

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JULIANA PEREIRA DE ALMEIDA

**SELEÇÃO OTIMIZADA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
BENEVENTE**

VITÓRIA

2020

JULIANA PEREIRA DE ALMEIDA

**SELEÇÃO OTIMIZADA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
BENEVENTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis

VITÓRIA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

JULIANA PEREIRA DE ALMEIDA

**SELEÇÃO OTIMIZADA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
BENEVENTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Aprovada em 06 de novembro de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador Interno

Prof^a. Dr^a. Renata Cornelli
Universidade de Caxias do Sul
Examinadora Externa

Às extraordinárias pessoas do meu mundo, pelo carinho e dedicação.

Aos meus amores de quatro patas, pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Claudia, por tornar meus sonhos possíveis. E ao meu pai, Valentim, pelo incentivo na minha busca pelo conhecimento.

À minha irmã e amiga, Ana Julia, por sempre estar ao meu lado. E à minha irmã Dandara, pelos conselhos nos momentos necessários.

Aos meus cachorros, Caramelo (*in memoriam*), Chocolate, Maju, Malu, Miguelito e Panta, por tornarem minha vida melhor.

Ao meu amor, Vitor, por me surpreender de todas as formas possíveis.

Ao meu amigo, Filipe, pelo diálogo, companheirismo e segurança. E à minha amiga, Ivna, pelas alegrias de uma amizade leve e prazerosa.

Ao meu primo e amigo, Rodolfo, por tornar os momentos divertidos.

Aos meus familiares maternos, tios e tias, em especial à minha avó Marilene (*in memoriam*), por acreditarem no meu potencial e torcerem por mim.

Aos meus professores, pela imensurável contribuição acadêmica, em especial à Dejanya, que segue presente na minha formação.

Ao Professor Antônio Sérgio, pelo acolhimento inicial no programa e pela sabedoria ao conduzir minha orientação.

Ao meu orientador, Professor José Antônio, pela inteligência, leveza e elegância ao tecer elogios e críticas construtivas.

Aos colaboradores do Laboratório de Modelagem e Otimização em Recursos Hídricos (LAMORH), em especial à Karinnie, pela atenção e contribuição constante.

Aos examinadores da banca, Professor Diogo e Professora Renata, pela revisão cuidadosa e sugestões necessárias.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, pelos auxílios prestados durante o mestrado. E à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo incentivo financeiro.

À todos que, de alguma forma, contribuíram para elaboração desta dissertação.

“Not in knowledge is happiness, but in the acquisition of knowledge”.

Edgar Allan Poe

RESUMO

No Brasil, cerca de 40% da população urbana ainda não possui atendimento adequado no setor de esgotamento sanitário, o que contribui para o aumento da poluição por matéria orgânica nos corpos receptores de efluentes domésticos. O tratamento dos esgotos, antes do lançamento, constitui a principal medida de controle da poluição hídrica e o processo de escolha do sistema de tratamento adequado envolve a análise de critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Este estudo propôs a seleção de sistemas de tratamento de esgotos para a bacia hidrográfica do rio Benevente (Espírito Santo, Brasil) a partir da utilização combinada de modelagem da qualidade da água, técnica de otimização e de análise multicritério. O modelo QUAL-UFMG, desenvolvido no ambiente do software MATLAB, foi utilizado na simulação dos parâmetros DBO e OD no sistema hídrico da área de estudo. As eficiências mínimas de tratamento de esgoto foram determinadas por meio do emprego do modelo de qualidade de água associado à técnica metaheurística de otimização Algoritmo Genético, considerando o atendimento aos padrões ambientais estabelecidos nas Resoluções CONAMA nº 357:2005 e 430:2011, bem como a equidade de esforços entre os poluidores. Das trinta e quatro tecnologias avaliadas, a etapa de pré-seleção desconsiderou os sistemas de tratamento que não atendiam às restrições impostas para os distritos de Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá, Sagrada Família, Aparecida, Alfredo Chaves, Jabaquara e Alto Pongal. A seleção de sistemas de tratamento de esgotos foi realizada por meio da hierarquização do Índice Sociotécnico, estabelecido após a aplicação do método MAUT. Os resultados indicaram, para os distritos com menores populações, variações dos sistemas de lagoas de estabilização (Lagoa Anaeróbia associada a Lagoa Facultativa e Lagoa de Maturação, Lagoa Anaeróbia associada a Lagoa Facultativa e Remoção de Algas) e Tanque Séptico associado ao Biodisco; para os distritos mais populosos, foram sugeridos os sistemas Lodos Ativados Convencional associado a Filtração terciária, e Lagoa Anaeróbia associada a Lagoa Facultativa e Remoção de Algas.

Palavras-chave: Tratamento de esgotos. Modelo de qualidade de água. Otimização. Algoritmo Genético. Análise multicritério. MAUT.

ABSTRACT

In Brazil, about 40% of the urban population still does not have adequate service in the sewage sector, which contributes to the increase of pollution by organic matter in the water bodies of domestic effluents. The wastewater treatment, before launching, constitutes the main measure to control water pollution and the process of choosing the appropriate treatment system involves the analysis of technical, economic, environmental and social criteria. This study proposed the selection of wastewater treatment systems for the Benevente river watershed (Espírito Santo, Brazil) based on the combined use of water quality modeling, optimization technique and multicriteria analysis. The QUAL-UFMG model, developed in the MATLAB software environment, was used in the simulation of the BOD and DO parameters in the water system of the study area. The minimum sewage treatment efficiencies were determined using the water quality model associated with the Genetic Algorithm metaheuristic optimization technique, considering the compliance with the environmental standards established in CONAMA Resolutions 357:2005 and 430:2011, as well as the equity of efforts between polluters. From the thirty-four technologies evaluated, the pre-selection stage disregarded treatment systems that did not meet the restrictions imposed on the districts of Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá, Sagrada Família, Aparecida, Alfredo Chaves, Jabaquara and Alto Pongal. The selection of wastewater treatment systems was carried out through the hierarchy of the Sociotechnical Index, established after the application of the MAUT method. The results indicated, for the districts with smaller populations, variations of the stabilization pond systems (Anaerobic Pond associated with the Facultative Pond and Stabilization Pond, Anaerobic Pond associated with the Facultative Pond and Algae Removal) and Septic Tank associated with Biodisc; for the most populous districts, the Conventional Activated Sludge associated with Tertiary Filtration, and Anaerobic Pond associated with the Facultative Pond and Algae Removal systems have been suggested.

Keywords: Sewage treatment. Water quality model. Optimization. Genetic Algorithm. Multicriteria analysis. MAUT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Benevente	49
Figura 2 – Diagrama unifilar da bacia hidrográfica do rio Benevente	52
Figura 3 – Curva de Lorenz genérica	64
Figura 4 – Perfis de concentração de DBO e OD do rio Benevente.....	81
Figura 5 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Santa Maria	81
Figura 6 - Perfis de concentração de DBO e OD do ribeirão São Joaquim.....	82
Figura 7 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Batatal	82
Figura 8 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Caco do Pote.....	83
Figura 9 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Pongal	83
Figura 10 – Curvas de Lorenz para as funções objetivo com medida de equidade ..	85
Figura 11 – Perfil de DBO no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01	90
Figura 12 – Perfil de OD no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01	90
Figura 13 – Perfil de DBO no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03.....	91
Figura 14 – Perfil de OD no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes dos corpos d'água e seus usos preponderantes	22
Quadro 2 – Fatores relevantes a serem considerados na seleção de tecnologias e processos.....	27
Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características.....	31
Quadro 4 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 01	93
Quadro 5 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 03	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições e padrões de qualidade dos parâmetros DBO e OD	23
Tabela 2 – Altitude média, concentrações de saturação de oxigênio e temperatura adotadas para os cursos d'água da bacia do rio Benevente	54
Tabela 3 – Coeficientes de remoção de DBO adotados para os cursos d'água da bacia do rio Benevente	54
Tabela 4 – Dados populacionais adotados para os distritos da bacia do rio Benevente	57
Tabela 5 – Operadores e parâmetros utilizados na aplicação do AG	62
Tabela 6 - Conjunto inicial de alternativas e critérios considerados na etapa de pré-seleção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos	68
Tabela 7 - Tecnologias de tratamento de esgotos e suas características operacionais	71
Tabela 8 - Tecnologias de Tratamento de esgotos e suas características qualitativas	73
Tabela 9 – Estrutura de preferência utilizada para o processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos.....	75
Tabela 10 - Framework proposto para o ranking dos sistemas de tratamento de esgotos.....	76
Tabela 11 – Distinção dos critérios por Benefícios ou Limitações.....	77
Tabela 12 – Vazões médias e cargas orgânicas dos efluentes domésticos gerados na bacia do rio Benevente.....	80
Tabela 13 – Concentrações máximas e mínimas após lançamentos de efluentes domésticos	84
Tabela 14 – Eficiências mínimas de tratamento de efluentes domésticos estimadas considerando as funções objetivos e as condições de lançamento adotadas	86
Tabela 15 – Concentrações máximas de DBO e concentrações mínimas de OD estimadas para os cursos d'água após aplicação das eficiências mínimas de tratamento de efluentes domésticos determinadas para a Função Objetivo 01	86
Tabela 16 – Concentrações máximas de DBO e concentrações mínimas de OD estimadas para os cursos d'água após aplicação das eficiências mínimas de tratamento de efluentes domésticos determinadas para a Função Objetivo 03	87

Tabela 17 – Tecnologias selecionadas conforme Índice Sociotécnico para Função objetivo 03.....	100
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG - Algoritmo Genético

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

CBA - *Choosing-by-advantages*

CEH - *Center for Ecology & Hydrology*

CEPIS - *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*

CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CGT - *Cooperative Game Theory*

CNS - Coeficiente Nash-Sutcliffe

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPPE - Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia

CP - *Compromise Programming*

CREAMS - *Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DESERT - *Decision Support System for Evaluating River Basin Strategies*

DHI - *Danish Hydraulic Institute*

EAWAG - *Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology*

ELECTRE - *Elimination and Choice Translating Algorithm*

EXAMS - *Exposure Analysis Modeling System*

HEC-HAS - *Hydrological Engineering Center-River Analysis System*

HGE - Hidrologia de Grande Escala

HSCTM2D - *Hydrodynamic, Sediment, and Contaminant Transport Model*

HSPF - *Hydrologic Simulation Program – Fortran*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICW - *Interval Criterion Weights*

IIASA - *International Institute for Applied Systems Analysis*

LAMSADE - Laboratório de Análise e Modelagem de Sistemas de Suporte à Decisão

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*

MATLAB - *Matrix Laboratory*

MAUT - *Multiple Attribute Utility Theory*

MCDA - *Multiple Criteria Decision-Aid*

MDS - *Multidimensional Scaling*

MQA - Modelos de Qualidade de Água e Eutrofização
OD - Oxigênio Dissolvido
PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation
REMQ - Raiz do Erro Médio Quadrático
RIZA - *Inland Water Management and Waste Water Treatment*
SEMOG - *Southeast Michigan Council of Governments*
SIG - Sistema de Informações Georreferenciadas
SIHQAL - Simulação Hidrodinâmica e de Qualidade da Água
SIMCAT - *Simulated Catchments*
SIMOX - *Dissolved Oxygen Simulation Model*
SisBaHiA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental
SMART - *Simple Multicriteria Attribute Rating Technique*
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
STEM - *Step Method*
SWAT - *Soil Water and Analysis Tools*
SWRRB - *Simulator for Water Resources in Rural Basins*
TOMCAT - *Temporaly Overall Model for Catchments*
TOPSIS - *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution*
TRIMAP - *Tricriterion Multiobjective Linear Programming*
TWDB - *Texas Water Development Board*
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNCAS - *Uncertainty Analysis*
USACE - *United States Army Corps of Engineers*
USDA - *United States Department of Agriculture*
USEPA – *United States Enviromental Protection Agency*
WASP - *Water Analysis Simulation Program*
WES - *Waterways Experiment Station*
WMOST - *Watershed Management Optimization Support Tool*
WQRRS - *Water Quality for River-Reservoir Systems*
WRE - *Water Resources Engineers, Inc.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	21
3.2	MODELOS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA RIOS	29
3.3	TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO	40
3.4	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	44
4	ÁREA DE ESTUDO	49
5	METODOLOGIA	51
5.1	MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA DA ÁREA DE ESTUDO	51
5.1.1	Sistema hídrico da bacia do rio Benevente	51
5.1.2	Variáveis hidrodinâmicas e constantes cinéticas	53
5.1.3	Características hidráulicas dos cursos d'água	55
5.1.4	Vazões, concentrações e cargas orgânicas dos efluentes domésticos ..	56
5.1.5	Concentrações dos constituintes modelados	59
5.2	DETERMINAÇÃO DE EFICIÊNCIAS MÍNIMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	60
5.2.1	Técnica de otimização	61
5.2.2	Funções objetivo e restrições	62
5.3	PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	66
5.4	SELEÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	70

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
6.1	MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	80
6.2	EFICIÊNCIAS MÍNIMAS DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	84
6.3	PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	92
6.4	SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS.....	99
7	CONCLUSÃO.....	103
8	RECOMENDAÇÕES	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
	APÊNDICE A - Dados necessários para construção das Curvas de Lorenz....	121
	APÊNDICE B – Perfis de concentração de DBO e OD, após a aplicação das eficiências mínimas determinadas para as funções objetivo, dos tributários da bacia do rio Benevente	123
	APÊNDICE C – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto para os distritos	133

1 INTRODUÇÃO

A concepção de diretrizes relacionadas à proteção dos recursos hídricos e ao saneamento indica a contínua necessidade de desenvolvimento de ferramentas e instrumentos que auxiliem na melhoria dos usos e da qualidade dos corpos d'água. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9433, editada em 08 de janeiro de 1997, estabeleceu que a “gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas” (BRASIL, 1997). Posteriormente, a Lei Federal nº 14.026, editada em 15 de julho de 2020, atualizou o marco legal do saneamento básico e definiu que os serviços públicos de saneamento básico devem ser realizados de forma adequada à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente (BRASIL, 2020).

No Brasil, os corpos d'água superficiais são recorrentemente utilizados para a disposição final ou diluição de esgotos. Nesse contexto, a qualidade da água do corpo receptor está diretamente relacionada com as condições de lançamento dos efluentes destinados. Conforme Nascimento e Heller (2005), as carências no setor de esgotamento sanitário conformam fontes de poluição concentrada que podem comprometer a disponibilidade hídrica e os múltiplos usos da água.

De acordo com a Agência Nacional das Águas (2017), o cenário brasileiro de esgotamento sanitário pode ser resumido da seguinte forma: *a)* 43% da população urbana possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam solução individual, ou seja, 55% da população urbana pode ser considerada provida com atendimento adequado conforme conceitos do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB); *b)* 18% da população urbana têm seu esgoto coletado e não tratado, configurando-se como atendimento precário; e *c)* 27% da população urbana não possuem nem coleta nem tratamento de esgoto, constituindo parcela sem atendimento por serviço de esgotamento sanitário. Recentemente, os dados gerais divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2018 revelaram que 46,3% dos esgotos gerados pela população são tratados, excluindo a utilização de soluções individuais ou alternativas de tratamento (BRASIL, 2019).

Von Sperling (2014) indica que o tratamento de esgotos constitui principal alternativa de controle de poluição por matéria orgânica dos recursos hídricos. Sugere,

adicionalmente, que a análise de estratégias de controle de poluição seja estabelecida no âmbito de bacias hidrográficas, uma vez que as bacias constituem unidade de planejamento, conforme a PNRH e a Lei Federal nº 11.445, editada em 05 de janeiro de 2007. Nessa perspectiva, os desafios que envolvem a gestão do esgotamento sanitário com foco na proteção dos recursos hídricos exigem esforços analíticos e metodológicos importantes e torna a consolidação do planejamento integrado complexa (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017).

A consolidação dos padrões de qualidade ambiental fomentou o desenvolvimento de diversas metodologias que buscam fornecer subsídios ao processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos a partir da avaliação da autodepuração de corpos d'água (REIS, 2018). Em função da carência de recursos, principalmente em países em desenvolvimento, justifica-se a utilização da capacidade de autodepuração dos cursos d'água como complementação dos processos que ocorrem no tratamento de esgotos, desde que feito com parcimônia e dentro de critérios técnicos bem definidos (VON SPERLING, 2014). Os modelos matemáticos, utilizados na simulação da qualidade e do processo de autodepuração de corpos d'água, permitem avaliar os impactos do lançamento de esgotos domésticos e auxiliar na implantação de medidas de controle ambiental (COSTA; TEIXEIRA, 2010; SALLA et al., 2013). Neste contexto, o uso de modelos de simulação da qualidade da água pode oferecer suporte para avaliação da capacidade de assimilação dos recursos hídricos, sem dissociação de aspectos qualitativos e quantitativos, priorizando a gestão sistemática estabelecida na legislação.

No entanto, o emprego isolado de modelos de qualidade da água usualmente não oferece uma solução ótima como resposta, função da diversidade de soluções viáveis existentes, dificultando a definição de estratégias de controle de poluição e sua aplicação nos problemas complexos de gerenciamento dos recursos hídricos (ANDRADE, 2012; BRINGER, 2017). Por essa razão, as metodologias focadas na determinação de eficiências mínimas de tratamento geralmente empregam um modelo de qualidade de água associado a uma técnica de otimização (WANG; JAMIESON, 2002; MAUAD; ALBERTIN; PIOLTINE, 2008; REIS; VALORY; MENDONÇA, 2015).

A associação do modelo de qualidade de água à uma técnica de otimização, no âmbito de bacias hidrográficas, frequentemente, possui o objetivo de determinar eficiências mínimas de tratamento de esgotos para adequação aos padrões ambientais de qualidade da água (REIS, 2018). O uso de técnicas de otimização como ferramenta no planejamento e gestão de recursos hídricos auxilia em problemas complexos envolvendo análise e alocação de sistemas de tratamentos de esgotos em uma bacia hidrográfica (VALORY, 2013). O Algoritmo Genético, inspirado na Teoria da Evolução das espécies estabelecida por Charles Darwin, é uma técnica de otimização frequentemente aplicada na busca de soluções para o problema de alocação de efluentes conforme metodologias apresentadas por Burn e Yulianti (2001), Santoro, Reis e Mendonça (2016), Fantin, Reis e Mendonça (2017) e Sá e outros (2019).

A seleção dos sistemas de tratamento de esgotos, entretanto, não se esgota com a determinação das eficiências mínimas de tratamento necessárias à cada ponto de disposição de efluente. A seleção dos sistemas de tratamento envolve, usualmente, múltiplos objetivos e múltiplos decisores gerando possíveis conflitos de interesse em seu planejamento e gestão. Dessa forma, a análise multicritério permite o tratamento simultâneo de aspectos econômicos, sociais, políticos e ambientais, dentre outros, em um processo de tomada de decisão (BRAGA; GOBETTI, 1997). Alves (2003), Reami (2011), Kalbar, Karmakar e Asolekar (2012), Hunt (2013), Ouyang e outros (2015), Arroyo e Molinos-Senante (2017), Goffi (2017), Bringer, Reis e Mendonça (2018), Reis (2018) e Tian (2019) empregaram a análise multicritério, incorporando a análise de diferentes aspectos, no processo de tomada de decisão para seleção de sistemas de tratamento de esgotos em uma bacia hidrográfica.

O presente trabalho propõe a seleção de sistemas de tratamento de esgotos para a bacia hidrográfica do rio Benevente. A determinação de eficiências mínimas para os sistemas de tratamento foi conduzida por meio da aplicação de modelo de qualidade de água associado à técnica de otimização, visando o atendimento aos padrões ambientais estabelecidos pela legislação vigente, para efluentes e corpos d'água e a equidade de esforços entre os poluidores. A hierarquização dos sistemas de tratamento pré-selecionados, por sua vez, foi estabelecida a partir da aplicação de análise multicritério.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Selecionar sistemas de tratamento de efluentes domésticos para a bacia hidrográfica do rio Benevente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar eficiências mínimas para os sistemas de tratamento de efluentes domésticos considerando a associação entre modelo de qualidade da água e modelos de otimização disponíveis na literatura técnica corrente;

Aplicar técnica de análise multicritério para a hierarquização dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados para a área de estudo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

O despejo de efluentes domésticos sem tratamento, ou apenas parcialmente tratados, constitui uma das principais fontes de poluição dos cursos hídricos e resulta em alterações na qualidade do corpo receptor e limitações aos usos múltiplos da água (JORDÃO; PESSOA, 2011). Neste contexto, Von Sperling (2014) sugere que a principal estratégia de controle da poluição hídrica é o tratamento, individual ou coletivo, antes do lançamento no corpo receptor.

Tchobanoglous e Burton (1991), Campos e outros (1999), Von Sperling (2005), Jordão e Pessoa (2011) e Tonetti e outros (2018) apresentam e discutem diversas alternativas tecnológicas para tratamento de efluentes domésticos, individuais e coletivas, em diferentes níveis de tratamento. Os níveis de tratamento estão relacionados com a eficiência na remoção de poluentes no tratamento e são divididos em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSOA, 2011). O nível e a eficiência de tratamento devem ser definidos em função da capacidade de autodepuração do corpo receptor, dos usos preponderantes da água e da legislação ambiental (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Com o objetivo de “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, a PNRH estabeleceu como instrumento o “enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água” (BRASIL, 1997). Atualmente, as classes dos corpos d’água são estabelecidas conforme a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), editada em 17 de março de 2005, que definiu treze classes de qualidade para as águas doces, salobras e salinas de acordo com os seus usos preponderantes (Quadro 1).

Quadro 1 – Classes dos corpos d'água e seus usos preponderantes

Classes		Usos preponderantes
Águas doces (salinidade ≤ 0,5‰)	Especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
	1	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário conforme Resolução CONAMA nº 274:2000; Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
	2	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário conforme Resolução CONAMA nº 274:2000; Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e Aquicultura e à atividade de pesca.
	3	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário; e Dessedentação de animais.
	4	Navegação; e Harmonia paisagística.
Águas salobras (0,5‰ > salinidade < 30‰)	Especial	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	1	Recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274:2000; Proteção das comunidades aquáticas; Aquicultura e à atividade de pesca; Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; e Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.
	2	Pesca amadora; e Recreação de contato secundário.
	3	Navegação; e Harmonia paisagística.
Águas salinas (salinidade ≥ 30‰)	Especial	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	1	Recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274:2000; Proteção das comunidades aquáticas; e Aquicultura e à atividade de pesca;
	2	Pesca amadora; e Recreação de contato secundário.
	3	Navegação; e Harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

A Resolução CONAMA nº 357:2005 define, adicionalmente, as condições e padrões de qualidade de água do corpo receptor, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes. A Tabela 1 apresenta os padrões de qualidade das águas superficiais estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357:2005 para os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), correspondente a DBO_{5,20} neste estudo, e Oxigênio Dissolvido (OD).

Tabela 1 – Condições e padrões de qualidade dos parâmetros DBO e OD

Parâmetros Classes	DBO (mg/L) ¹				OD (mg/L)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Águas doces	< 3,0	< 5,0	< 10,0	-	> 6,0	> 5,0	> 4,0	>2,0
Águas salobras	< 3,0	< 5,0	-		> 5,0	> 4,0	> 3,0	
Águas salinas	< 3,0	< 5,0	< 10,0		> 6,0	> 5,0	> 4,0	

Nota: ¹ Águas salobras e salinas consideram o parâmetro carbono orgânico total em vez de DBO.

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

De acordo com Von Sperling (2014), o consumo de oxigênio dissolvido e a quantidade de matéria orgânica biodegradável, tradicionalmente quantificada pelo parâmetro DBO, configuram os aspectos mais relevantes na caracterização da poluição por lançamento de esgotos domésticos.

Os referidos padrões e condições foram, posteriormente, complementados e alterados pela Resolução CONAMA nº 430, editada em 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Para o lançamento de efluentes sanitários foi fixado o valor máximo para a DBO de 120 mg/L; este limite, entretanto, poderá ser excedido nos casos em que o sistema de tratamento garanta eficiência de remoção mínima de DBO de 60% ou mediante estudo de autodepuração que atenda ao enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2011).

Os padrões e condições de qualidade da água deverão ser respeitados nas condições de vazão de referência e as bacias hidrográficas cujos cursos hídricos estiverem em desacordo com o enquadramento deverão estabelecer metas obrigatórias de melhoria da qualidade da água, excluindo-se os parâmetros que ultrapassam os limites devidos às condições naturais (BRASIL, 2005). Nesse contexto, os modelos matemáticos de qualidade da água constituem importantes ferramentas de apoio ao cumprimento das

diretrizes estabelecidas na legislação ambiental, pois permitem a simulação dos processos de autodepuração e avaliação da qualidade da água do corpo hídrico (OPPA, 2007).

A partir do emprego do modelo QUAL2K, Sardinha e outros (2008) avaliaram a qualidade da água e o processo de autodepuração do ribeirão do Meio, no município de Leme (São Paulo, Brasil). Foram realizadas três coletas de água nos meses de fevereiro, abril e julho de 2005, em cinco pontos distintos, para análise da vazão, temperatura, turbidez, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e sólidos totais em suspensão. Os resultados da modelagem da qualidade da água apontaram a necessidade de implantação de uma estação de tratamento de esgotos na cidade de Leme, com eficiência mínima de tratamento de 76%. Os autores concluíram que o despejo de esgoto bruto proveniente do município de Leme é a principal causa da degradação hídrica do ribeirão do Meio.

Gonçalves e outros (2009) simularam a qualidade da água do córrego São Simão (São Paulo, Brasil) para diferentes cenários, por meio do uso do modelo QUAL2K, visando subsidiar a análise técnico-econômica e ambiental na seleção de sistemas de tratamento de esgotos para o município. Após a modelagem da qualidade da água, a eficiência mínima requerida para os sistemas foi de 75%, em respeito aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357:2005. A análise da melhor alternativa ocorreu por meio da Matriz de Avaliação de Alternativas para o Tratamento de Esgotos, que considerou onze critérios de avaliação com atribuição de pesos e notas para as cinco alternativas avaliadas. O valor total de cada alternativa foi determinado multiplicando-se o valor do peso pela nota atribuída aos critérios e o sistema considerado mais adequado para a realidade do município foi o UASB.

O estudo realizado por Tonon (2014) permitiu a análise de alternativas de tratamento para o efluente doméstico produzido na área urbana do município de Poços de Caldas, lançado em trecho do rio Lambari pertencente à bacia hidrográfica do rio Lambari (Minas Gerais, Brasil). A avaliação do processo de autodepuração do rio Lambari foi realizada por meio do modelo de Streeter-Phelps e do modelo QUAL-UFMG. Foram simulados dois cenários de lançamento de esgoto: 60% de eficiência de tratamento e 90% de eficiência de tratamento. Os resultados indicaram que a implantação de alternativas de tratamento de esgotos com eficiência de 60% seria suficiente para que

o trecho avaliado do rio Lambari alcançasse condições de qualidade compatíveis com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357:2005 para rios classe 2.

Os trabalhos de Sardinha e outros (2008), Gonçalves e outros (2009) e Tonon (2014) ilustram aplicações de modelos de qualidade de água para a definição de níveis mínimos de tratamento de esgoto. No entanto, ainda que a modelagem da qualidade da água permita inferir eficiências de tratamento que atendam ao enquadramento, o emprego isolado de modelos de qualidade de água não garante uma solução ótima na definição do nível de tratamento necessário, principalmente no âmbito de bacias hidrográficas em função da complexidade do sistema hídrico e da possibilidade de disposição final de poluentes (orgânicos ou não), com diferentes cargas e em seções com diferentes capacidades de diluição.

Dessa forma, abordagens metodológicas com foco na determinação de eficiências mínimas de tratamento de esgotos, conformadas a partir da associação entre modelos de qualidade da água e técnicas de otimização, aprimoraram o processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos. Os trabalhos de Wang e Jamieson (2002) e Reis, Valory e Mendonça (2015), dentre outros (ver item 3.3 “TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO” deste estudo), constituem exemplos do emprego combinado de modelagem de qualidade de água e otimização para o estabelecimento de subsídios ao processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos.

Wang e Jamieson (2002) desenvolveram uma metodologia com o objetivo de minimizar o custo total (capital e operacional) de tratamento de esgotos, a partir do emprego combinado de modelo de simulação de qualidade da água, algoritmos genéticos e uma rede neural artificial. O modelo geral foi aplicado à bacia hidrográfica do Tamisa (Oxford, Inglaterra) e os resultados indicaram que a técnica algoritmos genéticos é eficiente no planejamento do tratamento de águas residuárias.

