores indicados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores tabulados para o coeficiente K_1 e K_d		
Parâmetro Considerado	Θ	Autor/Bibliografia
DBO	1,047	Chapra (1997) e Von Sperling (1996)
DBO (digestão no sedimento)	1,080	Chapra (1997)
Remoção de Patógenos	1,070	Thomann e Muller (1997) apud Von Sperling (1996)
Coeficiente de reaeração	1,024	Von Sperling (1996)
Nitrificação	1,040	Swayer e MacCarty (1967)
Fotossíntese de Algas	1,065	Swayer e MacCarty (1967)
Zooplankton	1,060	Swayer e MacCarty (1967)

Fonte: Von Sperling (2007).

A equação acima é válida para correção do coeficiente de reaeração descrito a seguir.

4.6.3 Coeficiente de Reaeração (K_2)

Segundo Von Sperling (2005) a reaeração (k_2) é responsável pela introdução do oxigênio nos corpos hídricos, portanto apresenta dependência com a difusividade do oxigênio na água e com o tipo de escoamento. Quanto maior a turbulência apresentada pelo córrego/rio, maior será a difusividade do O_2 , ou seja, haverá maior troca de gases entre água e atmosfera.

Ao observar a profundidade de um corpo hídrico, percebe-se que devido ao fato de as trocas gasosas ocorrerem exclusivamente na lâmina d'água e nas proximidades desta, em córregos/rios mais profundos há um decréscimo na taxa de reaeração, devido à diminuição da relação entre a área de troca e a massa líquida.

Para o modelo proposto, adotam-se fórmulas empíricas, que têm como variáveis a velocidade (caracteriza o tipo de escoamento) e a profundidade média do canal/corpo hídrico (caracteriza a difusividade do O_2). Na tabela 8 tem-se as principais equações empíricas e suas condições de aplicação em função da velocidade (v) e profundidade (H).

Tabela 8 – Equações empíricas utilizadas na determinação de K_2

Autores	Equação	Condição de aplicação
O'Connor e Dobbins (1958)	$12,9 \times v^{0,5} \times H^{-1,5}$	$0,15 < v < 0,60 \text{ m.s}^{-1}$ $0,30 < H < 9,0 \text{ m}$
Churchill (1962)	$5,026 \times v \times H^{-1,67}$	$0,55 < v < 1,52 \text{ m.s}^{-1}$ $0,61 < H < 3,35 \text{ m}$
Owens, Edward e Gibbs (EPA, 1985)	$5,3 \times v^{0,67} \times H^{1,85}$	$0,12 < v < 3,30 \text{ m.s}^{-1}$ $0,03 < H < 1,5 \text{ m}$
Autores	Equação	Condição de aplicação
Owens et. al	$(D_o \times v)^{0,5} \times H^{-1,5}$	
O'Connor e Dobbins	$23,3 \times v^{0,73} \times H^{-1,75}$	$0,03 < v < 0,6 \text{ m.s}^{-1}$ $0,12 < H < 3,4 \text{ m}$

Na qual:

v = velocidade (m/s);

H = profundidade do corpo hídrico (m);

D_o – coeficiente de difusividade molecular do $O_2 = 1,76.10^{-4} \text{ m}^2.\text{dia}^{-1}$.

Fonte: Von Sperling (2007).

Em caso de ausência de dados das características específicas dos corpos hídricos, o coeficiente de reaeração pode ser estimado por valores médios já tabelados (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores médios de coeficiente de reaeração

Corpos d'água	K_2 (d⁻¹)	
	Rios rasos	Rios profundos
Pequenas lagoas	0,23	0,12
Rios vagarosos, grandes lagos	0,37	0,23
Grandes rios com baixa velocidade	0,46	0,37
Grandes rios com velocidade normal	0,69	0,46
Rios rápidos	1,15	0,69
Corredeiras e quedas d'água	>1,61	>1,15

Fonte: Próprio autor.

Entretanto, os valores obtidos por meio da tabela 9, na maioria das vezes, são inferiores aos resultantes de outros métodos de quantificação do coeficiente de reaeração.

4.7 MODELAGEM DE COLIFORMES EM CORPOS HÍDRICOS

O lançamento de esgoto, com concentração de coliformes, em corpos hídricos pode não gerar um impacto à biota do corpo hídrico em si, mas pode afetar usos tais como balneabilidade e abastecimento de água potável. Deste modo é extremamente importante o conhecimento sobre estes agentes transmissores de doenças (VON SPERLING, 2007).

De modo geral, estes agentes possuem no trato intestinal humano um ambiente adequado para sua sobrevivência, todavia, quando expostos às condições adversas como em corpos hídricos, tendem a decair.

De acordo com Von Sperling (2014), a taxa de mortalidade das bactérias pode ser estimada pela Lei de Chick, em que a taxa de remoção é diretamente proporcional à concentração de bactérias (reação de primeira ordem):

$$\frac{dN}{dt} = -K_b \times N \quad (7)$$

Na qual:

N = Número de coliformes (org/100 mL ou NNP – Número mais provável por 100 mL);

K_b = Coeficiente de decaimento bacteriano (d^{-1});

T = Tempo (d).

De acordo com Von Sperling (2007) a integração da equação 4 conduz à fórmula para o cálculo da concentração de coliformes em rios após um tempo t.

$$N = N_0 \times e^{-K_b \times t} \quad (8)$$

Na qual:

N_0 = contagem de coliformes no ponto inicial da mistura ($t=0$) (NMP/100mL);

N = contagem de coliformes após um tempo t (NMP/100mL);

K_b = coeficiente de decaimento bacteriano (d^{-1});

T = tempo (d).

Ainda de acordo com Von Sperling (2007), o efeito da temperatura no coeficiente de decaimento dos microrganismos pode ser realizado através de:

$$K_{b(T)} = K_{b(T=20)} \times \theta^{(T-20^{\circ}\text{C})} \quad (9)$$

Onde:

K_b = coeficiente de decaimento bacteriano (d^{-1});

θ = coeficiente de temperatura

T = temperatura do fluido ($^{\circ}\text{C}$).

Um valor médio para θ utilizado para este estudo é 1,07 (CASTAGNINO, 1977; THOMANN; MUELLER, 1987).

4.7.1 Coeficiente de Decaimento Bacteriano

A mortandade de microrganismos em distintos corpos de água na maioria das vezes está associada a diferentes valores de K_b . Valores de K_b obtidos através de estudos de água doce variam em uma ampla faixa, todavia os valores típicos são: (ARCEIVALA, 1981; UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 1985; THOMANN; MUELLER, 1987).

$$K_b = 0,5 \text{ a } 1,5 \text{ d}^{-1} (\text{base e}, 20^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Valor típico} \approx 1,0 \text{ d}^{-1}$$

4.8 MODELO DE QUALIDADE DE CORPOS HÍDRICOS QUAL-UFMG

Os processos de transporte e difusão de poluentes em corpos hídricos são extremamente complexos, assim, só é possível descrevê-los através da utilização de modelos matemáticos. Deste modo, os modelos matemáticos têm sido largamente utilizados como ferramentas de suporte a gestão e uso dos recursos hídricos.

Há diversos modelos de qualidade de água, que simulam a concentração de oxigênio dissolvido em rios e córregos, sendo que a principal diferença entre os modelos são os dados de entrada e os modos de representação.

Todos os modelos apresentam vantagens e desvantagens em sua aplicação, mas todos produzem resultados satisfatórios, desde que sejam devidamente aplicados.

De acordo com Cox (2003), para a escolha do modelo é necessário avaliar o ambiente modelado, o objetivo, o número de dimensões consideradas, a forma como os processos são descritos, a disponibilidade de dados e a variabilidade temporal.

A escolha de um modelo deve depender de tempo, custo financeiro, aplicação específica e disponibilidade de dados. Para realização das simulações de qualidade da água neste estudo foi utilizado o modelo QUAL-UFMG.

O QUAL-UFMG é uma adaptação do modelo QUAL2E, desenvolvido por Von Sperling (2007) em planilha Excel, permitindo aplicações simples de modelagens de qualidade de corpos hídricos.

De acordo com Von Sperling (2014), o QUAL-UFMG não modela algas, pois estas são mais importantes na simulação de ambientes lênticos. Além disso, a utilização deste componente traz uma complexidade ao modelo principalmente devido à dificuldade na determinação dos coeficientes.

O QUAL-UFMG permite a modelagem dos parâmetros de interesse neste estudo: demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido e E. coli. Além disso também possibilita a modelagem do nitrogênio total e fósforo total e suas frações.

Na literatura podem ser encontrados diversos trabalhos científicos que fazem uso do QUAL-UFMG como: Teodoro *et al.* (2013), Salla *et al.* (2013) e Oliveira Filho *et al.* (2016). Nestes o modelo é utilizado para o cálculo da vazão de diluição de efluentes e para modelagem de corpos hídricos com a finalidade de planejamento de bacias hidrográficas.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração desta dissertação optou-se por dividir a metodologia nas seguintes etapas:

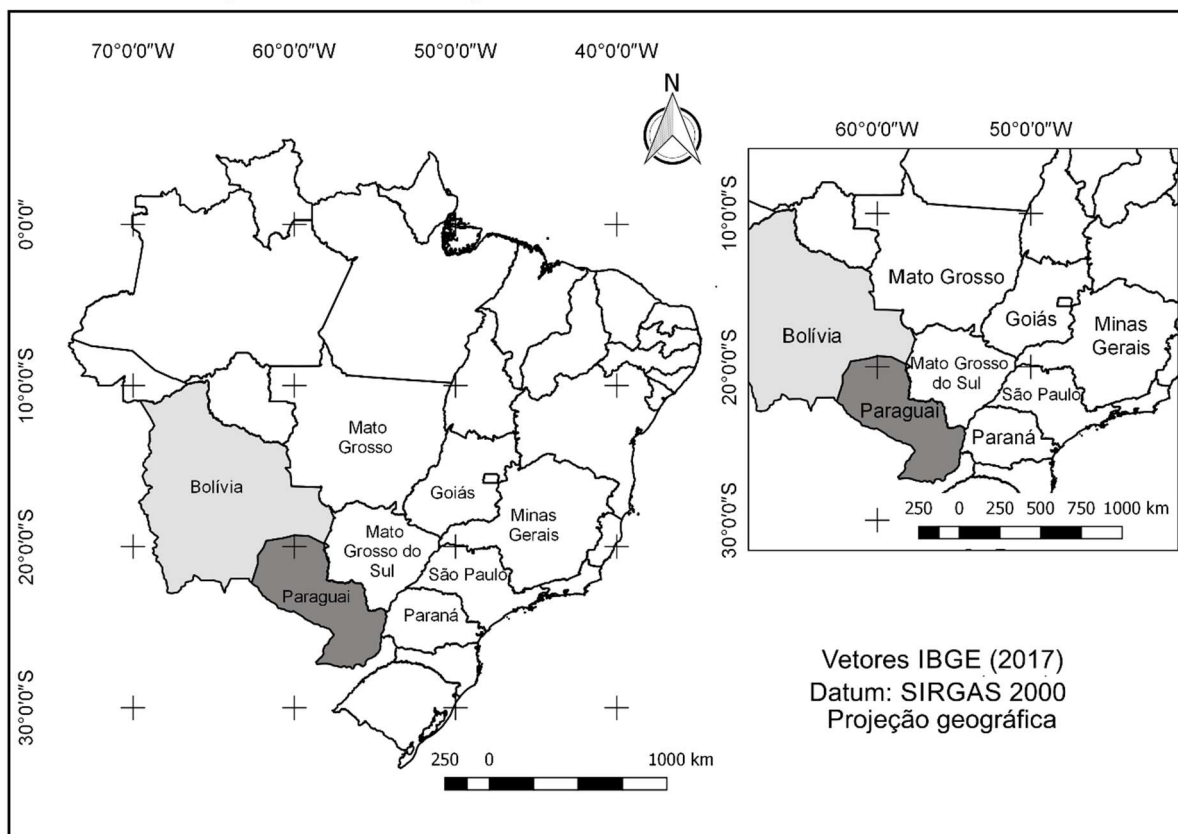
- a) descrição da área de estudo, com a finalidade de conhecer as características físicas do local;
- b) levantamento e tratamento estatísticos dos dados imperativos à modelagem da qualidade da água, como informações dos lançamentos de esgoto sanitário tratado, de qualidade e vazão dos corpos hídricos receptores de efluentes, valores dos coeficientes, entre outros;
- c) modelagem de qualidade da água;
- d) alocação dos pontos de monitoramento considerando as zonas de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zonas de áreas limpas dos corpos hídricos.

A confiabilidade da alocação dos pontos de monitoramento depende da confiabilidade do modelo de previsões, que também depende da exatidão dos dados de entrada. No entanto, para este estudo, vários dos valores de parâmetros, utilizados foram retirados na literatura.

5.1 ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Mato Grosso do Sul (Figura 2) está localizado na região Centro-Oeste do país. Tem como limites os estados de Goiás, a nordeste, Minas a leste, Mato Grosso ao norte, Paraná ao Sul e São Paulo a Sudeste. Além disso, faz divisa com a Bolívia a oeste e com o Paraguai a oeste e sul (MATO GROSSO DO SUL 2015c).

Figura 2 – Localização do estado de Mato Grosso do Sul

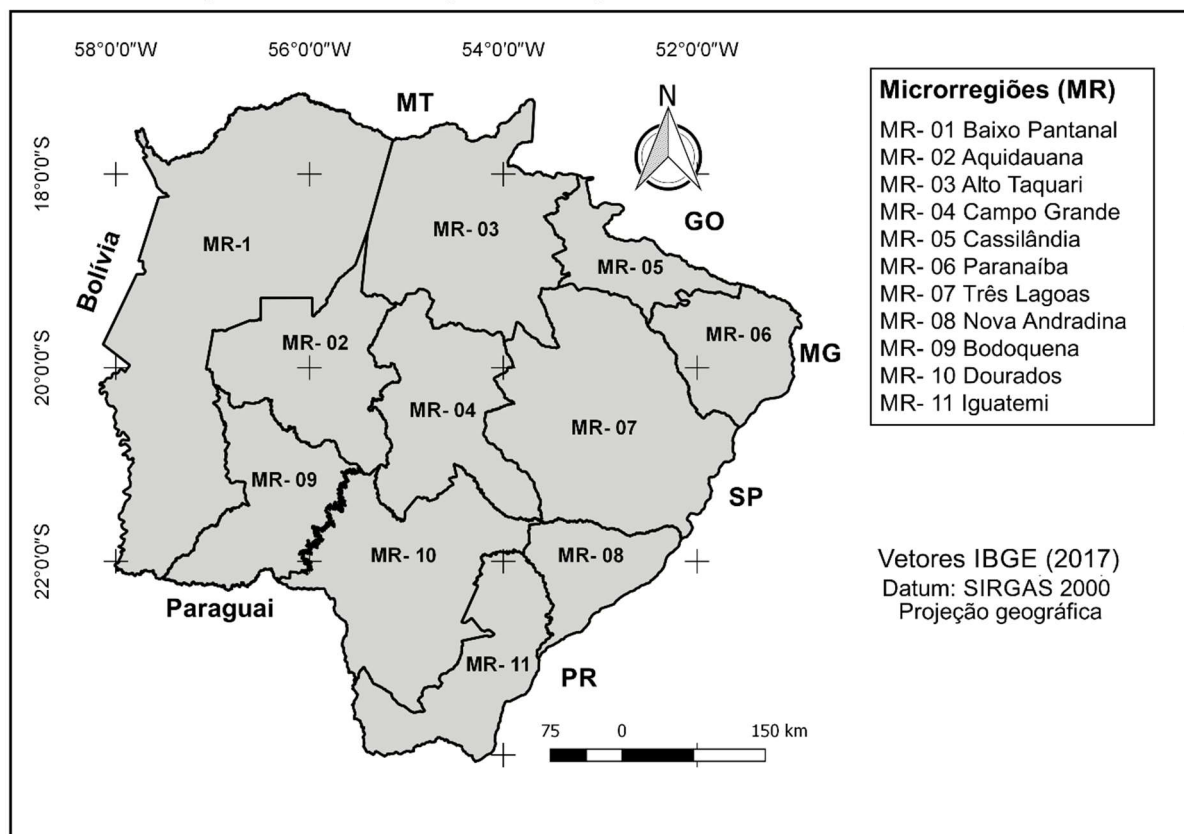


Fonte: Próprio autor.

O território sul-mato-grossense tem área de 357.145,531 km² divididos em 79 municípios. De acordo com o IBGE, em 2010 o Estado tinha uma população de 2.449.024 pessoas, sendo 2.097.238 habitantes na área urbana e 351.786 na área rural, resultando em uma densidade demográfica de 6,86 hab/km².

A população do Estado está distribuída em 11 Microrregiões Geográficas (Figura 3). A MRG de Campo Grande e Dourados correspondiam, em 2010, a 56,1% da população estadual. Entre os vazios demográficos predominam as regiões da MRG do Baixo Pantanal, com 1,67 hab/km² e Alto Taquari com 2,81 hab/km² (MATO GROSSO DO SUL, 2015c).

Figura 3 – Microrregiões Geográficas de Mato Grosso do Sul



Fonte: Próprio autor.

Mais de 62,5% da população do estado reside em apenas onze municípios, com mais de 40.000 habitantes, enquanto 50 municípios têm população residente inferior a 20.000 pessoas.

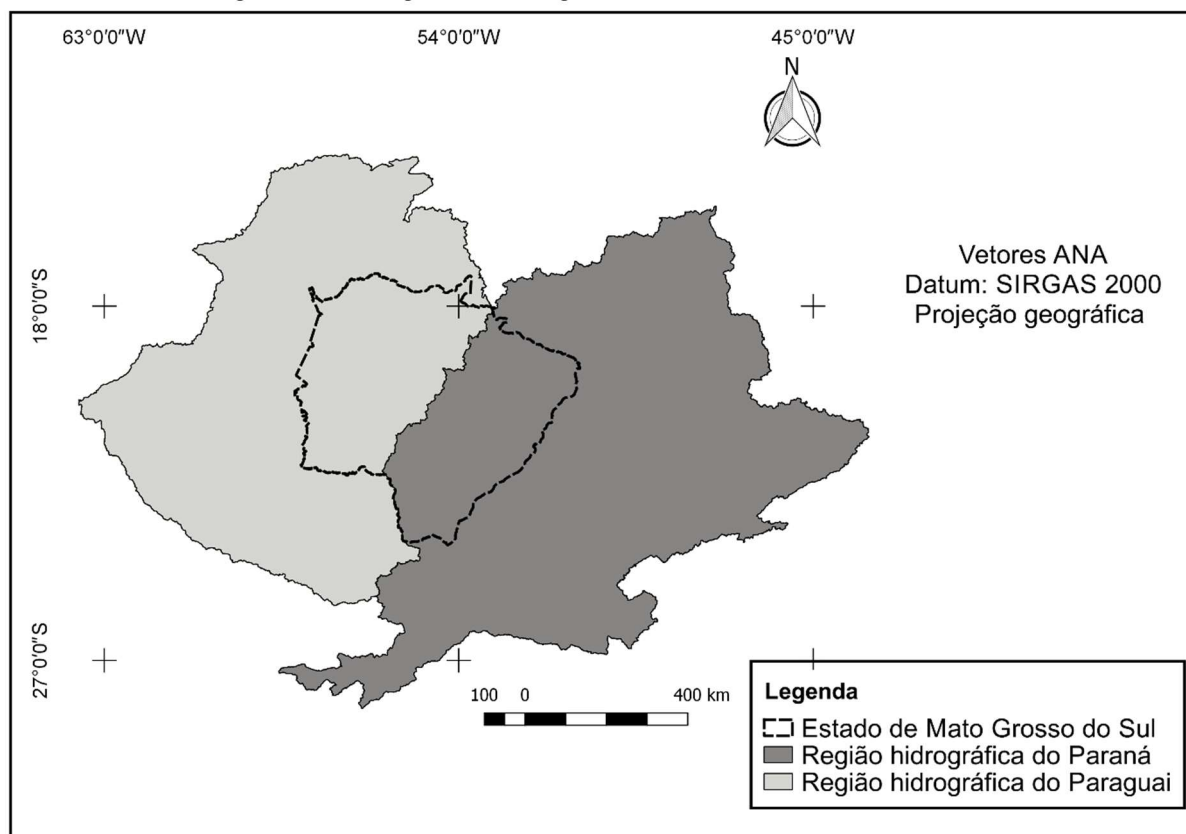
Em relação ao Produto Interno Bruto-PIB, as seis maiores economias municipais em 2012 eram detentoras de 58,24% da riqueza gerada no estado enquanto os 54 municípios menores contribuíram com 18,26% na formação econômica de Mato Grosso do Sul.

O Estado de Mato Grosso do Sul tem como agropecuária o setor estruturante em sua economia, apresentando um dos maiores rebanhos do país. Destaca-se também setores importantes como a mineração, jazidas de ferro e manganês, indústrias e atividades ligadas ao turismo ecológico.

Desde a divisão geopolítica, que o desmembrou do antigo Estado de Mato Grosso do Sul, há uma trajetória de crescimento econômico. Este contínuo crescimento tem exigido um volume acentuado de investimento para provimento de infraestrutura e serviços de saneamento de acordo com as reais demandas da população.

Em Mato Grosso do Sul os corpos hídricos pertencem a duas regiões hidrográficas: do Rio Paraná e a do Rio Paraguai, sendo que o divisor de águas é a Serra de Maracajú (Figura 4).

Figura 4 – Regiões hidrográficas de Mato Grosso do Sul



Fonte: Próprio autor.

A Região Hidrográfica do Rio Paraná possui uma área de aproximadamente 879.873 km² e abrange sete Unidades Hidrográficas: São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal. Abrange aproximadamente 10% do território Nacional e é de extrema importância, pois é a região de maior desenvolvimento econômico do Brasil, possuindo uma das maiores demandas por recursos hídricos (ANA, 2017a).

Os usos de água preponderantes na Região Hidrográfica do Rio Paraná são: Irrigação, industrial e urbano que, juntos, correspondem a 94% da demanda total. É a região hidrográfica com maior área irrigada do Brasil e apresenta bons índices de abastecimento de água e coleta de esgoto.

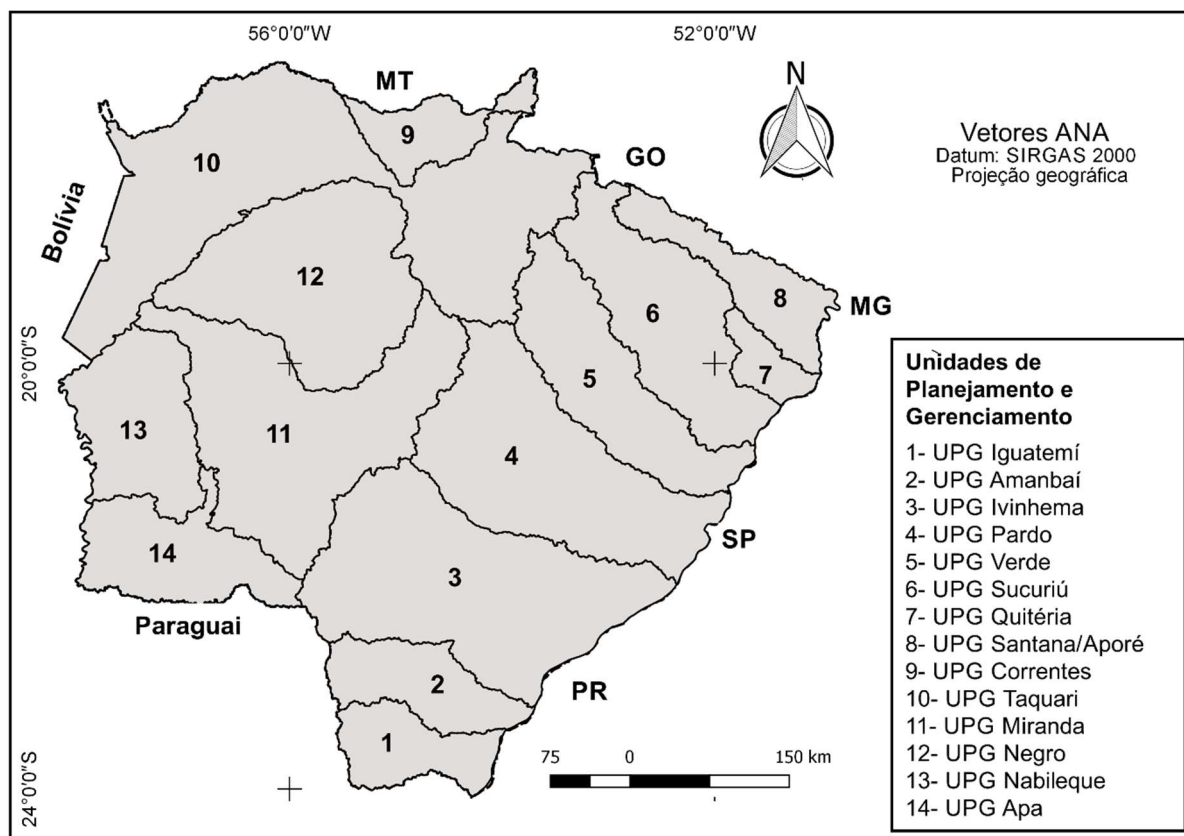
Além disso, de acordo com Adam *et al.* (2005), tem grande importância para a produção de energia hidrelétrica na Argentina, Brasil e Paraguai, visto que a bacia do Alto Rio Paraná concentra mais de 50% da capacidade hidrelétrica instalada no país.

Já a Região Hidrográfica do Rio Paraguai, também denominada do Alto Paraguai, delimita uma área de aproximadamente 600.000 km², abrange, além do território nacional, parte do Paraguai e da Bolívia. A fração brasileira corresponde a 61% de sua área total.

Na Região Hidrográfica do Rio Paraguai está localizada a maior área úmida contínua do planeta, o Pantanal, caracterizado por uma planície inundável, o Pantanal Mato-grossense, declarado Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira de 1988, sítio designado como área de relevante importância internacional pela Convenção de Áreas Úmidas RAMSAR, no ano de 1993, e Reserva da Biosfera pelo Programa das Nações Unidas para a Ciência e a Cultura – UNESCO, no ano de 2000.

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Mato Grosso do Sul (2009), foram definidas no Estado 15 Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Mato Grosso do Sul (UPGs), nove na região hidrográfica do rio Paraná e seis na região hidrográfica do rio Paraguai (Figura 5).

Figura 5 – Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Mato Grosso do Sul

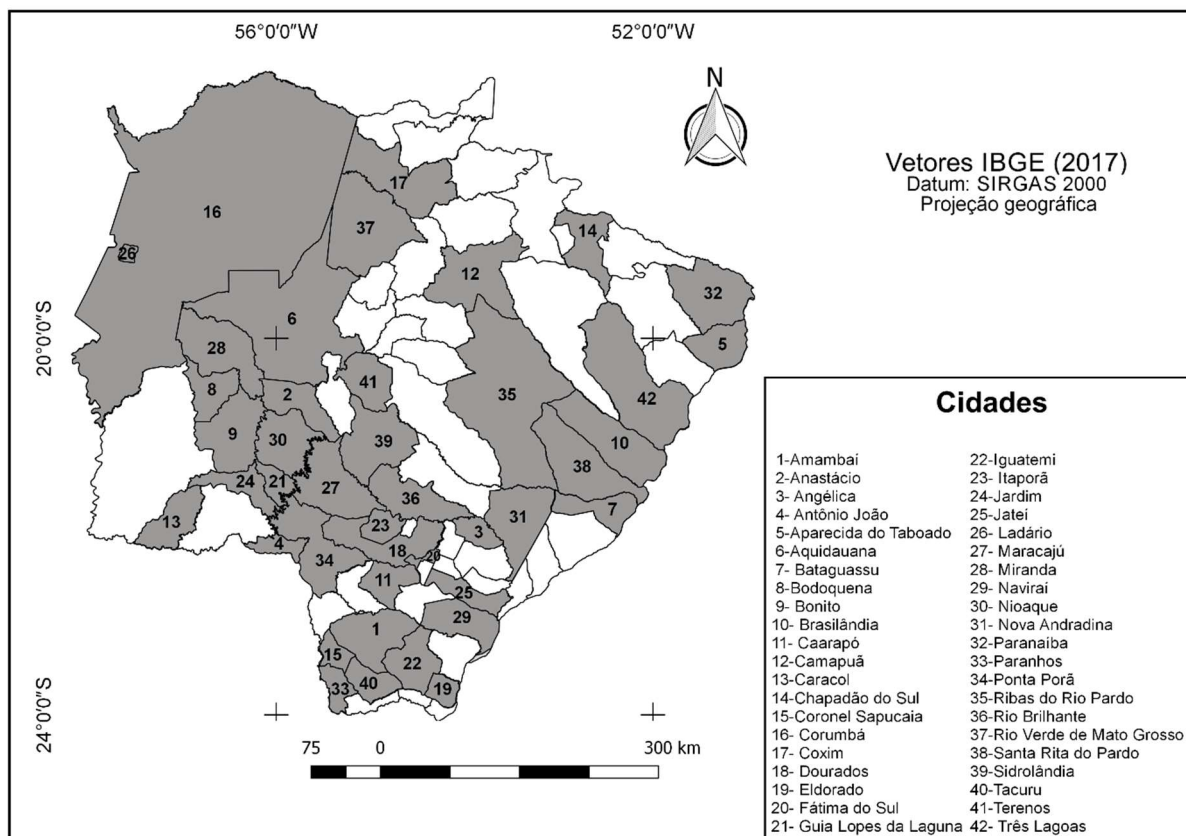


Fonte: Próprio autor.

Pertence a região hidrográfica do Rio Paraná: UPG Iguatemi, UPG Amambaí, UPG Ivinhema, UPG Pardo, UPG Verde, UPG Sucuriú, UPG Quitéria, UPG Santana e UPG Aporé. E pertence à região hidrográfica do Rio Paraguai: UPG Correntes, UPG Taquari, UPG Miranda, UPG Negro, UPG Nabileque e UPG APA.

O estudo foi realizado em 49 estações de tratamento de esgoto distribuídas em 44 municípios do Estado e um distrito (Figura 6). Os municípios estudados foram: Amambaí; Anastácio; Angélica; Antônio João; Aparecida do Taboado; Aquidauana; Bataguassu; Bodoquena; Bonito; Brasilândia; Caarapó; Camapuã; Caracol; Chapadão do Sul; Coronel Sapucaia; Corumbá; Coxim; Dourados; Eldorado; Fátima do Sul; Guia Lopes da Laguna; Iguatemi; Itaporã, Jardim; Jateí; Ladário; Maracajú; Miranda; Naviraí; Nioaque; Nova Andradina; Paranaíba; Paranhos; Ponta Porã; Ribas do Rio Pardo; Rio Brilhante; Rio Verde de Mato Grosso; Santa Rita do Pardo; Sidrolândia; Tacuru; Terenos e Três Lagoas.

Figura 6 – Municípios onde estão localizadas as estações de tratamento de esgoto, objeto de estudo



Fonte: Próprio autor.

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

5.2.1 Estações de Tratamento de Esgoto

Este estudo abrangeu 49 estações de tratamento de esgoto (ETEs) distribuídas em 44 municípios de Mato Grosso do Sul. As estações de tratamento de esgoto dispõem os efluentes tratados em corpos hídricos e são monitoradas de forma contínua pela análise dos parâmetros do efluente, na entrada e saída do processo de tratamento, e no corpo receptor, a montante e a jusante do lançamento.

As unidades em operação contam com monitoramento diário, por meio de coletas diárias do esgoto afluente e efluente, destinadas ao controle operacional da unidade permitindo intervenções rápidas para manutenção do desempenho do tratamento. Este monitoramento contempla os seguintes parâmetros: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos sedimentáveis e vazão. Estas análises são realizadas com a finalidade de monitorar a eficiência do sistema, detectando falhas ou situações atípicas nas ETEs.

Já o monitoramento ambiental apresenta uma frequência mensal, de modo a atender as condicionantes das licenças ambientais de operação e das outorgas de direito de uso. Para o efluente bruto e tratado, são coletados mensalmente pelos operadores amostras compostas (atendendo a alíquota de vazão), cujas análises são realizadas no Laboratório Central da Sanesul, de acordo com normas e metodologias padrão.

Os parâmetros monitorados são: alcalinidade bicarbonato, alcalinidade carbonato, alcalinidade hidróxidos, cloreto, DBO, DQO, fósforo, óleos e graxas, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, turbidez e E.coli.

Os valores dos parâmetros são estabelecidos por análise de amostras representativas coletadas e processadas segundo as determinações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21^a Ed.

Para este estudo foram levantadas as seguintes informações: tipos de processos de tratamento, vazão nominal, dados de carga orgânica e coliformes do esgoto bruto e os dados de eficiência esperados para final de plano da estação.

Todas as estações já se encontram em operação, quanto ao processo de tratamento, aproximadamente 46% das ETEs possuem apenas reatores UASB, 16% possuem lagoas de estabilização, 20% são compostas por Reatores UASB seguido

de filtro biológico e decantador secundário e aproximadamente 18% das ETEs possuem outros tipos de processo de tratamento (Apêndice A).

De acordo com a Resolução CONAMA 377, de 9 de outubro de 2006 (BRASIL 2006), as unidades de tratamento de esgoto de pequeno porte são estações de tratamento de esgoto com vazão nominal de projeto menor ou inferior a 50 L.s^{-1} . Já as unidades de tratamento de esgoto de médio porte são as que possuem vazão de projeto maior que 50 L.s^{-1} e menor ou igual a 400 L.s^{-1} . Deste modo, apenas 11 das ETEs estudadas são de médio porte, enquanto 38 das unidades de tratamento são de pequeno porte, isto é quase 80% das Unidades.

Em razão da maioria das ETEs estudadas operar abaixo da vazão nominal para que foram projetadas, optou-se neste estudo pela utilização de dados de eficiência disponíveis na bibliografia, pois correspondem ao final de plano dos sistemas de tratamento de esgoto, posto que corresponderá ao pior cenário da modelagem.

Para o esgoto bruto também se optou pela utilização de valores típicos encontrados em esgotos domésticos, já que devido à ociosidade de algumas ETEs, é comum o excesso de descarga de caminhões autofossa, resultando em valores atípicos de carga orgânica.

O único dado retirado do monitoramento do tratamento de efluente foi a temperatura do esgoto tratado. Para isto foram utilizados valores das análises obtidas nos anos de 2016 e 2017 e, após confecção de gráficos box plot, foi possível a visualização dos dados discrepantes através da análise dos valores de mediana, primeiro e terceiro quartil. Os dados atípicos foram então descartados para o cálculo da temperatura média, utilizada neste estudo.

5.2.2 Corpos Hídricos

As estações de tratamento de esgoto, objeto deste estudo, dispõem seus efluentes tratados em corpo hídricos, em sua maioria Classe 2 (Apêndice B). Todavia, para a classificação da grande maioria dos corpos hídricos de domínio estadual não foram realizados estudos de enquadramento conforme Resolução CERH 91, de 5 de novembro de 2008 (BRASIL, 2008).

Aproximadamente 40% das unidades estão localizadas na Região Hidrográfica do Rio Paraguai, enquanto 60% estão localizadas na Região Hidrográfica do Rio Paraná. A Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Mato Grosso do Sul do Rio

Ivinhema concentra o maior número de ETEs, quase 32%, seguida pela do Rio Miranda, 16%.

Como todas as ETEs encontram-se em operação, os corpos hídricos receptores de efluentes sanitários já são monitorados mensalmente a montante e a jusante dos emissários. Para este estudo foram utilizados os resultados das análises obtidos por meio das coletas a montante dos emissários nos anos de 2016 e 2017.

Os parâmetros utilizados foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, demanda bioquímica de oxigênio e E. coli. Todavia informações de qualidade da água, produzem uma complexa matriz de dados de difíceis interpretações devido à alta variabilidade e as diversas influências naturais e antropogênicas. Deste modo é necessária a análise e interpretação do conjunto de dados para a compreensão das variações temporais.

Assim, para análise dos dados de monitoramento a montante dos emissários, foram empregados gráficos box plot, possibilitando a visualização dos dados discrepantes através dos valores de mediana, primeiro e terceiro quartil. Os dados atípicos foram então descartados para o cálculo das médias dos parâmetros utilizados neste estudo.

Os dados atípicos, desconsiderados neste estudo, podem ter sido ocasionados por falhas nas coletas das amostras, durante a elaboração de boletins análise ou até por alguma influência antropogênica pontual nos corpos hídricos.

A Agência Nacional de Águas coordena a Rede Hidrológica Nacional, em parceria com outras instituições federais e entidades estaduais, assim realiza monitoramento e disponibiliza informações hidrológicas. Com as estações pluviométricas, evaporimétricas, fluviométricas, sedimentométricas e de qualidade da água é possível obter uma série de dados dos corpos hídricos monitorados.

Deste modo, dados como profundidade e velocidade da água dos corpos hídricos receptores de efluentes foram obtidos no Portal HidroWeb, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA).

Como a rede hidrológica nacional só monitora aproximadamente 17% dos rios brasileiros, a maioria das ETEs existentes lançam efluentes em corpos hídricos sem dados. Deste modo, também se utilizou neste estudo valores de velocidade e profundidade aferidos durante medições de vazão pontuais.

Os dados de vazão dos corpos hídricos foram obtidos por meio da utilização de dados fluviométricos das estações hidrometeorológicas existentes, mais

especificamente das vazões diárias dos cursos d'água de interesse, também disponibilizados no Portal HidroWeb da ANA.

Os corpos hídricos receptores de efluentes sanitários tratados, monitorados continuamente pela ANA são: Rio Aquidauana, Rio Paraná, Rio Pardo, Rio Aporé, Rio Paraguai, Rio Coxim e Rio Dourados. Todos rios de considerável vazão e, com exceção do Rio Aquidauana, apresentam trechos de domínio federal.

Dentre as 49 ETEs que lançam efluentes sanitários tratados em corpos hídricos, apenas 12 possuem corpos receptores com série de dados de monitoramento de vazão. Isto é, a grande maioria das ETEs de Mato Grosso do Sul lançam seus efluentes em corpos d'água com escassas informações sobre a quantidade de água disponível para diluição.

Deste modo, para este estudo foi necessário estimar vazões dos rios e córregos utilizando dados extraídos das séries históricas existentes em aproximadamente 80% dos corpos receptores de esgotamento sanitário.

Isto foi possível através da regionalização de vazões, em que informações de estações hidrometeorológicas existentes, agregadas às bacias de drenagens com características similares, possibilitam estimativas de vazões em locais não monitorados.

5.2.2.1 Vazão de Permanência

Primeiramente foram analisadas e selecionadas estações hidrometeorológicas localizadas nas regiões hidrográficas do Rio Paraná e Rio Paraguai, disponibilizadas no Portal HidroWeb da ANA. Optou-se neste estudo por estações com séries de dados superiores a 15 anos, assim muitas estações que apresentavam falhas não foram utilizadas.

Com os dados de vazão média diária, foram obtidas as curvas de permanências de vazões, da qual foram extraídas as vazões de permanência de 95% (aquela que é exercida ou igualada em 95% do tempo). Esta foi considerada a vazão de restrição dos corpos d'água receptores das 49 ETEs objeto desse estudo.

Foi adotada como vazão mínima a vazão de permanência em 95% do tempo (Q_{95}), pois esta é a vazão de referência utilizada pelo Estado de Mato Grosso do Sul para emitir outorgas de direito de uso de diluição de efluentes, além disso, de acordo

com Von Sperling (2007), deve ser utilizada a vazão mínima para a avaliação do atendimento aos padrões ambientais do corpo receptor.

Para os cálculos da vazão de permanência foi utilizado o modelo SisCAH 1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas, disponível no site da Agência Nacional de Águas, um sistema computacional projetado para importar dados dos arquivos do site da ANA e, com estes, calcular as vazões mínimas, máximas e médias, curvas de permanência, regularização de vazões, preenchimento e extensão de séries (SOUZA, 2009).

Como a maioria das ETEs lança efluentes em corpos hídricos sem dados de vazão, estas tiveram de ser estimadas a partir dos dados das estações hidrometeorológicas existentes. Deste modo, fez-se a relação entre o valor encontrado de Q_{95} de cada estação pela área de drenagem da referida estação. O valor encontrado trata-se da vazão específica (q_{95}).

Também foi necessário quantificar o valor das áreas de drenagem contribuinte das nascentes até os emissários das estações de tratamento de esgoto. Isto foi realizado por meio de cartas topográficas oficiais e imagens de satélite.

Conhecida a área de drenagem do ponto de lançamento e adotando-se um valor de vazão específica de uma estação fluviométrica com características semelhantes, o produto resultou na vazão do curso de água no ponto de interesse (VON SPERLING, 2014).

No Apêndice C estão listadas as estações utilizadas neste estudo, divididas por região hidrográfica, os valores calculados de vazão de permanência (Q_{95}) e de vazão específica (q_{95}).

5.2.2.2 *Obtenção dos Coeficientes*

O coeficiente de desoxigenação da matéria orgânica (K_1) representa a taxa de degradação da mesma e está sujeito à concentração de matéria orgânica. Como as ETEs em operação possuem concentrações diferentes de carga orgânica e valores diferentes de temperaturas nos efluentes tratados e corpos hídricos, foi necessária a obtenção do coeficiente de desoxigenação para cada estação.

Segundo Von Sperling (2005), a reaeração atmosférica é responsável pela introdução do oxigênio nos corpos hídricos. Este coeficiente pode ser obtido por três métodos:

- a) valores médios tabelados;
- b) valores em função das características hidráulicas do corpo d'água;
- c) valores correlacionados com a vazão do curso d'água.

Neste estudo, para obtenção deste coeficiente foi utilizado os métodos dos valores médios tabelados e das características hidráulicas do curso d'água. Para obtenção dos dados hidráulicos foram utilizados valores médios de velocidade e profundidade, dos postos fluviométricos localizados nos corpos receptores, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) em sítio eletrônico no portal Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb).

Todavia como a maioria das ETEs lançam efluentes em corpos hídricos sem dados optou-se neste estudo por utilizar valores de velocidade e profundidade aferidos durante medições de vazão pontuais. Em todos os casos a medição de descarga líquida seguiram recomendações estabelecidas pelas normas técnicas do DNAEE (BRASIL, 1977), atual ANEEL, e ABNT (1995).