Buscando a distribuição dos esforços de tratamento no âmbito de bacias hidrográficas, Reis, Valory e Mendonça (2015) propuseram um modelo de otimização com a incorporação de uma equação de restrição que garanta a equidade, ou seja, que se baseia na perspectiva de que lançamentos de esgotos com maiores cargas orgânicas deverão estar associados à maiores eficiências de remoção de matéria orgânica. Os autores combinaram um modelo de qualidade de água e uma técnica de otimização (algoritmos genéticos) como alternativa metodológica para o processo de seleção de

eficiências de tratamento de esgotos na bacia do rio Santa Maria da Vitória (Espírito Santo, Brasil). Os resultados apontaram eficiências de tratamento que variaram entre 6% e 90%, sem a restrição de equidade e, entre 29% e 86%, com a restrição de equidade. Os autores concluíram que a incorporação da equidade: *a)* permitiu estabelecer uma relação linear entre o aumento de cargas orgânicas brutas e os níveis de tratamento; e *b)* reduziu a variabilidade das cargas orgânicas associadas aos diferentes pontos de disposição final de efluentes.

O processo de escolha da alternativa mais adequada, ainda assim, não se encerra com o uso da otimização na determinação das eficiências mínimas de tratamento. Este também deve abranger critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais, considerando os aspectos qualitativos e quantitativos de cada alternativa (VON SPERLING, 2005; REIS, 2018). O Quadro 2 apresenta alguns fatores gerais considerados relevantes no processo de seleção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos.

A importância atribuída a cada aspecto varia de acordo com o nível de desenvolvimento de um país. Enquanto aspectos como eficiência, confiabilidade, disposição de lodo e requisitos de área são considerados críticos para países desenvolvidos, os países em desenvolvimento focam em aspectos como custos de implantação, sustentabilidade, custos de operação e simplicidade (VON SPERLING, 2005).

Quadro 2 – Fatores relevantes a serem considerados na seleção de tecnologias e processos

Condição	Fator
Aplicabilidade do processo	A aplicabilidade do processo é avaliada com base na experiência passada, dados publicados, dados de estações operando e dados de estações piloto.
Aspectos climáticos	A temperatura afeta a taxa de reação da maioria dos processos químicos e biológicos, também pode afetar a operação física das unidades e podem acelerar a geração de odor.
Características do esgoto afluente	As características do afluente ao sistema afetam os tipos de processo a serem usados e os requisitos para a sua adequada operação.
Cinética do processo e hidráulica do reator	Necessidade de obtenção de dados de cinética, visto que o dimensionamento do reator é baseado na cinética das reações.
Compatibilidade	Compatibilidade com as unidades existentes e facilidade de expansão da estação.
Complexidade	Complexidade do processo em operação rotineira e emergencial com cargas de choque. Nível de treinamento exigido para o operador.
Confiabilidade	Nível de confiabilidade do processo. Possíveis problemas e a frequência associada. Resistência a cargas de choque periódicas.
Constituintes inibidores ou refratários	Constituintes presentes nos esgotos e suas características e constituintes que não são afetados pelo tratamento.
Desempenho e nível de tratamento	O desempenho está relacionado com a qualidade do efluente, a qual deve ser consistente com os padrões de lançamento e os usos da água a jusante do lançamento.
Disponibilidade de Áreas	Disponibilidade de espaço para possíveis expansões futuras. Área de transição suficiente para mitigação de impactos ambientais na vizinhança.
Limitações ambientais	Fatores ambientais, como os ventos prevalecentes e suas direções, bem como proximidade a áreas residenciais podem restringir o uso de certos processos, especialmente quando houver liberação de odores. Ruídos e tráfego podem afetar a seleção do local da estação. Características geotécnicas e topografia do terreno.
Limitações no tratamento do lodo	Custo do tratamento do lodo. A seleção da forma de processamento do lodo deve ser feita em paralelo com a seleção dos processos de tratamento da fase líquida.
Processos auxiliares requeridos	Necessidade de processos auxiliares de suporte. Possibilidade de interferência na qualidade do efluente.
Requisitos energéticos	Estimativa dos requisitos energéticos, bem como os prováveis custos futuros, para o projeto de sistemas economicamente viáveis.
Requisitos financeiros	Disponibilidade de recursos financeiros e análise de benefício/custo.
Requisitos de operação e manutenção	Necessidade de requisitos especiais de operação. Quantidade de peças e equipamentos reservas e respectivos disponibilidade e custo.
Requisitos de pessoal	Quantidade de pessoas e nível de capacitação necessário para operação e manutenção preventiva e corretiva.
Requisitos de produtos químicos	Necessidade de recursos e quantidades para a satisfatória operação da unidade por um longo período de tempo.
Requisitos de outros recursos	Necessidade de recursos adicionais para uma satisfatória implantação e operação do sistema.
Reuso do efluente tratado	Possibilidade de reuso em outras atividades e aspectos de custos envolvidos.
Subprodutos do tratamento	Estimativa dos tipos e qualidade dos subprodutos sólidos, líquidos e gasosos.
Variação de vazão aceitável	A maioria das operações e processos deve ser projetada para operar numa ampla faixa de vazões. A maior eficiência é usualmente obtida com vazão constante, embora alguma variação possa ser tolerada. Caso a variação de vazão seja muito grande, pode ser necessária uma equalização de vazão.
Vazão aplicável	O processo deve ser adequado à faixa de vazão esperada.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005) e Jordão e Pessoa (2011).

Em virtude da diversidade de critérios associados à escolha da alternativa tecnológica mais apropriada para cada localidade, metodologias empregando análise multicritério foram desenvolvidas com o intuito de auxiliar no processo de seleção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos como em Alves (2003), Kalbar, Karmakar e Asolekar (2012) e Arroyo e Molinos-Senante (2017), dentre outros (ver item 3.4, “ANÁLISE MULTICRITÉRIO”, deste estudo).

Alves (2003) combinou o uso de Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) com os métodos de análise multicritério *Compromise Programming* (CP), *Cooperative Game Theory* (CGT) e *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) II para auxiliar a tomada de decisão relativa à localização (definição de sítios) e definição de tecnologia para Estações de Tratamento de Esgotos no município de Paulínia (São Paulo, Brasil). Foram considerados critérios como custos de implantação e operação, confiabilidade e simplicidade do sistema, avaliação de ruídos, aerossóis e maus odores. As tecnologias Reator Anaeróbico e Lagoa Aerada Facultativa foram selecionadas como melhores alternativas para a área de estudo e a metodologia adotada tornou o processo de seleção mais completo e transparente.

Considerando os aspectos de países em desenvolvimento, Kalbar, Karmakar e Asolekar (2012) desenvolveram uma metodologia de tomada de decisão baseada em cenários e aplicada à seleção da alternativa mais apropriada de tratamento de efluentes domésticos na Índia. Foram selecionadas as quatro alternativas tecnológicas mais utilizadas no tratamento de esgotos municipais e desenvolvidos seis cenários, com matrizes de pesos distintos, que descreviam as prioridades usualmente abordadas no processo de seleção no país. A classificação foi realizada por meio do método TOPSIS, onde sete critérios e doze indicadores foram formulados para avaliação das alternativas. A metodologia desenvolvida identificou com eficiência a tecnologia apropriada para cada um dos cenários avaliados.

Arroyo e Molinos-Senante (2017) compararam o método *Analytical Hierarchical Process* (AHP) com a abordagem *Choosing-by-advantages* (CBA), integrando critérios econômicos, ambientais e sociais na seleção de tecnologias sustentáveis de tratamento de esgotos. Em um cenário hipotético de aplicação, foram avaliadas qualitativamente sete alternativas por dezenove decisores (doze estudantes e sete especialistas), considerando quinze fatores iniciais (critérios ambientais e sociais). Os

custos associados às tecnologias foram incorporados em uma análise final. Os resultados indicaram que as tecnologias Lodos ativados por batelada e Lagoa de aeração prolongada foram identificadas como as alternativas mais e menos apropriadas, respectivamente.

Em função da quantidade de alternativas tecnológicas existentes, é possível adicionar uma etapa de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, restringindo a quantidade de alternativas para a etapa de seleção (FANTIN; REIS; MENDONÇA, 2017; SÁ et al., 2019). De forma menos usual, as metodologias de Bringer, Reis e Mendonça (2018) e Reis (2018) empregaram um modelo de qualidade da água associado à técnica de otimização e análise multicritério no processo de seleção de tratamento de esgotos.

Em síntese, quatro importantes abordagens para o processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos foram observadas na literatura corrente: *a)* uso de modelos de qualidade da água; *b)* utilização de modelos de qualidade da água associados às técnicas de otimização; *c)* uso de análise multicritério; e *d)* emprego combinado de modelagem da qualidade da água, técnica de otimização e análise multicritério, apresentando uma solução ótima para cada localidade.

A partir das diferentes abordagens metodológicas associadas à seleção de sistema de tratamento de esgotos apresentadas nesta seção, as seções subsequentes discutem sumariamente aspectos referentes à modelagem de qualidade da água, técnicas de otimização e análise multicritério.

3.2 MODELOS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA RIOS

O objetivo de “representar a realidade tal como é observada ou medida” conduz à utilização de modelos matemáticos, compostos por uma estrutura teórica (representada por equações matemáticas), valores numéricos de parâmetros e dados de entrada e saída, oriundos de observações/medições de campo ou laboratório (VON SPERLING, 2014). Dentre as possíveis utilizações dos modelos matemáticos de qualidade de água, o autor destaca os estudos de adequação a padrões de qualidade para o corpo d’água, alocação de cargas poluidoras, planejamento de níveis e eficiências do tratamento de esgotos e outorga para lançamentos.

De acordo com Nascimento e Heller (2005), a modelagem matemática permite avaliar a efetividade de estratégias de tratamento de esgotos com base no atendimento a padrões de qualidade de água definidos na legislação ambiental.

Em razão da variedade de modelos de simulação da qualidade da água em rios, a escolha deve considerar a compatibilidade entre as características intrínsecas do modelo e o atendimento ao objetivo proposto. Sardinha e outros (2008) ressaltam que a escolha do modelo adequado deve ocorrer em função das necessidades do pesquisador. Em consonância com as políticas de recursos hídricos e saneamento, que definem a bacia hidrográfica como unidade territorial para avaliação e implementação de medidas de gestão, a escolha também deve estar associada a um planejamento global, no âmbito de bacias hidrográficas, evitando o foco em trechos isolados (FANTINATTI; ZUFFO, 2012; FLECK; TAVARES; EYNG, 2013; VON SPERLING, 2014).

Segundo Wang e outros (2013), a evolução dos modelos de qualidade de águas pode ser dividida em três estágios relevantes, cujo início ocorreu em 1925 com o desenvolvimento do modelo clássico de Streeter-Phelps para controle da poluição dos rios no estado de Ohio (Estados Unidos). Para os autores, no primeiro estágio (1925-1965), os pesquisadores buscaram aprimorar o modelo de Streeter-Phelps com foco na modelagem de DBO e OD. O segundo estágio (1965-1995), por sua vez, foi marcado pela modelagem de novos constituintes e a concepção de modelos bidimensionais e tridimensionais. Já o estágio final (após 1995), abrangeu a contribuição da deposição de poluentes atmosféricos por meio da integração com modelos de poluição do ar.

O Quadro 3 apresenta uma síntese dos principais modelos de qualidade de água descritos na literatura técnica corrente.

Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características

(continua)

Ano	Modelo	Características
1925	STREETER-PHELPS	O modelo clássico de Streeter-Phelps, desenvolvido por Harold Warner Streeter e Earle Bernard Phelps, é um modelo simplificado do processo de autodepuração de um curso hídrico poluído. Representa o balanço entre OD e DBO definidos na forma de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem.
1963	CAMP	Modelo de simulação de OD/DBO que modifica as equações de Streeter-Phelps adicionando os termos referentes a sedimentação e/ou ressuspensão, a DBO do escoamento superficial e a fotossíntese.
1964	DOBBINS	Modelo de simulação de OD/DBO apresentado na forma de equações diferenciais de segunda ordem, considerando os efeitos da demanda bentônica, fotossíntese e respiração no acréscimo da taxa de OD.
1967	O'CONNOR	Modelo de simulação OD/DBO que utiliza equação onde os termos referentes à DBO carbonácea e DBO nitrificante estão separados.
1970	DOSAG I	Modelo proposto pelo <i>Texas Water Development Board</i> (TWDB), que apresenta, de forma integrada, a equação de Streeter-Phelps aplicável a sistemas unidimensionais, desconsiderando os efeitos da dispersão.
1970	DOSAG III	Modelo criado pela <i>United States Environmental Protection Agency</i> (USEPA) que registra maior habilidade nos procedimentos de simulação e maior número de parâmetros simulados em comparação ao Dosag I.
1970	QUAL-I	Modelo desenvolvido pelo F. D. Masch and Associates e TWDB que utiliza equações unidimensionais de dispersão-advecção pela solução das diferenças finitas. Utiliza um elemento computacional padrão de um comprimento estabelecido através do sistema. Elementos computacionais com propriedades hidrológicas e físicas similares são agrupados no mesmo trecho.
1970-2019	WASP1 WASP2 WASP3 WASP4 WASP5 WASP6 WASP7 WASP8	O Programa de Simulação de Análise de Água, do inglês <i>Water Analysis Simulation Program</i> (WASP), desenvolvido pela USEPA, permite simular os processos hidrodinâmicos e de qualidade de água em 1, 2 ou 3 dimensões, com o objetivo de avaliar o destino e transporte de contaminantes convencionais e tóxicos. Os processos de advecção, dispersão, fluxos de massa pontual e difusa, além de fluxos na fronteira de fundo são representados no modelo. Os constituintes modelados são: algas, DBO, demanda de oxigênio em sedimentos, mercúrio, metais, nitrogênio, fósforo, OD, patógenos, produtos químicos orgânicos e temperatura. A versão atual é a versão 8.32 do WASP 8, lançada em abril de 2019.
Década de 70	ISIS	ISIS é um simulador hidrodinâmico completo, desenvolvido no Reino Unido por <i>Hydraulics Research Wallingford</i> e <i>Sir William Halcrow and Partners</i> , para modelagem de fluxos e níveis água em canais abertos e estuários. O módulo de qualidade da água do programa ISIS (<i>ISIS Quality Water</i>) é capaz de modelar diversas variáveis e processos de qualidade da água simultaneamente, que incluem: algas bentônicas; balanço de oxigênio (OD e DBO); coliformes; fitoplâncton; interações de oxigênio (água/sedimento); macrófitas; pH; poluentes conservativos e não conservativos; sal; sedimento e temperatura da água. A última versão lançada, ISIS v. 3.7, fornece uma série de novas funcionalidades e melhorias.
1972	QUAL-II	Modelo modificado do QUAL I, desenvolvido pelo <i>Water Resources Engineers, Inc.</i> (WRE) sob contrato com a USEPA. O modelo é aplicável para rios dendríticos e bem misturados. Permite simulação das variações temporais e espaciais de até treze parâmetros de qualidade de água, em qualquer combinação desejada pelo usuário. O modelo assume que os principais mecanismos de transporte, advecção e dispersão, são significativos somente ao longo da direção principal do fluxo (eixo longitudinal do rio ou canal). Pode ser operado em regime permanente ou dinâmico.
1974	SIMOX	O modelo <i>Dissolved Oxygen Simulation Model</i> (SIMOX), desenvolvido pelo <i>Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente</i> (CEPIS), para simulação de oxigênio dissolvido, inclui OD/DBO, bactéria (Lei de Chick) e uma substância conservativa. A versão mais recente também simula o decaimento de primeira ordem de nitrogênio e fósforo para representar sedimentação, absorção e transformação.

Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características

(continuação)

Ano	Modelo	Características
1974-1978	WQRRS	O <i>Water Quality for River-Reservoir Systems</i> (WQRRS), desenvolvido pela CEIWR-HEC, é baseado nos modelos Qual-II e CE-QUAL-W2. Fornece abrangente simulação da qualidade da água para rios e reservatórios. O modelo consiste em três módulos distintos, mas integrável: módulo reservatório, módulo hidráulico e módulo de qualidade. Os três programas podem ser integrados para uma completa análise de qualidade da água de uma bacia hidrográfica. No módulo de qualidade, as taxas de transporte de parâmetros de qualidade podem ser representadas para escoamentos aeróbios e podem ser simulados picos de cargas poluentes para escoamento estável ou instável. Simula OD, DBO, nutrientes, biomassa algal, temperatura, bactérias indicadoras, constituintes conservativos e não conservativos, produtividade de algas e nutrientes no reservatório, bem como interações de fluxo e temperatura no reservatório.
1975	CE-QUAL-W2	Modelo desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Portland, Estados Unidos. É um modelo bidimensional (longitudinal e vertical), hidrodinâmico e de qualidade da água para rios, estuários, lagos, reservatórios e sistemas de bacias hidrográficas. Utiliza as equações derivadas dos princípios de conservação de massa e quantidade de movimento necessário para descrever os fenômenos de transportes e inclui temperatura, salinidade, ciclo de OD/carbono, ciclos de nitrogênio, fósforo, fitoplânctons e bactérias. Baseia-se na solução numérica de diferenças finitas das equações que norteiam os processos de transporte, temperatura e constituintes dissolvidos.
1976	MIKE11	O modelo MIKE11, desenvolvido pelo <i>Danish Hydraulic Institute</i> (DHI), simula escoamentos, qualidade da água e transporte de sedimentos em estuários, rios, sistemas de irrigação, canais e outros corpos d'água. Modelo unidimensional que permite a simulação de fluxos dinâmicos em redes ramificadas e em circuitos fechados. Usado na análise de risco de inundação; previsão de inundação em tempo real; avaliação da qualidade da água em rios, reservatórios e áreas alagadas; previsão de qualidade de água e rastreamento de poluente; transporte de sedimentos e morfologia de rios; integração da água superficial e subterrânea para análise de água.
1976	QUALII/SEMOG	O QUAL-II/SEMOG é uma versão do QUAL-II desenvolvida pela WRE para o Conselho de Governos do Sudeste de Michigan, do inglês <i>Southeast Michigan Council of Governments</i> (SEMOG). Inclui modificações e aperfeiçoamentos feitos no modelo QUAL II desde o seu desenvolvimento original em 1972.
1976 - 1997	HSPF	O <i>Hydrologic Simulation Program – Fortran</i> (HSPF) é um programa desenvolvido pela USEPA para simulação hidrológica de bacia hidrográfica e de qualidade da água para poluentes orgânicos convencionais e tóxicos. Combina as cargas de escoamento da bacia e cargas, transporte e transformação, nos rios, de OD/DBO, nutrientes, algas e pesticidas/tóxicos; e fornece histórico de tempo da taxa de vazão de escoamento, carga de sedimentos, concentrações de nutrientes e pesticidas, juntamente com histórico de tempo da quantidade e qualidade da água em qualquer ponto em uma bacia hidrográfica. Requer uma extensa gama de dados de entrada e coeficientes para parametrizar cada processo de qualidade e quantidade de água. A versão atualmente disponível para público é a versão 11.0.
Década de 80	SIMCAT	O <i>Simulated Catchments</i> (SIMCAT), desenvolvido pela Agência de Meio Ambiente do Reino Unido, é um modelo estocástico determinístico, unidimensional, em regime permanente, que faz uso de técnicas de análise de Monte Carlo para simular dados de descargas pontuais e difusas ao longo de uma rede de cursos de água. O oxigênio dissolvido é representado por uma relação envolvendo temperatura, reaeração e decaimento da DBO.
Década de 80	TOMCAT	O <i>Temporary Overall Model for CATchments</i> (TOMCAT) foi desenvolvido pela companhia concessionária de água do Reino Unido, <i>Thames Water</i> . A conceituação do TOMCAT é essencialmente idêntica à do modelo SIMCAT, permitindo, contudo, correlações temporais mais complexas.

Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características

(continuação)

Ano	Modelo	Características
1982	CEQUALRIV1	O CE-QUAL-RIV1 foi originalmente desenvolvido pela Universidade Estadual de Ohio para a USEPA. A versão de 1990 reflete as modificações feitas pela Universidade Estadual de Ohio e pelo Laboratório Ambiental da Estação Experimental de Corpos D'água, do inglês <i>Waterways Experiment Station</i> (WES), do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, do inglês <i>United States Army Corps of Engineers</i> (USACE). O modelo é hidrodinâmico e unidimensional (longitudinal), permite a simulação de sistemas fluviais ramificados com várias estruturas de controle hidráulico, tais como, eclusa de navegação, represa, regulação de barragem. Os constituintes de qualidade da água incluem temperatura, OD, DBO carbonácea, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo ortofosfato, bactérias coliformes, ferro e manganês dissolvidos. Os efeitos de algas e macrófitas também estão incluídos.
1985	QUAL2E	O QUAL2E foi desenvolvido pela USEPA e possui notória popularidade e aplicabilidade. Modelo unidimensional de estado permanente, cuja hidrodinâmica se baseia na equação unidimensional de advecção-dispersão, podendo simular até 15 constituintes: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, algas, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio orgânico, fósforo orgânico, fósforo dissolvido, coliformes, três substâncias conservativas e uma arbitrária não conservativa. Ciclos detalhados de OD/DBO e de nutrientes são simulados, considerando os efeitos de respiração de algas, reaeração e demanda de oxigênio de sedimentos. Os metais podem ser simulados arbitrariamente como constituintes conservativos ou não.
1985	MIKE BASIN	O modelo MIKE BASIN, desenvolvido pelo DHI, associa técnicas de simulação e modelagem em rede de fluxo e é estruturado em uma rede de arcos e nós digitalizada no ambiente do <i>ArcView</i> do Sistema de Informações Geográficas. A simulação das variáveis de qualidade da água é feita através de transporte no estado estacionário nos arcos do sistema. Dentre outras características do modelo, destacam-se seu rápido tempo de processamento e sua flexibilidade e facilidade na representação de sistemas hídricos. Para a solução da qualidade de água é considerado somente o transporte advectivo e o decaimento das concentrações pode ser modelado.
1987	QUAL2E-UNCAS	Modelo aprimorado do QUAL2E que permite ao usuário realizar análises de incerteza, do inglês <i>uncertainty analysis</i> (UNCAS). São disponibilizadas três opções de incerteza: análise de sensibilidade, análise de erro de primeira ordem e simulação de Monte Carlo.
1987	SisBaHiA	O Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA), desenvolvido pela Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), trata-se de um sistema de modelos computacionais para previsão do escoamento ou movimento das águas e também para a previsão da qualidade das águas ou transporte de grandezas escalares qualificadoras em corpos de água naturais. Em sua versão 3.6 e superiores, o SisBaHiA oferece recursos para modelamentos de corpos de água com superfície livre sem estratificação vertical significativa (rios, canais, lagos, lagoas, reservatórios, estuários, baías e águas costeiras). Os Modelos de Qualidade de Água e Eutrofização (MQA) do SisBaHiA correspondem a um conjunto de modelos de transporte Euleriano, podendo ser aplicados para escoamentos 2DH, ou em camadas selecionadas de escoamentos 3D. Os MQA permitem simulação acoplada de até 11 parâmetros de qualidade da água e indicadores de eutrofização: sal, temperatura, OD/DBO, nutrientes compostos de nitrogênio e de fósforo e biomassa.

Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características

(continuação)

Ano	Modelo	Características
1989 - 1995	DUFLOW	O modelo DUFLOW, desenvolvido pelo <i>International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering</i> (atualmente denominado UNESCO-IHE, <i>Institute for Water Education</i>), <i>Rijkswaterstaat (Public Works Department)</i> , <i>Delft University of Technology</i> e <i>Agricultural University of Wageningen</i> , permite simulação de escoamento não permanente unidimensional e qualidade da água em sistemas de canais abertos, podendo ser incluso controle de estruturas como diques, bombas, bueiros e sifões. O modelo possui diversas aplicações, tais como a propagação de ondas em estuários, ondas de cheias em rios e operação de sistemas de irrigação e drenagem e pode incluir parâmetros de qualidade da água. A parte de modelagem da qualidade da água foi incluído no DUFLOW em 1992, em sua versão 2.0.
Década de 90 - 2019	SWAT SWAT2012 SWAT+	O <i>Soil Water and Analysis Tools (SWAT)</i> , modelo físico desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, do inglês <i>United States Department of Agriculture (USDA)</i> , teve sua origem no modelo <i>Simulator for Water Resources in Rural Basins (SWRRB)</i> - modificação do modelo hidrológico <i>Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS)</i> . Pode ser usado na modelagem de bacias hidrográficas que não possuem dados de monitoramento disponíveis. O modelo opera em escala de tempo contínua e permite prognosticar o impacto de longo prazo das práticas de gestão de solo nos recursos hídricos e a produção de sedimentos e aplicação de produtos químicos nas plantações dentro dos grandes complexos de bacias hidrográficas. A versão mais atual é o SWAT+, lançada em dezembro de 2019, versão que fornece uma representação espacial mais flexível das interações e processos dentro de uma bacia hidrográfica.
1990 - 2005	EXAMS	O <i>Exposure Analysis Modeling System (EXAMS)</i> permite formular modelos de ecossistemas aquáticos e avaliar rapidamente o destino, transporte e concentrações de exposição de produtos químicos orgânicos sintéticos, incluindo pesticidas, materiais industriais e lixiviados dos locais de descarte. A versão atual é a versão 2.98.04.06, lançada em abril de 2005.
1991- 1994	AQUASIM	O programa AQUASIM, desenvolvido pelo <i>Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG)</i> , foi projetado para a identificação e simulação de sistemas aquáticos técnicos e naturais. Realiza simulações, análises de sensibilidade, estimativa de parâmetros (usando dados medidos). O usuário pode especificar qualquer conjunto de variáveis de estado e processos de transformação do modelo.
1993	DELFT 3D	O modelo Delft 3D, desenvolvido pela <i>WL Delft Hydraulics</i> , permite uma abordagem multidisciplinar e cálculos em 3D para áreas costeiras, rios e estuários e pode realizar simulações de fluxos, transporte de sedimentos, ondas, qualidade da água, desenvolvimentos morfológicos e ecologia. O modelo é composto por um conjunto de módulos, agrupados em torno de uma interface mútua. Cada módulo pode ser executado de forma independente ou em combinação com um ou mais módulos.
1995	HEC-HAS	O <i>Hydrological Engineering Center-River Analysis System (HEC-HAS)</i> , desenvolvido pelo HEC do USACE, possibilita a simulação unidimensional do escoamento em canais abertos, sob o regime permanente e não-permanente e também na condição de fundo móvel (transporte de sedimentos). A versão atual, HEC-HAS 5.0, lançada em 2015, permite a modelagem bidimensional do escoamento.

Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características

(continuação)

Ano	Modelo	Características
1995-2000	SOBEK	O SOBEK-RE, versão original do SOBEK, desenvolvido pela <i>WL Delft Hydraulics</i> em parceria com o Instituto de Gestão das Águas Interiores e Tratamento de Águas Residuais, do inglês <i>Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment</i> (RIZA) do governo da Holanda, constitui sistema de modelagem unidimensional projetado para sistemas fluviais simples e complexos e estuários. Pode ser usado para simular escoamento instável e constante, transporte de sedimentos, morfologia, intrusão salina e qualidade da água, com aplicações na resolução de problemas em matéria de navegação, previsão de inundações, estudos da poluição da água, estuários com água doce e salgada, estudos de mineração de areia, sedimento e morfologia. SOBEK 2 apresenta três linhas básicas de produtos, SOBEK-River, SOBEK-Rural e SOBEK-Urban, sendo cada uma composta por diferentes módulos para simular aspectos específicos do sistema de água, podendo funcionar separadamente ou em combinação. O SOBEK 3 é o sucessor agregado do SOBEK-River, DUFLOW e SOBEK-RE.
1996 - 2019	BASINS 1 BASINS 2 BASINS 3 BASINS 4	Os modelos BASINS, desenvolvidos pela USEPA, são sistemas de análise ambiental de múltiplos propósitos e integram a poluição pontual e difusa. São adequados para análise da qualidade da água em escala de bacia hidrográfica. O BASINS 4.0 foi construído sobre o <i>MapWindow GIS</i> e projetado para complementar e interoperar com sistemas GIS corporativos e com todos os recursos. A versão atual disponível é o <i>Basins 4.5</i> , lançada em 2019.
1996	DESERT	O modelo <i>Decision Support System for Evaluating River Basin Strategies</i> (DESERT), desenvolvido pelo <i>International Institute for Applied Systems Analysis</i> (IIASA), constitui um sistema de apoio à decisão na gestão da qualidade da água no âmbito de bacias hidrográficas. Possibilita a simulação dos constituintes DBO, OD, nitrogênio, fósforo e fitoplâncton.
1997	PC-QUASAR	O PC-QUASAR, desenvolvido pelo <i>Center for Ecology & Hydrology</i> (CEH), permite fácil comparação entre o estado existente do rio e que existiria depois de uma mudança planejada ou um evento não planejado que tivesse ocorrido na rede fluvial. O modelo descreve as mudanças na qualidade da água ao longo do tempo e permite monitorar episódios de poluição à jusante. O modelo apresenta dois modos de execução: modo de planejamento e modo de previsão dinâmica. O modo de planejamento pode produzir dados de frequência e distribuição cumulativas de vazão e qualidade em locais de interesse. O modo dinâmico (previsão) fornece perfis de vazão e qualidade da água ao longo do sistema fluvial ou contra o tempo em qualquer alcance de interesse. O modelo permite simular vazão do rio, pH, nitrato, temperatura, <i>Escherichia Coli</i> , DBO, OD, poluente conservativo ou traçador.
1997 - 2007	EFDC	O Instituto de Ciência Marinha da Virgínia desenvolveu o modelo EFDC. A USEPA listou o modelo EFDC como uma ferramenta para o gerenciamento da qualidade da água em 1997. O modelo EFDC é adequado para simulação da qualidade da água em rios, lagos, reservatórios, estuários e áreas úmidas, incluindo modelos uni, bi ou tridimensionais. A versão atualmente disponível é a versão 1.01, lançada em setembro de 2007.
1998	HSCTM2D	O <i>Hydrodynamic, Sediment, and Contaminant Transport Model</i> (HSCTM2D), desenvolvido pela USEPA, consiste em um modelo de elementos finitos para simular o fluxo de água de superfície bidimensional verticalmente integrado (hidrodinâmica tipicamente ribeirinha ou estuarina), transporte de sedimentos e transporte de contaminantes. A versão atual é a versão 1.01.
2002 - 2018	AQUATOX	O AQUATOX é um modelo de simulação para sistemas aquáticos, desenvolvido pela USEPA, que prevê o destino de nutrientes, sedimentos e produtos químicos orgânicos em corpos d'água, bem como os seus efeitos diretos e indiretos em organismos residentes. O modelo simula múltiplos estressores ambientais (incluindo nutrientes, cargas orgânicas, sedimentos, substâncias químicas tóxicas e temperatura) e seus efeitos sobre as comunidades de algas, macrófitas, invertebrados e peixes. O modelo pode ajudar a identificar e compreender as relações de causa e efeito entre a qualidade química da água, do ambiente físico e a vida aquática, bem como pode representar uma variedade de ecossistemas aquáticos (lagos, reservatórios e lagoas, rios e córregos e estuários). A versão 3.2, lançada em 2018, contém diversas melhorias, em relação às versões anteriores, que aprimoram a interface e utilidade do modelo.

Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características

(continuação)

Ano	Modelo	Características
2003 - 2012	QUAL2K	O modelo QUAL2K é uma versão atualizada do modelo QUAL2E e apresenta na sua estrutura os seguintes novos elementos: modelo segmentado, especificação da DBO carbonácea, ambientes anóxicos, interações água-sedimento, algas inferiores, redução da luz, pH, patógenos, especificação de diversos parâmetros cinéticos e efeitos inerentes a barragens e cachoeiras.
2005	EDP-RIV1	O modelo EDP-RIV1, desenvolvido pela Divisão de Proteção Ambiental do Departamento de Recursos Naturais da Georgia e pela USEPA, baseia-se no modelo CE-QUALRIV1. Consiste em um sistema de programas para executar simulações unidimensionais hidrodinâmicas e de qualidade da água, com a finalidade de analisar as condições existentes e realizar alocações de carga de resíduos. O modelo pode representar com sucesso sistemas de rios dendríticos ou ramificados e pode lidar com influências de marés de jusante, efeitos à jusante de lagos, captações de água dinâmicas, operações de vertedouro de barragem e eventos de tempestade. O modelo permite simular interações de 16 variáveis de estado, incluindo temperatura da água, espécies de nitrogênio (ou DBO nitrogenada), espécies de fósforo, OD, demanda de oxigênio carbonácea, algas, ferro, manganês, bactérias coliformes e dois componentes arbitrários. Além disso, o modelo pode simular os impactos de macrófitas sobre OD e ciclagem de nutrientes.
2006	QUAL2Kw	O modelo QUAL2Kw também constitui uma versão atualizada do QUAL2E. É um modelo unidimensional, considera fluxo uniforme e não uniforme e simula o impacto de cargas poluentes pontuais e difusas. A estrutura inclui um algoritmo genético para facilitar a calibração do modelo em aplicação a corpos de água específicos. Os constituintes simulados são temperatura, DBO, OD, fitoplâncton e diversas formas dos nutrientes fósforo e nitrogênio, bem como pH, alcalinidade, sólidos inorgânicos suspensos, bactérias patogênicas e algas bentônicas.
2007	QUAL-UFMG	O modelo QUAL-UFMG desenvolvido por Marcos Von Sperling da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para o ambiente computacional da planilha Microsoft Excel, possibilita a modelagem de rios através da utilização de um modelo baseado no QUAL2-E (estrutura similar, porém não inclui as algas e todas suas inter-relações com os demais constituintes). O QUAL-UFMG permite a simulação dos parâmetros DBO, OD, nitrogênio total e suas frações, fósforo total e suas frações e coliformes termotolerantes.
2013	SIAQUA-IPH	O modelo SIAQUA-IPH é aplicável em grandes bacias e opera de forma completamente integrada com um Sistema de Informação Geográfica. Considera regime permanente de vazões, escoamento unidimensional, com mistura completa e instantânea dos poluentes lançados e seção retangular para calhas dos rios. O modelo permite a simulação dos parâmetros DBO, OD, Nitrogênio, Fósforo e Coliformes.
2013 - 2019	WMOST	O <i>Watershed Management Optimization Support Tool</i> (WMOST) é uma ferramenta de suporte à decisão que facilita o gerenciamento integrado da água na escala local ou em pequena bacia hidrográfica. O WMOST modela os efeitos e custos ambientais das decisões de gerenciamento. O modelo considera fluxos de água e qualidade da água. A otimização das opções de gerenciamento é resolvida usando programação não linear. Permite identificar soluções de menor custo para atender aos critérios de qualidade da água para lagos ou córregos/rios, metas de carregamento de poluentes e/ou minimização de lançamentos combinados de esgoto. A versão mais atual é a versão 3.01 lançada em junho de 2019.
2016	SIHQAL	O modelo Simulação Hidrodinâmica e de Qualidade da Água (SIHQAL), implementado no <i>software</i> MATLAB, é composto por um modelo hidrodinâmico unidimensional (equações de Saint-Venant) e um modelo de qualidade de água (equação de transporte com advecção-dispersão-reação). Permite a simulação dos constituintes DBO e OD em regime permanente e transiente.

Quadro 3 – Principais modelos de qualidade de água e suas características

(conclusão)

Ano	Modelo	Características
2017	SIGBAH-Qual	O modelo SIGBAH-Qual é operacionalizado dentro de um Sistema de Informações Geográficas, simplificando a entrada de dados, a aquisição das informações hidráulicas dos trechos de rio, além da organização topológica de todo o sistema hídrico. A versão mais atual do sistema desenvolvido no grupo de Hidrologia de Grande Escala (HGE) propõe o desenvolvimento de um sistema integrado ao <i>software MapWindow</i> (SIG programável de código aberto e livre distribuição na internet). Baseado nas formulações matemáticas do QUAL-UFMG, o modelo simula os parâmetros DBO, OD, nitrogênio total e suas frações, fósforo total e suas frações e coliformes termotolerantes.

Fonte: Adaptado de Brown e Barnwell (1987), Pelletier, Chapra e Tao (2006), Chapra, Pelletier e Tao (2012), Fan, Collischonn e Rigo (2013), Wang e outros (2013), Von Sperling (2014), Calmon (2015), Ferreira, Fernandes e Kaviski (2016), Kayser e outros (2017) e USEPA (2020).

Costa e Teixeira (2010) afirmam que os modelos de qualidade de água constituem ferramentas de auxílio à gestão de recursos hídricos. Nesse contexto, são exemplos os trabalhos produzidos por Camargo e outros (2010), Gastaldini e Oppa (2011), Wang e outros (2011), Fonseca e outros (2014) e Yao e outros (2015).

Camargo e outros (2010) utilizaram o modelo QUAL2Kw para simular a qualidade da água da microbacia do córrego Fidalgo (Belo Horizonte, Brasil). Os autores mediram as seguintes variáveis físico-químicas e microbiológicas: alcalinidade total, condutividade elétrica, DBO, *Escherichia coli*, fósforo total, nitrogênio total e suas frações, OD, pH, sólidos dissolvidos totais e vazão. O estudo avaliou a qualidade da água conforme os critérios recomendados pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) e os padrões ambientais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357:2005. Os resultados revelaram que as concentrações de DBO, nitrogênio total e fósforo total ultrapassaram os valores adotados pela USEPA quando ocorreu o aumento da contribuição difusa. Considerando a Resolução CONAMA 357:2005, os resultados indicaram valores acima do permitido para concentrações de fósforo total quando ocorreu aumento na contribuição pontual, que o limite para DBO foi ultrapassado quando houve elevação na contribuição difusa e que valores abaixo do recomendado para OD foram atingidos com o aumento nas cargas de nitrogênio e fósforo. Os autores concluíram que a poluição difusa de origem rural e a poluição pontual do tributário existente no córrego são as causas principais da poluição hídrica na bacia estudada.

Gastaldini e Oppa (2011) analisaram alternativas de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim (Rio Grande do Sul, Brasil), com o apoio do modelo matemático de qualidade da água QUAL2E. Os parâmetros simulados foram OD, DBO e coliformes termotolerantes. Os autores sugeriram como alternativas de enquadramento: *a)* classe 3 para os três primeiros trechos do rio, indicando como principal medida o tratamento de esgoto nesses trechos, e classe 2 para o restante do rio; ou *b)* classe 2 para todo o rio.

Wang e outros (2011) empregaram o modelo MIKE 11 para modelagem da qualidade da água para as porções média e baixa do rio Hanshui (Província de Hubei, China). O modelo ECO Lab do MIKE 11 permitiu a modelagem dos parâmetros Demanda Química de Oxigênio (DQO), DBO, OD, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e fósforo. Foram consideradas as poluições por fontes pontuais (população urbana e setor industrial) e fontes não pontuais (agricultura, pecuária e populações rurais de oito áreas, bem como a população das cidades não ribeirinhas e o setor industrial). Segundo os autores, a simulação da qualidade da água pôde fornecer informações básicas para tomada de decisão e auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos da região.

A partir do emprego do modelo HSPF, Fonseca e outros (2014) avaliaram a qualidade da água da bacia do rio Lis (região de Leiria, Portugal) considerando poluição pontual e difusa. Dentre os constituintes modelados tem-se OD, DBO, coliformes fecais, nitratos, ortofosfatos, pH, sólidos totais em suspensão e temperatura. Os resultados indicaram a necessidade de uma redução média de 46%, 82% e 99% nas cargas de nitratos, ortofosfatos e coliformes fecais, respectivamente, para atendimento aos padrões de qualidade das águas superficiais. Além disso, os parâmetros DBO e ortofosfatos estiveram acima dos valores recomendados em todo o período de simulação. Os autores concluíram que as fontes difusas são as principais causas da poluição hídrica na área estudada.

Yao e outros (2015) aplicaram o modelo WASP na proposição de método para avaliação do risco regional de poluição por fontes pontuais na região do rio Taihu (bacia de Taihu, China), abrangendo as etapas de análise de emissão da fonte, avaliação do modelo de qualidade da água, análise da vulnerabilidade do corpo receptor, previsão do risco da fonte e estimativa do risco regional. A etapa de

avaliação do modelo de qualidade da água consistiu na divisão da bacia do rio Taipu em nove segmentos e foram usados o EUTRO e os módulos de rede fluvial no WASP para apresentar as características hidrodinâmicas e resposta da qualidade da água às fontes de contaminação no rio Taipu. O método proposto foi capaz de identificar prioridades no perigo de fonte e risco de poluição do corpo receptor, prevendo processos de migração e transformação de poluentes para todos os cenários possíveis.

O modelo QUAL-UFMG possui ampla aplicação em trabalhos realizados no Brasil, sendo apontado como ferramenta prática e adequada na gestão e planejamento dos recursos hídricos, conforme ilustrado nos trabalhos de Salla e outros (2013), Calmon e outros (2016) e Gomes e outros (2018). Von Sperling (2014) defende o uso do modelo QUAL-UFMG pela facilidade, simples interface, geração rápida de gráficos e o idioma em português.

Com o objetivo de avaliar a capacidade de autodepuração de um trecho do rio Jordão, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Dourados (Minas Gerais, Brasil), Salla e outros (2013) empregaram o modelo QUAL-UFMG na modelagem dos parâmetros DBO, OD, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico, fósforo inorgânico e *Escherichia coli*. Os resultados dos cenários simulados evidenciaram que o rio Jordão não possui capacidade de autodepuração natural para os efluentes lançados após o tratamento secundário formado por lagoa anaeróbia seguida por facultativa (Cenário 1) e o tratamento secundário formado por lodo ativado convencional (Cenário 2), principalmente na avaliação dos constituintes DBO e OD segundo a classe 2 da Resolução CONAMA 357:2005.

Calmon e outros (2016) combinaram o uso de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração na bacia hidrográfica do rio Pardo (Espírito Santo, Brasil). O modelo QUAL-UFMG foi utilizado na simulação de DBO e OD, considerando o lançamento de esgoto como única fonte de poluição hídrica. Os autores produziram curvas de permanência de qualidade para DBO, conforme as classes 1, 2 e 3 estabelecidas na Resolução CONAMA 357:2005. A partir dos resultados gerados, concluiu-se que a incorporação da análise da capacidade de autodepuração na bacia do rio Pardo ampliou a frequência de atendimento de padrões de qualidade relativos ao parâmetro DBO nos panoramas determinados.

De acordo com Gomes e outros (2018), o modelo QUAL-UFMG mostrou-se adequado na modelagem da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Rio Grande do Sul). Os constituintes modelados foram DBO, OD, fósforo total e nitrogênio total. Os autores utilizaram os índices estatísticos Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) e o Coeficiente Nash-Sutcliffe (CNS) para verificação do desempenho do modelo. Os resultados permitiram concluir que o modelo apresentou boa eficiência ($CNS > 0,75$) para o parâmetro OD e eficiência aceitável, no período outono/inverno, para os parâmetros DBO, fósforo total e nitrogênio total ($0,36 < CNS < 0,75$).

Outrossim, Costa e Teixeira (2010), Pinheiro e outros (2013), Teodoro e outros (2013), Oliveira Filho e Lima Neto (2018) e Silva, Silva Junior e Lima (2018) constituem exemplos de aplicação do modelo QUAL-UFMG na área de recursos hídricos.

3.3 TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO

Otimização resume-se à busca da melhor solução para um dado problema, de modo que as técnicas de busca e otimização, usualmente, apresentam um espaço de busca, onde se encontram as possíveis soluções do problema, e uma função objetivo, que avalia as soluções produzidas (LACERDA; CARVALHO, 1999).

Soares (1997) observou, na literatura, três conjuntos principais de técnicas de busca e otimização: Determinísticos, Enumerativos e Estocásticos. Para o autor, os métodos estocásticos possuem destaque por buscar a solução global sem fazer uso de todo o domínio de soluções candidatas.

Os algoritmos evolucionários ou evolutivos são métodos estocásticos que utilizam modelos computacionais baseados em processos evolutivos naturais como ferramentas para resolver problemas (LINDEN, 2008). De acordo com Nicklow e outros (2010), constituem ferramentas flexíveis e eficientes na solução de problemas complexos no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos e, por esse motivo, registrou-se um aumento no desenvolvimento e aplicação de diversos tipos de algoritmos evolutivos nessa área, em especial da técnica algoritmo genético (AG).

Os algoritmos genéticos são definidos como uma técnica metaheurística de otimização e busca (o termo heurística é usado em função do fato de que a técnica não encontra necessariamente a solução ótima do problema), inspirados nos

mecanismos de evolução de populações de seres vivos, nos quais se observa o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto (LACERDA; CARVALHO, 1999; LINDEN, 2008).

Lacerda e Carvalho (2009) descrevem a seguinte metodologia para um AG genérico: a) Geração de uma população inicial de cromossomos (conjunto aleatório de cromossomos que representam possíveis soluções do problema a ser resolvido); b) Avaliação da população gerada, onde cada cromossomo recebe uma nota (aptidão) que reflete a qualidade da solução que ele representa (seleção dos mais aptos); c) Os indivíduos selecionados podem sofrer modificações em suas características fundamentais por meio dos operadores genéticos, gerando descendentes para a próxima geração; e d) O processo é repetido até que uma solução satisfatória seja encontrada.

Os operadores genéticos podem ser de seleção, recombinação (*crossover*) ou mutação, e são responsáveis pela ocorrência do processo de evolução natural nos indivíduos selecionados que, por meio da caracterização da qualidade de cada indivíduo inicial como solução do problema (avaliação), gerará um possível indivíduo indicado como boa solução para o problema (LINDEN, 2008).

Nicklow e outros (2010) apontam como operadores de seleção mais comuns as variantes da seleção de torneios, seleção de truncamento, seleção de roleta e seleção de Boltzmann. Os autores explicam que a distinção entre operadores de recombinação e mutação é definida principalmente no número de indivíduos usados para gerar novas soluções. A mutação permite que novas soluções sejam geradas a partir de uma única solução, enquanto que a recombinação envolve a transformação de dois ou mais indivíduos na geração de novas soluções.

Lacerda e Carvalho (1999) destacam como as principais vantagens dos algoritmos genéticos: a possibilidade de utilizar parâmetros contínuos e/ou discretos; realização de buscas simultâneas em diversas regiões do espaço de busca; otimização de um grande número de variáveis; otimização de parâmetros de funções objetivos com superfícies complexas; facilidade de aplicação; otimização de múltiplas funções com objetivos conflitantes; adaptáveis a outras técnicas de otimização.

Os algoritmos genéticos possuem aplicabilidade em diversos estudos na área de recursos hídricos, o que evidencia sua versatilidade em auxiliar na resolução de problemas de complexidades variadas e o desempenho satisfatório no gerenciamento dos recursos hídricos (COLLISCHON; TUCCI, 2003; SANTOS; SUZUKI; WATANABE, 2003; KONDAGESKI, 2008; MACHADO et al., 2008; BRAVO; COLLISCHON; TUCCI, 2009; COSTA; CASTRO; RAMOS, 2010; GARCIA, 2011; SCHARDONG, 2011; SAMPAIO, 2012; SOUZA; SOARES; ABE, 2014; MARCUZZO, 2015; SANTOS, 2018). Burn e Yulianti (2001), Mauad, Albertin e Pioltine (2008), Santoro, Reis e Mendonça (2016), Fantin, Reis e Mendonça (2017) e Sá e outros (2019) constituem trabalhos que utilizaram a técnica de otimização algoritmos genéticos na análise de problemas de alocação de cargas efluentes.

Burn e Yulianti (2001) utilizaram os algoritmos genéticos para auxiliar no problema de alocação de cargas efluentes no rio Willamette (Oregon, Estados Unidos). Foram formulados três modelos de otimização: o primeiro modelo (custo versus qualidade) objetiva minimizar o custo total do tratamento e minimizar a soma das violações dos padrões de qualidade da água; o segundo modelo (custo versus equidade) também busca a minimização de custos e, adicionalmente, impõe uma medida de equidade; e o terceiro modelo (operacional) explora o aumento da capacidade de assimilação do corpo receptor durante períodos não críticos, permitindo lançamentos de cargas orgânicas maiores com a imposição de uma medida de equidade. Os autores concluíram que os algoritmos genéticos constituem uma técnica eficaz para solucionar problemas de alocação de cargas efluentes.

Mauad, Albertin e Pioltine (2008) propuseram dois modelos de otimização multiobjetivo, considerando a distribuição equitativa na alocação das cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica do rio Atibaia (São Paulo, Brasil). O primeiro modelo de otimização objetivou a maximização da concentração de DBO emitida por cada fonte de lançamento e a minimização das violações nos padrões de concentração de DBO do corpo hídrico. O segundo modelo emprega índice que objetiva quantificar a equidade entre os usuários da água e distribuir a responsabilidade pela poluição gerada. A simulação da qualidade da água foi conduzida por meio do modelo QUAL2K e os modelos de otimização aplicados com auxílio dos algoritmos genéticos. Os resultados evidenciaram que a restrição de equidade garantiu maior esforço de tratamento para as maiores cargas de efluentes lançados no corpo receptor.

O foco na avaliação de modelos de otimização aparece na metodologia aplicada por Santoro, Reis e Mendonça (2016). Os autores analisaram sete modelos de otimização aplicáveis à estimativa de eficiências mínimas de tratamento de efluentes na bacia hidrográfica do rio Pardo (Espírito Santo, Brasil). Os modelos selecionados consideraram a minimização do somatório das eficiências e a minimização da inequidade entre os esforços de tratamento de efluentes. Os modelos que incorporaram uma medida de equidade foram avaliados por meio da Curva de Lorenz. Os resultados indicaram que os modelos com incorporação de equidade como restrição do problema não garantiram a equidade em função da grande variação de carga orgânica bruta entre os efluentes da área de estudo. Por outro lado, os modelos que incorporaram medidas de equidade na função objetivo apresentaram desempenho satisfatório e permitiram a obtenção de conjuntos de eficiências de tratamento de efluentes próximos entre si.

Fantin, Reis e Mendonça (2017) estabeleceram uma metodologia para pré-seleção de alternativas de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do rio Pardo (Espírito Santo, Brasil), envolvendo o uso combinado de modelo de qualidade de água, técnica de otimização e critérios de natureza econômica associados aos diferentes sistemas de tratamento. Os resultados indicaram que o modelo de otimização, com o objetivo de minimizar as eficiências de tratamento de águas residuárias, considerando as capacidades de autodepuração dos cursos d'água, conduziu à pré-seleção de sistemas de tratamento que vão desde a combinação de sistemas UASB e lagoas de polimento até a infiltração lenta (alternativas de tratamento que apresentaram as menores estimativas de custo líquido). Adicionalmente, ficou evidente que a incorporação da perspectiva de equidade entre os sistemas de tratamento aumentou o custo líquido total atual associado ao tratamento de esgotos.

Sá e outros (2019) aplicaram uma etapa de pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos, por meio da estimativa de eficiências mínimas de tratamento, na bacia hidrográfica do rio Pardo (Espírito Santo, Brasil). As eficiências mínimas de tratamento foram obtidas por meio da associação de um modelo de qualidade de água com a técnica de otimização algoritmos genéticos. Foram consideradas trinta e sete alternativas de tratamento para análise das eficiências mínimas de remoção de DBO e nitrogênio amoniacal. Os resultados indicaram a pré-seleção dos sistemas Lodos ativados, Biofiltro aerado submerso com nitrificação ou com remoção biológica de

nitrogênio, para a localidade Ibatiba. Para os povoados Santíssima Trindade e Nossa Senhora das Graças foram pré-selecionados os sistemas Tratamento primário com tanques sépticos, Lagoas de estabilização, Reatores UASB e Filtros biológicos.

3.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

O processo de seleção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos envolve múltiplas alternativas tecnológicas e diversos atores na tomada de decisão que, geralmente, possuem objetivos e interesses conflitantes. Bedford e Cooke (1999) afirmam que a avaliação de uma alternativa pode abarcar vários fatores ou atributos relevantes. Por conseguinte, a abordagem estratégica para solucionar esse problema requer uma visão holística que permita a análise simultânea dos múltiplos atributos que compõem cada alternativa (MENEZES; SILVA; LINHARES, 2007).

De acordo com Von Sperling (2005), a escolha da alternativa mais adequada requer a análise de diversos critérios e atribuição de pesos específicos com base na realidade em foco. A determinação da importância relativa dos critérios por meio de pesos pode ser uma tarefa complexa para os tomadores de decisão, que podem julgar difícil a comparação dos critérios ou a exposição de suas preferências em público (JIMENEZ; MATEOS; SABIO, 2013). A análise multicritério permite abordagem de problemas considerados complexos, a ordenação de alternativas segundo vários critérios por meio de atribuição de pesos e confere transparência ao processo de tomada de decisão, apresentando vantagens sobre métodos de critério único (WERNKE; BORNIA, 2001).

Roy (1990) apresenta uma vertente da análise multicritério denominada Auxílio Multicritério à Decisão (também conhecida por Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão), do inglês *Multiple Criteria Decision-Aid* (MCDA). A análise MCDA constitui uma alternativa para modelagem de problemas que contêm subjetividade, incertezas, ambiguidades e conflitos no processo decisório (RODRIGUEZ; COSTA; CARMO, 2013). Além disso, ao invés de esperar uma modelagem que encontre apenas uma solução ótima ou que possua alternativas pré-definidas, considera que os decisores devem estruturar o modelo de avaliação de alternativas e se propõe a aumentar a compreensão dos decisores viabilizando esse processo (FANTINATTI; ZUFFO, 2012).

Rodriguez, Costa e Carmo (2013), a partir dos estudos de Figueira, Greco e Ehrgott, em 2005, e Polatidis e outros (2006), classifica a análise MCDA em Teoria da Utilidade Multiatributo e Métodos de Superação ou Sobreposição. Posteriormente, Guarnieri (2015), a partir das pesquisas de Vincke, em 1992, e Roy, em 1996, conclui que a análise MCDA pode ser dividida em três abordagens: a) Teoria da Utilidade Multiatributo ou do Critério único de síntese; b) Abordagem de sobreclassificação ou superação; e c) Métodos interativos.

Considerando a abordagem Teoria da Utilidade Multiatributo ou do Critério único de síntese, Guarnieri (2015) cita como exemplos os métodos *Multiple Attribute Utility Theory/Function* (MAUT); *Simple Multicriteria Attribute Rating Technique* (SMART); *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e *Analytic Hierarchy Process* (AHP). A autora destaca os métodos *Elimination and Choice Translating Algorithm* (ELECTRE) e *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) como os principais exemplos da abordagem de sobreclassificação ou superação. E por fim, a autora menciona, como exemplos da abordagem de Métodos interativos, os métodos *Step Method* (STEM), *Interval Criterion Weights* (ICW) e *Tricriterion Multiobjective Linear Programming* (TRIMAP).

Guarnieri (2015) enfatiza que a escolha de um método deve considerar a natureza de decisão que envolve os objetivos, a problemática escolhida (escolha, ordenação, classificação), os tipos de critérios (quantitativos e/ou qualitativos) e a racionalidade do decisor que influenciará no tipo de agregação das preferências relativas às alternativas e aos critérios (aditiva ou não aditiva).

Os métodos MAUT, AHP, CP e ELECTRE têm sido recorrentemente utilizados na solução de problemas envolvendo análise multicritério (REIS, 2018). De acordo com Longaray e outros (2016), o AHP é o método multicritério mais utilizado, seguido dos métodos ELECTRE, *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), PROMETHEE e MAUT.

Carneiro, Barbosa e Souza (2001), Generino (2006), Heller, Von Sperling e Heller (2009), Fantinatti e Zuffo (2012), Piga e outros (2017), Rodrigues e outros (2017), Fraga e outros (2019) constituem pesquisas com aplicações de análise multicritério na área de recursos hídricos. O uso da análise multicritério na seleção de sistemas ou

processos de tratamento de esgotos é observado nas metodologias apresentadas por Reami (2011), Hunt (2013), Ouyang e outros (2015), Goffi (2017) e Tian (2019).

Reami (2011) aplicou três métodos de análise multicritério (MAUT, CP e CGT) para auxiliar na escolha de uma tecnologia de tratamento de esgoto para o município de Restinga (São Paulo, Brasil). Foram consideradas vinte alternativas, sendo quatro delas uma adaptação do sistema existente, e aplicados noventa e quatro questionários para valoração dos critérios por atores envolvidos na tomada de decisão. Os resultados indicaram que o custo unitário de implantação é reduzido com o aumento da capacidade do sistema e que o consumo de energia elétrica e a remoção e destinação de lodo são relevantes para a definição do critério custos operacionais. O autor concluiu que a aplicação de métodos multicriteriais foi relevante, pois permitiu a colaboração dos envolvidos, incluindo pessoas leigas, na tomada de decisão.