Por fim em casos de ausência de qualquer característica específica dos corpos hídricos, o coeficiente de reaeração foi estimado, por valores médios já tabelados, disponíveis da bibliografia (Tabela 9).

Por fim também foi realizado o cálculo da modelagem dos microrganismos para cada uma das ETEs, em razão dos diferentes valores de temperatura dos corpos hídricos após o lançamento de efluentes.

5.3 MODELAGEM DE QUALIDADE

Para a realização das simulações de qualidade da água foi utilizado o modelo QUAL-UFMG, desenvolvido por Von Sperling (2007). O programa em Excel é baseado no modelo QUAL2E, todavia é de fácil emprego e possibilita a simulação de reaeração atmosférica e seus efeitos no balanço de oxigênio dissolvido, o decaimento de matéria orgânica e coliformes entre outros constituintes ao longo do rio (TEODORO *et al.*, 2013).

Nas modelagens realizadas neste estudo não foram considerados possíveis lançamentos existentes a jusante dos emissários das estações de tratamento de esgoto.

5.4 ALOCAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO

Após a realização das modelagens de lançamento de esgoto sanitário tratado e considerando as zonas de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas dos corpos hídricos, pode-se enquadrar os lançamentos em três situações:

- a) a Classe do corpo hídrico, após o lançamento de esgoto, é atendida já na zona de mistura;
- b) a Classe do corpo hídrico, após o lançamento de esgoto, não é atendida, por ao menos um parâmetro, em um curto intervalo de tempo;
- c) a Classe do corpo hídrico, após o lançamento de esgoto, não é atendida, por ao menos um parâmetro, por um extenso trecho.

Quando a classe do corpo hídrico foi atendida já na zona de mistura, o ponto de monitoramento a jusante foi locado após a zona de mistura. Quando a classe do corpo hídrico não foi atendida, por ao menos um parâmetro por um extenso trecho, o ponto de monitoramento a jusante foi locado logo após a zona de mistura para a maioria dos parâmetros, ou no ponto em que o corpo hídrico apresenta qualidade similar a montante. Quando o trecho desenquadrado foi superior a 10,5 km optou-se por locar o monitoramento a esta distância.

Já quando a classe do corpo hídrico não foi atendida, por ao menos um parâmetro em um curto intervalo de tempo, optou-se por locar o ponto de monitoramento próximo ao limite da classe, estabelecido pela legislação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Num primeiro momento foram levantados os dados imperativos para a realização da modelagem de qualidade da água, como informações das estações de tratamento de esgoto, corpos hídricos, cálculos de coeficientes e vazão de permanência (Q_{95}).

Posteriormente foi realizada a modelagem de qualidade e, por fim, a alocação dos pontos de monitoramento considerando as zonas de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação, e zona de áreas limpas dos corpos hídricos, definidas na modelagem.

Foram apresentados, de forma detalhada, os resultados obtidos em sete estações de tratamento de esgoto, que foram escolhidas de modo a contemplar diferentes formas de tratamento e de disponibilidade de dados tanto das estações de tratamento de esgoto quanto dos corpos hídricos.

Os resultados do restante das ETEs foram demonstrados de forma resumida no Caderno de Locação de Pontos de amostragem em Corpos Receptores para monitoramento de ETEs, por meio da representação gráfica dos pontos de monitoramento alocados.

O Caderno de Locação de Pontos de amostragem em Corpos Receptores para monitoramento de ETEs é o principal produto desta dissertação, e espera-se que o mesmo seja parte de uma Instrução de Trabalho (IT), que tratará do monitoramento ETEs em Empresas de Saneamento juntamente com manuais e descrição de todo o processo de monitoramento.

6.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Para elaboração deste estudo adotou-se a concentração de DBO de 350 mg/L para esgoto bruto de todas as ETEs, conforme bibliografia (Tabela 2). Já o oxigênio dissolvido foi considerado como zero, pois a maioria das estações de tratamento de esgoto apresenta tratamento anaeróbio, ou sistema de tratamento que não possibilita a aeração do efluente. Em relação a E. coli foi considerada a concentração de $1,00E+07$ NMP/100 mL para o esgoto bruto, também conforme previsto na bibliografia (Tabela 2).

Informações como eficiência na remoção de DBO e E. coli, processos de tratamento e vazão nominal de todas as ETEs constam no Apêndice A. Já os dados de temperatura média do efluente sanitário tratado foram retirados do monitoramento das Estações de Tratamento de Esgoto, no período de 2016-2017, após o devido tratamento estatístico.

6.1.1 ETE Bonito

A Estação de Tratamento de Esgoto do município de Bonito é composta por tratamento primário (gradeamento, desarenador e calha parshall) para remoção de resíduos sólidos, tratamento secundário por Reator Anaeróbio UASB para remoção de matéria orgânica e tratamento terciário por tratamento físico químico para remoção de nitrogênio, fósforo e coliformes. A característica do efluente tratado na ETE Bonito, considerando 97% na remoção de DBO e 99% na remoção de E. coli é:

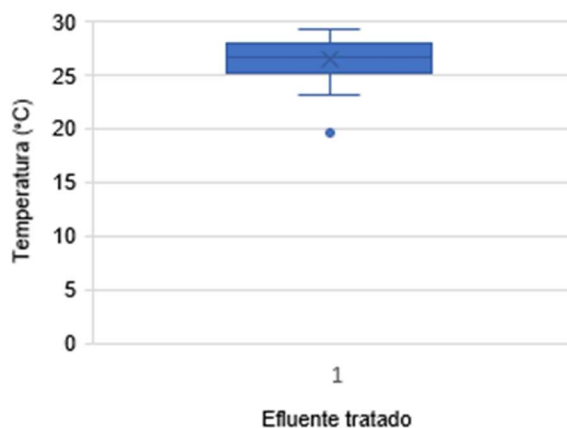
Tabela 10 – Característica do efluente tratado na ETE Bonito

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do lançamento	L.s ⁻¹	50,00
Temperatura	°C	26,71
O.D.	mg.L ⁻¹	0,0
DBO_{5,20}	mg.L ⁻¹	10,00
E. coli	NMP/100mL	1,00E+05

Fonte: Próprio autor.

Para obtenção do valor da temperatura do esgoto tratado na ETE Bonito foi confeccionado gráfico box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 2). Pela análise identificou-se apenas um valor de temperatura muito abaixo dos demais, sendo, portanto, desconsiderado para o cálculo da média da temperatura.

Figura 7 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Bonito



Fonte: Próprio autor.

6.1.2 ETE Chapadão do Sul

A Estação de Tratamento de Esgoto do município de Chapadão do Sul é composta por tratamento primário (gradeamento, desarenador e calha parshall), para remoção de resíduos sólidos, e tratamento secundário por Reator Anaeróbio UASB e Filtro Anaeróbio, para remoção de matéria orgânica. A característica do efluente tratado na ETE Chapadão do Sul, considerando 75% na remoção de DBO e 70% na remoção de E.coli é:

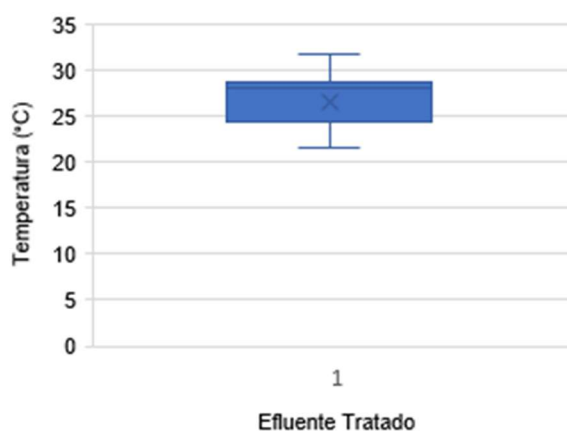
Tabela 11 – Característica do efluente tratado na ETE Chapadão do Sul

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do lançamento	L.s ⁻¹	40,00
Temperatura	°C	26,63
O.D.	mg.L ⁻¹	0,0
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	88,00
E. coli	NMP/100mL	3,00E+06

Fonte: Próprio autor.

Para obtenção do valor da temperatura do esgoto tratado na ETE Chapadão do Sul foi elaborado o gráfico box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 8). Não foram identificados dados atípicos, assim sendo nenhum dado de temperatura foi desconsiderado para o cálculo da média.

Figura 7 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Chapadão do Sul



Fonte: Próprio autor.

6.1.3 ETE Corumbá (Maria Leite)

A Estação de Tratamento de Esgoto Maria Leite, localizada no município de Corumbá, é composta por tratamento primário (gradeamento, desarenador e calha parshall) e tratamento secundário por Reator Anaeróbio (UASB), Filtro Biológico e Decantador Secundário, para remoção de matéria orgânica. A característica do efluente tratado considerando 90% na remoção de DBO e 70% na remoção de E. coli é:

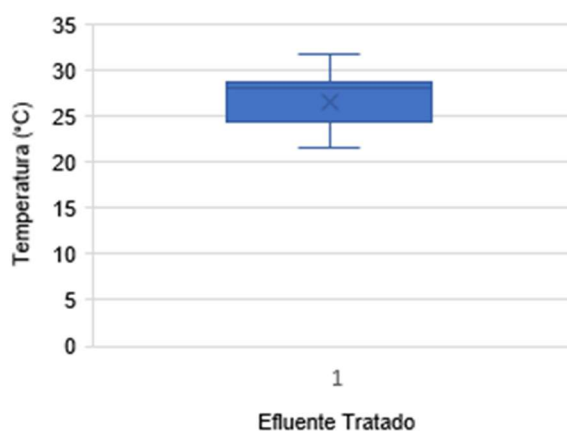
Tabela 12 – Característica do efluente tratado na ETE Maria Leite

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do lançamento	L.s ⁻¹	80,00
Temperatura	°C	28,66
O.D.	mg.L ⁻¹	0,0
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	35
E. coli	NMP/100mL	3,00E+06

Fonte: Próprio autor.

Para obtenção do valor da temperatura do esgoto tratado na ETE Maria Leite foi confeccionado gráfico boxplot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 9). Não foram identificados dados atípicos assim nenhum valor foi eliminado para o cálculo da média da temperatura.

Figura 8 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Maria Leite



Fonte: Próprio autor.

6.1.4 ETE Coxim

A Estação de Tratamento de Esgoto Coxim, é composta por tratamento primário (gradeamento, desarenador e calha parshall) e tratamento secundário por Reator Anaeróbio (UASB), para remoção de matéria orgânica. A característica do efluente tratado na ETE Coxim, considerando 65% na remoção de DBO e 70% na remoção de E. coli é:

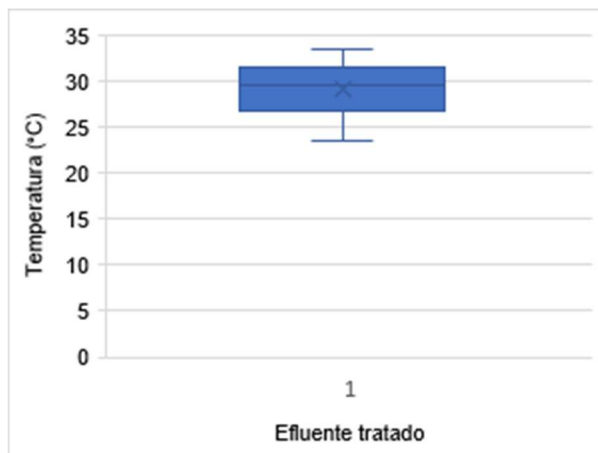
Tabela 13 – Característica do efluente tratado na ETE Coxim

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do lançamento	L.s ⁻¹	40,00
Temperatura	°C	29,00
O.D.	mg.L ⁻¹	0,0
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	120
E. coli	NMP/100mL	3,00E+06

Fonte: Próprio autor.

Para obtenção do valor da temperatura do esgoto tratado na ETE Coxim foi confeccionado gráfico box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 10). Não foram identificados dados discrepantes assim nenhum valor foi eliminado para o cálculo da média da temperatura.

Figura 9 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Coxim



Fonte: Próprio autor.

6.1.5 ETE Dourados (Presídio)

A Estação de Tratamento de Esgoto Presídio, localizada no município de Dourados, atende exclusivamente os complexos penitenciários do município. É composta por tratamento primário (gradeamento, desarenador e calha parshall), tratamento secundário por Reator Anaeróbio (UASB) e tratamento terciário por lagoa de maturação. A característica do efluente tratado na ETE Presídio, considerando 75% na remoção de DBO e 99% na remoção de E. coli é:

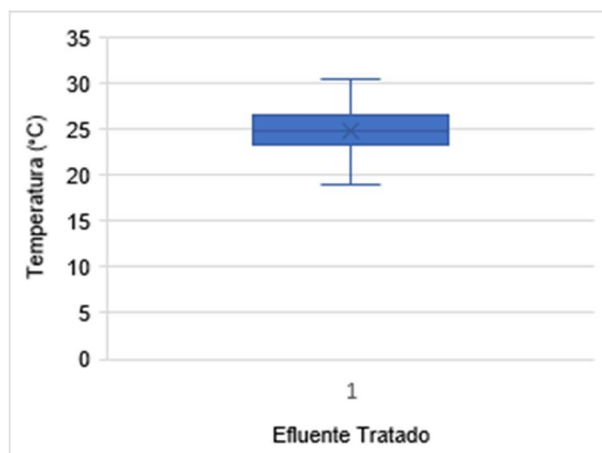
Tabela 14 – Característica do efluente tratado na ETE Presídio no município de Dourados

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do lançamento	L.s ⁻¹	20,00
Temperatura	°C	24,82
O.D.	mg.L ⁻¹	0,0
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	88,00
E. coli	NMP/100mL	1,00E+05

Fonte: Próprio autor.

Para obtenção do valor da temperatura do esgoto tratado na ETE Presídio foi confeccionado gráfico box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 11). Mais uma vez não foram identificados dados discrepantes assim nenhum valor foi eliminado para o cálculo da média da temperatura.

Figura 10 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado na ETE Presídio



Fonte: Proprio autor.

6.1.6 ETE Inocência

A Estação de Tratamento de Esgoto Inocência, é composta por tratamento primário (gradeamento, desarenador e calha parshall), tratamento secundário por Lagoa Facultativa, para remoção de matéria orgânica, e Lagoa de Maturação, para remoção de coliformes. A característica do efluente tratado na ETE Inocência, considerando 75% na remoção de DBO e 80% na remoção de E. coli é:

Tabela 15 – Característica do efluente tratado na ETE Inocência

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do lançamento	L.s ⁻¹	10,00
Temperatura	°C	27,68
O.D.	mg.L ⁻¹	0,0
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	88
E. coli	NMP/100mL	2,00E+06

Fonte: Próprio autor.

A Estação de Tratamento de Esgoto do município de Inocência foi operacionalizada no mês de outubro de 2017. Como ocorre no início da operação de lagoas de estabilização, a mesma ainda estava em processo de enchimento neste período, assim sendo não ocorreu lançamento de efluente sanitário tratado em 2017 impossibilitando a obtenção do dado de temperatura média do esgoto tratado.

Assim foram utilizados os dados obtidos no monitoramento da estação de tratamento de esgoto do município de Paranaíba, devido à proximidade com o município de Inocência.

6.1.7 ETE Fátima do Sul

A Estação de Tratamento de Esgoto do município de Fátima do Sul é composta por tratamento primário (gradeamento, desarenador e calha parshall) e tratamento secundário por Reator Anaeróbio (UASB) e BIODRUM, para remoção de matéria orgânica. A característica do efluente tratado na ETE Fátima do Sul, considerando 65% na remoção de DBO e 70% na remoção de E. coli é:

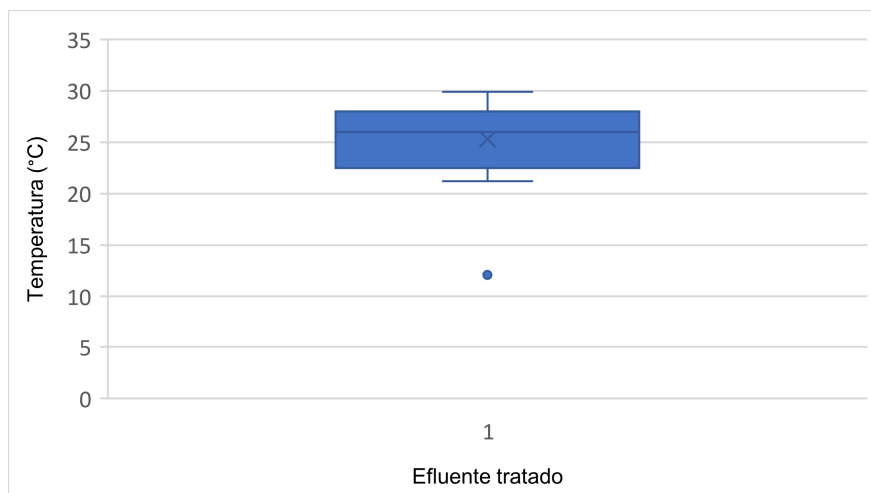
Tabela 16 – Característica do efluente tratado na ETE Fátima do Sul

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do lançamento	L.s ⁻¹	18,00
Temperatura	°C	25,91
O.D.	mg.L ⁻¹	0,0
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	120
E. coli	NMP/100mL	3,00E+06

Fonte: Próprio autor.

Para obtenção do valor da temperatura do esgoto tratado na ETE Fátima do Sul foi confeccionado gráfico boxplot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 12). Foi identificado apenas um dado de temperatura discrepante, muito abaixo dos demais, que foi devidamente eliminado para o cálculo da temperatura média.

Figura 11 – Boxplot dos valores de temperatura do esgoto sanitário tratado da ETE Fátima do Sul



Fonte: Próprio autor.

6.2 CORPOS RECEPTORES

As vazões de permanência de 95%, obtidas pelo modelo SisCAH 1.0, e os valores de vazão específica calculado para cada estação fluviométrica estão dispostos no Apêndice C, divididos por Região Hidrográfica.

Para os corpos hídricos receptores de efluentes tratados monitorados pela Agência Nacional de Águas serão utilizados os valores obtidos da Q₉₅ da Estação Fluviométrica mais próxima ao emissário.

Já para os corpos hídricos com ausência de dados foram traçadas as áreas de drenagens até os pontos de lançamento e o resultado foi multiplicado pela vazão específica de uma estação de característica similar à área de interesse.

Os dados de qualidade dos corpos hídricos foram retirados do monitoramento realizado em 2016 e 2017, após o devido tratamento estatístico.

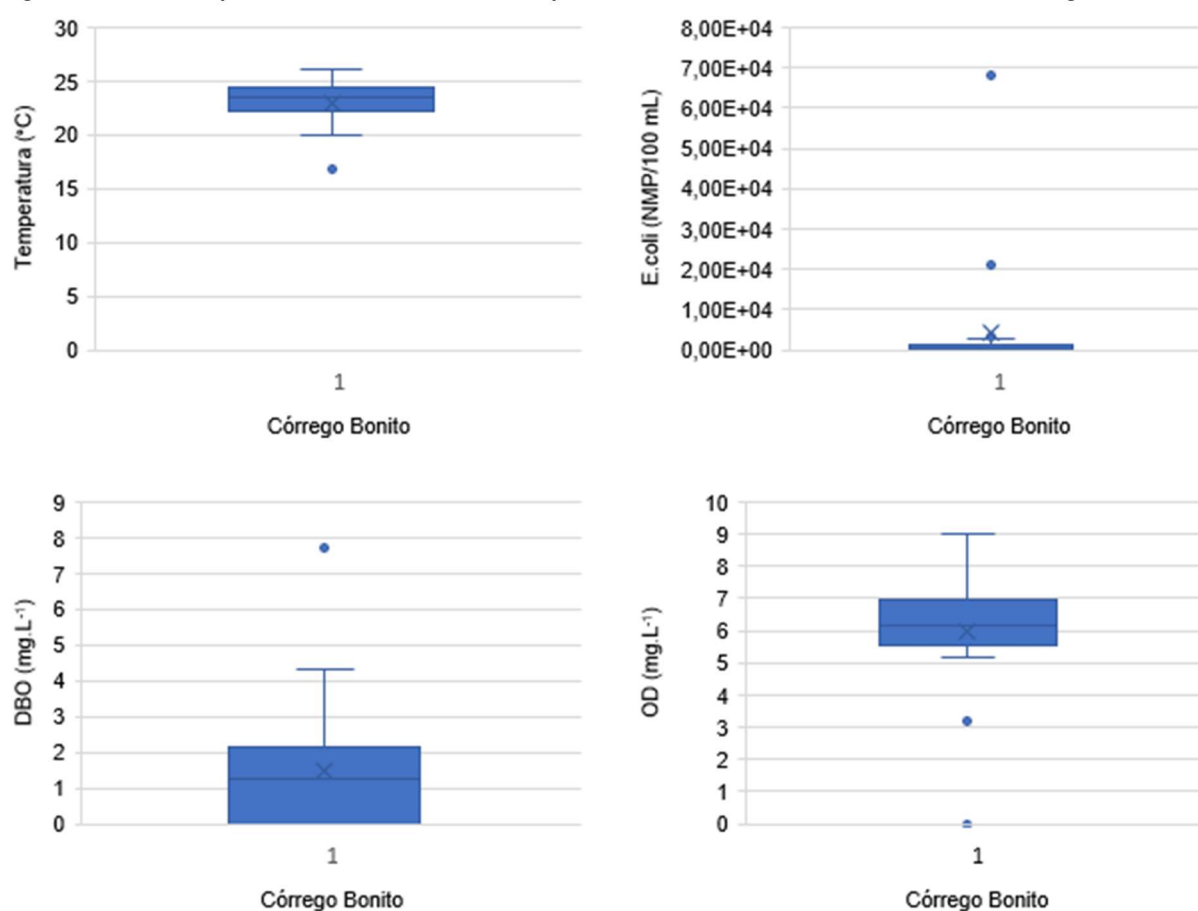
6.2.1 Córrego Bonito corpo receptor da ETE Bonito

Com os dados da Estação Hidrometereológica Miranda, obteve-se a curva de permanência do Rio Miranda, localizado na mesma Região Hidrográfica do Rio Bonito, a UPG Miranda o que permitiu o cálculo da vazão de permanência e da vazão específica deste corpo hídrico.