Hunt (2013) apresentou um sistema para auxiliar no processo de seleção de sistemas de tratamento de esgoto aplicável a qualquer faixa de população, a partir do emprego do MAUT. Foram consideradas trinta e duas alternativas, separadas em alternativas factíveis e não factíveis, onde as factíveis atendem aos objetivos de tratamento e as restrições de cada tecnologia. A comparação das alternativas factíveis por meio do método MAUT considerou dezenove critérios (critérios econômicos, ambientais, sociais e tecnológicos). Os resultados indicaram que o sistema tem potencial para auxiliar na escolha de tecnologias de tratamento de esgoto e que os critérios econômicos e tecnológicos são priorizados no Brasil. O autor concluiu que o sistema constitui uma ferramenta útil aos decisores no processo de seleção de tecnologias de tratamento de esgotos em diversas localidades do Brasil.

Ouyang e outros (2015) aplicaram o método AHP difuso integrado ao escalonamento multidimensional, do inglês *Multidimensional Scaling* (MDS), para selecionar alternativas otimizadas de tratamento de esgotos no sistema combinado de tratamento de águas pluviais e esgoto de um distrito em Chongqing (China). O método integrado incorpora os pesos calculados pelo AHP ao elemento difuso, seguido pelo método MDS para determinar a alternativa ideal por meio das coordenadas associadas a cada alternativa em uma configuração bidimensional. Os resultados

indicaram que o sistema Lagoa de estabilização foi a escolha adequada dentre os cinco sistemas avaliados.

Goffi (2017) estabeleceram modelo para a seleção de tecnologias de tratamento de águas residuais considerando as dimensões econômicas, sociais, técnicas e ambientais. Foram avaliadas trinta e sete tecnologias e definidos dois grupos de critérios utilizando o método de Copeland. O método PROMETHEE II foi aplicado para hierarquização das alternativas. As tecnologias infiltração lenta, infiltração rápida e lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa foram adequadas para comunidades pequenas, enquanto que infiltração rápida e reator UASB com filtro anaeróbio foram adequadas para os centros urbanos. A autora concluiu que os métodos utilizados são de simples compreensão e utilização por especialistas.

Tian (2019) empregou o método AHP aprimorado com incorporação do impacto ambiental no processo de seleção de tratamento de esgotos. Foi estabelecido um modelo de estrutura hierárquica composto por oito indicadores (que consideraram o desempenho técnico, benefício econômico e impacto ambiental) e cinco alternativas para o tratamento dos esgotos. O autor concluiu que ao considerar o desempenho técnico, o benefício econômico e o impacto ambiental, o processo Anaeróbio, Aeróbio e Anóxico é o processo mais adequado e que o processo Vala de Oxidação é o processo menos recomendado.

Nota-se que a aplicação de métodos de análise multicritério, como ferramenta principal ou auxiliar, foi considerada relevante nos processos de seleção de sistemas de tratamento e características como facilidade e eficiência foram destacadas pelos autores supracitados.

É importante ressaltar os trabalhos desenvolvidos por Bringer, Reis e Mendonça (2018) e Reis (2018) que empregaram a análise multicritério associada à modelagem da qualidade da água e técnica de otimização, incrementando o processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos no âmbito de bacias hidrográficas.

Bringer, Reis e Mendonça (2018) aplicaram o método ELECTRE III - por meio do *software* "Electre III-IV", desenvolvido pelo Laboratório de Análise e Modelagem de Sistemas de Suporte à Decisão (LAMSADE) da Universidade de Paris, Dauphine - para indicação dos sistemas de tratamento de esgotos para as localidades

responsáveis pela disposição de esgotos brutos na bacia hidrográfica do rio Pardo. Os autores definiram um conjunto de alternativas de sistemas de tratamento de esgotos e os critérios de análise, permitindo a “comparação par a par das alternativas de tratamento de esgotos por meio da análise das performances dos sistemas em relação a cada critério”. Nesse contexto, foram definidos também os pesos, limiares de preferência, indiferença e veto para o cálculo dos índices de concordância e discordância, índice de concordância global e índice de credibilidade, e, por fim, foi aplicado um algoritmo de classificação que forneceu a classificação final dos sistemas de tratamento de esgotos avaliados. A partir dos resultados, os referidos autores concluíram que o método se mostrou “sensível às variações dos pesos considerados para cada critério e à adoção de limiares de veto” e a aplicação do método ELECTRE III permitiu a indicação de sistemas de tratamento de esgotos para a bacia do Rio Pardo.

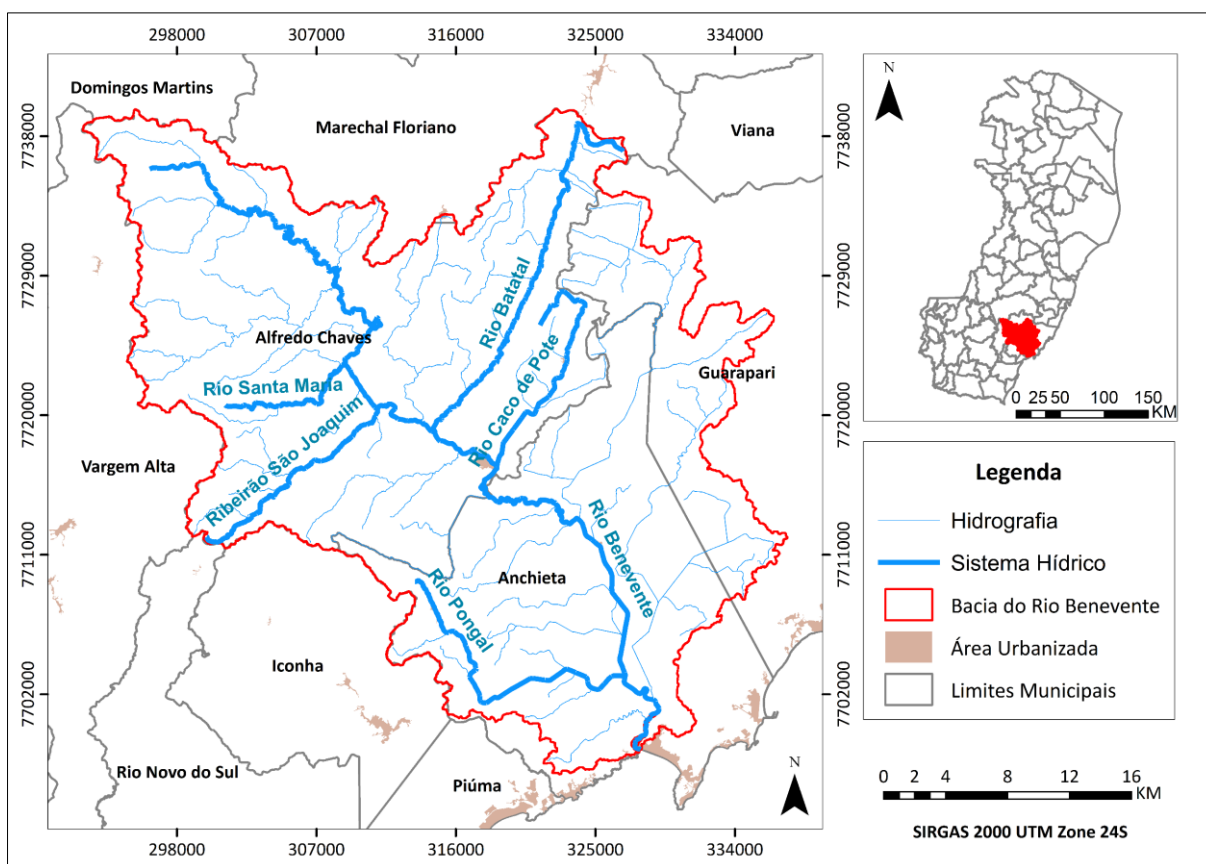
Reis (2018) empregou o método MAUT na sistemática para seleção de tecnologias de tratamento de efluentes. A autora estruturou o *Framework* proposto por Frank e outros, em 2013, e Frank e outros, em 2016, na matriz MAUT, de forma a estabelecer o *ranking* dos sistemas de tratamento de esgotos por meio de um Índice Sociotécnico, resultante da estrutura de preferências definida por meio da validação por grupos focados de dezenove critérios de seleção associados à quatro subsistemas sociotécnicos (ambiental, tecnológico, operação e social). Segundo a referida autora, a sistemática de avaliação multicritério proposta em sua pesquisa tem a perspectiva de ser empregada em quaisquer bacias hidrográficas e para quaisquer tipos de esgotos de natureza orgânica, independentemente da carga de esgoto bruto.

Apesar da variedade de métodos de análise multicritério, Min (1994) afirma que o MAUT pode lidar efetivamente com um grande número de fatores qualitativos e quantitativos em vários critérios e ambientes de decisão incertos, além de permitir a estruturação de um problema complexo na forma de hierarquia simples. Outro ponto destacado pelo autor é a facilidade de adaptação às mudanças durante o processo de decisão.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo estabelecida foi a bacia hidrográfica do rio Benevente, localizada no sul do estado do Espírito Santo, Brasil (Figura 1). A bacia em questão compreende os municípios de Alfredo Chaves, Anchieta, Guarapari e pequenas porções dos municípios de Iconha e Marechal Floriano.

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Benevente



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2018).

A bacia do rio Benevente possui área de drenagem de 1091,48km² e perímetro de 312,18 km; o rio Benevente, principal curso d'água da bacia, possui 81,5km de extensão (RODRIGUES, 2018). De acordo com o referido autor, a nascente do rio Benevente está localizada a uma altitude aproximada de 1268m, na Serra do Redentor, e sua foz encontra-se no município de Anchieta, onde o rio deságua diretamente no oceano Atlântico.

A área de estudo possui o Enquadramento dos Corpos de Água superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente, aprovado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Benevente e homologado pela Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) nº 005, editada em 17 de junho de 2015 (ESPÍRITO SANTO, 2015). Nesse contexto, foram enquadrados doze cursos d'água subdivididos em quarenta e cinco trechos, cujas classes de enquadramento propostas variaram de Classe Especial a Classe 3 (LUME, 2014a). Nos cursos d'água da bacia do rio Benevente, LUME (2014a) identificou como principais usos preponderantes o abastecimento para consumo humano, a proteção das comunidades aquáticas, a irrigação e a recreação de contato primário.

A bacia do rio Benevente abrange a Região Metropolitana da Grande Vitória, importante região de desenvolvimento econômico do Espírito Santo, e parte do abastecimento de água da região é realizado por meio de captações na bacia. LUME (2014a) destacou a necessidade de monitoramento quanto aos projetos de expansão urbana na bacia do rio Benevente, considerando os impactos aos cursos hídricos advindos do ritmo acelerado de urbanização. Nesse contexto, fica evidente a necessidade de estudos que contribuam para o planejamento e gestão dos cursos hídricos na área de estudo.

5 METODOLOGIA

5.1 MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA DA ÁREA DE ESTUDO

A modelagem da qualidade da água foi realizada por meio do desenvolvimento de um modelo computacional no ambiente do *software Matrix Laboratory* (MATLAB), adaptado à bacia hidrográfica do rio Benevente. O modelo reproduziu a estrutura conceitual e as formulações matemáticas do modelo QUAL-UFMG, apresentado e discutido por Von Sperling (2007).

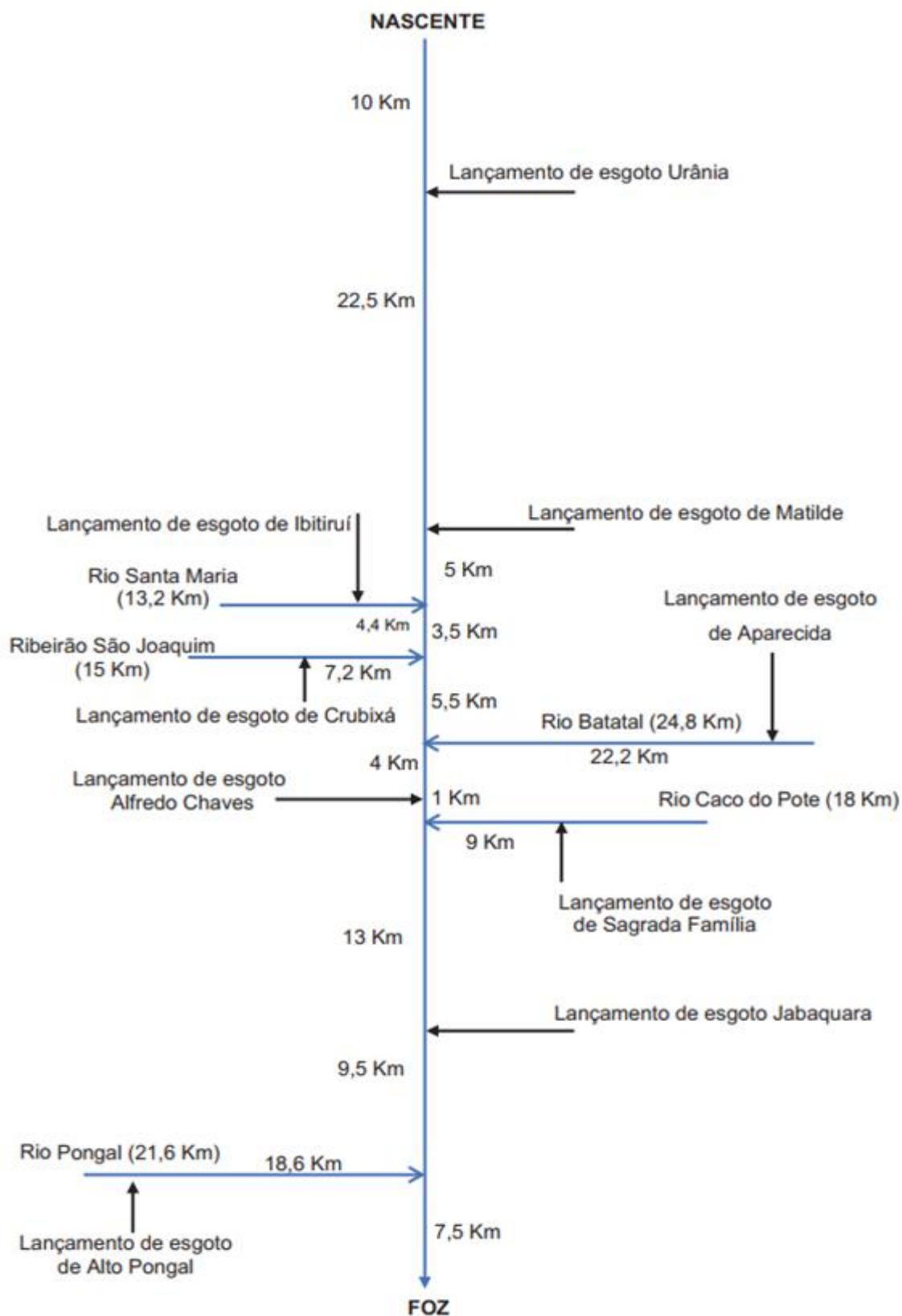
Os dados de entrada necessários para realização da modelagem da qualidade da água foram obtidos de LUME (2014b), responsável pela elaboração do Enquadramento dos Corpos de Água superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente, e Rodrigues (2018), cujo trabalho empregou curvas de permanência de qualidade como subsídio ao processo de enquadramento de cursos d'água.

5.1.1 Sistema hídrico da bacia do rio Benevente

A simulação da qualidade da água realizada considerou o sistema hídrico apresentado por Rodrigues (2018), resultado da adaptação do sistema elaborado por LUME (2014b).

O sistema hídrico adotado é composto pelo rio Benevente e diferentes contribuições pontuais e distribuídas. As fontes pontuais são constituídas pelos principais tributários do rio Benevente (rio Santa Maria, ribeirão São Joaquim, rio Batatal, rio Caco do Pote e rio Pongal) e os efluentes domésticos de nove núcleos urbanos situados na bacia (Urânia, Matilde, Crubixá, Ibitiruí, Alfredo Chaves, Aparecida, Sagrada Família, Jabaquara e Alto Pongal), conforme a Figura 2. As fontes distribuídas são compostas pelas contribuições da população rural da bacia e foram apresentadas de forma incremental ao longo dos trechos simulados (RODRIGUES, 2018).

Figura 2 – Diagrama unifilar da bacia hidrográfica do rio Benevente



Nota: Os recursos hídricos estão representados pelas setas azuis e as fontes pontuais de lançamento de esgotos estão representadas pelas setas pretas.

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2018).

O trecho de simulação adotado possui 74km de extensão e considerou o trecho do rio Benevente desde a sua nascente até a confluência com o rio Pongal. Segundo Rodrigues (2018), o trecho final do rio Benevente com 7,5 km de extensão pode apresentar água salobra ou salina. Em função desse aspecto, não foi realizada a modelagem da porção final do rio Benevente, uma vez que o QUAL-UFMG é recomendado para corpos de água doce.

O QUAL-UFMG adota a integração pelo método de Euler, considerado simples e de fácil compreensão, ainda que necessite de curtos passos de integração (VON SPERLING, 2014). No modelo computacional, os cursos hídricos modelados foram segmentados e os passos de integração eram representados pela extensão de cada segmento. O rio Benevente foi dividido em segmentos de 500 metros de comprimento e os principais tributários foram divididos em segmentos de 200 metros, em conformidade com LUME (2014b) e Rodrigues (2018).

5.1.2 Variáveis hidrodinâmicas e constantes cinéticas

As variáveis hidrodinâmicas e constantes cinéticas adotadas no estudo foram obtidas a partir de LUME (2014b) e Rodrigues (2018).

A vazão dos cursos d'água adotada neste estudo foi a vazão Q_{90} , apropriada por Rodrigues (2018) por meio da regionalização da curva de permanência de vazões pelo uso do Método da Curva Exponencial. Adotou-se a vazão de referência Q_{90} por ser a vazão de referência para concessão de outorga no estado do Espírito Santo, conforme Resolução CERH nº 005, de 14 de dezembro de 2018 (ESPÍRITO SANTO, 2018). A vazão de referência Q_{90} na foz do rio Benevente assumiu o valor aproximado de 7,62 m³/s e esse valor foi dividido pela extensão total dos cursos d'água modelados. Dessa forma, assumiu-se vazão incremental de 0,044 m³/s.km, aproximadamente.

As simulações realizadas assumiram os valores reunidos na Tabela 2 referentes à altitude média das áreas de contribuição dos cursos d'água modelados, concentração de saturação de OD e temperatura.

Tabela 2 – Altitude média, concentrações de saturação de oxigênio e temperatura adotadas para os cursos d'água da bacia do rio Benevente

Curso d'água	Altitude (m)	Concentração de Saturação de OD (mg/L)	Temperatura (°C)
Rio Benevente	1132	7,41	23,5
Rio Santa Maria	600	7,81	24,0
Ribeirão São Joaquim	429	7,96	24,0
Rio Batatal	600	7,51	26,0
Rio Caco do Pote	750	7,60	24,5
Rio Pongal	260	8,26	23,0

Fonte: Adaptado de LUME (2014b).

Os coeficientes de remoção de DBO como o coeficiente de desoxigenação (K_1), coeficiente de decomposição da DBO (K_d) e coeficiente de sedimentação (K_s) adotados para cada curso d'água modelado estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes de remoção de DBO adotados para os cursos d'água da bacia do rio Benevente

Curso d'água	Coeficiente de desoxigenação K_1 (1/dia)	Coeficiente de decomposição da DBO K_d (1/dia)	Coeficiente de sedimentação K_s (1/dia)
Rio Benevente	0,10	0,1	0
Rio Santa Maria	0,20	0,2	0
Ribeirão São Joaquim	0,45	0,7	0,2
Rio Batatal	0,45	0,7	0,2
Rio Caco do Pote	0,45	0,7	0,2
Rio Pongal	0,45	0,7	0,2

Fonte: Adaptado de LUME (2014b).

Consoante a LUME (2014b) e Rodrigues (2018), o cálculo do coeficiente de reaeração (K_2) baseou-se nas equações de Owens e outros de 1964 (adotada até o km 27 do rio Benevente e com o limite superior para o coeficiente de reaeração de 10 dia^{-1}) e O'Connor e Dobbins de 1958, apresentadas por Von Sperling (2007). A Equação (1) representa a equação de Owens e outros e a Equação (2), a de O'Connor e Dobbins.

$$K_2 = 5,3 * v^{0,67} * H^{-1,85} \quad (1)$$

$$K_2 = 3,73 * v^{0,5} * H^{-1,5} \quad (2)$$

Nas equações (1) e (2):

K_2 : coeficiente de reaeração (1/dia);

v: velocidade (m/s);

H: profundidade (m).

5.1.3 Características hidráulicas dos cursos d'água

As características hidráulicas dos cursos d'água modelados foram estabelecidas conforme as equações de ajuste de velocidade, profundidade e largura em função da vazão, propostas por LUME (2014b). A Equação (3) apresenta a velocidade e as Equações (4) e (5), a profundidade.

$$v = a * Q + b \quad (3)$$

$$H = c * Q + d \quad (4)$$

$$H = c * Q^d \quad (5)$$

Nas equações (3), (4) e (5):

v: velocidade (m/s);

a, b, c e d: coeficientes;

Q: vazão do curso d'água (m³/s);

H: profundidade (m).

A velocidade média de escoamento da água em todos os cursos d'água modelados foi estimada considerando a Equação (3) com os valores 0,0243 e 0,4037, para os coeficientes a e b, respectivamente. No entanto, adotou-se a velocidade média de 0,5 m/s a partir do quilômetro 57 do rio Benevente até o final do trecho simulado.

A Equação (4), com os valores 0,0566 e 0,2091 para os coeficientes c e d, respectivamente, foi adotada para estimar a profundidade do rio Benevente e do tributário rio Santa Maria. A profundidade do tributário ribeirão São Joaquim foi

estimada com base na Equação (5), assumindo-se os valores 0,3655 e 0,5562 para os coeficientes c e d, respectivamente. As profundidades dos tributários rio Batatal, rio Caco do Pote e rio Pongal, foram estimadas considerando-se a Equação (5), com valores 0,2749 e 0,5194 para os coeficientes c e d, respectivamente.

A largura média do rio Benevente e tributário rio Santa Maria foi estimada considerando-se a Equação (6). A Equação (7) foi utilizada exclusivamente para estimar a largura média do tributário ribeirão São Joaquim. Já a largura média dos tributários rio Batatal, rio Caco do Pote e rio Pongal foi estimada considerando-se a Equação (8).

$$B = 0,3971 * Q + 17,2120 \quad (6)$$

$$B = 7,0079 * Q^{0,2622} \quad (7)$$

$$B = 9,2916 * Q^{0,2245} \quad (8)$$

Nas equações (6), (7) e (8), B representa a largura média do curso d'água em metros.

5.1.4 Vazões, concentrações e cargas orgânicas dos efluentes domésticos

As vazões médias dos efluentes domésticos gerados nos distritos da bacia do rio Benevente pela população urbana foram estimadas conforme Equação (9), proposta por Von Sperling (1996).

$$Q = P * QPC * R \quad (9)$$

Na Equação (9):

Q: vazão média de efluentes domésticos (l/d);

P: população (hab);

QPC: quota per capita (l/hab.dia);

R: coeficiente de retorno esgoto/água.

A população urbana adotada considerou a projeção populacional para 2050 (horizonte de 30 anos) e o crescimento populacional foi estimado conforme o Método Geométrico (Equação 10).

$$P_t = P_0 * (1 + i)^{(t - t_0)} \quad (10)$$

Na Equação (10):

P_t : População estimada no ano t (hab);

P_0 : População estimada no ano t_0 (hab);

i: taxa de crescimento geométrica.

A população no ano t_0 , que corresponde a população do ano de 2010, foi obtida por meio do Censo Demográfico 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A taxa de crescimento geométrica utilizada foi baseada no crescimento populacional de 2000 a 2010. Dessa forma, a população projetada para 2050 assumiu os valores presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados populacionais adotados para os distritos da bacia do rio Benevente

Distrito	Município	Taxa de Crescimento Geométrica Anual 2000-2010 (%)	População 2010 (hab)
Urânia			131
Matilde			158
Ibitiruí			255
Crubixá	Alfredo Chaves	0,25	32
Sagrada Família			246
Aparecida			323
Alfredo Chaves			5719
Jabaquara	Anchieta	2,23	482
Alto Pongal			524

Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

Em conformidade com LUME (2014b) e Rodrigues (2018), foi adotada a QPC de 196 l/hab.dia para o distrito de Alfredo Chaves e de 125 l/hab.dia para os demais distritos.

O coeficiente de retorno consiste na relação entre o volume de esgotos recebido na rede coletora e o volume de água fornecido à população e assume valores na faixa de 0,5 a 0,9, variando conforme as condições locais (TSUTIYA; ALÉM SOBRINHO,

2011). O coeficiente de retorno adotado foi de 0,8, conforme recomendado pela NBR 9649:1986 em casos onde não existem dados locais comprovados oriundos de pesquisas (ABNT, 1986).

LUME (2014b) e Rodrigues (2018) consideraram como fontes de degradação hídrica os efluentes domésticos oriundos da população urbana e rural na avaliação da capacidade de autodepuração da bacia do rio Benevente.

As concentrações de DBO e OD provenientes dos efluentes domésticos gerados pela população rural foram consideradas na simulação como vazão incremental em toda extensão dos cursos d'água modelados e os valores adotados foram obtidos de LUME (2014b) e Rodrigues (2018). No rio Benevente, foi assumido o valor de 3,0 mg/l de DBO até o quilômetro 50,5 e o valor de 4,0 mg/l no trecho restante, enquanto a concentração de OD assumiu o valor de 8,0 mg/l em toda sua extensão. Para o tributário rio Santa Maria, em toda sua extensão, foi empregado o valor de 3,0 mg/l para DBO e 7,8 mg/l para OD. No ribeirão São Joaquim, adotou-se a concentração de DBO de 1,5 mg/l e concentrações de OD variando de 7,4 a 7,8 mg/l. Foram atribuídos os valores de 3,0 mg/l e 7,5mg/l, referente as concentrações de DBO e OD, respectivamente, para os tributários rio Batatal, rio Caco do Pote e rio Pongal.

As cargas orgânicas dos efluentes domésticos referente a população urbana foram estimadas por meio da Equação (11), em função da vazão e concentração, apresentada por Von Sperling (1996).

$$C_g = C * Q \quad (11)$$

Na Equação (11):

C_g: carga orgânica dos efluentes domésticos (kg/dia);

C: concentração de matéria orgânica (kg/m³);

Q: vazão média dos efluentes domésticos (m³/dia).

Segundo Von Sperling (1996), a faixa de valores para concentração de matéria orgânica (DBO_{5,20}) para esgotos domésticos brutos varia de 200 a 500 mg/l. Dessa forma, em uma perspectiva conservadora, a concentração de DBO adotada foi de 500

mg/l. A concentração de OD, por sua vez, foi considerada nula para todos os lançamentos.

Foram considerados que todos os distritos possuem 100% de atendimento para o serviço de coleta de esgoto e que as concentrações e cargas orgânicas dos efluentes domésticos gerados pelas populações rural e urbana alcançam os cursos d'água na bacia do rio Benevente sem qualquer tipo de tratamento.

5.1.5 Concentrações dos constituintes modelados

Para a modelagem da qualidade da água da bacia do rio Benevente foram considerados somente os constituintes DBO e OD. As concentrações (\hat{C}) de OD e DBO foram calculadas por segmento do curso d'água, produzidas a partir da soma da variação da concentração (dC) no segmento com a concentração resultante do processo de mistura, conforme estabelecido pela Equação (12).

$$\hat{C}_{(i+1)} = CM_{(i)} + dC_{(i)} \quad (12)$$

A concentração de mistura (CM) é calculada por meio da Equação (13).

$$CM_{(i)} = \frac{Q_{rio(i-1)} \cdot C_{rio(i-1)} + Q_{trib(i)} \cdot C_{trib(i)} + Q_{esg(i)} \cdot C_{esg(i)} + Q_{incr(i)} \cdot C_{incr(i)}}{Q_{rio(i-1)} + Q_{trib(i)} + Q_{esg(i)} + Q_{incr(i)}} \quad (13)$$

Na Equação (13):

Q_{rio} : vazão do rio (m^3/s);

Q_{trib} : vazão do tributário afluente no ponto de encontro com o rio (m^3/s);

Q_{esg} : vazão do efluente doméstico afluente ao segmento i do rio (m^3/s);

Q_{incr} : vazão incremental (m^3/s);

C_{rio} : concentração do parâmetro analisado, no rio, à montante do lançamento (mg/L);

C_{trib} : concentração do parâmetro analisado, no tributário, no ponto de encontro com o rio (mg/L);

C_{esg} : concentração do parâmetro analisado no efluente (mg/L);

Cincr: concentração do parâmetro analisado na contribuição incremental (mg/L).