A área de drenagem do corpo hídrico até o emissário de esgoto tratado no Rio Bonito é de 61,2 Km², multiplicando este valor pela vazão específica da Estação Miranda obteve-se a vazão de permanência de 85, 068 L/s (Q_{95}).

Quanto às características do Córrego Bonito, foram confeccionados gráficos box plot com os dados de temperatura, DBO, oxigênio dissolvido e E. coli obtidos através do monitoramento do Córrego Bonito a montante da ETE nos anos de 2016 e 2017 (Figura 13).

Figura 12 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do córrego Bonito



Fonte: Próprio autor.

Foram observados dados atípicos para todos os parâmetros analisados, assim foram devidamente desconsiderados para o cálculo das médias. No caso do cálculo da média do parâmetro E. coli foi necessário eliminar três dados, que apresentaram um grande afastamento das demais da série.

Tabela 17 – Característica do Córrego Bonito a montante do lançamento

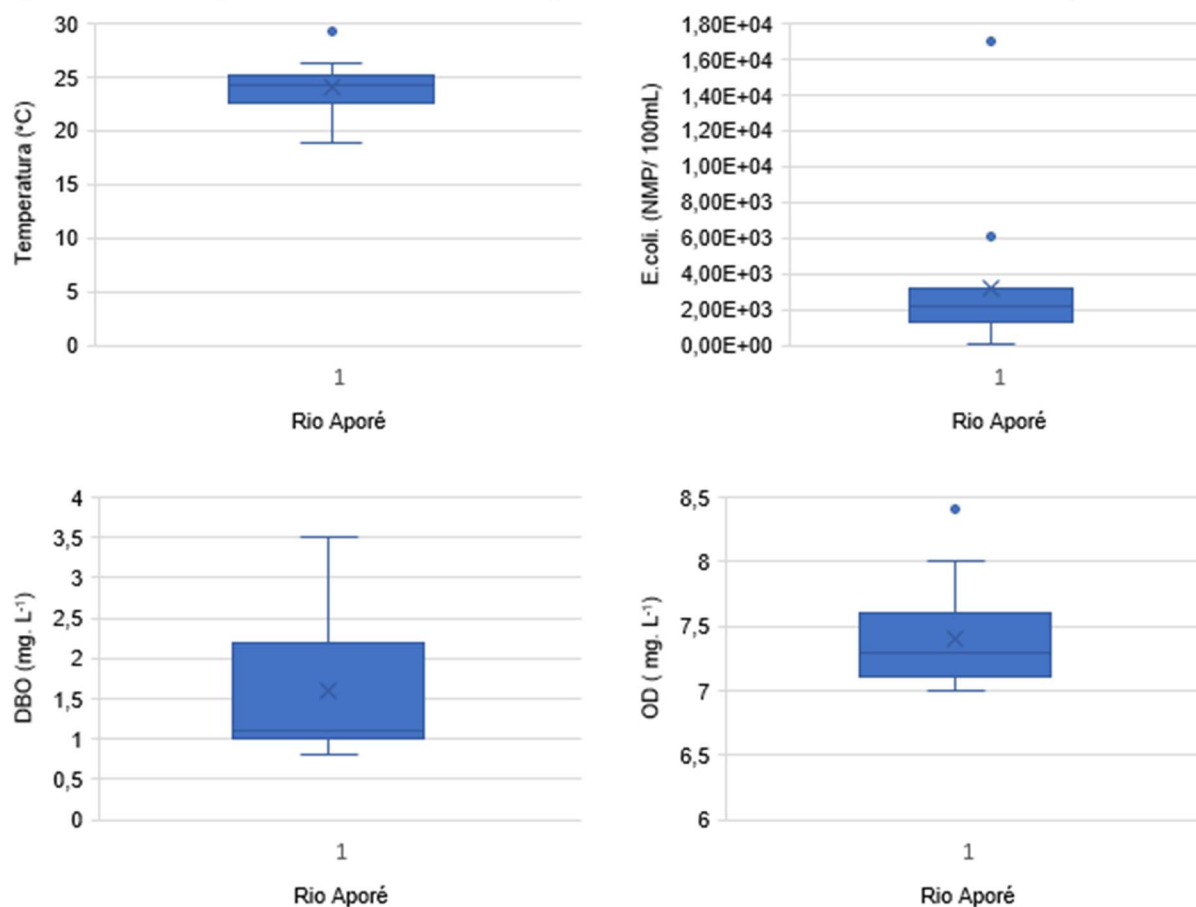
Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do corpo hídrico	L.s ⁻¹	85,068
Temperatura	°C	23,23
O.D.	mg.L ⁻¹	6,40
DBO	mg.L ⁻¹	1,79
E. coli	NMP/100mL	6,73E+02

Fonte: Próprio autor.

6.2.2 Rio Aporé corpo receptor da ETE Chapadão do Sul

Utilizando os dados da Estação Fluviométrica denominada Barra do Prata foi gerada a curva de permanência para as vazões do Rio Aporé no ponto de Lançamento da ETE Chapadão do Sul utilizando o SisCAH 1.0. Conforme relatório gerado pelo próprio SisCAH 1.0 adotou-se a vazão $Q_{95} = 64,77,88 \text{ m}^3/\text{s}$, para realização dos cálculos referentes à capacidade de autodepuração do Rio Aporé.

Figura 13 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Aporé



Fonte: Próprio autor.

Quanto às características do Rio Aporé, para obtenção dos valores médios de temperatura, DBO, oxigênio dissolvido e E. coli foram confeccionados gráficos box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 14). Foram identificados dados discrepantes, assim foram eliminados para o cálculo das médias.

Tabela 18 – Característica do Rio Aporé a montante do lançamento

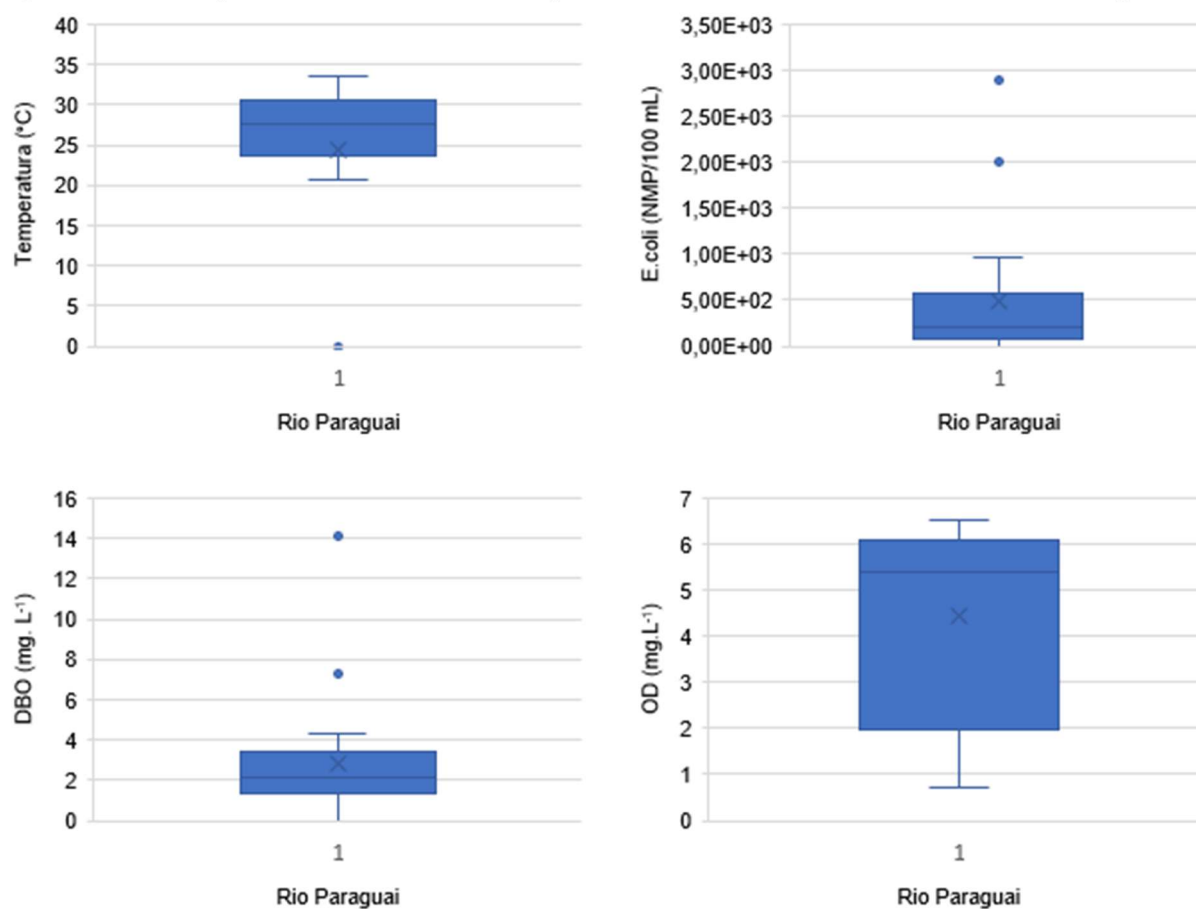
Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do corpo hídrico	L.s ⁻¹	64.770
Temperatura	°C	23,76
O.D.	mg.L ⁻¹	7,31
DBO_{5,20}	mg.L ⁻¹	1,97
E. coli	NMP/100mL	1,78E+03

Fonte: Próprio autor.

6.2.3 Rio Paraguai corpo receptor da ETE Corumbá (Maria Leite)

Através dos dados da Estação Fluviométrica denominada Porto Murtinho foi gerada a curva de permanência para as vazões do Rio Paraguai, próximo ao emissário da ETE Maria Leite utilizando o SisCAH 1.0. Conforme relatório gerado pelo próprio SisCAH 1.0 adotou-se a vazão $Q_{95} = 916,94 \text{ m}^3/\text{s}$, para realização dos cálculos referentes à capacidade de autodepuração do Rio Paraguai.

Figura 14 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Paraguai



Fonte: Próprio autor.

Durante a análise dos dados de temperatura DBO, OD e E. coli foram identificados dados atípicos para os parâmetros DBO e E.coli (Figura 15). Estes dados foram então desconsiderados para o cálculo das médias.

Tabela 19 – Característica do Rio Paraguai a montante do lançamento

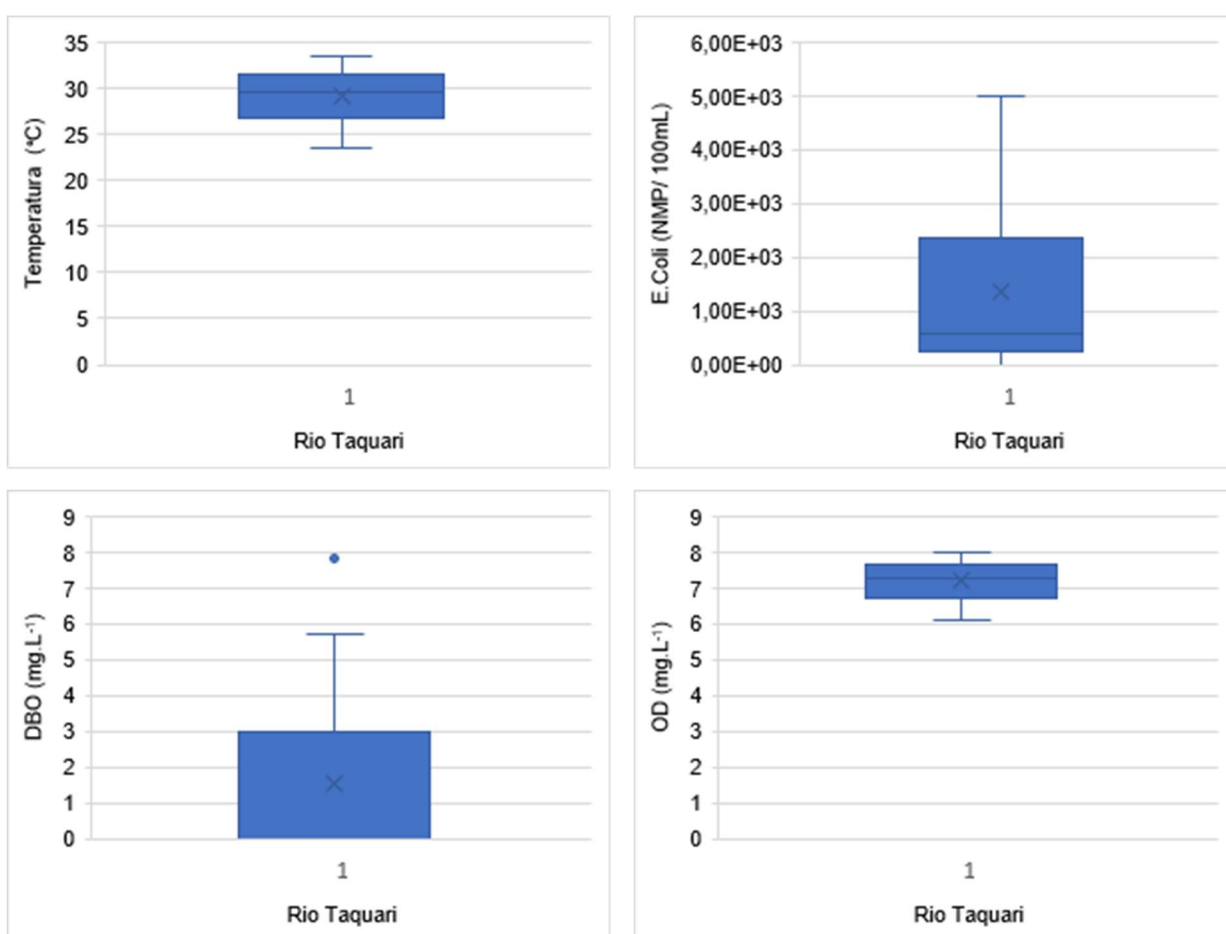
Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do corpo hídrico	L.s ⁻¹	916950
Temperatura	°C	27,81
O.D.	mg.L ⁻¹	4,34
DBO	mg.L ⁻¹	2,39
E. coli	NMP/100mL	3,40E+02

Fonte: Próprio autor.

6.2.4 Rio Taquari corpo receptor da ETE Coxim

Utilizando os dados da Estação Fluviométrica denominada Coxim foi gerada a curva de permanência para as vazões do Rio Taquari no ponto de Lançamento da ETE Coxim utilizando o SisCAH 1.0. Conforme relatório gerado pelo próprio programa adotou-se a vazão $Q_{95} = 147,88 \text{ m}^3/\text{s}$, para realização dos cálculos referentes à capacidade de autodepuração do Rio Taquari.

Figura 15 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Taquari



Fonte: próprio autor.

Quanto às características do Rio Taquari, para obtenção dos valores médios de temperatura, DBO_{5,20}, oxigênio dissolvido e E. coli foram realizados gráficos box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 16). Não foram identificados dados discrepantes, deste modo nenhum valor foi eliminado para o cálculo das médias.

Tabela 20 – Característica do Rio Taquari a montante do lançamento

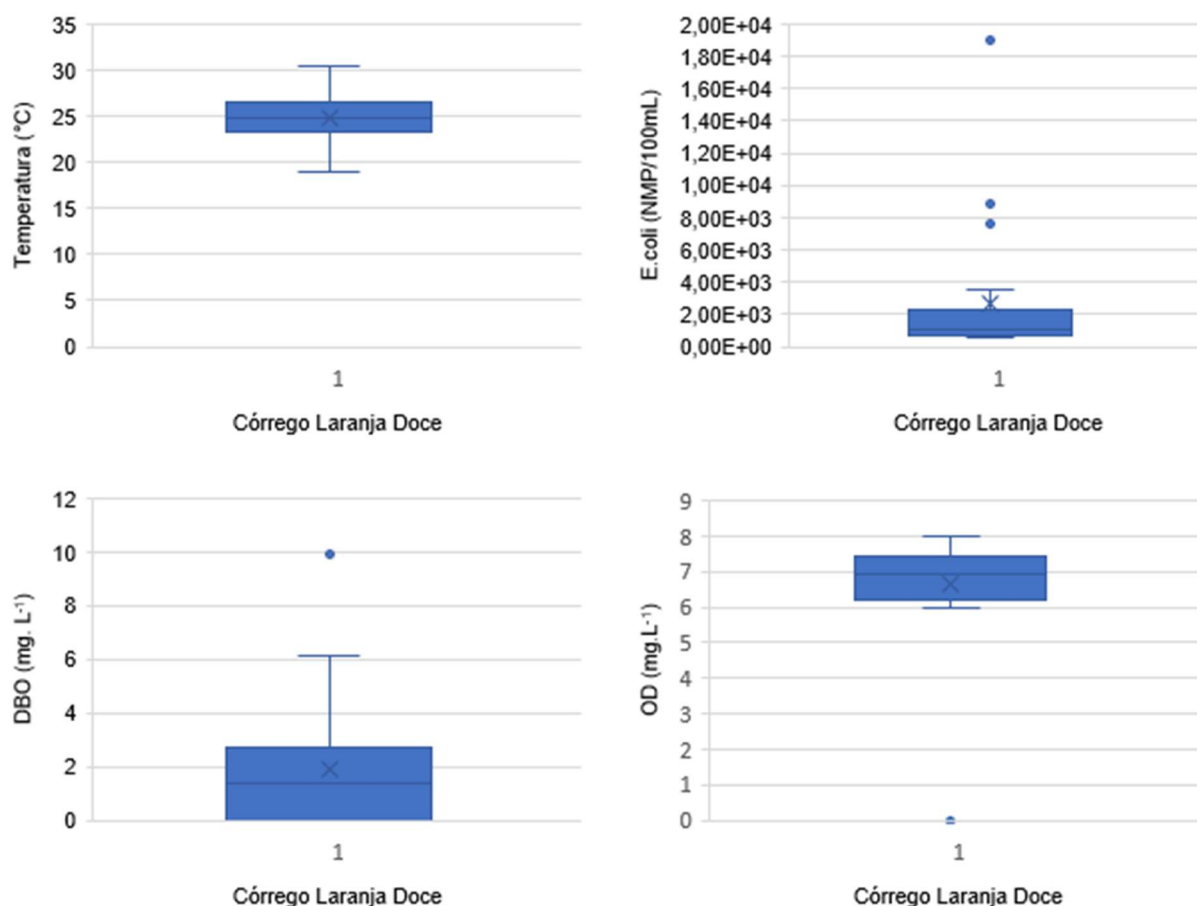
Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do corpo hídrico	L.s ⁻¹	147.880
Temperatura	°C	29,03
O.D.	mg.L ⁻¹	3,39
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	7,19
E. coli	NMP/100mL	1,73E+03

Fonte: Próprio autor.

6.2.5 Córrego Laranja Doce corpo receptor da ETE Dourados (Presídio)

Foi realizado o cálculo da vazão específica da Estação Dourados, localizada no Rio Dourados, corpo hídrico localizado na UPG do Rio Ivinhema, mesma região hidrográfica do Córrego Laranja Doce. O valor obtido multiplicado pela área de drenagem do corpo hídrico até o emissário de esgoto tratado, de 101,19 Km², resultou em uma vazão de permanência de 699,22 L/s (Q₉₅).

Figura 16 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Córrego Laranja Doce



Fonte: Próprio autor.

Para obtenção dos valores médios de temperatura, DBO, oxigênio dissolvido e E. coli foram realizados gráficos box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Gráfico 17). Foram identificados dados discrepantes para os parâmetros DBO e E.coli, que foram devidamente desconsiderados para o cálculo das médias.

Para o cálculo da média do parâmetro E. coli foi necessário eliminar três dados que apresentaram um grande afastamento das demais da série.

Tabela 21 – Característica do Córrego Laranja Doce a montante do lançamento

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do corpo hídrico	L.s ⁻¹	699,22
Temperatura	°C	24,82
O.D.	mg.L ⁻¹	6,95
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	2,38
E. coli	NMP/100mL	1,30E+03

Fonte: Próprio autor.

6.2.6 Córrego São José corpo receptor da ETE Inocência

Foi realizado o cálculo da vazão específica da Estação Próximo Costa Rica localizada no Rio Sucuriú, UPG Sucuriú, mesma região hidrográfica do Rio São José. O valor obtido multiplicado pela área de drenagem do corpo hídrico até o emissário de esgoto tratado, de 76,89 Km², resultou em uma vazão de permanência de 830,412 L/s (Q₉₅).

Como a ETE foi operacionalizada recentemente, só havia dados de monitoramento do Córrego São José nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2017, impossibilitando a análise estatística dos dados. Deste modo foi utilizada a média simples.

Tabela 22 – Característica do Córrego São José a montante do lançamento

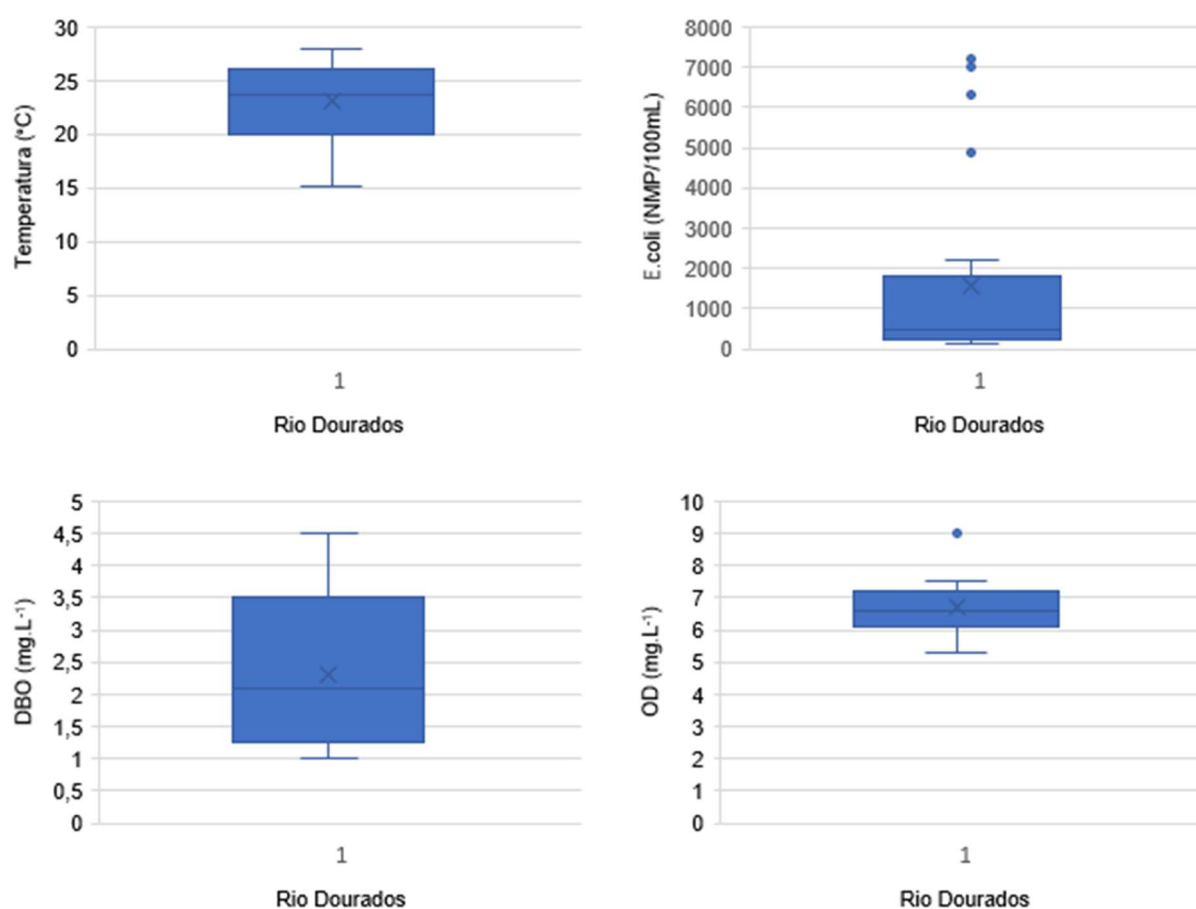
Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do corpo hídrico	L.s ⁻¹	830,00
Temperatura	°C	26,40
O.D.	mg.L ⁻¹	6,83
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	1
E. coli	NMP/100mL	1,05E+03

Fonte: Próprio autor.

6.2.7 Rio Dourados corpo receptor da ETE Fátima do Sul

Através dos dados da Estação Fluviométrica denominada Dourados foi gerada a curva de permanência para as vazões do Rio Dourados próximo ao emissário da ETE do município de Fátima do Sul utilizando o SisCAH 1.0. Conforme relatório gerado pelo próprio SisCAH 1.0 adotou-se a vazão $Q_{95} = 39,36 \text{ m}^3/\text{s}$, para realização dos cálculos referentes à capacidade de autodepuração do Rio Dourados.

Figura 17 – Boxplot dos valores de temperatura, E.coli, DBO e OD do Rio Dourados



Fonte: Próprio autor.

Para obtenção dos valores médios de temperatura, DBO, oxigênio dissolvido e E. coli foram realizados gráficos box plot com os dados obtidos nos anos de 2016 e 2017 (Figura 18). Foram identificados dados discrepantes para os parâmetros OD e E.coli, desconsiderados para o cálculo das médias.

Para o cálculo da média do parâmetro E. coli foi necessário eliminar quatro dados que apresentaram um grande afastamento das demais dados da série.

Tabela 23 – Característica do Rio Dourados a montante do lançamento

Parâmetro Considerado	Unidade	Valor
Vazão do corpo hídrico	L.s	3.936,00
Temperatura	°C	23,16
O.D.	mg.L ⁻¹	6,52
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹	2,98
E. coli	NMP/100mL	5,44E+02

Fonte: Próprio autor.

6.3 OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES

Conforme bibliografia, o coeficiente de desoxigenação (k_1) para efluentes deve variar entre 0,12 a 0,4 dia⁻¹. Neste estudo foi considerado o valor de 0,12 dia⁻¹, o menor valor, portanto mais conservador. O coeficiente de remoção efetiva do rio (k_d), também conforme bibliografia, foi considerado como 0,2 dia⁻¹. Por fim, o coeficiente de decaimento bacteriano (k_b), foi considerado como 1,0 dia⁻¹. Todos esses coeficientes sofreram correção de temperatura.

Para obtenção dos coeficientes de reaeração (k_2) foram utilizados valores de profundidade e velocidade dos corpos hídricos receptores, em caso de indisponibilidade destes dados foram utilizados coeficientes obtidos na bibliografia.

6.3.1 Coeficientes da ETE Bonito

Em decorrência da ausência de dados de profundidade e velocidade média do córrego Bonito o coeficiente de reaeração foi estimado por bibliografia (Tabela 9).

Considerando que a temperatura do Córrego Bonito, após o lançamento de esgoto sanitário tratado, é de 24,52 °C foi realizada a correção de temperatura para obtenção dos demais coeficientes.

Tabela 24 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes

Coeficientes	Unidade	Valor
Coeficiente de desoxigenação	dia ⁻¹	0,148
Coeficiente de remoção efetiva do rio	dia ⁻¹	0,246
Coeficiente de reaeração	dia ⁻¹	1,15
Coeficiente de decaimento bacteriano	dia ⁻¹	1,358

Fonte: Próprio autor.

6.3.2 Coeficientes da ETE Chapadão do Sul

O coeficiente de reaeração foi determinado por meio da utilização de dados obtidos durante medição de vazão pontual realizadas in loco (Tabela 25), e a formulação adotada foi a de Churchill.

Tabela 25 – Dados da seção transversal do Córrego Laranja Doce

Parâmetros	Unidade	Valor
Profundidade média	m	1,04
Velocidade média	m/s	0,16

Fonte: Próprio autor.

Considerando que a temperatura do Rio Aporé, após o lançamento de esgoto sanitário tratado, é de 23,76°C foi realizada a correção de temperatura para obtenção dos demais coeficientes.

Tabela 26 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes

Coeficientes	Unidade	Valor
Coeficiente de desoxigenação	dia ⁻¹	0,143
Coeficiente de remoção efetiva do rio	dia ⁻¹	0,238
Coeficiente de reaeração	dia ⁻¹	8,4721
Coeficiente de decaimento bacteriano	dia ⁻¹	1,29

Fonte: Próprio autor.

6.3.3 Coeficientes da ETE Corumbá (Maria Leite)

Para determinação do coeficiente de reaeração, foram utilizados os dados da Estação Fluviométrica Porto Murtinho, disponibilizados pelo Hidroweb da Agência Nacional de Águas (Tabela 27), e adotada a formulação estabelecida por O'Connor e Dobbins (1958).

Tabela 27 – Dados da seção transversal do Rio Paraguai

Parâmetros	Unidade	Valor
Profundidade média	m	10
Velocidade média	m/s	0,61

Fonte: Próprio autor.

Considerando que a temperatura do Rio Paraguai, após o lançamento de esgoto sanitário tratado, é de 27,81°C foi realizada a correção de temperatura para obtenção dos demais coeficientes.

Tabela 28 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes

Coeficientes	Unidade	Valor
Coeficiente de desoxigenação	dia ⁻¹	0,172
Coeficiente de remoção efetiva do rio	dia ⁻¹	0,286
Coeficiente de reaeração	dia ⁻¹	0,3186
Coeficiente de decaimento bacteriano	dia ⁻¹	1,696

Fonte: Próprio autor.

6.3.4 Coeficientes da ETE Coxim

Para determinação do coeficiente de reaeração, foram utilizados os dados da Estação Fluviométrica Coxim, disponibilizados pelo Hidroweb da Agência Nacional de Águas (Tabela 29), e adotada a formulação estabelecida por Churchill (1962).

Tabela 29 – Dados da seção transversal do Rio Taquari

Parâmetros	Unidade	Valor
Profundidade média	m	2,00
Velocidade média	m/s	0,94

Fonte: Próprio autor.

Considerando que a temperatura do Rio Taquari, após o lançamento de esgoto sanitário tratado é de 29,03 °C foi realizada a correção de temperatura para obtenção dos demais coeficientes.

Tabela 30 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes

Coeficientes	Unidade	Valor
Coeficiente de desoxigenação	dia ⁻¹	0,182
Coeficiente de remoção efetiva do rio	dia ⁻¹	0,303
Coeficiente de reaeração	dia ⁻¹	1,4847
Coeficiente de decaimento bacteriano	dia ⁻¹	1,843

Fonte: Próprio autor.

6.3.5 Coeficientes da ETE Presídio (Dourados)

O coeficiente de reaeração foi determinado por meio da utilização de dados obtidos durante medição de vazão pontual realizadas in loco (Tabela 31), e a formulação adotada foi a de O'Connor e Dobbins(1958).

Tabela 31 – Dados da seção transversal do Córrego Laranja Doce

Parâmetros	Unidade	Valor
Profundidade média	m	1,04
Velocidade média	m/s	0,16

Fonte: Próprio autor.

Considerando que a temperatura do Córrego Laranja Doce, após o lançamento de esgoto sanitário tratado, é de 24,88°C foi realizada a correção de temperatura para obtenção dos demais coeficientes.

Tabela 32 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes

Coeficientes	Unidade	Valor
Coeficiente de desoxigenação	dia ⁻¹	0,150
Coeficiente de remoção efetiva do rio	dia ⁻¹	0,250
Coeficiente de reaeração	dia ⁻¹	4,8652
Coeficiente de decaimento bacteriano	dia ⁻¹	1,391

Fonte: Próprio autor.

6.3.6 Coeficientes da ETE Inocência

O coeficiente de reaeração foi determinado por meio da utilização de dados obtidos durante medição de vazão pontual realizadas in loco (Tabela 33), e adotada a formulação estabelecida por Owens, Edward e Gibbs (EPA, 1995).

Tabela 33 – Dados da seção transversal do Córrego São José

Parâmetros	Unidade	Valor
Profundidade média	m	0,29
Velocidade média	m/s	0,38

Fonte: Próprio autor.

Considerando que a temperatura do Córrego São José, após o lançamento de esgoto sanitário tratado, é de 26,42°C foi realizada a correção de temperatura para obtenção dos demais coeficientes.

Tabela 34 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes

Coeficientes	Unidade	Valor
Coeficiente de desoxigenação	dia ⁻¹	0,161
Coeficiente de remoção efetiva do rio	dia ⁻¹	0,269
Coeficiente de reaeração	dia ⁻¹	11,8781
Coeficiente de decaimento bacteriano	dia ⁻¹	1,543

Fonte: Próprio autor.

6.3.7 Coeficientes da ETE Fátima do Sul

Em decorrência da ausência de dados de profundidade e velocidade média do Rio Dourados o coeficiente de reaeração foi estimado por bibliografia.

Considerando que a temperatura do Rio Dourados, após o lançamento de esgoto sanitário tratado, é de 23,16 °C foi realizada a correção de temperatura para obtenção dos demais coeficientes.

Tabela 35 – Coeficientes utilizados para modelagens de oxigênio dissolvido e coliformes

Coeficientes	Unidade	Valor
Coeficiente de desoxigenação	dia ⁻¹	0,139
Coeficiente de remoção efetiva do rio	dia ⁻¹	0,231
Coeficiente de reaeração	dia ⁻¹	1,15
Coeficiente de decaimento bacteriano	dia ⁻¹	1,238

Fonte: Próprio autor.

6.4 MODELAGEM DE QUALIDADE

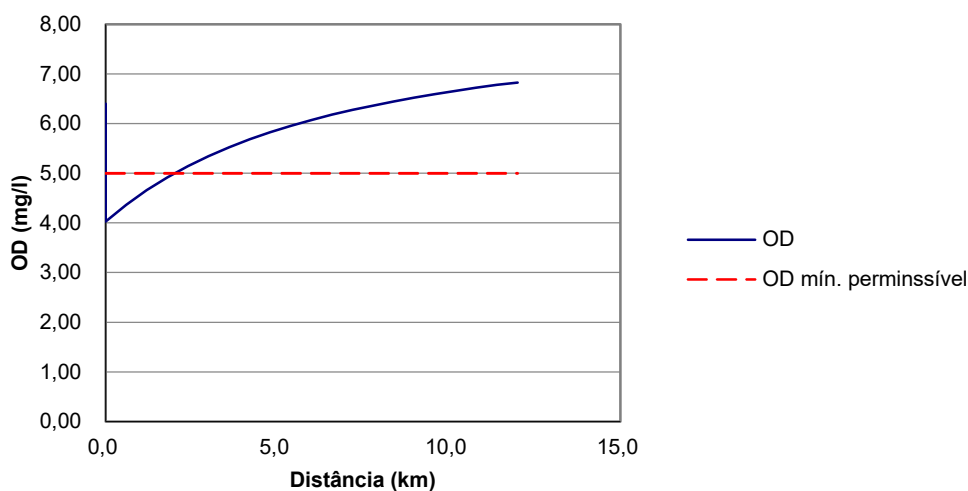
Através das modelagens foi demonstrado o perfil de oxigênio dissolvido ao longo do rio, além da variação de DBO e E. coli em decorrência do lançamento do efluente sanitário tratado em corpos hídricos, durante condições de restrição (vazões mínimas).

Para modelagem de cada estação de tratamento de esgoto, foi necessário estimar a distância da modelagem.

6.4.1 Modelagem de Qualidade da ETE Bonito

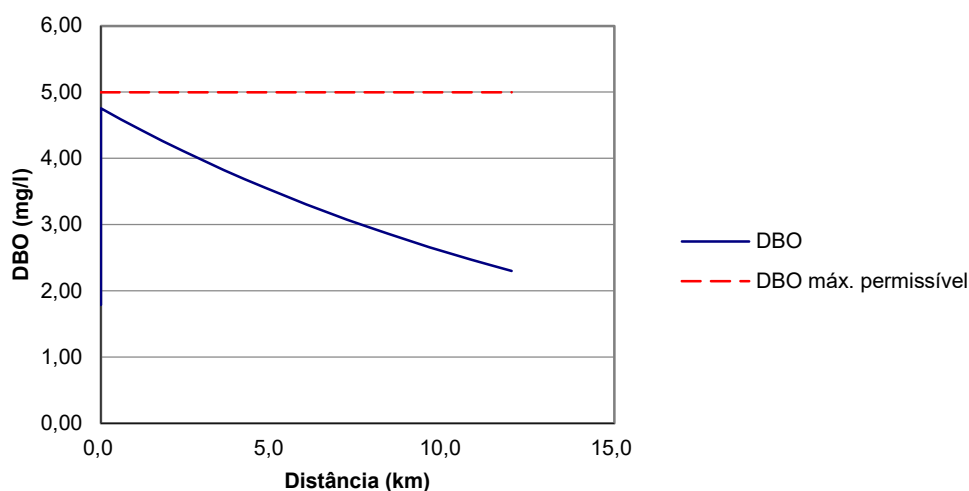
Após o lançamento de esgoto sanitário tratado no Córrego Bonito, corpo hídrico classe 2, a concentração de oxigênio dissolvido diminui, desenquadrando o Córrego Bonito na zona de mistura por aproximadamente 1,8 km (Figura 19). Também há um acréscimo da concentração de DBO após o lançamento do esgoto tratado, todavia o limite da classe 2, para este parâmetro, não é ultrapassado (Figura 20).

Figura 18 – Perfil de Oxigênio dissolvido após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q_{95}) do Córrego Bonito



Fonte: Próprio autor.

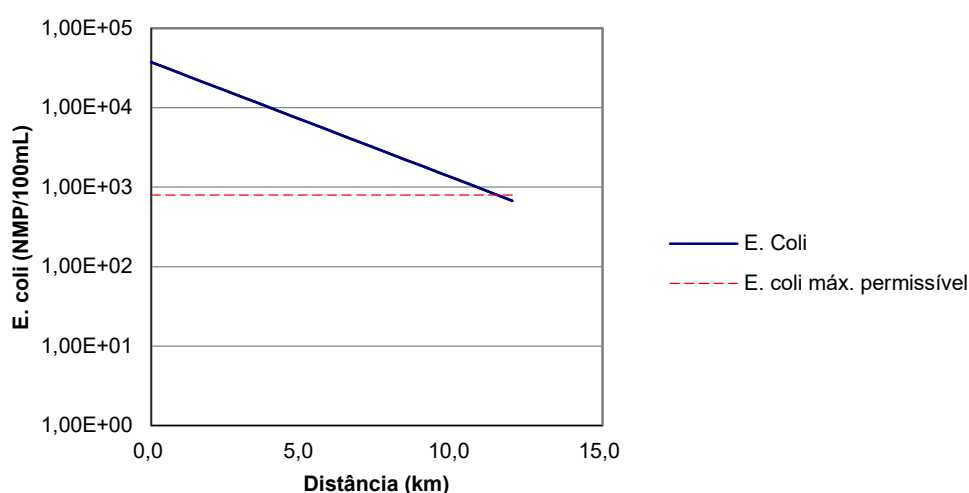
Figura 19 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q_{95}) do Córrego Bonito



Fonte: Próprio autor.

O Córrego Bonito tem sua concentração E. coli aumentada significativamente após o emissário de esgoto tratado, mesmo a ETE contando com um tratamento terciário. Deste modo o corpo hídrico só retorna as características de classe 2, após percorrer quase 12 Km (Figura 21).

Figura 20 – Perfil de E. coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q_{95}) do Córrego Bonito

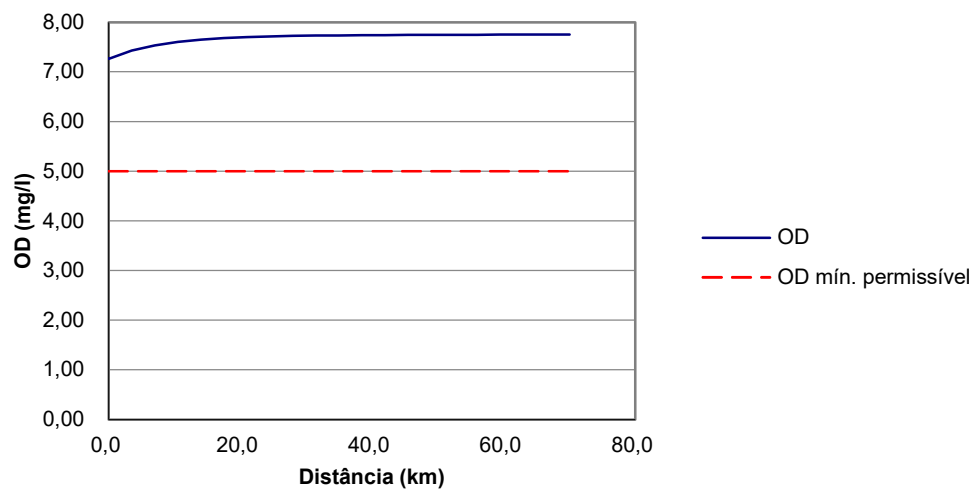


Fonte: Próprio autor.

6.4.2 Modelagem de Qualidade da ETE Chapadão do Sul

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado no Rio Aporé a concentração de oxigênio dissolvido tem uma ligeira queda na zona de mistura, retornando ao valor de montante após apenas 1 km (Figura 22).