As variações das concentrações de DBO e OD em cada segmento foram calculadas, considerando o sistema hídrico em regime permanente, por meio das Equações (14) e (15).

$$\frac{dL}{dt} = -K_D \cdot L + L_{rd} \quad (14)$$

$$\frac{dC}{dt} = K_2 \cdot (C_s - C) - K_D \cdot L \quad (15)$$

Nas Equações (14) e (15):

K_D : coeficiente de decomposição da matéria orgânica no rio (d-1);

L : concentração de DBO última em um tempo qualquer (mg/L);

L_{rd} : taxa de entrada de DBO última difusa na massa líquida (g/m³.d);

C : concentração de oxigênio dissolvido em um tempo t qualquer (mg/L);

K_2 : coeficiente de reaeração (d-1);

C_s : concentração de saturação do OD (mg/L).

5.2 DETERMINAÇÃO DE EFICIÊNCIAS MÍNIMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

A determinação de eficiências mínimas de tratamento de esgotos envolve a avaliação da capacidade de autodepuração dos corpos d'água, análise usualmente conduzida com o auxílio de modelos matemáticos de qualidade de água (SANTORO, 2016). Neste estudo foi implementado um modelo de simulação de qualidade da água associado a uma técnica de otimização.

Segundo Santoro (2016), a determinação de eficiências de tratamento é estabelecida a partir do agrupamento de diferentes funções objetivo, restrições e medidas de equidade, sendo que a aplicação da função objetivo depende da seleção de uma

técnica de otimização. Na presente metodologia, a técnica de otimização utilizada foi a técnica metaheurística Algoritmo Genético.

O emprego do modelo de qualidade da água associado à técnica de otimização possibilitou a determinação das eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica, conforme detalhado nos tópicos seguintes.

5.2.1 Técnica de otimização

A técnica de otimização adotada foi a técnica metaheurística Algoritmo Genético, empregada por meio das funções disponíveis no *Toolbox Optimization* do software MATLAB.

Os principais operadores do AG são o tipo de seleção, tipo de crossover e tipo de mutação e os parâmetros são a dimensão da população inicial, elitismo, probabilidade de recombinação e probabilidade de mutação (SANTORO, 2016). Os operadores e valores dos parâmetros do AG adotados reproduziram os valores indicados por Valory, Reis e Mendonça (2016), conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Operadores e parâmetros utilizados na aplicação do AG

Operador/parâmetro	Valor/tipo
Codificação	Real
Tamanho da população	300 indivíduos
Tipo de seleção	Torneio (grupo de 10 indivíduos)
Tipo de <i>crossover</i>	Aritmético
Taxa de <i>crossover</i>	50%
Tipo de Mutação	Adaptativa
Critério de parada	100 gerações ou convergência dos resultados
Elitismo	3 indivíduos

Fonte: Valory, Reis e Mendonça (2016).

5.2.2 Funções objetivo e restrições

Em função da determinação das eficiências mínimas de tratamento de efluentes domésticos foram avaliadas, inicialmente, quatro funções objetivo discutidas por Santoro, Reis e Mendonça (2016), conforme as Equações (16), (17), (18) e (19), respectivamente.

$$\text{Minimizar } [f(E)] = \sum_{i=1}^n E_{(i)} \quad (16)$$

$$\text{Minimizar } [f(E)] = \sum_{i=1}^n \left[\left| \left(\frac{\text{CO}_{\text{Efluente Bruto } (i)}}{\text{CO}_{\text{Efluente Bruto}}} \right) - \left(\frac{E_{(i)}}{\bar{E}} \right) \right| \right] \quad (17)$$

$$\text{Minimizar } [f(E)] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left| \left(\frac{\text{CO}_{\text{Efluente Bruto } (i)}}{E_{(i)}} \right) - \left(\frac{\text{CO}_{\text{Efluente Bruto } (j)}}{E_{(j)}} \right) \right| \quad (18)$$

$$\text{Minimizar } [f(E)] = \sum_{i=1}^n \left| \left(\frac{\text{CO}_{\text{Efluente Bruto } (i)}}{E_{(i)}} \right) - \left(\frac{\text{CO}_{\text{Efluente Bruto}}}{\bar{E}} \right) \right| \quad (19)$$

Nas Equações (16), (17), (18) e (19):

$E_{(i,j)}$: eficiência do i-ésimo, j-ésimo sistema de tratamento de efluente;

$\text{CO}_{\text{Efluente Bruto}(i,j)}$: carga orgânica do i-ésimo, j-ésimo ponto de lançamento de efluente (kg/dia);

\bar{E} : média aritmética das eficiências;

$\overline{CO}_{\text{Efluente Bruto}}$: média aritmética das cargas orgânicas.

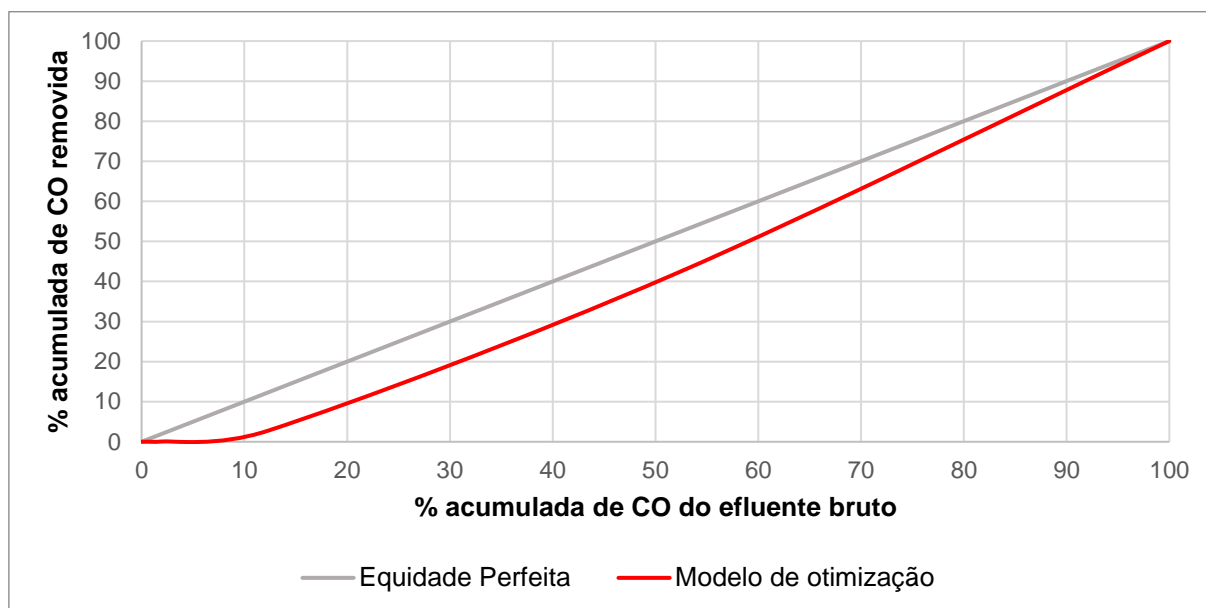
A Função Objetivo 01, Equação (16), proposta por Reis, Valory e Mendonça (2015), busca a minimização do somatório das eficiências e não incorpora uma medida de equidade. As Funções Objetivo 02, 03 e 04, correspondentes as Equações (17), (18) e (19), nessa ordem, e estabelecidas por Mulligan em 1991, Marsh e Schilling em 1994 e Burn e Yuliant em 2001, respectivamente, visam a minimização de medida de inequidade entre sistemas de tratamento (SANTORO; REIS; MENDONÇA, 2016).

A presente metodologia teve o propósito de selecionar duas funções objetivo, uma sem e outra com medida de equidade, possibilitando a comparação dos resultados. Dessa forma, a Função Objetivo 01 foi selecionada por ser a única função que não apresenta uma medida de equidade. Na seleção da função objetivo mais adequada para a bacia do rio Benevente dentre as Funções Objetivo 02, 03 e 04, aplicou-se a Curva de Lorenz, ferramenta empregada por Santoro, Reis e Mendonça (2016) no cálculo e comparação do nível de equidade associado a uma função objetivo.

A Curva de Lorenz, apresentada por Lorenz (1905) com o objetivo de analisar a desigualdade na distribuição de renda, é amplamente utilizada na área de ciências socioeconômicas. De acordo com Hoffmann (2010), a Curva de Lorenz é um método gráfico que mostra a variação da porcentagem acumulada da renda em função da porcentagem acumulada da população, considerando a ordenação do menor rendimento para o maior rendimento.

Consoante a Santoro, Reis e Mendonça (2016), a análise da equidade neste estudo considerou a relação entre a carga orgânica bruta dos efluentes domésticos e a carga orgânica removida após a determinação das eficiências mínimas de tratamento para cada ponto de disposição da bacia do rio Benevente. A equidade perfeita é delimitada por uma reta que inicia no ponto (0,0) e termina no ponto (100,100); portanto, quanto mais próximo da reta de equidade perfeita menos desigual é a distribuição analisada (Figura 3).

Figura 3 – Curva de Lorenz genérica



Fonte: Autoria própria (2020).

A Curva de Lorenz foi traçada para cada função objetivo analisada, por meio da ordenação crescente da carga orgânica bruta dos pontos de lançamentos de efluentes domésticos da bacia do rio Benevente e as respectivas cargas orgânicas removidas por meio das eficiências mínimas de tratamento. Segundo Santoro, Reis e Mendonça (2016), a equidade perfeita é atingida quando as eficiências dos sistemas de tratamento são distribuídas proporcionalmente entre os pontos de disposição de efluentes domésticos.

Para as funções objetivos selecionadas, foram aplicadas restrições que consideraram os padrões ambientais preconizados nas Resoluções CONAMA nº 357:2005 (Tabela 1) e CONAMA 430:2011 para corpos d'água classe 2 e os limites de eficiências de tratamento de efluentes domésticos, conforme as Inequações (20), (21), (22), (23) e (24).

$$E_{(i)} \leq 90\% \quad (20)$$

$$OD_{(\text{curso d'água})} \geq 5 \text{ mg/l} \quad (21)$$

$$DBO_{(\text{curso d'água})} \leq 5 \text{ mg/l} \quad (22)$$

$$E_{(i)} \geq 60\% \quad (23)$$

$$DBO_{(\text{Esgoto tratado})} \leq 120 \text{ mg/l} \quad (24)$$

As inequações (23) e (24) são excludentes entre si; portanto, foram produzidas condições distintas de lançamentos, resultando em variadas associações entre funções objetivo e restrições. Assim, seguem as condições estabelecidas para as funções objetivo selecionadas:

- a) Condição de lançamento 01: admite a disposição de esgotos brutos desde que seja respeitado o padrão classe 2 para o corpo receptor, bem como estabelece o limite de 90% para as eficiências obtidas com a otimização. Compreende as inequações (20), (21) e (22);
- b) Condição de lançamento 02: admite a disposição de esgotos tratados com o mínimo de 60% de eficiência, respeitando o padrão classe 2 para o corpo receptor, bem como o limite de 90% para as eficiências geradas na otimização. Compreende as inequações (20), (21), (22) e (23);
- c) Condição de lançamento 03: admite lançamento de esgotos com o máximo de 120 mg/L de DBO, respeitando o padrão classe 2 para o corpo receptor, bem como o limite de 90% para as eficiências geradas na otimização. Compreende as inequações (20), (21), (22) e (24).

É importante ressaltar que as restrições que consideraram os padrões de qualidade para a classe 2 divergem do enquadramento legal da bacia do rio Benevente, visto que alguns trechos dos corpos d'água foram enquadrados em Classe 1 e Classe Especial. O processo de enquadramento legal de corpos d'água é estabelecido em função de decisões de natureza técnica e política, cuja consolidação advém de perspectivas dos usos futuros dos corpos d'água em análise. As classes propostas no processo de enquadramento consideram um cenário em que as metas estipuladas são efetivadas, tornando possível alcançar a classe almejada. No entanto, a metodologia empregada neste estudo avalia um cenário hipotético conservador baseado no despejo de esgotos brutos nos corpos receptores, cujas condições atuais não alcançariam as classificações propostas pelo enquadramento, ainda que fosse considerada a seleção de sistemas com as maiores eficiências de tratamento.

5.3 PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

A partir da determinação de eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica para o sistema hídrico da bacia hidrográfica do rio Benevente, foi realizada a pré-seleção dos sistemas de tratamento de esgotos considerando um conjunto inicial de alternativas de sistemas de tratamento de efluentes domésticos adequados à área de estudo. O conjunto inicial de alternativas abarcou as 34 tecnologias de tratamento de esgotos selecionadas por Reis (2018), que priorizou a escolha de sistemas passíveis de eventual implementação no âmbito de bacias hidrográficas (Tabela 6).

Na metodologia de pré-seleção proposta por Reis (2018), o único critério de corte considerado foi a eficiência mínima de remoção de matéria orgânica determinada com base na carga orgânica do esgoto gerado por cada distrito. No entanto, após a avaliação qualitativa de especialistas da área de recursos hídricos e saneamento ambiental, a autora desconsiderou as tecnologias de Escoamento superficial, Infiltração lenta, Infiltração rápida, Terras úmidas construídas (*Wetlands*) e UASB associado ao escoamento superficial. As principais desvantagens destes sistemas na aplicação de tratamento centralizado de efluentes domésticos consistem na forte dependência da litologia local e na necessidade usual de grande área para implantação (REIS, 2018).

A pré-seleção de sistemas de esgotos no âmbito de bacias hidrográficas, proposta por Fantin, Reis e Mendonça (2017) foi conduzida a partir da definição de cenários hipotéticos que consideraram os requisitos de eficiência da bacia de estudo, restrições ao consumo de energia e à disposição de esgoto no solo. Com a mesma finalidade, Bringer, Reis e Mendonça (2018) adaptaram a metodologia de Fantin, Reis e Mendonça (2017) e propuseram cenários hipotéticos que abrangeram restrições ao consumo de energia, à disposição de efluentes no solo e à área demandada para implantação dos sistemas, além das eficiências mínimas obtidas para a bacia de estudo.

Desta forma, as restrições às eficiências médias de remoção de matéria orgânica foram analisadas a partir das funções objetivo adotadas e das condições de lançamento 01, 02 e 03 previamente definidas. Em conformidade com a avaliação

qualitativa de Reis (2018), não foram considerados sistemas de tratamento que envolvessem a disposição final do efluente tratado no solo, bem como não foi admitida a tecnologia Terras úmidas construídas (*Wetlands*). Os sistemas de disposição no solo, segundo Von Sperling (1996), apresentam desvantagens como dependência das características do solo e do clima, possibilidade de maus odores, insetos e vermes, elevados requisitos de área e potencial de contaminação do lençol subterrâneo. Por fim, não foram admitidos sistemas mecanizados para os distritos com população inferior a 1.000 habitantes, perspectiva estabelecida com intuito de limitar o consumo de energia elétrica e altos requisitos operacionais para as pequenas localidades.

Tabela 6 - Conjunto inicial de alternativas e critérios considerados na etapa de pré-seleção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos

(continua)

Identificação	Tecnologias	Eficiência média de Remoção de DBO (%)	Potência demandada para aeração (kWh/hab.ano)	Tratamento envolve disposição final no solo?
A1	Tratamento primário (Tanques sépticos)	32,5	0	Não
A2	Tratamento primário convencional	32,5	0	Não
A3	Tratamento primário avançado	62,5	0	Não
A4	Lagoa facultativa	80,0	0	Não
A5	Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa	80,0	0	Não
A6	Lagoa aerada facultativa	80,0	14,5	Não
A7	Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação	80,0	19,0	Não
A8	Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação	82,5	0	Não
A9	Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa	82,5	1,0	Não
A10	Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas	87,5	0	Não
A11	Infiltração lenta	94,5	0	Sim
A12	Infiltração rápida	91,5	0	Sim
A13	Escoamento superficial	85,0	0	Sim
A14	Terras úmidas construídas (<i>Wetlands</i>)	85,0	0	Não
A15	Tanque séptico + Filtro anaeróbio	82,5	0	Não
A16	Reator UASB	67,5	0	Não
A17	UASB + Lodos ativados	88,0	17,0	Não
A18	UASB + Biofiltro aerado submerso	88,0	17,0	Não
A19	UASB + Filtro anaeróbio	81,0	0	Não
A20	UASB + Filtro biológico de alta carga	86,5	0	Não
A21	UASB + Lagoas de polimento	82,0	0	Não
A22	UASB + Lagoa aerada facultativa	80,0	3,5	Não
A23	UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de decantação	80,0	6,0	Não
A24	UASB + Escoamento superficial	83,5	0	Sim
A25	Lodos ativados convencional	89,0	22,0	Não

Tabela 6 – Conjunto inicial de alternativas e critérios considerados na etapa de pré-seleção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos

(conclusão)

Identificação	Tecnologias	Eficiência média de Remoção de DBO (%)	Potência demandada para aeração (kWh/hab.ano)	Tratamento envolve disposição final no solo?
A26	Lodos ativados de aeração prolongada	93,5	27,5	Não
A27	Lodos ativados por batelada	93,5	27,5	Não
A28	Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	89,0	18,5	Não
A29	Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P	89,0	18,5	Não
A30	Lodos ativados convencional + Filtração terciária	95,5	22,0	Não
A31	Filtro biológico percolador de baixa carga	89,0	0	Não
A32	Filtro biológico percolador de alta carga	85,0	0	Não
A33	Biofiltro aerado submerso com nitrificação	91,5	22,0	Não
A34	Tanque séptico + Biodisco	91,5	0	Não

Fonte: Adaptado de Bringer (2017) e Reis (2018).

5.4 SELEÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

A seleção dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos para os distritos da bacia hidrográfica do rio Benevente foi conduzida por meio da análise multicritério utilizando o método MAUT, segundo metodologia empregada por Reis (2018).

Na metodologia proposta por Reis (2018), o emprego do MAUT consistiu em uma estrutura composta por quatro fases:

- a) Fase 1: identificação das alternativas tecnológicas centralizadas para tratamento de esgotos e dos critérios sociotécnicos aplicáveis ao processo de seleção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos;
- b) Fase 2: definição da área de estudo e pré-seleção de tecnologias de tratamento de esgotos, tendo como critério as eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica;
- c) Fase 3: pesquisa qualitativa por meio da condução de grupos focados para validação dos critérios sociotécnicos;
- d) Fase 4: análise quantitativa, amparada em *Framework* estruturado na matriz MAUT, conforme proposto por Frank e outros (2013) e Frank e outros (2016).

As alternativas tecnológicas e os critérios sociotécnicos identificados na Fase 1 foram apresentados em seus aspectos quantitativos e características operacionais (Tabela 7) e, em suas características qualitativas (Tabela 8). As características qualitativas receberam notas de 1 a 5, em que os valores mais altos indicam sistemas mais favoráveis e os valores mais baixos os sistemas menos favoráveis (REIS, 2018).

Tabela 7 - Tecnologias de tratamento de esgotos e suas características operacionais

(continua)

Tecnologias	Eficiência média de remoção				Potência para aeração (kWh/hab.ano)	Demanda de área (m²/hab)	Custos		Volume de lodo	
	DBO (%)	N total (%)	P total (%)	Coliformes (unid.log)			Implantação (R\$/hab)	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)	Lodo líquido a ser tratado (l/hab.ano)	Lodo desidratado a ser disposto (l/hab.ano)
A1	32,5	30	35	1	0	0,04	40	2	235	25
A2	32,5	30	35	1	0	0,03	40	2	530	27,5
A3	62,5	30	90	1	0	0,05	52,5	11,25	1615	75
A4	80,0	60	35	1,5	0	3	60	3	62,5	22,5
A5	80,0	60	35	1,5	0	2,25	52,5	3	107,5	40
A6	80,0	30	35	1,5	14,5	0,38	70	7	125	18,5
A7	80,0	30	35	1,5	19	0,3	70	7	207,5	22,5
A8	82,5	65	50	4	0	4	75	3,75	107,5	40
A9	82,5	90	60	3,5	1	2,75	70	4,75	107,5	40
A10	87,5	60	35	3,5	0	2,45	70	4,75	125	47,5
A11	94,5	75	85	4	0	30	40	2	0	0
A12	91,5	65	50	4,5	0	3,5	50	2,5	0	0
A13	85,0	65	35	2,5	0	2,75	60	3	0	0
A14	85,0	60	35	3,5	0	3	65	3,25	0	0
A15	82,5	60	35	1,5	0	0,28	105	8	590	37,5
A16	67,5	60	35	1	0	0,07	40	3	145	22,5
A17	88,0	60	35	1,5	17	0,14	90	9,5	290	37,5
A18	88,0	60	35	1,5	17	0,1	82,5	9,5	290	35
A19	81,0	60	35	1,5	0	0,1	57,5	4,5	225	30
A20	86,5	60	35	1,5	0	0,15	75	6,25	290	35
A21	82,0	65	50	4	0	2	60	5,75	200	22,5

Tabela 7 – Tecnologias de tratamento de esgotos e suas características operacionais

(conclusão)

Tecnologias	Eficiência média de remoção				Potência para aeração (kWh/hab.ano)	Demanda de área (m²/hab)	Custos		Volume de lodo	
	DBO (%)	N total (%)	P total (%)	Coliformes (unid.log)			Implantação (R\$/hab)	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)	Lodo líquido a ser tratado (l/hab.ano)	Lodo desidratado a ser disposto (l/hab.ano)
A22	80,0	30	35	1,5	3,5	0,23	65	7	225	32,5
A23	80,0	30	35	1,5	6	0,2	65	7	225	32,5
A24	83,5	65	35	2,5	0	2,25	65	6	145	22,5
A25	89,0	60	35	1,5	22	0,19	130	15	2050	62,5
A26	93,5	60	35	1,5	27,5	0,19	105	15	1600	72,5
A27	93,5	60	35	1,5	27,5	0,19	105	15	1600	72,5
A28	89	75	35	1,5	18,5	0,19	140	16	2050	62,5
A29	89	75	81,5	1,5	18,5	0,19	160	20	2050	62,5
A30	95,5	60	55	4	22	0,23	160	20	2150	70
A31	89,0	60	35	1,5	0	0,23	135	12,5	730	57,5
A32	85,0	60	35	1,5	0	0,19	135	12,5	1200	57,5
A33	91,5	60	35	1,5	22	0,13	95	11,5	2050	62,5
A34	91,5	60	35	1,5	0	0,15	135	12,5	915	47,5

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

Fonte: Reis (2018).

Tabela 8 - Tecnologias de Tratamento de esgotos e suas características qualitativas

(continua)

Tecnologias	Confiabilidade	Simplicidade Operação e manutenção	Capacidade de resistência a variações do efluente e cargas de choque			Menor possibilidade de problemas ambientais			
			Vazão	Qualidade	Tóxicos	Maus Odores	Ruídos	Aerossóis	Insetos e Vermes
A1	4	3	4	5	4	2	4	5	3
A2	4	3	4	5	4	2	4	5	3
A3	4	3	4	5	4	3	4	5	3
A4	4	5	4	4	3	3	5	5	2
A5	4	5	4	4	3	1	5	5	2
A6	4	4	4	4	3	4	1	1	3
A7	3	3	3	4	3	3	1	1	2
A8	4	5	4	4	3	3	5	5	2
A9	4	3	4	4	3	3	2	2	2
A10	4	3	4	4	3	3	5	5	2
A11	4	4	4	4	4	2	5	3	2
A12	4	4	4	4	4	2	5	5	2
A13	4	5	4	4	3	2	5	3	2
A14	4	5	4	4	3	2	5	5	2
A15	3	4	3	3	2	2	4	5	4
A16	3	4	2	2	2	2	4	5	4
A17	4	1	2	2	2	2	1	3	4
A18	4	2	2	2	2	2	2	5	4
A19	3	4	2	2	2	2	4	5	4
A20	4	3	4	5	4	2	4	5	3
A21	4	3	2	2	2	2	4	4	3
A22	4	5	2	2	2	2	5	5	2

Tabela 8 - Tecnologias de Tratamento de esgotos e suas características qualitativas

(conclusão)

Tecnologias	Confiabilidade	Simplicidade Operação e manutenção	Capacidade de resistência a variações do efluente e cargas de choque			Menor possibilidade de problemas ambientais			
			Vazão	Qualidade	Tóxicos	Maus Odores	Ruídos	Aerossóis	Insetos e Vermes
A23	4	4	2	2	2	2	1	1	3
A24	3	3	2	2	2	2	1	1	2
A25	4	5	2	2	2	2	5	3	2
A26	4	1	3	3	2	4	1	3	4
A27	4	2	4	4	3	5	1	3	4
A28	4	3	4	4	3	3	1	3	4
A29	4	1	3	3	2	4	1	3	4
A30	4	1	3	3	2	4	1	3	4
A31	4	1	3	3	2	4	1	3	4
A32	4	3	3	2	2	4	4	4	2
A33	4	3	4	3	3	4	4	4	3
A34	4	2	3	3	2	5	2	5	4

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

Fonte: Reis (2018).

A análise multicritério realizada adotou a estrutura de preferências constituída de subsistemas e critérios sociotécnicos associados a pesos específicos. A elaboração da estrutura de preferência decorreu da avaliação qualitativa realizada por Reis (2018), com o objetivo de tornar a estrutura aplicável ao processo de seleção de tecnologias de tratamento de esgotos no âmbito de bacias hidrográficas (Fase 3). Portanto, Reis (2018) estabeleceu dezenove critérios sociotécnicos baseados nas características apresentadas nas Tabela 7 e Tabela 8. Os referidos critérios, após validação de grupos focados, foram classificados nos subsistemas sociotécnicos: ambiental, tecnológico, operação e social. Os grupos focados utilizados foram constituídos por acadêmicos e pós-graduandos da área de recursos hídricos, profissionais da área de tratamento de esgotos e recursos hídricos e profissionais vinculados ao órgão regulador de recursos hídricos. Na sequência, foram definidos os pesos de importância dos critérios e subsistemas sociotécnicos, originando a estrutura de preferência do MAUT, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Estrutura de preferência utilizada para o processo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos

Subsistemas sociotécnicos	Peso dos subsistemas	Crêterios de sele�o	Peso dos cr�terios
AMBIENTAL	9,6	Eficiência de Remo�o de Matéria Orgânica	10,0
		Eficiência de Remo�o de Nitrogênio	7,0
		Eficiência de Remo�o de Fósforo	7,3
		Eficiência de Remo�o de Coliformes	8,7
TECNOLÓGICO	8,3	Requisitos de Energia	8,0
		Demanda por área de Implanta�o	6,3
		Custos de Implanta�o	7,0
		Custos de Opera�o	7,7
		Quantidade de Lodo a ser tratado	5,7
		Quantidade de Lodo a ser disposto	6,7
OPERA�O	7,0	Confiabilidade do sistema	6,0
		Simplicidade Operacional	6,0
		Capacidade de Resistência a Varia�es de Vazão	6,0
		Capacidade de Resistência a Varia�es das Características do Afluente	6,0
		Capacidade de Resistência a Constituintes Tóxicos	3,3
SOCIAL	6,0	Interferência decorrente da gera�o de Odor	6,7
		Interferência decorrente da Gera�o de Ruído	4,7
		Interferência decorrente da Gera�o de Aerossóis	2,7
		Possibilidade de atra�o de Insetos	2,3

Fonte: Reis (2018).

As tecnologias de tratamento e a estrutura de preferências foram inseridas no Framework estabelecido por Frank e outros (2013) e Frank e outros (2016), que permitiu a elaboração do *ranking* das tecnologias de tratamento de esgotos pré-selecionadas (Fase 4). A matriz utilizada na metodologia de Reis (2018) para conformação do *Framework* é apresentada por meio da Tabela 10.

Tabela 10 - Framework proposto para o ranking dos sistemas de tratamento de esgotos

Subsistemas Sociotécnicos	Critérios	Peso dos subsistemas sociotécnicos	Peso dos critérios	Pontuação do índice dos critérios das tecnologias de tratamento de esgotos			
				A ₁	A ₂	...	A _j
C ₁	I ₁	w _{C₁}	w ₁	r ["] _{A11}	r ["] _{A21}	...	r ["] _{Aj1}

C ₂	...	w _{C₂}	...	...	...	...	...

...
C _k	...	w _{C_k}	...	...	...	...	...

	I _i		w _i	r ["] _{A1i}	r ["] _{A2i}	...	r ["] _{Aji}
$\sum w_{C_k} = 1$ $\sum w_i = K$				I _{A1}	I _{A2}	...	I _{Si}

Fonte: Frank e outros (2016).

Reis (2018) explica que os critérios sociotécnicos podem ser “diretamente proporcionais” quando constituem “benefícios” na avaliação, e “inversamente proporcionais”, quando apresentam “limitações” ao Índice Sociotécnico. Portanto, para a padronização dos critérios, a autora utiliza Curva-S normal no caso de critérios diretamente proporcionais, e Curva-S invertida para os critérios inversamente proporcionais ao índice, conforme sumarizado por meio da Tabela 11.