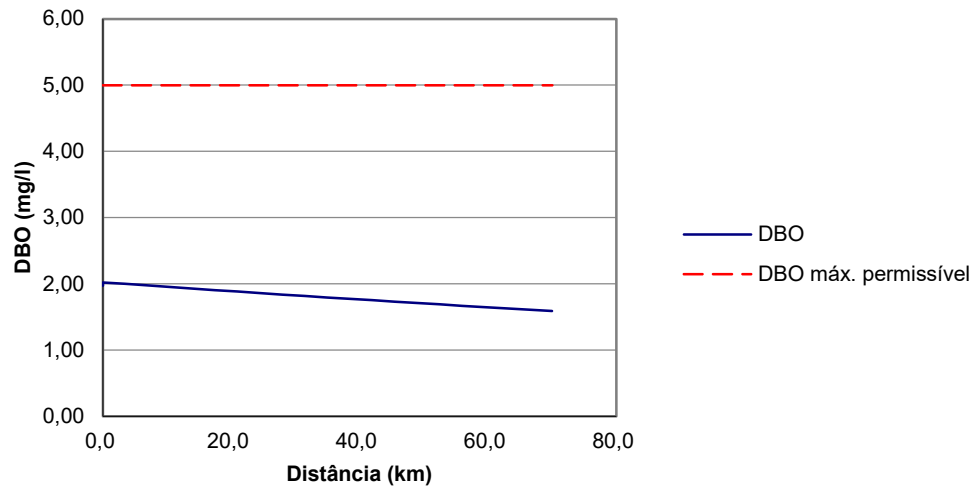
Figura 22 – Perfil de Oxigênio dissolvido após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Aporé



Fonte: Próprio autor.

Há um acréscimo da concentração de carga orgânica após o lançamento do esgoto tratado, o corpo hídrico só retorna à concentração de matéria orgânica da montante após 7 km, apesar disso o limite da classe 2 não é ultrapassado (Figura 23).

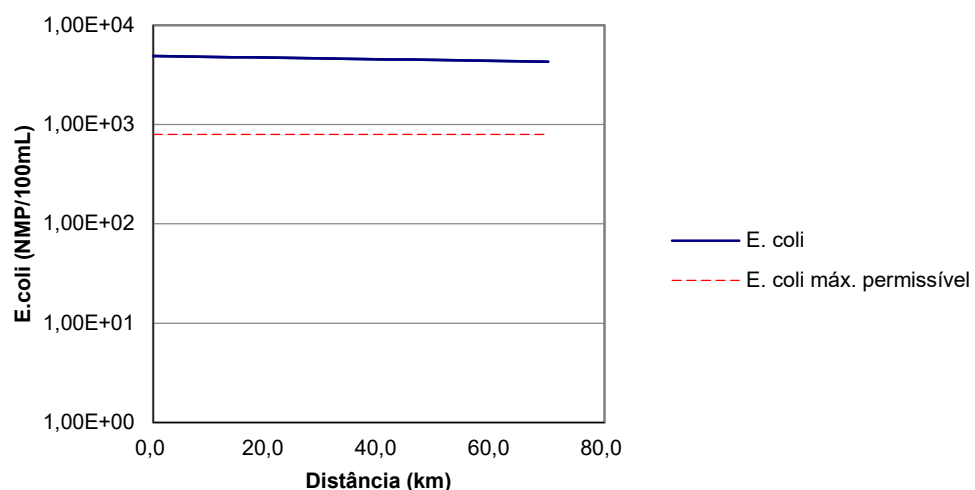
Figura 23 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Aporé



Fonte: Próprio autor.

O Rio Aporé possui alta concentração de E.coli já a montante do emissário, assim após o lançamento de esgoto sanitário tratado a concentração é elevada significativamente não retornando a qualidade encontrada a montante mesmo após 50 Km (Figura 24).

Figura 21 – Perfil de E. coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Áporé

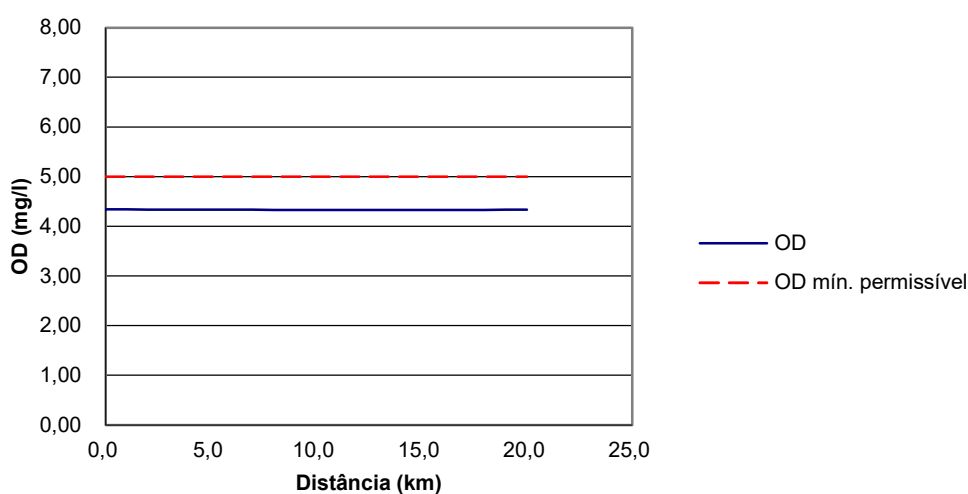


Fonte: Próprio autor.

6.4.3 Modelagem de Qualidade ETE Corumbá (Maria Leite)

O Rio Paraguai após o lançamento de esgoto sanitário tratado sofre pouca variação de sua qualidade, todavia já a montante do lançamento de esgoto tratado a concentração do oxigênio dissolvido é inferior a 5 mg/L, limite de corpos hídricos classe 2. A jusante do lançamento os valores de oxigênio dissolvido mantem-se praticamente constante por aproximadamente 10 km (Figura 25).

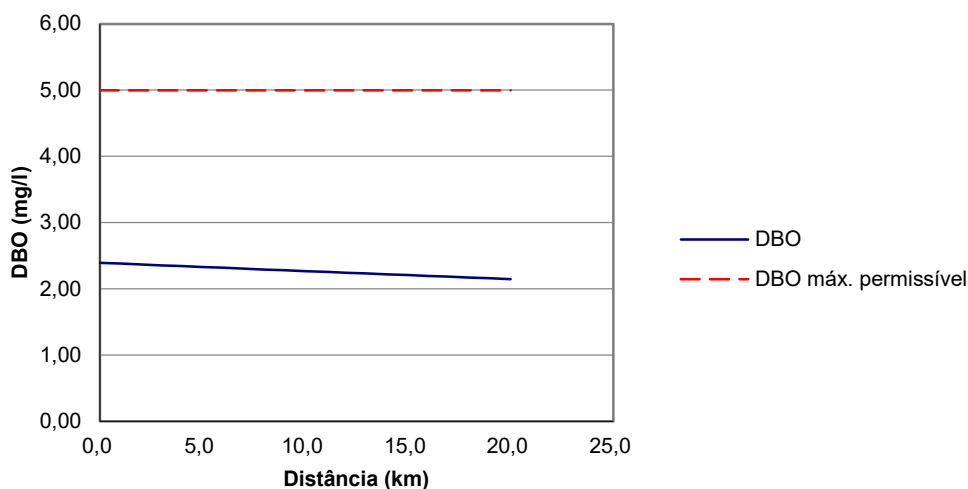
Figura 25 – Perfil de Oxigênio dissolvido após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Paraguai



Fonte: Próprio autor.

Não há um acréscimo na concentração de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado no trecho analisado (Figura 26). Possivelmente este parâmetro não sofreu alteração significativa devido à grande capacidade de diluição do Rio Paraguai.

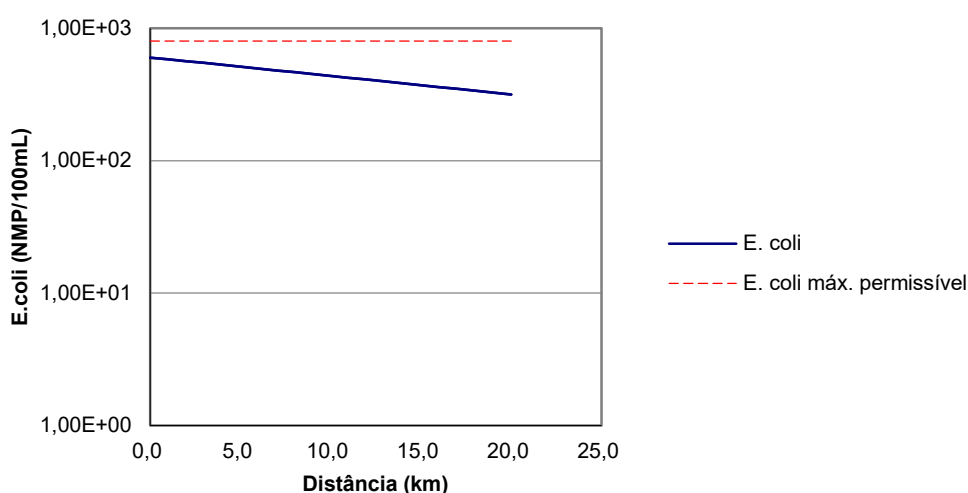
Figura 26 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Paraguai



Fonte: Próprio autor.

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado no rio Paraguai a concentração de E. coli é elevada, retornando à qualidade encontrada a montante após aproximadamente 17 km. Mesmo assim não há desenquadramento da classe do corpo hídrico para este parâmetro (Figura 27).

Figura 27 – Perfil de E. Coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Paraguai

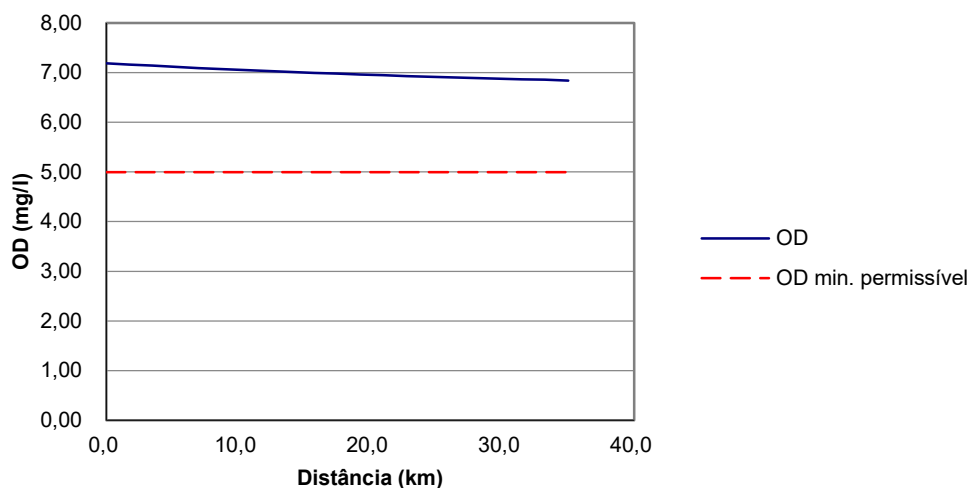


Fonte: Próprio autor.

6.4.4 Modelagem de Qualidade ETE Coxim

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado no rio Taquari a concentração de oxigênio dissolvido diminui, todavia não há desenquadramento do corpo hídrico na zona de mistura, para este parâmetro (Figura 28).

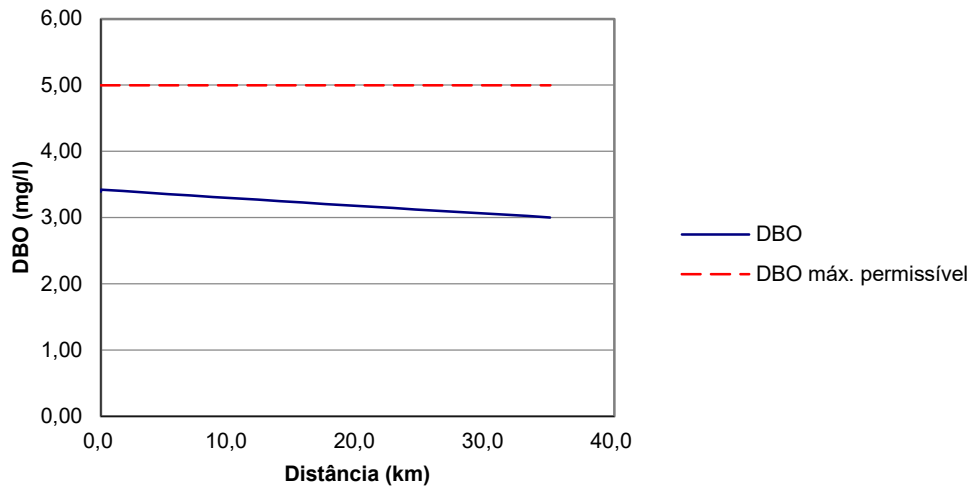
Figura 28 – Perfil de Oxigênio dissolvido após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Taquari



Fonte: Próprio autor.

Após o lançamento de efluente foi observada um acréscimo da carga orgânica, todavia o corpo hídrico retorna à concentração de matéria orgânica a montante após apenas 3,5 km O atendimento a classe 2 é mantido na zona de mistura (Figura 29).

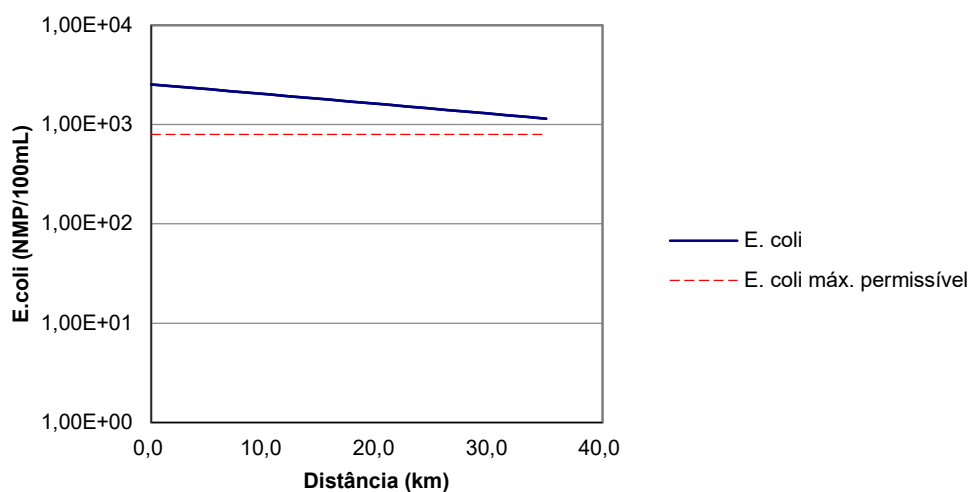
Figura 29 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Taquari



Fonte: Próprio autor.

O rio Taquari já apresenta uma concentração elevada de E.coli a montante do lançamento, assim após o lançamento de esgoto sanitário tratado a concentração é elevada significativamente retornando a qualidade encontrada a montante somente após 10 Km (Figura 30).

Figura 30 – Perfil de E.coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do rio Taquari

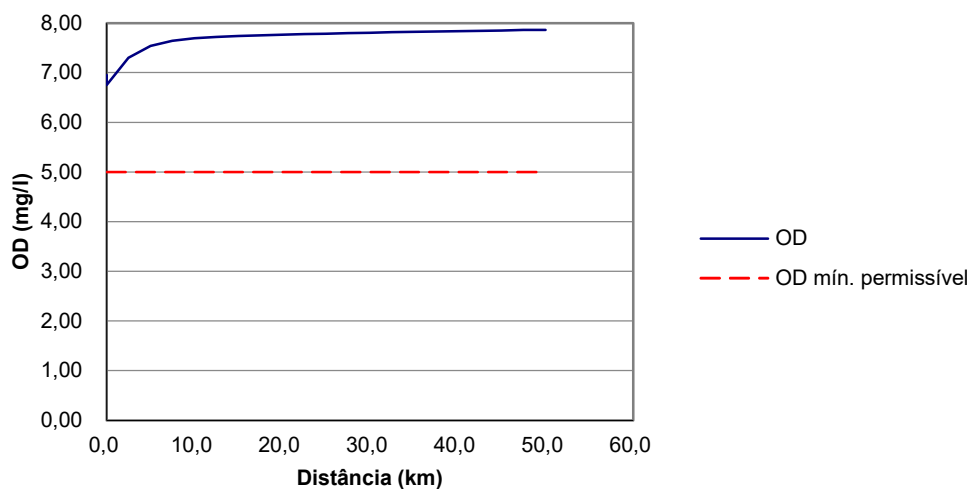


Fonte: Próprio autor.

6.4.5 Modelagem de Qualidade ETE Dourados (Presídio)

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado no Córrego Laranja Doce, houve pouca variação do parâmetro Oxigênio Dissolvido. Considerando a modelagem realizada, o corpo hídrico retorna à qualidade anterior ao lançamento, em relação a este parâmetro, em menos de 1 km (Figura 31).

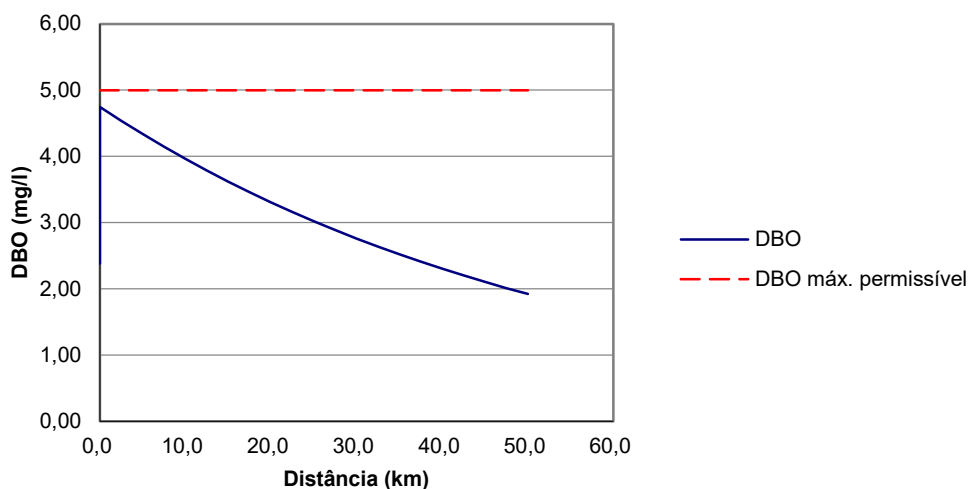
Figura 31 – Perfil de Oxigênio dissolvido após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Córrego Laranja Doce



Fonte: Próprio autor.

Há um acréscimo da concentração de DBO após o lançamento do esgoto tratado, o corpo hídrico só retorna à concentração de matéria orgânica a montante após 40 km, apesar disso o limite da classe 2 não é ultrapassado (Figura 32).

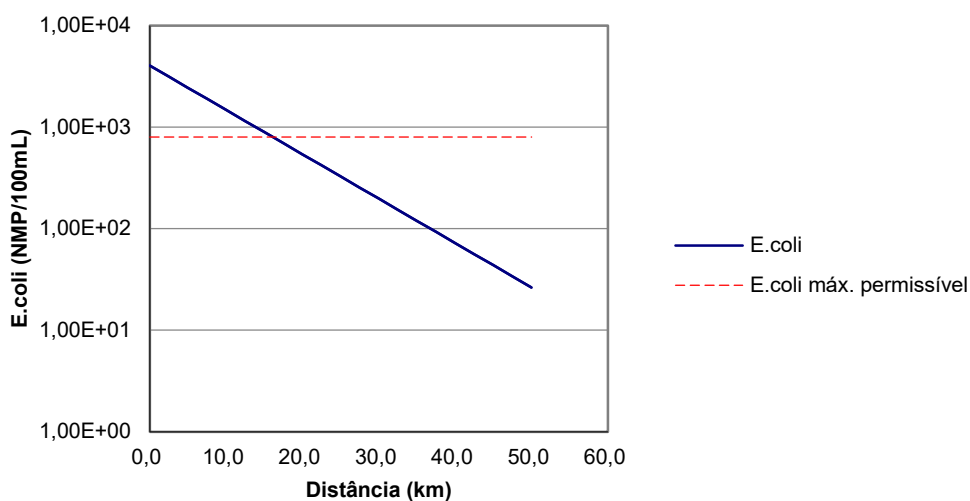
Figura 32 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Córrego Laranja Doce



Fonte: Próprio autor.

Em relação a E.coli, o Córrego Laranja Doce já apresenta uma concentração elevada deste parâmetro a montante do lançamento, assim após o lançamento de esgoto sanitário tratado a concentração é elevada significativamente retornando a qualidade encontrada a montante somente após 17,5 Km (Figura 33).

Figura 33 – Perfil de E.coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Córrego Laranja Doce

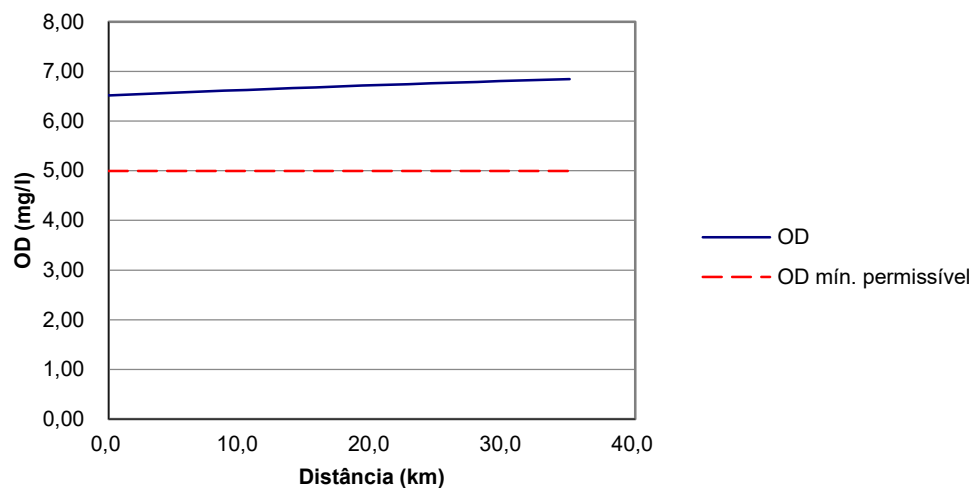


Fonte: Próprio autor.

6.4.6 Modelagem de Qualidade ETE Fátima do Sul

O Rio Dourados, após o lançamento de esgoto sanitário tratado não teve sua concentração de oxigênio dissolvido diminuída. Pelo contrário, houve incorporação de oxigênio dissolvido à jusante do emissário (Figura 34).

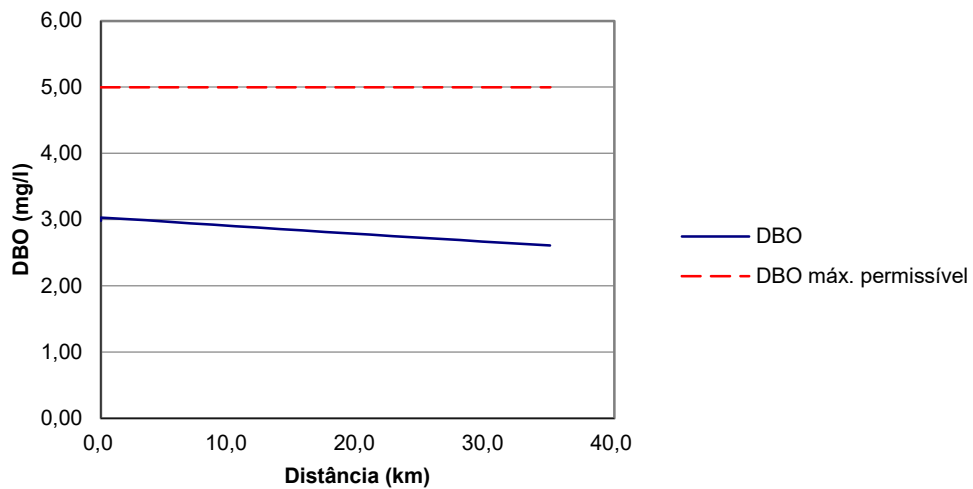
Figura 34 – Perfil de Oxigênio dissolvido após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Dourados



Fonte: Próprio autor.

Em atenção à DBO há acréscimo de sua concentração a jusante do lançamento, todavia o corpo hídrico retorna as condições de montante em aproximadamente 6 km, apesar disto a classe 2 é mantida durante o trecho analisado (Figura 35).

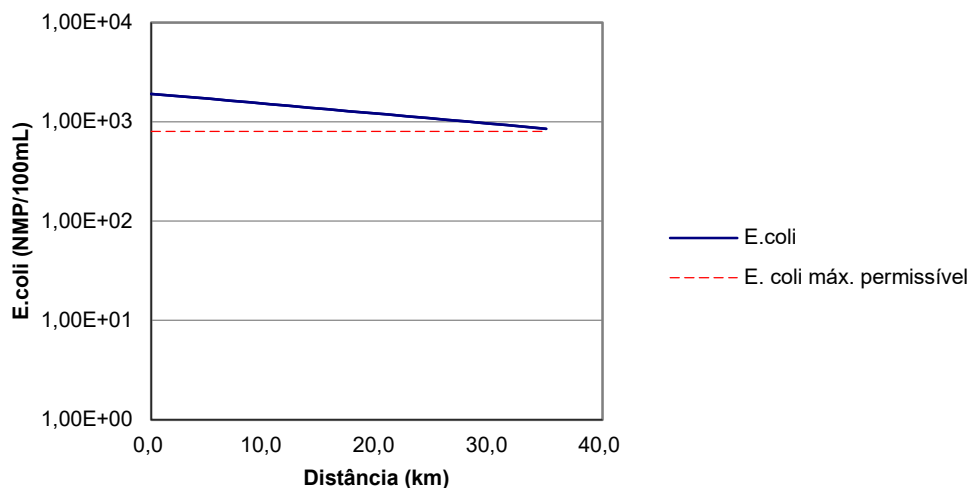
Figura 35 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Dourados



Fonte: Próprio autor.

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado há um aumento da concentração de E. coli e o Rio Dourados retorna à qualidade de montante somente após aproximadamente 35 km (Figura 36).

Figura 36 – Perfil de E.coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Rio Dourados



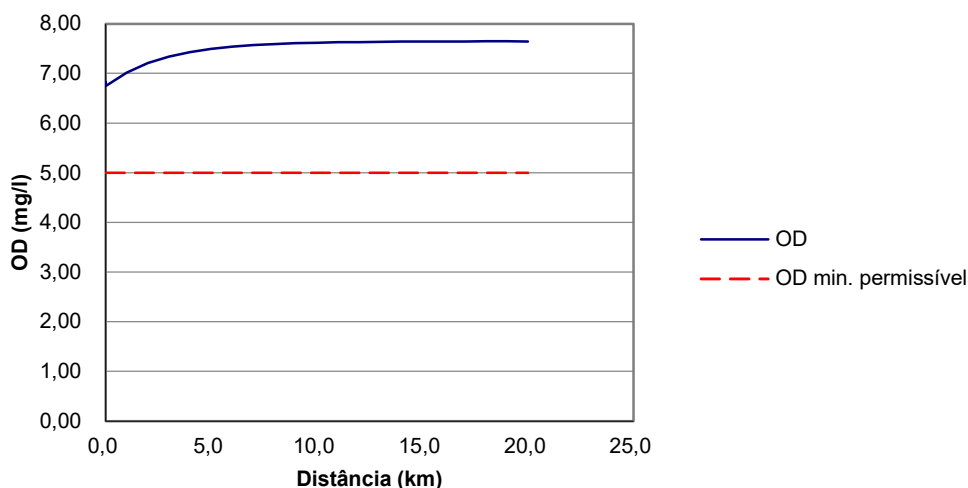
Fonte: Próprio autor.

6.4.7 Modelagem de Qualidade ETE Inocência

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado no Córrego São José, corpo hídrico classe 2, a concentração de oxigênio sofre pouca variação, após um pequeno

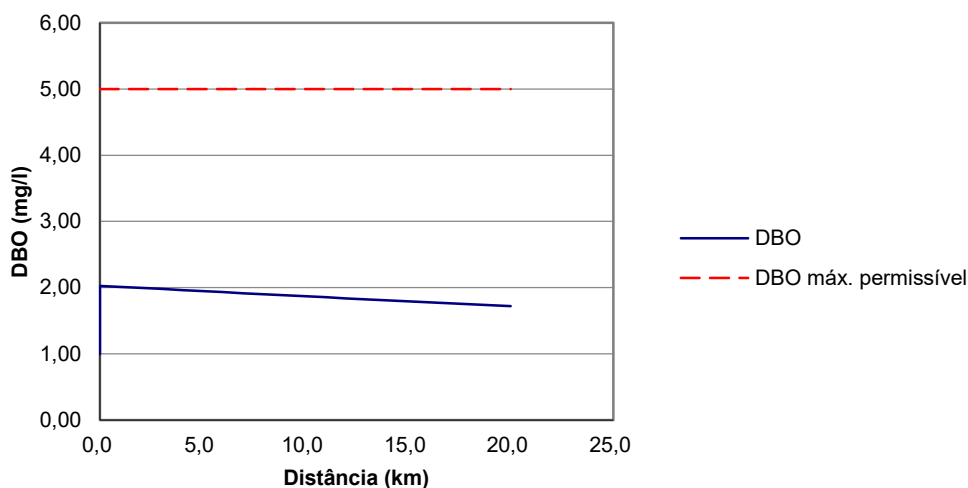
decréscimo há incorporação de OD (Figura 37). Já em relação à DBO há acréscimo de sua concentração a jusante, todavia o limite da classe 2 não é ultrapassado (Figura 38).

Figura 37 – Perfil de OD após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Córrego São José



Fonte: Próprio autor.

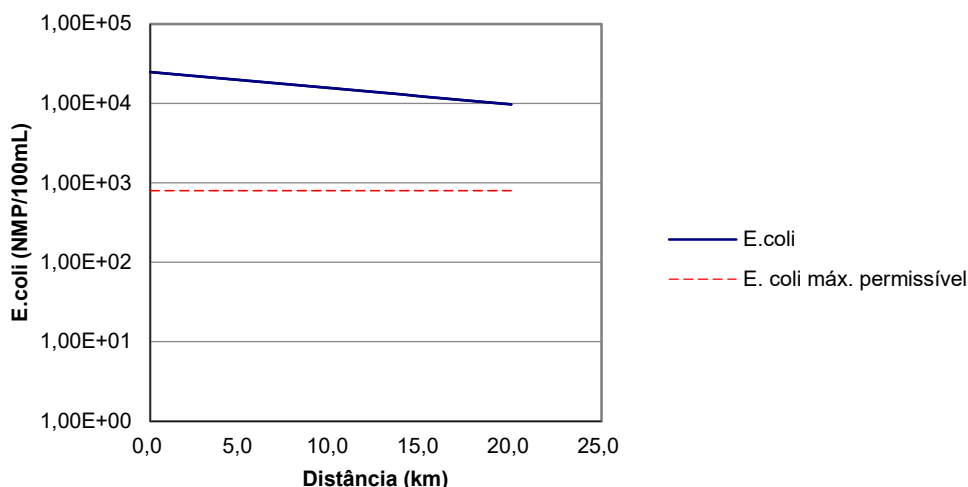
Figura 38 – Perfil de DBO após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Córrego São José



Fonte: Próprio autor.

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado no Córrego São José a concentração de E. coli é elevada significativamente não retornando à qualidade encontrada a montante mesmo após 50 Km (Figura 39).

Figura 39 – Perfil de E. coli após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando a vazão de permanência (Q95) do Córrego São José



Fonte: Próprio autor.

6.5 ALOCAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO

Para avaliar os efeitos de lançamento de efluente na qualidade da água de corpos hídricos deve-se escolher, para o devido monitoramento, um local representativo de todo o sistema.

Quando a classe do corpo hídrico foi atendida já na zona de mistura, o ponto de monitoramento a jusante foi locado após a zona de mistura. Quando a classe do corpo hídrico não foi atendida, por ao menos um parâmetro por um extenso trecho, o ponto de monitoramento a jusante foi locado logo após a zona de mistura para a maioria dos parâmetros, ou no ponto em que o corpo hídrico apresenta qualidade similar a montante.

Quando o trecho desenquadrado foi superior a 10,5 km optou-se por locar o monitoramento a esta distância. Isto porque locar pontos de monitoramento muito distantes inutiliza uma das principais funções do monitoramento, que é analisar o impacto do lançamento de efluente nos corpos hídricos, além do aumento dos custos de monitoramento. Esta distância foi uma sugestão, além disso espera-se que com a calibração dos coeficientes e revisão das modelagens este valor possa ser melhor definido no futuro.

Já quando a classe do corpo hídrico não foi atendida, por ao menos um parâmetro em um curto intervalo de tempo, optou-se por locar o ponto de monitoramento próximo ao limite da classe, estabelecido pela legislação.

Os diagramas com a locação dos pontos de monitoramento das 49 (quarenta e nove) Estações de Tratamento de Esgoto serão disponibilizados no Caderno de Locação de Pontos de amostragem em Corpos Receptores para monitoramento de ETEs, incluindo os diagramas das sete estações cujos resultados foram apresentados de forma detalhada nesta dissertação.

Espera-se que o Caderno, produto desta dissertação, seja parte de uma Instrução de Trabalho (IT), que tratará do monitoramento ETEs em Empresas de Saneamento juntamente com manuais e descrição de todo o processo de monitoramento.

Por fim espera-se que pela facilidade e simplicidade de disposição das informações, o mesmo sirva de norte para realocação, de forma adequada, dos pontos de monitoramento das ETEs em operação pelos técnicos de saneamento dos municípios.

Este Caderno deve ser atualizado continuamente, posto que a obtenção de dados contínuos permitirá a calibração dos coeficientes e consequentemente revisão das modelagens. Além disso, há previsão de operacionalização de novas estações de tratamento de esgoto bem como ampliação de estações existentes o que demandará futuras alocações de pontos de monitoramento.

6.5.1 Pontos de Monitoramento da ETE Bonito

O córrego Bonito, por meio da análise da modelagem terá sua qualidade alterada em relação a corpos hídricos classe 2 para os parâmetros E. coli e OD, em caso de vazões mínimas do córrego Bonito (Q_{95}).

De acordo com a legislação vigente são admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor na zona de mistura, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo.

Para o parâmetro OD o corpo hídrico retornou a concentrações superiores a 5 mg/L após aproximadamente 2,4 km, enquanto o parâmetro E. coli necessitou de quase 11 km para retornar aos limites da classe 2. Deste modo o ponto de monitoramento a jusante do lançamento será alocado a 11 km do emissário.

6.5.2 Ponto de Monitoramento ETE Chapadão do Sul

O Rio Aporé, por meio da análise da modelagem, terá sua qualidade alterada em relação aos parâmetros DBO e E.coli, posto que a concentração de OD apresentou pouca variação.

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado há um aumento da concentração de carga orgânica e apenas a 7 km do emissário a qualidade do corpo hídrico retorna as condições iniciais de DBO. Apesar disto o corpo hídrico não apresentou desenquadramento em relação a este parâmetro.

Todavia em relação ao parâmetro E.coli, o Rio Aporé já apresentou concentração superior ao limite da Classe 2 a montante do emissário de esgoto tratado. A alta concentração de E.coli evidencia a poluição no Rio Aporé, principalmente por poluição difusa, possivelmente ligadas ao desenvolvimento de atividades agropecuárias predominantes na bacia.

Após o lançamento do esgoto tratado no Rio Aporé o desenquadramento e relação ao parâmetro E.coli perdurou por mais de 50 km. Assim optou-se por alocar os pontos de monitoramento a 1,8 km do emissário.

6.5.3 Pontos de Monitoramento da ETE Corumbá (Maria Leite)

O Rio Paraguai não tem sua qualidade alterada devido ao lançamento de esgoto sanitário tratado principalmente devido sua capacidade de diluição, visto que os parâmetros E.coli, DBO e OD apresentaram pouca variação. Todavia em relação ao parâmetro oxigênio dissolvido, o mesmo apresentou-se abaixo do limite estipulado para classe 2, já a montante do lançamento.

Isto ocorre porque no rio Paraguai há eventos naturais de baixa concentração de Oxigênio Dissolvido, denominado decoada. Quando a água extravasa dos rios e entra em contato com a planície de inundação, na fase inicial da cheia, ocorrem processos de decomposição de matéria orgânica. Este evento ocorre em quase toda a extensão do rio Paraguai e sua intensidade e duração são variáveis (OLIVEIRA *et al*, 2013). Assim sendo o monitoramento será alocado a 2 km a jusante do emissário de esgoto tratado.

6.5.4 Ponto de Monitoramento ETE Coxim

Por meio da análise de modelagem conclui-se que o Rio Taquari não terá sua classe de qualidade alterada, em relação ao parâmetro DBO e OD, após o lançamento do efluente sanitário tratado na ETE Coxim, mesmo em caso de baixa vazão do corpo hídrico. Além disso, em relação a estes parâmetros o corpo hídrico retornou à condição anterior ao lançamento em um curto espaço de tempo.

No rio Taquari, a proximidade com o município de Coxim contribui com a degradação da qualidade de suas águas por despejos de efluentes domésticos e industriais, bem como por fontes de poluição difusas ligadas a atividades agropecuárias. Assim sendo, o parâmetro E. coli já apresentava elevadas concentrações a montante do lançamento de esgoto tratado no Rio Taquari e só após 10 km o decaimento foi suficiente para que o corpo receptor a jusante do lançamento apresentasse concentração similar à encontrada a montante.

Neste caso o ponto de monitoramento a jusante do lançamento será alocado 10 km a jusante do emissário de esgoto tratado, visto que neste local o corpo hídrico apresentará concentração de E. coli similar à encontrada antes do lançamento do efluente sanitário tratado.

6.5.5 Ponto de Monitoramento da ETE Dourados (Presídio)

O córrego Laranja Doce apresenta concentração de E. coli superior ao limite da Classe 2 já a montante do emissário de esgoto tratado, principalmente porque o córrego Laranja Doce já é o corpo hídrico receptor da ETE Laranja Doce também localizada no município de Dourados a montante da ETE Presídio.

Assim, após o lançamento do esgoto tratado na ETE Presídio, este desenquadramento prevalece por aproximadamente 45 km.

Já em relação aos parâmetros DBO e OD há pouca variação de suas concentrações, desta forma optou-se por alocar o ponto de monitoramento a 10 km do emissário.

6.5.6 Ponto de Monitoramento ETE Fátima do Sul

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado há um aumento da concentração de carga orgânica e apenas a 40 km do emissário a qualidade do corpo hídrico retorna as condições iniciais de DBO. Apesar disto o corpo hídrico não apresentou desenquadramento em relação a este parâmetro.

Todavia em relação ao parâmetro E.coli, o Rio Dourados já apresentou concentrações superiores ao limite da Classe 2 a montante do emissário de esgoto tratado, o que sugere alterações antrópicas ocasionadas possivelmente por descarte de esgoto não tratado. Deste modo, após o lançamento do esgoto tratado este desenquadramento perdurou por mais de 17,50 km.

Portanto optou-se por alocar o ponto de monitoramento a 5,3 km do emissário, local em que a concentração da carga orgânica a jusante se assemelha a concentração de montante.

6.5.7 Ponto de Monitoramento ETE Inocência

O córrego São José, por meio da análise da modelagem, terá sua qualidade alterada em relação à classe 2 para o parâmetro E. coli, em caso de vazões mínimas do corpo hídrico (Q_{95}), por até 50 km de distância a jusante do emissário.

Após o lançamento de esgoto sanitário tratado há um aumento da concentração de carga orgânica, apesar disto o corpo hídrico não apresentou desenquadramento em relação aos parâmetros DBO e OD.

De acordo com a legislação vigente são admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor na zona de mistura, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo.

Como o corpo hídrico em relação ao parâmetro E. coli tem sua recuperação após longa distância, optou-se neste estudo por alocar o ponto de monitoramento a 10 km do emissário.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposição de uma metodologia para definição de pontos de monitoramento em corpos hídricos após o lançamento de esgoto sanitário tratado é uma tentativa de contribuir na melhoria da qualidade dos dados já produzidos atualmente por companhias e concessionárias, que operam sistemas de esgotamento sanitário.

Uma maior qualidade e consequentemente confiabilidade das séries de dados produzidas possibilitarão a avaliação contínua dos sistemas de esgotamento sanitário do ponto de vista da capacidade suporte dos corpos hídricos, identificando riscos saúde, eutrofização e comunidade aquática.

A avaliação de corpos hídricos receptores de esgotamento sanitários, bem como estudos da capacidade suporte dos mesmos, é extremamente importante para casos de implantação ou ampliação de estações de tratamento de esgoto. Ainda quando se considera que apenas 55% da população brasileira possui atendimento adequado de esgotamento sanitário, frutos de fatores históricos, políticos econômicos e sociais e que atualmente há grandes esforços em busca da universalização da coleta e tratamento de esgoto.

A modelagem de qualidade água mais uma vez se mostrou uma ferramenta importante para a gestão de recursos hídricos, pois permitiu um conhecimento da dinâmica da concentração de poluentes como DBO e E.coli em corpos hídricos. O modelo utilizado permitiu um fácil entendimento e manuseio, e devido à exigência de limitados dados de entrada possibilitou a realização das simulações, e consequentemente alocações de pontos de monitoramento, em corpos hídricos com poucas informações.

As principais dificuldades encontradas foram a ausência de dados dos corpos hídricos, imprescindível para os cálculos das vazões de permanência e coeficientes, que necessitaram ser estimados sem qualquer tipo de calibração.

Mesmo assim as equações inseridas no modelo QUAL-UFMG foram capazes de representar as condições de qualidade da água, durante as vazões mais restritivas dos corpos hídricos. Dessa maneira, a utilização do modelo com o intuito de fornecer dados representativos de todo o corpo hídrico acaba por fornecer maiores informações para o gerenciamento de recursos hídricos.

O Caderno de Locação de Pontos de amostragem em Corpos Receptores para monitoramento de ETEs é o principal produto desta dissertação, e espera-se que o

mesmo seja parte de uma Instrução de Trabalho (IT), a ser cumprida por técnicos de saneamento, voltada a monitoramento de estações de tratamento de esgoto, juntamente com manuais e descrição das atividades envolvidas no processo.