Tabela 11 – Distinção dos critérios por Benefícios ou Limitações

Crítérios de seleção validados	Benefício ou limitação para adoção da tecnologia?	Direta ou inversamente proporcional?	CURVA-S
Eficiência de remoção de matéria orgânica	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Eficiência de remoção de nitrogênio	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Eficiência de remoção de fósforo	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Eficiência de remoção de coliformes	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Requisitos de energia	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Demanda por área de implantação	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Custos de implantação	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Custos de operação	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Quantidade de lodo a ser tratado	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Quantidade de lodo a ser disposto	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Confiabilidade do sistema	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Simplicidade operacional	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Capacidade de resistência a variações de vazão	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Capacidade de resistência a variações das características do afluente	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Capacidade de resistência a constituintes tóxicos	BENEFÍCIO	diretamente	NORMAL
Interferência decorrente da geração de odor	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Interferência decorrente da geração de ruído	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Interferência decorrente da geração de aerossóis	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA
Possibilidade de atração de insetos	LIMITAÇÃO	inversamente	INVERTIDA

Fonte: Reis (2018).

Na metodologia proposta por Frank e outros (2016) e aplicada por Reis (2018), a comparação dos critérios na matriz MAUT exige uma normalização dos critérios, conforme a Equação (25), pois devem possuir uma mesma escala de mensuração.

$$r'_{Aji} = \frac{r_{Aji}}{P_{Aji}} \times 100 \quad (25)$$

Na Equação (25):

r'_{Aji} : valor normalizado do critério i da tecnologia Aj;

P_{Aji} : valor do parâmetro do qual a normalização está em função.

Na sequência, os valores normalizados foram transformados em parâmetros adimensionais, possibilitando a agregação dos diferentes critérios analisados em um único critério de síntese. Para esse fim, conforme apresentado por Frank e outros (2016) e Reis (2018), utilizou-se uma escala de transformação aplicando a função da Curva-S, com limites inferiores e superiores estabelecidos, conforme a Equação (26) (Curva-S invertida) e Equação (27) (Curva-S normal).

$$r''_{Aji} = e^{-\left[\frac{L+(r'_{Aji})}{\theta}\right]^Y} \quad (26)$$

$$r''_{Aji} = 1 - e^{-\left[\frac{L+(r'_{Aji})}{\theta}\right]^Y} \quad (27)$$

Nas Equações (26) e (27):

r''_{Aji} : representa o valor normalizado r'_{Aji} do critério i para a tecnologia A_j , em um intervalo de escala entre 0 e 1;

r'_{Aji} : valor normalizado do critério i da tecnologia A_j ;

L : melhor valor que o critério pode assumir;

Y : parâmetro de forma da Curva-S definido conforme Equações (28) e (30);

θ : parâmetro de amplitude da Curva-S definido conforme Equações (29) e (31).

Os parâmetros de forma (Y) e amplitude (θ) são estabelecidos conforme as Equações (28) e (29) (Curva-S invertida) e Equações (30) e (31) (Curva-S normal).

$$Y = \frac{\ln\left(\frac{\ln(0.1)}{\ln(0.9)}\right)}{\ln\left(\frac{r_{\max}}{r_{\min}}\right)} \quad (28)$$

$$\theta = \frac{r_{\min}}{(-\ln(0.9))^{1/Y}} \quad (29)$$

$$Y = \frac{\ln\left(\frac{\ln(1-0.9)}{\ln(1-0.1)}\right)}{\ln\left(\frac{L+r_{\max}}{L+r_{\min}}\right)} \quad (30)$$

$$\theta = \frac{L + r_{i\text{máx}}}{(-\ln(1 - 0.9))^{1/\gamma}} \quad (31)$$

Nas Equações (28), (29), (30) e (31):

$r_{i\text{máx}}$: valor máximo do critério i ;

$r_{i\text{mín}}$: valor mínimo do critério i .

Por fim, conforme definido por Frank e outros (2016) e adotado por Reis (2018), o Índice Sociotécnico (I_{Si}) foi calculado conforme a Equação (32).

$$I_{Si} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n w_{C_k} \times w_i \times r''_{A_{ji}} \quad (32)$$

Na Equação (32):

I_{Si} : Índice Sociotécnico resultante da consolidação dos critérios das tecnologias A_j ;

w_i : peso obtido para o critério i ;

w_{C_k} : peso atribuído para o subsistema sociotécnico k ;

$r''_{A_{ji}}$: representa o valor normalizado do critério i para a tecnologia A_j .

A hierarquização das alternativas tecnológicas avaliadas foi estabelecida conforme o valor obtido para o Índice Sociotécnico de cada distrito, considerando os sistemas de tratamento de esgotos pré-selecionados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA

Inicialmente, para obtenção dos perfis de concentração de DBO e OD, foram calculadas as estimativas populacionais para o ano de 2050, a vazão média e carga orgânica dos efluentes domésticos gerados por cada distrito. Nesse contexto, a Tabela 12 apresenta os dados de entrada necessários para modelagem dos cursos d'água da bacia do rio Benevente.

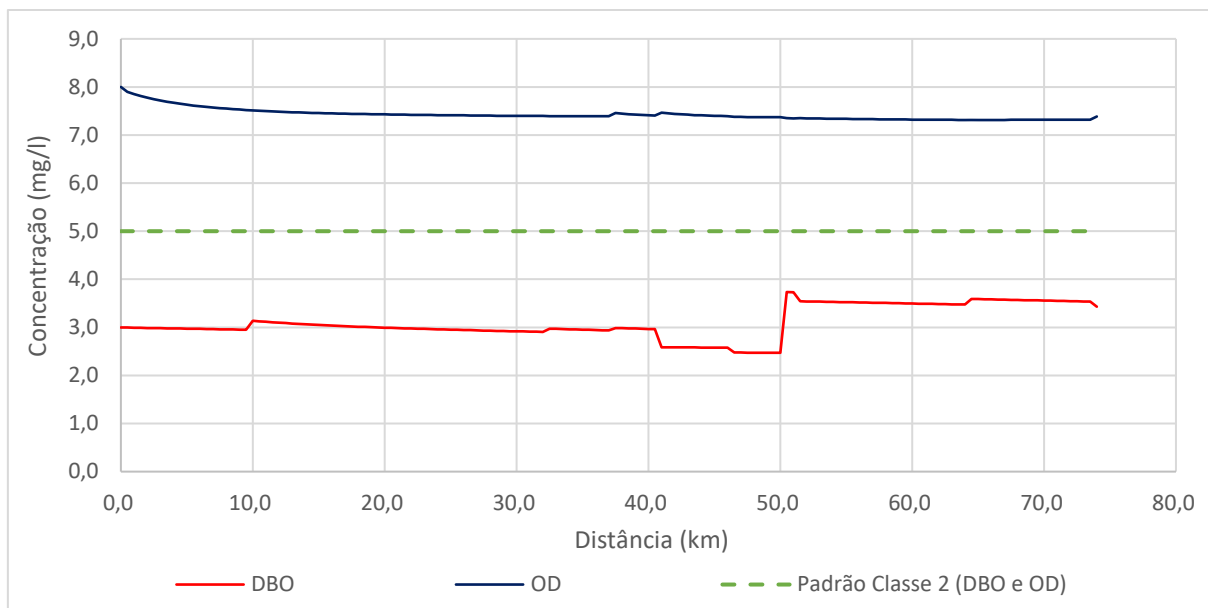
Tabela 12 – Vazões médias e cargas orgânicas dos efluentes domésticos gerados na bacia do rio Benevente

Distrito	População Urbana 2050 (hab)	Vazão média (l/s)	Carga orgânica (kg/dia)
Urânia	145	0,1678	7,25
Matilde	175	0,2026	8,75
Ibitiruí	282	0,3264	14,10
Crubixá	36	0,0417	1,80
Sagrada Família	272	0,3148	13,60
Aparecida	357	0,4132	17,85
Alfredo Chaves	6320	11,4696	495,49
Jabaquara	1165	1,3484	58,25
Alto Pongal	1267	1,4664	63,35

Fonte: Autoria própria (2020).

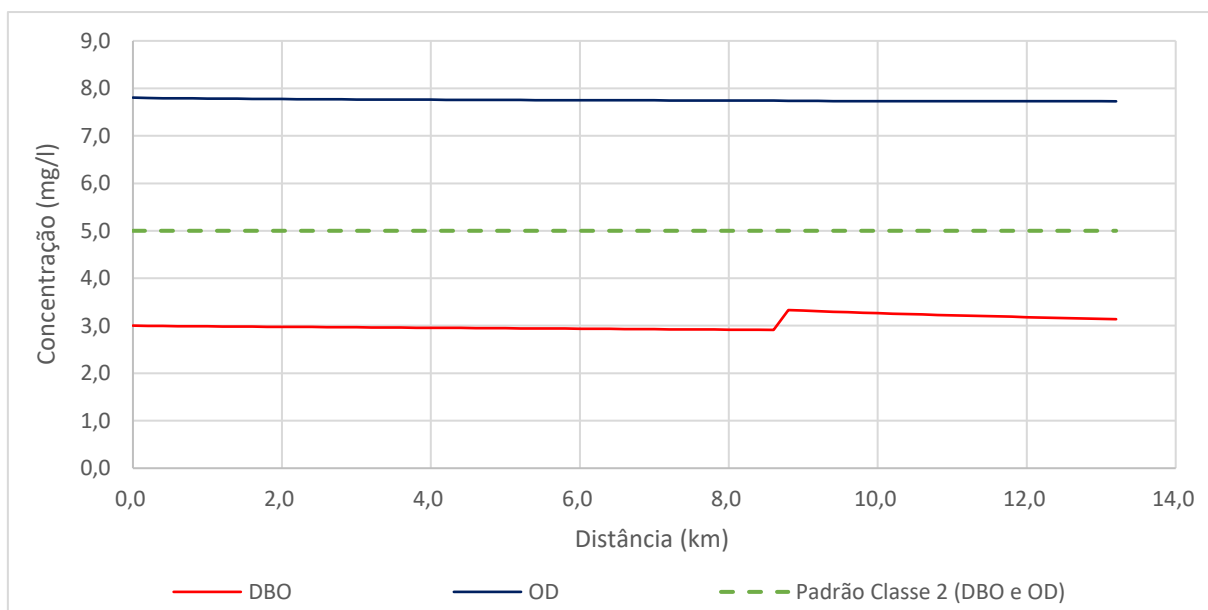
A partir da simulação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Benevente, foram obtidas as variações espaciais das concentrações de DBO (correspondente a DBO_{5,20} neste estudo) e OD considerando o lançamento de efluentes domésticos brutos gerados pela população urbana estimada para 2050 (Figura 4 a Figura 9).

Figura 4 – Perfis de concentração de DBO e OD do rio Benevente



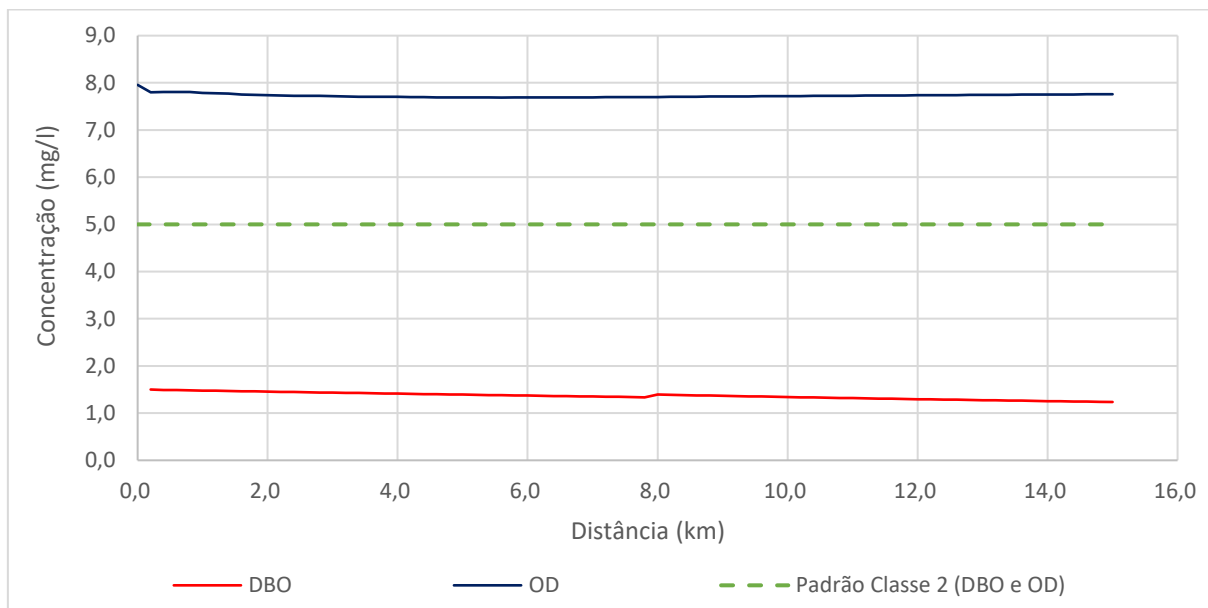
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 5 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Santa Maria



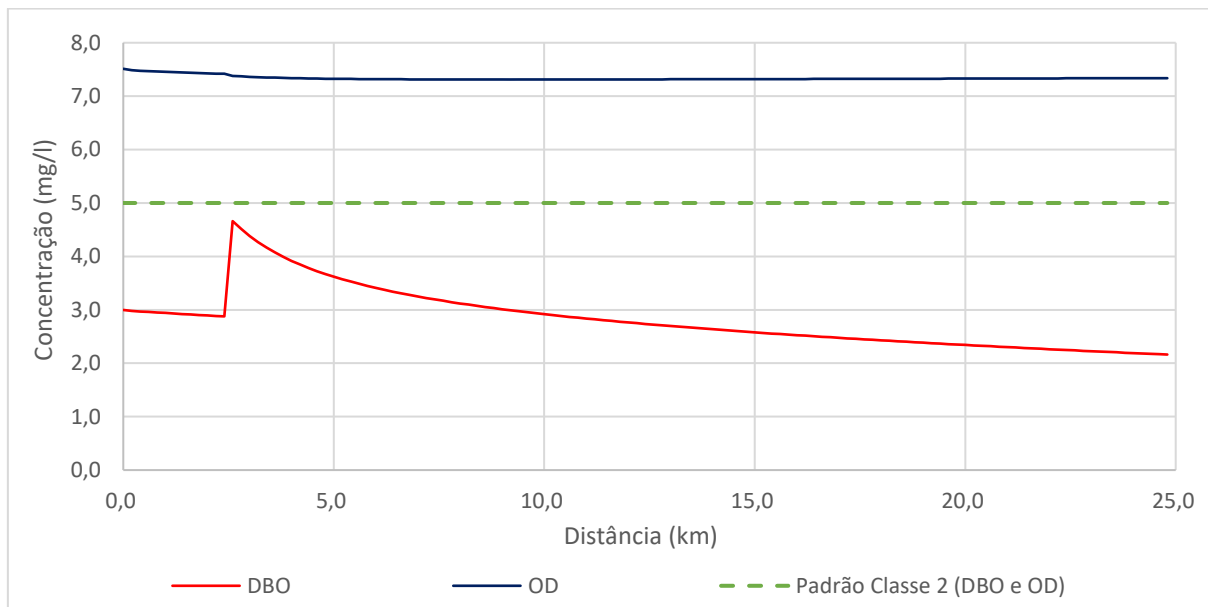
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6 - Perfis de concentração de DBO e OD do ribeirão São Joaquim



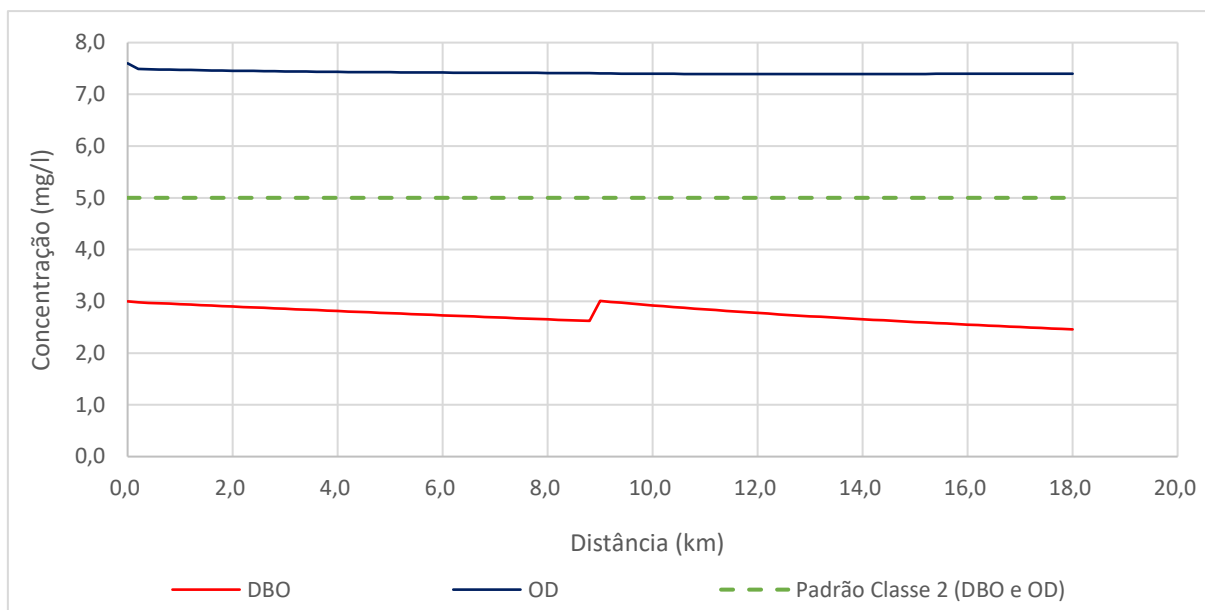
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 7 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Batatal



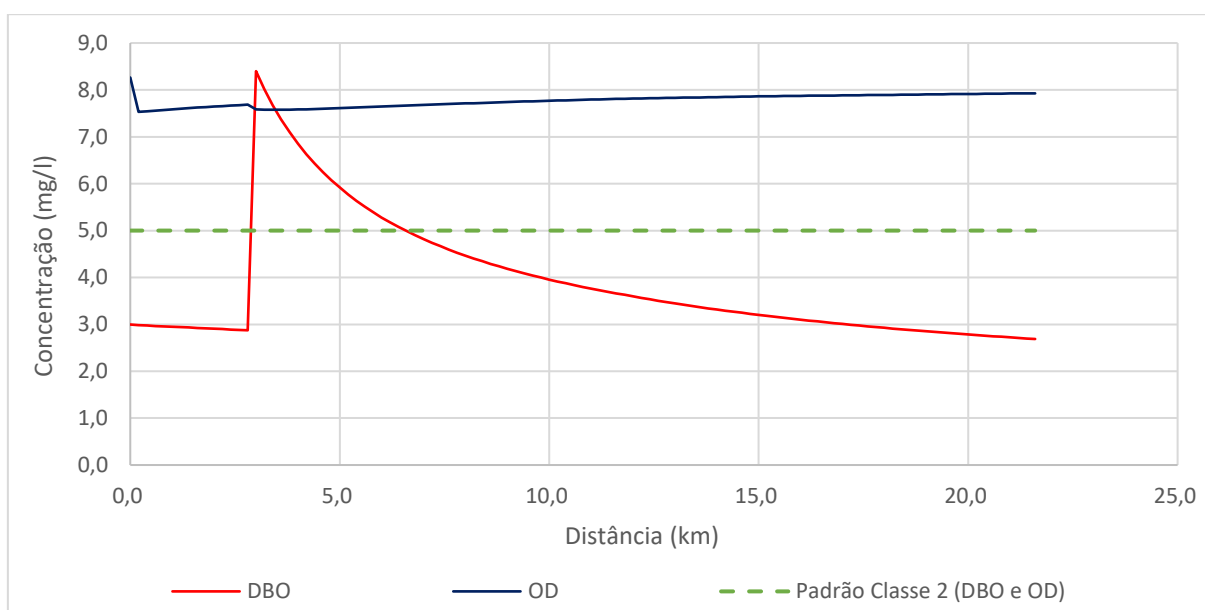
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 8 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Caco do Pote



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 9 - Perfis de concentração de DBO e OD do rio Pongal



Fonte: Autoria própria (2020).

Os perfis de concentração obtidos evidenciam que a capacidade de autodepuração da bacia do rio Benevente é suficiente para suportar os lançamentos dos efluentes domésticos brutos, sem comprometer os padrões ambientais para corpos d'água classe 2, exceto no rio Pongal, onde a concentração de DBO ultrapassa os limites

permitidos pela legislação ambiental, entretanto a recuperação ocorre em poucos quilômetros (após 3,6km). O lançamento de esgoto do distrito de Alto Pongal ocasionou o acréscimo de 5,53 mg/l de DBO no km 3,0 do rio Pongal (Figura 9), resultando na maior concentração de DBO na bacia (8,40 mg/l). É importante ressaltar que o distrito de Alfredo Chaves lança uma carga orgânica de efluentes domésticos cerca de oito vezes superior à carga lançada pelo distrito Alto Pongal (Tabela 12); no entanto, a vazão do rio Benevente no ponto de lançamento de esgotos de Alfredo Chaves assume o valor de 4,53 m³/s, enquanto que a vazão do rio Pongal no ponto de lançamento de esgotos de Alto Pongal assume o valor de 0,13 m³/s, gerando um comprometimento das condições de qualidade da água consideravelmente maior.

O aporte de efluentes domésticos de Alfredo Chaves no rio Benevente é responsável pelo pico de concentração de DBO no curso d'água, cujo valor é de 3,73 mg/l. Da mesma forma, o rio Batatal atinge seu pico de concentração de 4,66 mg/l de DBO quando recebe o lançamento de esgotos do distrito de Aparecida. Os demais cursos d'água apresentaram comportamento semelhante, porém com variações consideravelmente menores (Tabela 13).

Tabela 13 – Concentrações máximas e mínimas após lançamentos de efluentes domésticos

Concentrações	Rio Benevente	Rio Santa Maria	Ribeirão São Joaquim	Rio Batatal	Rio Caco do Pote	Rio Pongal
DBO mínimo	2,47	2,91	1,23	2,57	2,46	2,69
DBO máximo	3,73	3,33	1,49	4,66	3,01	8,40
OD mínimo	7,31	7,73	7,69	7,31	7,39	7,53
OD máximo	7,90	7,79	7,80	7,48	7,49	7,93

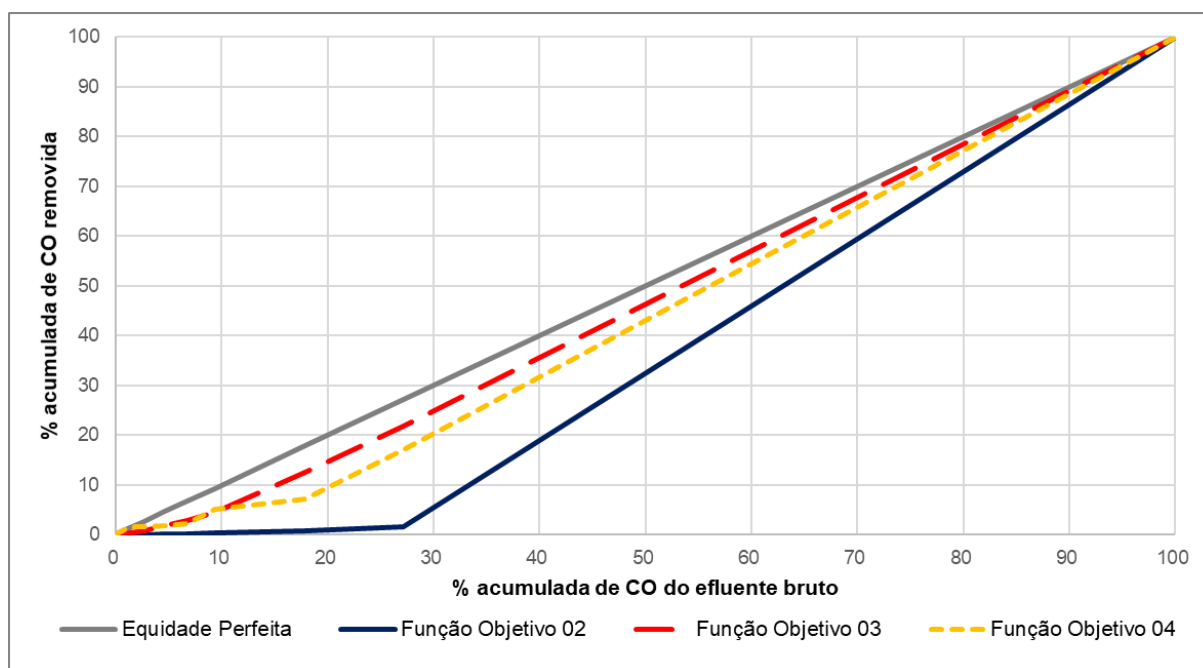
Fonte: Autoria Própria (2020).

6.2 EFICIÊNCIAS MÍNIMAS DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

As eficiências mínimas de remoção de DBO foram calculadas com base na técnica de otimização Algoritmos Genéticos considerando as funções objetivo adotadas. A Figura 10 apresenta as Curvas de Lorenz para as três funções objetivo que incorporaram uma medida de equidade (Função Objetivo 02, 03 e 04). Os dados necessários para a construção das Curvas de Lorenz estão apresentados no

APÊNDICE A (Tabela A. 1, Tabela A. 2 e Tabela A. 3).

Figura 10 – Curvas de Lorenz para as funções objetivo com medida de equidade



Fonte: Autoria própria (2020).

Com base na análise da Figura 10, observa-se que a Curva de Lorenz associada à Função Objetivo 02 apresenta-se mais afastada da representação da Equidade Perfeita, divergindo consideravelmente das demais funções objetivo. Ainda que as funções objetivo 03 e 04 apresentem valores próximos, a Função Objetivo 03 foi a função que produziu a Curva de Lorenz que mais se aproximou da representação da Equidade Perfeita, evidenciando que essa função garante maiores esforços de tratamento para pontos de lançamento com cargas orgânicas maiores. Desse modo, a Função Objetivo 03 foi selecionada como função objetivo para determinação das eficiências mínimas para a bacia do rio Benevente.

As eficiências mínimas obtidas para a bacia do rio Benevente, considerando as três condições de lançamento e o emprego das funções objetivo 01 e 03, estão apresentados na Tabela 14. As concentrações máximas de DBO e OD, após a aplicação das eficiências mínimas obtidas, estão resumidas nas Tabela 15 (Função Objetivo 01) e Tabela 16 (Função Objetivo 03).

Tabela 14 – Eficiências mínimas de tratamento de efluentes domésticos estimadas considerando as funções objetivos e as condições de lançamento adotadas

Função Objetivo	Condição de Lançamento	Urânia	Matilde	Ibitiruí	Crubixá	Sagrada Família	Aparecida	Alfredo Chaves	Jabaquara	Alto Pongal
01	Autodepuração	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	61,07%
	E ≥ 60%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	61,07%
	DBO ≤ 120 mg/l	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%
03	Autodepuração	10,36%	12,43%	20,05%	2,63%	19,32%	25,38%	90,00%	82,96%	89,97%
	E ≥ 60%	60,16%	60,00%	68,16%	60,05%	65,74%	86,28%	90,00%	90,00%	90,00%
	DBO ≤ 120 mg/l	76,00%	76,00%	76,65%	76,17%	76,00%	90,00%	90,00%	90,00%	90,00%

Fonte: Autoria Própria (2020).

Tabela 15 – Concentrações máximas de DBO e concentrações mínimas de OD estimadas para os cursos d'água após aplicação das eficiências mínimas de tratamento de efluentes domésticos determinadas para a Função Objetivo 01

Condição de Lançamento	Concentração	Rio Benevente	Rio Santa Maria	Ribeirão São Joaquim	Rio Batatal	Rio Caco do Pote	Rio Pongal
Autodepuração	DBO máximo	3,73	3,33	1,49	4,66	3,01	5,00
	OD mínimo	7,31	7,73	7,69	7,31	7,39	7,53
E ≥ 60%	DBO máximo	3,02	3,08	1,49	3,58	2,98	5,00
	OD mínimo	7,33	7,73	7,69	7,33	7,40	7,53
DBO ≤ 120 mg/l	DBO máximo	3,00	3,01	1,49	3,29	2,98	4,17
	OD mínimo	7,34	7,73	7,69	7,33	7,40	7,53

Fonte: Autoria Própria (2020).