Este Caderno deve ser atualizado continuamente, posto que a obtenção de dados permitirá a calibração dos coeficientes e consequentemente readequação das modelagens. Além disso, há previsão de operacionalização de novas estações de tratamento de esgoto bem como ampliação de estações existentes o que acarretará em novas alocações de pontos de monitoramento.

Considerando os resultados obtidos nesta pesquisa faz-se as seguintes contribuições, em caso de utilização do Modelo QUAL-UFMG para alocação de pontos de monitoramento em corpos hídricos.

- a) visita *in loco* dos possíveis pontos de monitoramento para que possam ser identificadas possíveis fontes de contaminação pontual ou difusa;
- b) ampliação da rede de monitoramento de vazão de corpos hídricos, haja vista o grande número de corpos receptores em que a vazão de permanência foi estimada;
- c) calibração e validação dos coeficientes visto que neste estudo optou-se por valores mais conservadores da literatura;
- d) realizar as simulações dos parâmetros nitrogênio e fósforo após o lançamento de esgoto sanitário tratado, considerando os resultados obtidos na alocação dos pontos de monitoramento.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Brasília – DF, 2017a. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 15 maio 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF, 2017b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2017c.
- ADAM, K. N. *et al.* Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 999-1007, out. 2015.
- ALPHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 2. ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 1998.
- ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal engineering and ecology in pollution control**. New York: Marcel Dekker, 1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9649**: projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - procedimento. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9897**: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13403**: medições de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores: escoamento livre. Rio de Janeiro, 1995.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE. **Manual para serviços de hidrometria**. Brasília: DNAEE, 1977. 95 p.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. Brasília, DF, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 15 jan. 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 377, de 9 de outubro de 2006**. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507>. Acesso em: 13 dez. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, DF, 2011a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 01 maio 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n. 91, de 5 de novembro de 2011**. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Brasília, DF, 2011b. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/820-resolucao-n-91-de-5-de-novembro-de-2008/file>. Acesso em: 01 maio 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 jan. 2018.

CASTAGNINO, W. A. **Polucion de água**: modelos y control. Lima: CEPIS, 1977. (Série Técnica)

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Monitoramento de Escherichia coli e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/2008-ecoli.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília, DF: ANA, 2011.

CHAPMAN, D. **Water quality assessments**: a guide to the use of biota, sediments and environmental monitoring. 2. ed. London: Spon, 1996.

CHAPRA, S. C. **Surface water quality modeling**. Dubuque: WCB/McGraw-Hill, 1997.

COX, B. A. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. **The Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 314-316, p. 335-377, 2003.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A. **Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales**. Cidade do México: Editorial Limusa, 1973. V. 2.

HEALTH CANADA. **Guidelines for canadian recreational water quality**. 3. ed. Water, air and climate change bureau, healthy environments and consumer safety branch, health Canada, Ottawa, Ontario, 2012. Disponível em: <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-recreational-recreative-eau/alt/pdf/water-recreational-recreative-eau-eng.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014.

MENDONÇA, A. S. F. **Desenvolvimento de sistema de suporte à decisão para subsídio à outorga de uso de água de rios, lagos e reservatórios considerando fontes pontuais e difusas**. [S. l.: s. n.], 2001. Edital CT-HIDRO 01/2001.

MATO GROSSO DO SUL. Conselho Estadual de Controle Ambiental. **Deliberação CECA nº36 de 27 de junho de 2012**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado do Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Campo Grande, MS, 2012. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=251067>. Acesso em: 12 dez. 2017.

MATO GROSSO DO SUL. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução CERH/MSº 56, de 13 de dezembro de 2018**. Aprova o enquadramento dos corpos de águas superficiais dos córregos Água Boa, Rêgo d'Água e Paragem, em classes de uso, desde suas nascentes até sua confluência com o com o Rio Dourados. Campo Grande, MS, 2018. Disponível em: <http://www.spdo.ms.gov.br/diariodoe/Index/PaginaDocumento/45452/?Pagina=41>. Acesso em: 18 jan. 2019.

MATO GROSSO DO SUL. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução CERH/MS 25, de 3 de março de 2015. Estabelece critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Campo Grande, MS, 2015a. Disponível em: <http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/74/2018/01/RESOLU%C3%87%C3%83O-025-CRIT%C3%89RIOS-DE-OUTORGAty.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2019.

MATO GROSSO DO SUL. A Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar. **Resolução SEMADE/MS 21, de 27 de novembro de 2015**. Campo Grande, MS, 2015b. Estabelece normas e procedimentos para a Outorga de Usos de Recursos Hídricos e dá outras providências. Campo Grande, MS, 2015b. Disponível em: <http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/74/2015/12/Manual-de-Outorga-Di%C3%A1rio-Oficial..4.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2019.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMADE. e Desenvolvimento Econômico do Estado de. **Diagnóstico socioeconômico**. Campo Grande: SEMADE, 2015c.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Perfil estatístico de Mato Grosso do Sul**: ano base: 2015. Campo Grande, MS: SEMADE, 2016.

MATO GROSSO DO SUL. **Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: Ed. da UEMS, 2010.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. **Wastewater engineering**: treatment and reuse: Metcalf & Eddy 4. ed. New Delhi: McGraw-Hill Education, 2003. 1408 p.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

OLIVEIRA, M. D. **Mapeamento e descrição das áreas de ocorrências de eventos de decoada no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2013.

OLIVEIRA FILHO, A. A.; LIMA NETO, I. E. Modelagem da qualidade da água do rio Poti em Teresina (PI). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 1-12. 2016.

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. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 105-114. 2013.

SOUZA, H. T. **Sistema computacional para regionalização de vazões**: SisCAH 1.0. Brasília, DF: ANA; Viçosa, MG: UFV, 2009.

TEODORO, A.; NOBUYOSHI, C.; RIBEIRO, M. L.; BROCH, S. A. O.; SILVA, J. B. Implementação do conceito Capacidade de Diluição de Efluentes no modelo de qualidade da água QUAL-UFGM: estudo de caso no Rio Taquarizinho (MS). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 275-288, 2013.

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. New York: Harper International, 1987.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Rates, constants, and kinetics formulations in surfasse water quality modeling.** 2 ed. Athens, 1985.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005. v. 1

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2007.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** 2. ed. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2014.

APÊNDICES

Apêndice A - Estações de Tratamento de Esgoto objeto do estudo

ETE	Vazão de Projeto (L.s ⁻¹)	Processo de Tratamento	Eficiência (%) na remoção de DBO ⁽¹⁾ :	Eficiência (%) na remoção de Coliformes ⁽¹⁾ :
Amambaí	40	Trat. Preliminar+UASB+FBP+DS	80-93%	70-90%
Anastácio	5	Trat. Preliminar +UASB	60-75%	70-90%
Angélica	5	Trat. Preliminar +UASB	60-75%	70-90%
Antônio João	5	Trat. Preliminar +UASB	60-75%	70-90%
Aparecida do Taboado	40	Trat. Preliminar + UASB + Biofiltro Aerado	83-93%	75-90% ⁽²⁾
Aquidauana	40	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Bataguassu	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Bodoquena	20	Trat. Preliminar + LF+LM	75%-85%	80-99%
Bonito	50	Trat. Preliminar + UASB+ Físico Químico	90-97%	90-99%
Brasilândia	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Caarapó	40	Trat. Preliminar + LF+LM	75	80
Camapuã	16	Trat. Preliminar + UASB + BIODRUM + DS	83-93	75-90% ⁽²⁾
Caracol	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Chapadão do Sul	40	Trat. Preliminar + UASB + FA	75-87%	70-90%
Coronel Sapucaia	20	Trat. Preliminar + LF+LM	75%	80%
Corumbá ETE Olaria	80	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Corumbá ETE Maria Leite	80	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Coxim	40	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Dourados ETE Água Boa	110	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Dourados ETE Guaxinim	120	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Dourados ETE Laranja Doce	40	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Dourados ETE Presídio	20	Trat. Preliminar + UASB + LM	77-87%	99-99,9% ⁽²⁾
Eldorado	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Fátima do Sul	16	Trat. Preliminar + UASB + BIODRUM + DS	60-75%	75-90% ⁽²⁾
Guia Lopes da Laguna	20	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Iguatemi	20	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Itaporã	5	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Jardim ETE Cachoeirinha	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Jardim ETE Centro	20	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Jateí	10	Trat. Preliminar + UASB + LM	77	99
Ladário	20	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Maracajú	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Miranda	16	Trat. Preliminar + UASB + BIODRUM + DS	60-75%	75-90% ⁽²⁾
Naviraí	75	Trat. Preliminar + LF + LM	75	80
Nioaque	5	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%

ETE	Vazão de Projeto (L.s ⁻¹)	Processo de Tratamento	Eficiência (%) na remoção de DBO ⁽¹⁾ :	Eficiência (%) na remoção de Coliformes ⁽¹⁾ :
Nova Andradina	80	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Jateí - Nova Esperança	10	Trat. Preliminar + LF	75%-85%	80-99%
Paranaíba	70	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Paranhos	10	Trat. Preliminar + LA + LF		
Ponta Porã ETE Estoril	80	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Ponta Porã ETE São Thomaz	40	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Ribas do Rio Pardo	20	Trat. Preliminar + UASB + FBP + DS	80-93%	70-90%
Rio Brilhante	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Rio Verde de Mato Grosso	15	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Santa Rita do Pardo	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Sidrolândia	31	Trat. Preliminar + LF + LM	75%-85%	80-99%
Tacuru	7,5	Trat. Preliminar + LF + LM	75%-85%	80-99%
Terenos	10	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%
Três Lagoas ETE Jupiá	80	Trat. Preliminar + UASB + BIODRUM	60-75%	75-90% ⁽²⁾
Três Lagoas ETE São João	100	Trat. Preliminar + UASB	60-75%	70-90%

Notas: UASB: Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

FBP:Filtro Biológico Percolador

DS:Decantador Secundário

LM:Lagoa de Maturação

LF:Lagoa Facultativa

FA:Filtro Anaeróbio

(1) As eficiências foram definidas com base em Von Sperling (2007), considerando o pior cenário.

(2) Na falta de dados na bibliografia foram utilizados os dados de eficiência apenas dos reatores anaeróbios.

Fonte: Elaborado pela autora.

Apêndice B – Classificação dos corpos receptores de esgoto sanitário tratado

Estação de Tratamento de Esgoto	Corpo hídrico receptor	Classe	UPG	Região Hidrográfica
Amambaí	Córrego Panduí	Classe 2	UPG Amambaí	RH Paraná
Anastácio	Rio Aquidauana	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Angélica	Córrego Ouro Verde	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Antônio João	Córrego Cabeceira dos Bugres	Classe 2	UPG Apa	RH Paraguai
Aparecida do Taboado	Rio Paraná	Classe 2	UPG Quitéria	RH Paraná
Aquidauana	Rio Aquidauana	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Bataguassu	Rio Pardo	Classe 2	UPG Pardo	RH Paraná
Bodoquena	Córrego Taquarussu	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Bonito	Córrego Bonito	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Brasilândia	Córrego Aviação	Classe 2	UPG Verde	RH Paraguai
Caarapó	Córrego Caarapó	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Camapuã	Ribeirão Camapuã	Classe 2	UPG Taquari	RH Paraguai
Caracol	Córrego Porteira	Classe 2	UPG Apa	RH Paraguai
Chapadão do Sul	Rio Aporé	Classe 2	UPG Aporé	RH Paraná
Coronel Sapucaia	Córrego Nhú-Verá	Classe 2	UPG Amambaí	RH Paraná
Corumbá ETE Olaria	Rio Paraguai	Classe 2	UPG Nabileque	RH Paraguai
Corumbá ETE Maria Leite	Rio Paraguai	Classe 2	UPG Nabileque	RH Paraguai
Coxim	Rio Coxim	Classe 2	UPG Taquari	RH Paraguai
Douradina	Córrego Laranja Doce	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Dourados ETE Água Boa	Córrego Paragem	Classe 4	UPG Ivinhema	RH Paraná
Dourados ETE Guaxinim	Córrego Rego d' Água	Classe 4	UPG Ivinhema	RH Paraná
Dourados ETE Laranja Doce	Córrego Laranja Doce	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Dourados ETE Presídio	Córrego Laranja Doce	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Eldorado	Córrego dos Ossos	Classe 2	UPG Iguatemi	RH Paraná
Fátima do Sul	Rio Dourados	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Guia Lopes da Laguna	Rio Santo Antônio	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Iguatemi	Córrego Sacarón	Classe 2	UPG Iguatemi	RH Paraná
Itaporã	Córrego Sardinha	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Jardim ETE Cachoeirinha	Córrego Cachoeirinha	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Jardim ETE Centro	Rio Miranda	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Jateí	Córrego Dona Rosa	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Juti	Rio Taquara	Classe 2	UPG Amambaí	RH Paraná
Ladário	Rio Paraguai	Classe 2	UPG Nabileque	RH Paraguai
Maracajú	Córrego Montalvão	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Miranda	Rio Miranda	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Naviraí	Córrego do Touro	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Nioaque	Córrego Urumbeba	Classe 3	UPG Miranda	RH Paraguai
Nova Andradina	Córrego Baile	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Nova Esperança	Rio Guiraí	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná

Paranaíba	Córrego Fazendinha	Classe 2	UPG Aporé	PH Paraná
Paranhos	Rio Destino	Classe 2	UPG Iguatemi	RH Paraná
Ponta Porã ETE Estoril	Rio São João	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Ponta Porã ETE São Thomaz	Rio São João	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Ribas do Rio Pardo	Ribeirão das Botas	Classe 2	UPG Pardo	RH Paraná
Rio Brilhante	Córrego Araras	Classe 2	UPG Ivinhema	RH Paraná
Rio Verde de Mato Grosso	Rio Verde	Classe 2	UPG Negro	RH Paraguai
Santa Rita do Pardo	Ribeirão Santo Antônio	Classe 2	UPG Pardo	RH Paraná
Sidrolândia	Córrego Vacaria	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Tacuru	Córrego Tacuru	Classe 2	UPG Iguatemi	RH Paraná
Terenos	Córrego Dioguinho	Classe 2	UPG Miranda	RH Paraguai
Três Lagoas ETE Jupia	Rio Paraná	Classe 2	UPG Sucuriú	RH Paraná
Três Lagoas ETE São João	Rio Paraná	Classe 2	UPG Sucuriú	RH Paraná

Fonte: Elaborado pela autora.

Apêndice C - Estações Fluviométricas na área de interesse

Região Hidrográfica do Rio Paraná.

UPG	Código	Município	Corpo d' água	Área de drenagem (km ²)	Q ₉₅ (m ³ .s ⁻¹)	q ₉₅ (L.s ⁻¹ .Km ⁻²)
Iguatemi	64723000	Paranhos	Rio Iguatemi	1.060,00	12,84	12,11
Iguatemi	64725000	Japorã	Rio Iguatemi	7.190,00	72	10,01
Amambai	64720000	Iguatemi	Rio Maracai	833,00	10,51	12,62
Amambai	64700000	Amambai	Rio Amambai	1.830,00	17,19	9,39
Amambai	64715001	Caarapó	Rio Amambai	7.200,00	64	8,89
Amambai	64717000	Naviraí	Rio Amambai	8.970,00	82,02	9,14
Ivinhema	64608000	Ponta Porã	Rio São João	731,00	6,17	8,44
Ivinhema	64618000	Jateí	Rio Guiraí	1.190,00	11,77	9,89
Ivinhema	64613000	Rio Brilhante	Rio Vacaria	4.470,00	17,3	3,87
Ivinhema	64609000	Dourados	Rio Dourados	5.700,00	39,36	6,91
Ivinhema	64613800	Rio Brilhante	Rio Vacaria	6.500,00	28,42	4,37
Ivinhema	64610000	Deodápolis	Rio Dourados	9.030,00	58,07	6,43
Ivinhema	64605000	Rio Brilhante	Rio Brilhante	8.910,00	46,5	5,22
Ivinhema	64611000	Rio Brilhante	Rio Brilhante	20.600,00	119	5,78
Ivinhema	64614000	Angélica	Rio Ivinhema	28.400,00	140,87	4,96
Ivinhema	64617000	Ivinhema	Rio Ivinhema	31.900,00	175	5,49
Pardo	63950150	Sidrolândia	Córrego Santa Luzia	501,00	3,81	7,60
Pardo	63950250	Campo Grande	Rio Anhuanduizinho	1.460,00	15,19	10,40
Pardo	63950010	Sidrolândia	Rio Anhanduí	2.530,00	17,66	6,98
Pardo	63950100	Campo Grande	Rio Anhanduí	3.830,00	26,87	7,02
Pardo	63900001	Ribas do Rio Pardo	Rio Pardo	8.150,00	71,62	8,79
Pardo	63930000	Santa Rita do Pardo	Rio Pardo	13.200,00	118,58	8,98
Pardo	63955000	Nova Andradina	Rio Anhanduí	13.600,00	101,65	7,47
Pardo	63970000	Bataguassu	Rio Pardo	31.000,00	245,21	7,91
Verde	63250000	Água Clara	Rio Verde	2.940,00	26,78	9,11
Verde	63350100	Ribas do Rio Pardo	Rio Verde	14.500,00	129,24	8,91

UPG	Código	Município	Corpo d' água	Área de drenagem (km ²)	Q ₉₅ (m ³ .s ⁻¹)	q ₉₅ (L.s ⁻¹ .Km ⁻²)
Verde	63390000	Brasilândia	Rio Verde	20.100,00	146,5	7,29
Sucuriú	63001500	Chapadão do Sul	Rio Sucuriú	7.210,00	100	13,87
Sucuriú	63001000	Costa Rica	Rio Sucuriú	1.250,00	13,5	10,80
Sucuriú	63001200	Costa Rica	Rio Sucuriú	3.770,00	49,52	13,14
Sucuriú	63002000	Três Lagoas	Rio Sucuriú	17.900,00	228	12,74
Sucuriú	63003100	Três Lagoas	Rio Sucuriú	19.000,00	225	11,84
Aporé	60960000	Cassilândia	Rio Aporé	1.200,00	6,01	5,01
Aporé	60965000	Aporé-GO	Rio Aporé	4.040,00	53,99	13,36
Aporé	60968000	Cassilandia	Rio Aporé	4.700,00	64,77	13,78
Aporé	60970000	Itajá	Rio Aporé	5.220,00	65,9	12,62
Quitéria	62010000	Inocência	Rio Quitéria	1.390,00	9,84	7,08
Pardo	63250000	Água Clara	Rio Verde	2.940,00	26,78	9,11
-	63010000	Castilho-SP	Rio Paraná	477.000,00	2696,5	5,65

Fonte: Elaborado pela autora.

Região Hidrográfica do Rio Paraguai.

UPG	Código	Município	Corpo d' água	Área de drenagem (km ²)	Q ₉₅ (m ³ .s ⁻¹)	q ₉₅ (L.s ⁻¹ .Km ⁻²)
Correntes	66480000	Coxim	Rio Piquiri	2.660,00	8,62	3,24
Taquari	66800000	Corumbá	Rio Paraguai	234.000,00	611,14	2,61
Taquari	66885000	Corumbá	Rio Taquari	31.200,00	128,08	4,11
Taquari	66865000	Rio Verde de Mato Grosso	Rio Taquarizinho	498,00	3,35	6,73
Taquari	66850000	Camapuã	Rio Jauru	6.320,00	23,69	3,75
Taquari	66845000	Coxim	Rio Taquari	9.730,00	114,89	11,81
Taquari	66855000	Coxim	Rio Jauru	6.330,00	48,11	7,60
Taquari	66870000	Coxim	Rio Taquari	27.600,00	147,88	5,36
Taquari	66810000	Corumbá	Rio Paraguai	243.000,00	673,95	2,77
Taquari	66895000	Ladário	Rio Paraguai	327.000,00	832,63	2,55
Taquari	66960008	Corumbá	Rio Paraguai	371.000,00	1058,41	2,85
Miranda	66920000	Miranda	Rio Miranda	18.500,00	24,66	1,33

UPG	Código	Município	Corpo d' água	Área de drenagem (km ²)	Q ₉₅ (m ³ .s ⁻¹)	q ₉₅ (L.s ⁻¹ .Km ⁻²)
Miranda	66950000	Anastácio	Rio Aquidauana	17.200,00	37,14	2,16
Miranda	66941000	Dois Irmãos do Buriti	Rio Aquidauana	10.900,00	24,44	2,24
Miranda	66900000	Bonito	Rio Miranda	1.600,00		0,00
Miranda	66945000	Aquidauana	Rio Aquidauana	15.700,00	35,34	2,25
Miranda	66910000	Miranda	Rio Miranda	15.000,00	20,8	1,39
Negro	66890000	Anastácio	Rio Negro	17.900,00	2,51	0,14
Nabileque	67025000	Porto Murtinho	Rio Branco	938,00	0,26	0,28
Apa	67175000	Porto Murtinho	Rio Perdido	2.610,00	0,69	0,26
Apa	67170000	Caracol	Rio Apa	10.200,00	11,95	1,17
Apa	67050000	Porto Murtinho	Rio Paraguai	565.000,00	731	1,29
Apa	67100000	Porto Murtinho	Rio Paraguai	576.000,00	916,94	1,59

Fonte: Elaborado pela autora.