Tabela 16 – Concentrações máximas de DBO e concentrações mínimas de OD estimadas para os cursos d'água após aplicação das eficiências mínimas de tratamento de efluentes domésticos determinadas para a Função Objetivo 03

Condição de Lançamento	Concentrações	Rio Benevente	Rio Santa Maria	Ribeirão São Joaquim	Rio Batatal	Rio Caco do Pote	Rio Pongal
Autodepuração	DBO máximo	3,12	3,25	1,49	4,20	2,98	3,39
	OD mínimo	7,34	7,73	7,69	7,32	7,40	7,53
E ≥ 60%	DBO máximo	3,02	3,04	1,49	3,10	2,98	3,39
	OD mínimo	7,34	7,73	7,69	7,34	7,40	7,53
DBO ≤ 120 mg/l	DBO máximo	3,00	3,01	1,49	3,04	2,98	3,39
	OD mínimo	7,34	7,73	7,69	7,34	7,40	7,53

Fonte: Autoria Própria (2020).

Os resultados observados na Tabela 14 indicam que, para as condições de lançamentos 02 e 03, as eficiências mínimas geradas para os distritos com as menores contribuições de cargas orgânicas como Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá e Sagrada Família foram semelhantes, independentemente da função objetivo empregada. No entanto, aos distritos de Aparecida, Alfredo Chaves, Jabaquara e Alto Pongal foram associadas eficiências mínimas divergentes.

As eficiências mínimas obtidas para a primeira condição de lançamento e com auxílio da Função Objetivo 01, função que não impõe uma medida de equidade entre os lançamentos e que busca exclusivamente a minimização do somatório de eficiências de tratamento, sugerem que somente o distrito de Alto Pongal necessitaria implementar tratamento dos esgotos gerados (tratamento com eficiência mínima de aproximadamente 61%) para manter a qualidade da água compatível com os padrões estabelecidos para a Classe 2 (Tabela 14).

O emprego de modelo de otimização que incorpora uma medida de equidade (Função Objetivo 03) produziu aumento significativo das eficiências mínimas exigidas para as diferentes localidades na condição de lançamento 01 (Tabela 14), principalmente para Alfredo Chaves (eficiência mínima de 90%) e Jabaquara (eficiência mínima de 83%). Os distritos de Alfredo Chaves, Alto Pongal e Jabaquara, nessa sequência, são os responsáveis pelas maiores cargas orgânicas produzidas na bacia do rio Benevente e, por esse motivo, o emprego de um modelo de otimização que busca distribuir os esforços de tratamento gerou eficiências mais elevadas para esses distritos, independentemente da condição de lançamento.

Aos distritos de Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá e Sagrada Família foram associadas eficiências mínimas a partir do emprego da Função Objetivo 03 que variaram de 2,63% a 20,05% na condição de lançamento 01, de 60,00% a 68,16% na condição de lançamento 02 e de 76,00% a 76,65% na condição de lançamento 03. Esses resultados indicam que, para a área de estudo, as condições de lançamento exercem maior influência na determinação das eficiências mínimas de tratamento que a eventual adoção de medida de equidade na função objetivo do modelo de otimização.

Observou-se que o modelo de otimização, que impõe medida de equidade, demandaria que os distritos de Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá e Sagrada Família

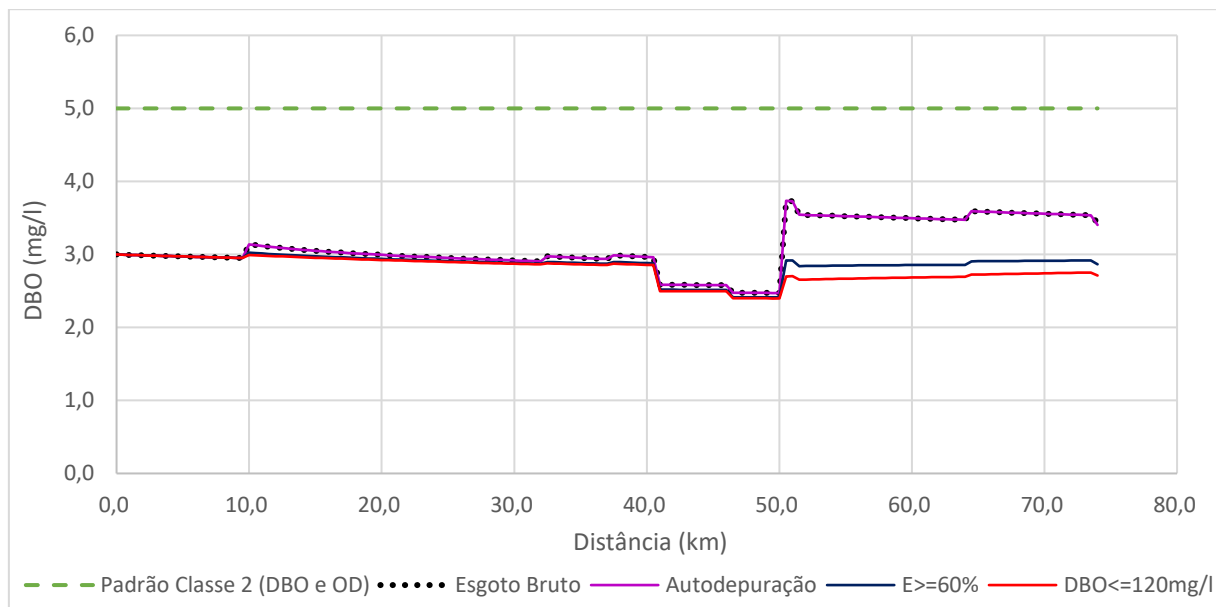
implementassem sistemas de tratamento de esgotos cujas eficiências são equivalentes àquelas habitualmente associadas à sistemas de tratamento de nível secundário. A mesma situação ocorre para o distrito de Aparecida nas condições de lançamento 02 e 03.

Em virtude dos aspectos analisados, os modelos de otimização adotados foram capazes de determinar eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica coerentes com os objetivos intrínsecos às funções objetivo de cada modelo. A Função Objetivo 01, conforme os resultados reunidos nas tabelas 14 e 15, possibilitou a determinação do menor esforço de tratamento para o lançamento de efluentes domésticos na bacia do rio Benevente sem comprometimento dos padrões de qualidade da água, ignorando a relativização entre as cargas orgânicas lançadas por cada distrito. Já a Função Objetivo 03, segundo os resultados das tabelas 14 e 16, garantiu a imposição da medida de equidade (as eficiências passaram a variar entre 2,63% e 90,00%), mesmo quando o lançamento do esgoto bruto não produzia a superação do padrão de qualidade ambiental estabelecido para os cursos d'água.

Ainda que a Função Objetivo 03 não garanta a Equidade Perfeita no processo de determinação de eficiências mínimas de tratamento, ou seja, que a ordenação das eficiências de tratamento correspondesse perfeitamente a ordenação dos distritos em função das cargas produzidas, a função foi considerada adequada para distribuição dos esforços de tratamento de esgotos na bacia hidrográfica do rio Benevente.

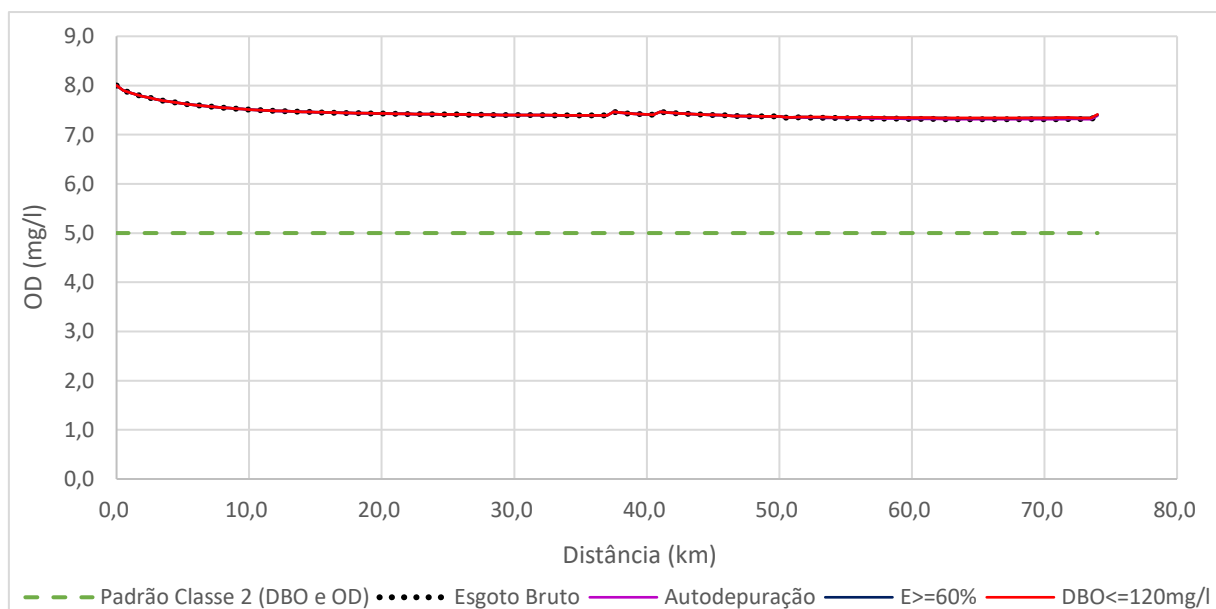
Os perfis de concentração de DBO e OD do rio Benevente, após a aplicação das eficiências determinadas por meio dos modelos de otimização adotados estão apresentados nas Figuras de 11 a 14. Os perfis de concentração de DBO e OD dos demais cursos hídricos modelados sob as mesmas condições constam no APÊNDICE B.

Figura 11 – Perfil de DBO no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



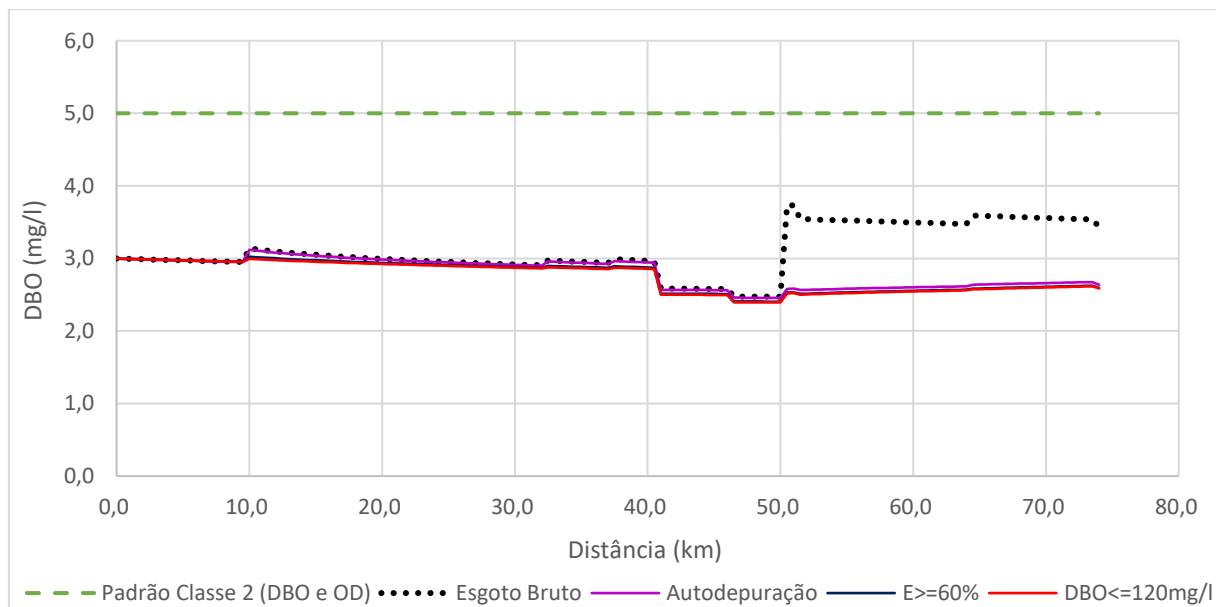
Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 12 – Perfil de OD no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



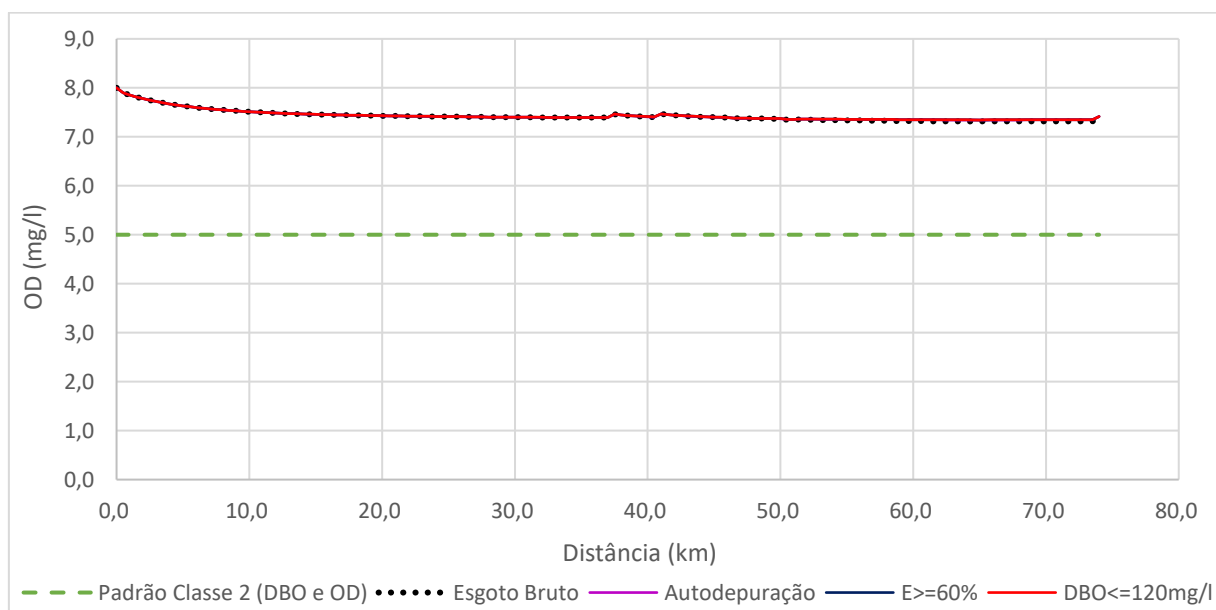
Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 13 – Perfil de DBO no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 14 – Perfil de OD no rio Benevente considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



Fonte: Autoria Própria (2020).

6.3 PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

A determinação das eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica possibilitou a avaliação das trinta e quatro alternativas tecnológicas quanto aos critérios adotados para pré-seleção dos sistemas de tratamento de esgotos. Os critérios de pré-seleção contemplaram as restrições às eficiências médias de remoção de DBO, à não admissão de sistemas que envolvem disposição de esgotos no solo, da tecnologia *Wetlands* e de sistemas mecanizados para pequenas comunidades (até 1.000 habitantes).

Na etapa de pré-seleção, foram excluídas todas as alternativas que não possuem eficiências médias de remoção de matéria orgânica iguais ou superiores às eficiências mínimas estimadas pelos diferentes modelos de otimização nas diferentes condições de lançamento analisadas. A tecnologia Terras úmidas construídas (*Wetlands*) foi desconsiderada, bem como as tecnologias Escoamento Superficial, Infiltração Lenta, Infiltração Rápida e UASB associado ao Escoamento Superficial, uma vez que estes sistemas de tratamento que envolvem disposição de esgotos no solo. Adicionalmente, para os distritos com população inferior a mil habitantes, não foram pré-selecionadas as tecnologias Biofiltro Aerado Submerso com Nitrificação, Lagoa Aerada Facultativa, Lagoa Aerada de Mistura Completa associada à Lagoa de Sedimentação, Lagoa Anaeróbia associada à Lagoa Facultativa e Lagoa de Alta Taxa, Lodo Ativado de Aeração Prolongada, Lodos Ativados por Batelada, Lodos Ativados Convencional, Lodos Ativados Convencional associado a Filtração Terciária, Lodos Ativados Convencional com Remoção Biológica de Nitrogênio, Lodos Ativados Convencional com Remoção Biológica de Nitrogênio e Fósforo, UASB associado a Biofiltro Aerado Submerso, UASB associado a Lagoa Aerada Facultativa, UASB associado a Lagoa Aerada de Mistura Completa e Lagoa de Decantação, UASB associado a Lodos Ativados. Os Quadros 4 e 5 sumarizam os resultados associados à etapa de pré-seleção.

Quadro 4 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 01

(continua)

Distritos	Identificação - Tecnologias		
	Condição 01 (Otimização: E = 0%)	Condição 02 (Otimização: E = 60%)	Condição 03 (Otimização: E = 76%)
Urânia Matilde Ibitiruí Crubixá Sagrada Família Aparecida	A1 - Tratamento primário (Tanques sépticos) A2 - Tratamento primário convencional A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + Filtro anaeróbio A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + Biodisco	A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + Filtro anaeróbio A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + Biodisco	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A19 - UASB + Filtro anaeróbio A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + Biodisco
Distritos	Condição 01 (Otimização: E = 0%)	Condição 02 (Otimização: E = 60%)	Condição 03 (Otimização: E = 76%)
Alfredo Chaves Jabaquara	A1 - Tratamento primário (Tanques sépticos) A2 - Tratamento primário convencional A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A6 - Lagoa aerada facultativa A7 - Lagoa aerada mistura completa + Lagoa de sedimentação A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A17 - UASB + Lodos ativados	A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A6 - Lagoa aerada facultativa A7 - Lagoa aerada mistura completa + Lagoa de sedimentação A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A17 - UASB + Lodos ativados A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso A19 - UASB + Filtro anaeróbio	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A6 - Lagoa aerada facultativa A7 - Lagoa aerada mistura completa + Lagoa de sedimentação A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A17 - UASB + Lodos ativados A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso A19 - UASB + Filtro anaeróbio A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento

Quadro 4 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 01

(continuação)

Distritos	Identificação - Tecnologias		
	Condição 01 (Otimização: E = 0%)	Condição 02 (Otimização: E = 60%)	Condição 03 (Otimização: E = 76%)
Alfredo Chaves Jabaquara	A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso A19 - UASB + Filtro anaeróbio A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de decantação A25 - Lodos ativados convencional A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de decantação A25 - Lodos ativados convencional A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de decantação A25 - Lodos ativados convencional A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco
Distritos	Condição 01 (Otimização: E = 61%)	Condição 02 (Otimização: E = 61%)	Condição 03 (Otimização: E = 76%)
Alto Pongal	A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A6 - Lagoa aerada facultativa A7 - Lagoa aerada mistura completa + Lagoa de sedimentação A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A17 - UASB + Lodos ativados	A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A6 - Lagoa aerada facultativa A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A17 - UASB + Lodos ativados	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa A6 - Lagoa aerada facultativa A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio A17 - UASB + Lodos ativados A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso A19 - UASB + Filtro anaeróbio

Quadro 4 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 01

(conclusão)

Distritos	Identificação - Tecnologias		
	Condição 01 (Otimização: E = 61%)	Condição 02 (Otimização: E = 61%)	Condição 03 (Otimização: E = 76%)
Alto Pongal	A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso A19 - UASB + Filtro anaeróbio A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação A25 - Lodos ativados convencional A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso A19 - UASB + Filtro anaeróbio A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação A25 - Lodos ativados convencional A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A21 - UASB + Lagoas de polimento A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação A25 - Lodos ativados convencional A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco

Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 5 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 03

(continua)

Distritos	Identificação – Alternativas Tecnológicas		
	Condição 01 (Otimização: E > 12%)	Condição 02 (Otimização: E > 60%)	Condição 03 (Otimização: E > 76%)
Urânia Matilde Crubixá	A1 - Tratamento primário (Tanques sépticos) A2 - Tratamento primário convencional A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco
Distritos	Condição 01 (Otimização: E = 20%)	Condição 02 (Otimização: E = 68%)	Condição 03 (Otimização: E = 77%)
Ibitiruí	A1 - Tratamento primário (Tanques sépticos) A2 - Tratamento primário convencional A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco

Quadro 5 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 03

(continuação)

Distritos	Identificação – Alternativas Tecnológicas		
	Condição 01 (Otimização: E = 19%)	Condição 02 (Otimização: E = 66%)	Condição 03 (Otimização: E = 76%)
Sagrada Família	A1 - Tratamento primário (Tanques sépticos) A2 - Tratamento primário convencional A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco
Distritos	Condição 01 (Otimização: E = 25%)	Condição 02 (Otimização: E = 86%)	Condição 03 (Otimização: E = 90%)
Aparecida	A1 - Tratamento primário (Tanques sépticos) A2 - Tratamento primário convencional A3 - Tratamento primário avançado A4 - Lagoa facultativa A5 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa A8 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A15 - Tanque séptico + filtro anaeróbio A16 - Reator UASB A19 - UASB + filtro anaeróbio A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A21 - UASB + lagoas de polimento A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A10 - Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas A20 - UASB + filtro biológico de alta carga A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A34 - Tanque séptico + biodisco	A34 - Tanque séptico + biodisco

Quadro 5 – Sistemas de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionados a partir do emprego da Função Objetivo 03

(conclusão)

Distritos	Identificação – Alternativas Tecnológicas		
	Condição 01 (Otimização: E = 83%)	Condição 02 (Otimização: E = 90%)	Condição 03 (Otimização: E = 90%)
Jabaquara	A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas A17 - UASB + Lodos ativados A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga A25 - Lodos ativados convencional A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga A32 - Filtro biológico percolador de alta carga A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco
Distritos	Condição 01 (Otimização: E = 90%)	Condição 02 (Otimização: E = 90%)	Condição 03 (Otimização: E = 90%)
Alfredo Chaves Alto Pongal	A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco	A26 - Lodos ativados de aeração prolongada A27 - Lodos ativados por batelada A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação A34 - Tanque séptico + Biodisco

Fonte: Autoria Própria (2020).

Independentemente do modelo de otimização empregado, para os distritos de Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá, Sagrada Família e Aparecida foram excluídas quatorze tecnologias de tratamento cujas unidades demandam sistemas mecanizados, restrição que não afetou o processo de pré-seleção para os distritos de Alfredo Chaves, Jabaquara e Alto Pongal.

Em função das eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica, o emprego do primeiro modelo de otimização implicou na exclusão de quatro tecnologias para a etapa de seleção (A1 - Tratamento Primário (Tanques Sépticos), A2 - Tratamento Primário Convencional, A3 - Tratamento Primário Avançado e A16 - Reator UASB). O emprego do modelo de otimização que incorporou medida de equidade (Função Objetivo 03), estabeleceu eficiências mínimas de 90% para quatro distritos (Aparecida, Alfredo Chaves, Jabaquara e Alto Pongal, na condição de lançamento 03), resultando em uma seleção final restrita a cinco tecnologias de tratamento (A26 - Lodos Ativados de Aeração Prolongada, A27 - Lodos Ativados por Batelada, A30 - Lodos Ativados Convencional associado a Filtração Terciária, A33 - Biofiltro Aerado Submerso com Nitrificação e A34 - Tanque Séptico associado a Biodisco).

6.4 SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

A seleção dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos para cada distrito da bacia do rio Benevente foi realizada por meio da hierarquização das alternativas tecnológicas pré-selecionadas baseado no Índice Sociotécnico obtido após aplicação do MAUT. A hierarquização das tecnologias pré-selecionadas considerou as condições de lançamento do esgoto estabelecidas conforme a Resolução CONAMA 430:2011. A Condição de Lançamento 01 avalia a capacidade de autodepuração do recurso hídrico e admite o lançamento de esgotos brutos; a Condição de Lançamento 02 impõe a eficiência mínima de tratamento em 60%; e a Condição de Lançamento 03 permite o lançamento do efluente com o máximo de 120mg/L de DBO.

Os resultados do *ranking* das tecnologias de tratamento de efluentes domésticos pré-selecionadas para os distritos da bacia do rio Benevente estão reunidos no APÊNDICE C.

A tecnologia A8 (Lagoa Anaeróbia associada à Lagoa Facultativa e Lagoa de Maturação) foi a alternativa indicada para todos os distritos, em todas as condições de lançamento, considerando o primeiro modelo de otimização (Função Objetivo 01, que não impõe medida de equidade). Os Índices Sociotécnicos obtidos para essa tecnologia variaram de 0,540 (Alfredo Chaves) a 0,564 (Crubixá), correspondentes aos municípios de maior e menos população, respectivamente.

A síntese da seleção das tecnologias de tratamento de esgotos a partir do emprego da Função Objetivo 03 é apresentada por meio da Tabela 17.

Tabela 17 – Tecnologias selecionadas conforme Índice Sociotécnico para Função objetivo 03

(continua)

Distrito	Condição de Lançamento 01	Condição de Lançamento 02	Condição de Lançamento 03
Urânia	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,555)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,555)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,555)
Matilde	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,553)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,553)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,553)
Ibitiruí	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,551)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,551)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,551)
Crubixá	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,564)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,564)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,564)
Sagrada Família	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,551)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,551)	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,551)
Aparecida	A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação (IS: 0,550)	A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas (IS: 0,507)	A34 - Tanque séptico + Biodisco (IS: 0,377)

Tabela 17 – Tecnologias selecionadas conforme Índice Sociotécnico para Função objetivo 03

(conclusão)			
Distrito	Condição de Lançamento 01	Condição de Lançamento 02	Condição de Lançamento 03
Alfredo Chaves	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,411)	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,411)	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,411)
Jabaquara	A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas (IS: 0,502)	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,415)	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,415)
Alto Pongal	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,415)	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,415)	A30 - Lodos ativados convencional + Filtração terciária (IS: 0,415)

Fonte: Autoria Própria (2020).

Ainda que o distrito de Alto Pongal seja o único a exigir uma eficiência mínima de remoção de DBO de 61% quando do emprego da Função Objetivo 01, este nível mínimo de tratamento não interferiu na seleção, assim como não interferiram as distintas condições de lançamento. Os resultados idênticos decorrem do fato da eficiência máxima de remoção de DBO exigida (eficiência mínima de 76% imposta na Condição de lançamento 03) produzirem a exclusão de apenas 04 tecnologias durante a pré-seleção (A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado e A16 - Reator UASB), tornando o critério referente à eficiência mínima de remoção de matéria orgânica pouco relevante no *ranking* de seleção.

Na análise dos resultados da Função Objetivo 03, que considera uma medida de equidade, os distritos de Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá e Sagrada Família apresentam o mesmo resultado decorrente do emprego da Função Objetivo 01 (A8 - Lagoa Anaeróbia associada à Lagoa Facultativa e Lagoa de Maturação), independentemente da condição de lançamento analisada. Não houve alteração na tecnologia mais adequada para esses distritos em função das baixas eficiências de remoção de matéria orgânica estimadas por ambos modelos de otimização.

Para o distrito de Aparecida, a seleção conduziu às alternativas A8 (Lagoa Anaeróbia associada à Lagoa Facultativa e Lagoa de Maturação), A10 (Lagoa Anaeróbia associada à Lagoa Facultativa e Remoção de Algas) e A34 (Tanque Séptico associado ao Biodisco), para as condições de lançamento 01, 02 e 03, respectivamente. Foi o único a apresentar três alternativas tecnológicas distintas para cada condição de lançamento avaliada com o segundo modelo de otimização. A elevada restrição de alternativas foi resultado da combinação da alta eficiência mínima de DBO exigida na condição de lançamento 03 (eficiência mínima de 86%) com a pequena população do distrito (357 habitantes).

A tecnologia A30 (Lodos Ativados Convencional associado a Filtração Terciária) foi a alternativa selecionada para os distritos de Alfredo Chaves e Alto Pongal em todas as condições de lançamento associadas ao segundo modelo de otimização (Função Objetivo 03). Esses distritos apresentaram a mesma hierarquização de alternativas pré-selecionadas (APÊNDICE C), com variação no Índice Sociotécnico devido a diferença de população. A alternativa com pior *ranking* nesses distritos foi a A33 (Biofiltro Aerado Submerso com Nitrificação), com Índice Sociotécnico variando de 0,330 (Alfredo Chaves) a 0,335 (Alto Pongal).

A diferença de aproximadamente 100 habitantes da população de Jabaquara para a população de Alto Pongal resultou na hierarquização distinta entre os dois distritos e na seleção, para o distrito de Jabaquara, da alternativa A10 (Lagoa Anaeróbia associada a Lagoa Facultativa e Remoção de Algas) para a Condição de lançamento 01 e da alternativa A30 (Lodos Ativados Convencional associado a Filtração Terciária) para as condições de lançamento 02 e 03. De modo semelhante aos distritos de Alfredo Chaves e Alto Pongal, a alternativa A33 (Biofiltro Aerado Submerso com Nitrificação) obteve pior *ranking* com um Índice Sociotécnico de 0,335 (APÊNDICE C).

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados produzidos por meio da aplicação do modelo de qualidade da água, observou-se que, dos cinco corpos d'água receptores de esgotos na bacia do rio Benevente, apenas o rio Pongal apresentou condições incompatíveis com os padrões de qualidade estabelecidos para rios classe 2, ao receber lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento. Nesse contexto, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 430:2011, o entendimento da utilização da capacidade de autodepuração dos cursos d'água da bacia do rio Benevente constitui perspectiva relevante, função dos usuais elevados investimentos associados à implantação de plantas de tratamento de esgotos. A desconsideração da capacidade de autodepuração dos corpos receptores imporia a opção por sistemas de tratamento mais eficientes na remoção da matéria orgânica; sistemas aos quais estão habitualmente associados os mais elevados custos de implantação e operação.

A integração entre o modelo QUAL-UFMG e o Algoritmo Genético, conduzida de forma expedita e versátil no ambiente computacional do *software* MATLAB, permitiu a determinação de eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica para os diferentes pontos de lançamentos de esgotos distribuídos pela bacia hidrográfica do rio Benevente. Quando considerada a perspectiva de utilização da capacidade de autodepuração dos cursos d'água e o emprego de modelo de otimização cujo foco foi a minimização do somatório das eficiências de tratamento no âmbito da bacia, as eficiências variaram entre zero e aproximadamente 62% (61,7%). Quando empregado modelo de otimização que buscava minimizar o somatório de eficiências de tratamento com manutenção de condição de equidade entre os lançamentos, as eficiências variaram entre aproximadamente 3% (2,63%) e 90% (89,97%). Quando impostas restrições associadas às condições de lançamento (eficiências mínimas de 60% para a remoção da DBO ou DBO com concentração máxima de 120 mg/l), as eficiências mínimas de remoção de DBO apresentaram-se substancialmente maiores, variando entre 60% e 76%.

A pré-seleção realizada permitiu a exclusão de sistemas considerados menos adequados para a área de estudo e variou de maneira significativa entre os distritos. Para Alfredo Chaves e Jabaquara, foram pré-selecionadas vinte e nove tecnologias de tratamento a partir de emprego de modelo de otimização que buscava,

exclusivamente, minimizar o somatório de eficiências considerando a capacidade de autodepuração dos cursos d'água. Já para o distrito de Aparecida, com emprego de modelo de otimização que impunha medida de equidade entre lançamento e DBO máxima no efluente tratado de 120 mg/l, a pré-seleção conduziu a apenas uma tecnologia de tratamento de esgotos.

O método de análise multicritério MAUT, empregado na hierarquização das tecnologias pré-selecionadas, permitiu a síntese dos critérios quantitativos e qualitativos da estrutura de preferência em um único valor, denominado Índice Sociotécnico. As tecnologias com os maiores índices foram as mais adequadas para implantação na bacia de estudo. A tecnologia A8 (Lagoa anaeróbia associada a Lagoa facultativa e Lagoa de maturação) foi indicada para todos os distritos nas três condições de lançamento avaliadas quando do emprego de modelo de otimização que buscava, exclusivamente, minimizar o somatório de eficiências de tratamento. O mesmo ocorreu com os distritos de Urânia, Matilde, Ibitiruí, Crubixá e Sagrada Família, quando do emprego de modelo de otimização que buscava manutenção de condição de equidade entre lançamento.

Para os distritos mais populosos, como Alfredo Chaves e Alto Pongal, a perspectiva de manutenção de equidade entre lançamento conduziu a seleção da alternativa A30 (Lodos ativados convencional associado a Filtração terciária), independentemente da condição de lançamento analisada. Para o distrito de Jabaquara, a seleção variou entre duas tecnologias de tratamento – tecnologia A10 (Lagoa anaeróbia associada a Lagoa facultativa e Remoção de algas) assumindo-se a possibilidade de uso da capacidade de autodepuração dos cursos d'água e tecnologia A30 (Lodos ativados convencional associado a Filtração terciária) quando da imposição de padrões de qualidade para os efluentes. Já para o distrito de Aparecida, foram indicadas diferentes tecnologias para as condições de lançamento avaliadas, sendo selecionadas as alternativas A8 (Lagoa anaeróbia associada a Lagoa facultativa e Lagoa de maturação), A10 (Lagoa anaeróbia associada a Lagoa facultativa e Remoção de algas) ou A34 (Tanque séptico associado ao Biodisco).

8 RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados obtidos por meio do presente estudo, foram estabelecidas as seguintes recomendações para pesquisas futuras:

- Adaptação da metodologia aplicada considerando a modelagem de outros parâmetros de qualidade da água;
- Emprego de restrições e condições de lançamento que sejam adequados ao enquadramento legal existente área de estudo, quando possível. O enquadramento legal, apesar de configurar um planejamento de natureza política, é um instrumento de planejamento e gestão disposto na PNRH, devendo ser incorporado às seleções de sistemas de tratamento;
- Análise de outras funções objetivo que empreguem diferentes medidas equidade para determinação de eficiências mínimas de remoção de matéria orgânica;
- Adequação, por meio de análise qualitativa, da estrutura de preferência (critérios e subsistemas, bem como respectivos pesos), pois, apesar de constituir uma metodologia aplicável no âmbito de bacias hidrográficas, é recomendado que sejam considerados aspectos específicos de cada caso;
- Emprego de outras técnicas de otimização e análise multicritério, conforme perfil do pesquisador e diagnóstico da área de estudo;
- Desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão para seleção de sistemas de tratamento de esgotos no âmbito de bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF: ANA, 2017. 88 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ALBERTIN, L. L. **Técnica de gerenciamento da qualidade hídrica superficial baseada na otimização multiobjetivo**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo. 2008.

ALMEIDA, A. T. Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n.1, p.69-81, 2005.

ALVES, F. V. **Seleção de sítio e tecnologia para estação de tratamento de esgoto por meio de SIG e métodos multicriteriais**. Estudo de Caso: Paulínia – SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Recursos Hídricos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ANDRADE, L. N. de. **Modelo de otimização multiobjetivo para outorga de diluição de efluentes e enquadramento de corpos d'água**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2012.

ANDRADE, I.N; MAURI, R. G; MENDONÇA, A. S F. A General Multiobjective model and a Simulated Annealing Algorithm for Waste-Load Allocation. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.139, n.3, p. 339-344, 2013.

ARROYO, P; MOLINOS-SENANTE, M. Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 819-827, 2018.

BEDFORD, T.; COOKE, R. A new generic model for applying MAUT. **European Journal of Operational Research**, v. 118, p. 589-604, 1999.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, Distrito Federal.

_____. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, Distrito Federal.

_____. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da MetrÓpole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da União**, Brasília, Distrito Federal.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, Distrito Federal, 2005.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, Distrito Federal, 2011.

_____. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019.

BRAVO, J. M.; COLLISCHON, W.; TUCCI, C. E. M. Verificação da eficiência e eficácia de um algoritmo evolucionário multi-objetivo na calibração automática do modelo hidrológico IPH II. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 3, p. 37-50, 2009.

BRINGER, L. M. **Seleção de sistemas de tratamento de esgotos no âmbito de bacias hidrográficas a partir do emprego da modelagem de qualidade, otimização e da análise multiobjetivo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2017.

BRINGER, L. M.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Wastewater treatment systems selection inside watersheds by using multiobjective analysis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 23, p. 1-14, 2018.

BROWN, L. C.; BARNWELL, T. O. **The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E—UNCAS: documentation and user manual**. Athens, Ga, USA: US Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory; 1987.

BURN, D. H.; YULIANTI, J. S. Waste-load allocation using genetic algorithms. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 127, n. 2, p. 121-129, 2001.

CALMON, A. P. S. **Metodologia para suporte ao processo de enquadramento dos cursos d'água superficiais considerando curvas de permanência de qualidade e processo de autodepuração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2015.

CALMON, A. P. S; SOUZA, J. C; REIS, J. A. T; MENDONÇA, A. S. F. Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água superficiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2016.

CAMARGO, R. A. et al. Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n.4, 2010.

CAMPOS, J. R. et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CANDIDO, A. K. B. et al. Modelo de avaliação e seleção de ETES com apoio de método multicritério. In: **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, 2015.

CARNEIRO, G. A.; BARBOSA, R. F. M.; SOUZA, M. A. A. II-086 - Tecnologia apropriada em saneamento: uma nova abordagem com o emprego de análise multiobjetivo e multicritério. In: **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2001.

CHAPRA, S.C.; PELLETIER, G.J.; TAO, H. 2012. **QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.12: Documentation and Users Manual**. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

COLLINSCHON, W.; TUCCI, C. E. M. Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 3, p. 27-39. 2003.

COSTA, D. J. L; TEIXEIRA, D. Aplicação de modelo de autodepuração para avaliação da qualidade da água do ribeirão do ouro, Araraquara-SP. **Revista Uniara**, v. 13, n.1, p. 49-62, 2010.

COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H.; RAMOS, H. Utilização de um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 187-196, 2010.

CRISTOFARI JUNIOR, C. A.; PAULA, I. C.; FOGLIATTO, F. S. Método de análise de maturidade e priorização de melhorias na gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos. **Produção**, v. 20, n. 3, p. 359-377, 2010.

ESPÍRITO SANTO. Resolução CERH N° 005, de 17 de junho de 2015. Dispõe sobre a homologação do enquadramento dos corpos de água apresentado pelo Comitê de

Bacia Hidrográfica do rio Benevente. **Diário Oficial do Espírito Santo**, Vitória, Espírito Santo.

ESPÍRITO SANTO. Resolução CERH Nº 005, de 14 de dezembro de 2018. Altera a Resolução Normativa CERH nº 010, de 20 de dezembro de 2017 e dá outras providências. **Diário Oficial do Espírito Santo**, Vitória, Espírito Santo.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; RIGO, D. Modelo analítico de qualidade da água acoplado com Sistema de Informação Geográfica para simulação de lançamentos com duração variada. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p. 359-370, 2013.

FANTIN, L. L. D.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Proposal of a methodology for pre-selection of sewage treatment systems within watersheds. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, 2017.

FANTINATTI, P. A. P.; ZUFFO, A. C. Mudança de paradigma no planejamento dos recursos hídricos por meio da abordagem MCDA: avaliação da bacia do ribeirão Anhumas, em Campinas [São Paulo], Brasil. **Revista Labor & Engenho**, v. 6, n. 3, 2012.

FERREIRA, D. M.; FERNANDES, C. V. S.; KAVISKI, E. Curvas de permanência de qualidade da água como subsídio para o enquadramento de corpos d'água a partir de modelagem matemática em regime não permanente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 479-492, 2016.

FLECK, L; TAVARES, M. H. F; EYNG, E. Especificidades e importância de modelos matemáticos de qualidade da água. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Paraná, v. 1, n. 7, p. 47-62. 2013.

FONSECA, A. et al. Integrated hydrological and water quality model for river management: a case study on Lena River. **Science of the Total Environment**, p. 474–489, 2014.

FRAGA, M. S. et al. Methodological proposal for the allocation of water quality monitoring stations using strategic decision analysis. **Environ Monit Assess**, 191:776, 2019.

FRANK, A. G. et al. An integrative environmental performance index for benchmarking in oil and gas industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 1190-1203, 2016.

GARCIA, J. I. B. **Sistema de suporte a decisão para o lançamento de efluentes**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo. 2011.

GASTALDINI, M. C. C; OPPA, L. F. Análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim utilizando modelo matemático de qualidade da água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2011.

GENERINO, R. C. M. **Contribuição da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reuso de água**: aplicação em um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal. 2006. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GOFFI, A. S. **Uso da análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná. 2017.

GOMES, S. H. R. et al. Modelagem sazonal da qualidade da água do Rio dos Sinos/RS utilizando o modelo QUAL-UFMG. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 275-285, 2018.

GONÇALVES, J. C. S. I. et al. O uso do modelo QUAL2K como subsídio à seleção de alternativas de tratamento de esgotos – estudo de caso: município de São Simão – SP. **REVISTA UNIARA**, v. 12, n. 2, 2009.

GUARNIERI, P. Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 19, n. 1, p. 1-25, 2015.

HELLER, P. G. B.; VON SPERLING, M.; HELLER, L. Desempenho tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em quatro municípios de Minas Gerais: uma análise comparativa. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.1, p. 109-118, 2009.

HOFFMANN, R. Desigualdade da renda e das despesas per capita no Brasil, em 2002-2003 e 2008-2009, e avaliação do grau de progressividade ou regressividade de parcelas da renda familiar. **Economia e Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 647-661, 2010.

HUNT, C. C. **Modelo multicritério de apoio à decisão aplicado à seleção de sistema de tratamento de esgoto para pequenos municípios**. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

JIMENEZ, A.; MATEOS, A.; SABIO, P. Dominance intensity measure within fuzzy weight oriented MAUT: an application. **Omega**, v. 41, p. 397-405, 2013.

JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. v. 1. 994p.

KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: a scenario-based multiple-attribute decision-making approach. **Journal of Environmental Management**, v. 113, p.158-169. 2012.

KAYSER, R. F. B. et al. Comparativo entre o modelo QUAL2K e uma metodologia simplificada de modelagem da qualidade da água integrada a um ambiente de sistema de informações geográficas: estudo de caso na bacia do rio Macaé. In: **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, Santa Catarina: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017.

KONDAGESKI, J. H. **Calibração de modelo de qualidade da água para rio utilizando algoritmo genético**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2008.

LACERDA, E. G. M. de; CARVALHO, A. C. P. L. F. de. Introdução aos algoritmos genéticos. In: GALVÃO, C. DE O.; VALENÇA, M.J.S. (orgs.). **Sistemas inteligentes: 121 aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1999. p. 99-150.

LARENTIS, D. G. **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas - RS**. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia

de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2004.

LEONETI, A. B. **Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP), Ribeirão Preto. 2009.

LINDEN, R. **Algoritmos genéticos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.

LONGARAY, A. A. et al. Emprego de métodos multicritério em decisões gerenciais: uma análise bibliométrica da produção científica brasileira. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 13, n. 29, p. 113-128, 2016.

LORENZ, M. O. Methods of Measuring the Concentration of Wealth. **American Statistical Association**, v. 9, n. 70, p. 209-219, 1905.

LOUZADA, J. P; REIS, J. A. T; MENDONÇA, A. S. F. Uso de otimização e modelagem de qualidade de água no planejamento de implantação de sistemas de tratamento de esgotos sanitários em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.1, p. 277-286, 2013.

LUME Estratégia Ambiental Ltda. **Enquadramento dos Corpos de Água e Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente**: REA – Relatório da Etapa A - Diagnóstico e Prognóstico, 2013.

_____. **Enquadramento dos Corpos de Água e Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente**: REB - RELATÓRIO DA ETAPA B, 2014a.

_____. **Modelagem da Qualidade das Águas do rio Benevente**. Planilhas QUALUFMG. Disponível em: <www.lumeambiental.com.br/prhbenevente>. 2014b. Acesso em 26 de set. 2019.

MACHADO, E. C. M. N. et al. Operação multi-objetivo de sistemas de abastecimento de água: algoritmo genético. In: Seminário Iberoamericano Sobre Sistemas De Abastecimento Urbano De Água. 8., 2008. Lisboa. **Anais...** Lisboa, Portugal: SEREA, 2008.

MARCUZZO, F. F. N. Algoritmos genéticos e programação matemática não linear na otimização de curva-chave. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21, 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015.

MAUAD, F. F.; ALBERTIN, L. L.; PIOLTINE, V. Modelo de gerenciamento da qualidade da água considerando distribuição equitativa na alocação da carga poluente. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, v. 8, n. 3, p. 215-239, 2008.

MENEZES, R. A.; SILVA, R. B.; LINHARES, A. Leilões eletrônicos reversos multiatributo: uma abordagem de decisão multicritério aplicada às compras públicas brasileiras. **RAC**, v. 11, n. 3, 2007.

MIN, H. International supplier selection: a multi-attribute utility approach. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 24, n. 5, p.24-33, 1994.

MIRANDA, C. M. G.; ALMEIDA, A. T. Visão multicritério da avaliação de programas de pós-graduação pela capes: o caso da área engenharia III baseado nos métodos ELECTRE II e MAUT. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 51-64, 2004.

MOURÃO JÚNIOR, P. R. **Aplicação do Modelo de autodepuração de Qualidade das Águas QUAL-UFMG**: Estudo de Caso, Sub-bacia do Rio Piracicaba. 2010. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Sócio-econômica e Ambiental – Área de Concentração: Ambimetria) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. 2010.

NASCIMENTO, N. O; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n.1, p. 36-48. 2005.

OLIVEIRA, S. V. W.B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA FILHO, A. A.; LIMA NETO, I. E. Modelagem da qualidade da água do rio Poti em Teresina (PI). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 3-14, 2018.

OUYANG, X. et al. Development of the integrated fuzzy analytical hierarchy process with multidimensional scaling in selection of natural wastewater treatment alternatives. **Ecological Engineering**, v.74, p.438-447. 2015.

PACHAURI, B.; KUMAR, A.; DHAR, J. Software reliability growth modeling with dynamic faults and release time optimization using GA and MAUT. **Applied Mathematics and Computation**, v. 242, p. 500-509, 2014.

PARK, K. et al. A regional information-based multi-attribute and multi-objective decision-making approach for sustainable supplier selection and order allocation. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 590-604, 2018.

PELLETIER, G. J; CHAPRA, S. C; TAO, H. QUAL2Kw – a framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. **Environmental Modelling & Software**, v. 21, p. 419-425, 2006.

PIGA, F. G. et al. Multi-criteria potential groundwater contamination and human activities: Araras watershed, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 22, 2017.

PINHEIRO, R. B. et al. Outorga para lançamento de efluentes — uma metodologia de apoio à gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 4, p. 55-65, 2013.

REAMI, L. **Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto**: estudo de caso de Restinga SP. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

REIS, A. O. P. **Sistemática para seleção de tecnologias de tratamento de efluentes: uma análise multicriterial aplicada à bacia hidrográfica**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia na área de concentração de Sistemas de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2018.

REIS, J. A. T.; VALORY, J. L. P.; MENDONÇA, A. S. F. Seleção de eficiências de tratamento de esgotos a partir da manutenção de equidade entre sistemas de tratamento - uma abordagem para o gerenciamento de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 862 – 871, 2015.

RODRIGUES, M. B. **Emprego de curvas de permanência de qualidade como subsídio ao processo de enquadramento de cursos d'água.** 2018. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2018.

RODRIGUES, M. V. S. et al. Multicriteria Method in Data Envelopment Analysis: an application to measure the performance of the instrument of charging for water in the State of Ceará basins. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 22, 2017.

ROY, B. Decision-aid and decision-making. **European Journal of Operational Research**, v. 45, p.324-331, 1990.

SÁ, G. L. N. et al. Methodology for minimum nitrogen compounds removal efficiencies estimation and wastewater treatment systems pre-selection: a watershed approach. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24 e.41 p. 1-14, 2019.

SALLA, M. R. et al. Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 105-114, 2013.

SAMPAIO, G. S. **Otimização da exploração de centrais hídricas utilizando Algoritmos Genéticos, em ambiente de mercado.** 2012. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2012.

SANTORO, M. C.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Performance evaluation of optimization models in the determination of wastewater treatment efficiencies inside watersheds. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, p. 694-706, 2016.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. Modificação no algoritmo genético SCE-UA e sua aplicação a um modelo hidrossedimentológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 137-147. 2003.

SANTOS, A. R. **Análise de localização de emissários de efluentes com uso de modelagem de qualidade de água e otimização – estudo de caso.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2018.

SANTOS, V. S. S. **Modelo de otimização quali-quantitativo multiobjetivo para o planejamento dos Recursos hídricos superficiais, com aplicação à bacia do rio paraíba**. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba. 2011.

SARDINHA, D. S. et al. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do meio, Leme (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 329-338, 2008.

SCHARDONG, A. **Aplicação de algoritmos evolucionários à gestão integrada de sistemas de recursos hídricos**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

SILVA, S. R.; SILVA JUNIOR, M. A. B. S.; LIMA, E. E. S. Analysis and modeling of water quality as a contribution to the preliminary framework proposal for the Una River (Pernambuco/Brazil). **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 13, n. 6, 2018.

SILVA SOBRINHO, M. S. et al. Seleção de alternativas de tratamento de águas residuárias por auxílio multicritério à decisão. In: **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Belo Horizonte, 2011.

SOARES, G. L. **Algoritmo genético: estudo, novas técnicas e aplicações**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 1997.

SOUSA, A. C.; SOARES, A. K. Modelo para otimização da operação de sistemas de distribuição de água utilizando algoritmos genéticos multiobjetivo SPEA. **Exacta**, v. 12, n. 3, p. 313-324. 2014.

SOUZA, M. A. A. Um modelo para seleção de processos de tratamento de águas residuárias municipais. In: **XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, AIDIS, Lima, Peru, 1-5 novembro, 98 (meio eletrônico). 1998.

TEODORO, A. et al. Implementação do conceito capacidade de diluição de efluentes no modelo de qualidade da água QUAL-UFMG: estudo de caso no rio Taquarizinho (MS). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 18, n. 3, 2013.

TIAN, Y. Selection of Municipal Wastewater Treatment Process Based on Improved Analytic Hierarchy Process. **Earth and Environmental Science**, v. 295, 2019.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para a escolha de soluções. Campinas, São Paulo: Biblioteca/Unicamp, 2018.

TCHOBANOGLIOUS, G; BURTON, F. L. **Wastewater engineering**: treatment, disposal, and reuse. 3 ed. Metcalf & Eddy/McGraw-Hill: 1991.

TONON, K. **Modelagem da qualidade da água utilizando os modelos streeter-phelps e QUAL-UFMG na bacia do rio lambari – Poços de Caldas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, Minas Gerais. 2014.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

USEPA. **Surface Water Models to Assess Exposures**. 2020. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ceam/surface-water-models-assess-exposures>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

VALORY, J. P. L. **Aplicação combinada de técnica de otimização e modelo de qualidade de água na determinação de eficiências de sistemas de tratamento de efluentes domésticos: uma abordagem para gerenciamento de bacias hidrográficas**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2013.

VALORY, J. P. L.; REIS, J. A. T. dos; MENDONÇA, A. S. F. Combining Genetic Algorithms with a Water Quality Model to Determine Efficiencies of Sewage Treatment Systems in Watersheds. **Journal of Environmental Engineering**, v. 142, p. 04015080-04015080-9, 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WANG, C. G.; JAMIESON, D. G. An objective approach to regional wastewater treatment planning. **Water Resources Research**, v. 38, n. 3. 2002.

WANG, Q. et al. A Review of Surface Water Quality Models. **The Scientific World Journal**, p. 1-7, 2013.

WERNKE, R.; BORNIA, A. C. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**, v. 14, n. 25, p. 60, 2001.

YAO, H. et al. Regional risk assessment for point source pollution based on a water quality modelo of the Taipu River, China. **Risk Analysis**, v. 35, n. 2, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Dados necessários para construção das Curvas de Lorenz

Tabela A. 1 – Dados necessários para construção da Curva de Lorenz referentes a Função Objetivo 02

Distrito	Carga orgânica (kg/dia)	% acumulada de carga orgânica	Eficiência	Carga orgânica removida (kg/dia)	% acumulada de carga orgânica removida
		0			0
Crubixá	1,80	0,26	0,003	0,00540	0,00123
Urânia	7,25	1,3	0,013	0,09425	0,02261
Matilde	8,75	2,62	0,013	0,11375	0,04842
Sagrada Família	13,60	4,61	0,026	0,35360	0,12865
Ibitiruí	14,10	6,69	0,021	0,29610	0,19583
Aparecida	17,85	9,31	0,030	0,53550	0,31733
Jabaquara	58,25	17,87	0,042	2,44650	0,87241
Alto Pongal	63,35	27,18	0,045	2,85075	1,51922
Alfredo Chaves	495,49	100	0,876	434,04749	100
TOTAL	680,44			440,74334	

Fonte: Autoria Própria (2020).

Tabela A. 2 – Dados necessários para construção da Curva de Lorenz referentes a Função Objetivo 03

Distrito	Carga orgânica (kg/dia)	% acumulada de carga orgânica	Eficiência	Carga orgânica removida (kg/dia)	% acumulada de carga orgânica removida
		0			0
Crubixá	1,80	0,26	0,054	0,09720	0,01705
Urânia	7,25	1,3	0,257	1,86325	0,34387
Matilde	8,75	2,62	0,235	2,05625	0,70455
Sagrada Família	13,60	4,61	0,479	6,51440	1,84720
Ibitiruí	14,10	6,69	0,379	5,34390	2,78455
Aparecida	17,85	9,31	0,549	9,79965	4,50345
Jabaquara	58,25	17,87	0,785	45,72625	12,52404
Alto Pongal	63,35	27,18	0,833	52,77055	21,78024
Alfredo Chaves	495,49	100	0,900	445,93920	100
TOTAL	680,44			570,11065	

Fonte: Autoria Própria (2020).

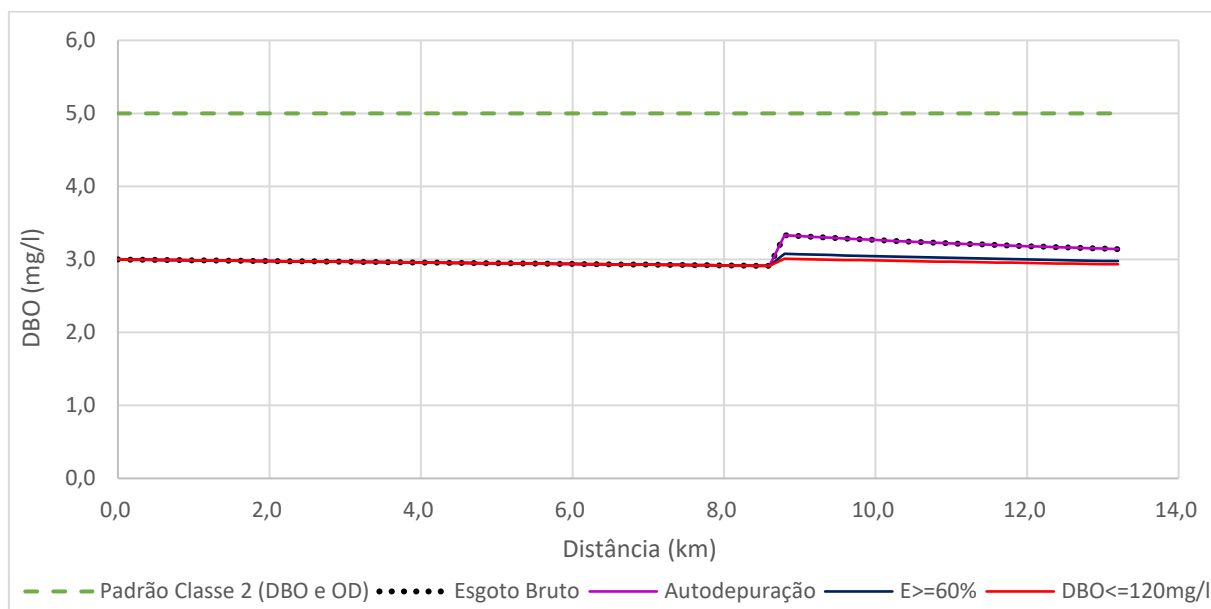
Tabela A. 3 – Dados necessários para construção da Curva de Lorenz referentes a Função Objetivo 04

Distrito	Carga orgânica (kg/dia)	% acumulada de carga orgânica	Eficiência	Carga orgânica removida (kg/dia)	% acumulada de carga orgânica removida
		0			0
Crubixá	1,80	0,26	0,900	1,62000	0,30159
Urânia	7,25	1,3	0,895	6,48875	1,50958
Matilde	8,75	2,62	0,057	0,49875	1,60243
Sagrada Família	13,60	4,61	0,118	1,60480	1,90119
Ibitiruí	14,10	6,69	0,093	1,31130	2,14531
Aparecida	17,85	9,31	0,889	15,86865	5,09951
Jabaquara	58,25	17,87	0,193	11,24225	7,19244
Alto Pongal	63,35	27,18	0,830	52,58050	16,98116
Alfredo Chaves	495,49	100	0,900	445,93920	100
TOTAL	680,44			537,15420	

Fonte: Autoria Própria (2020).

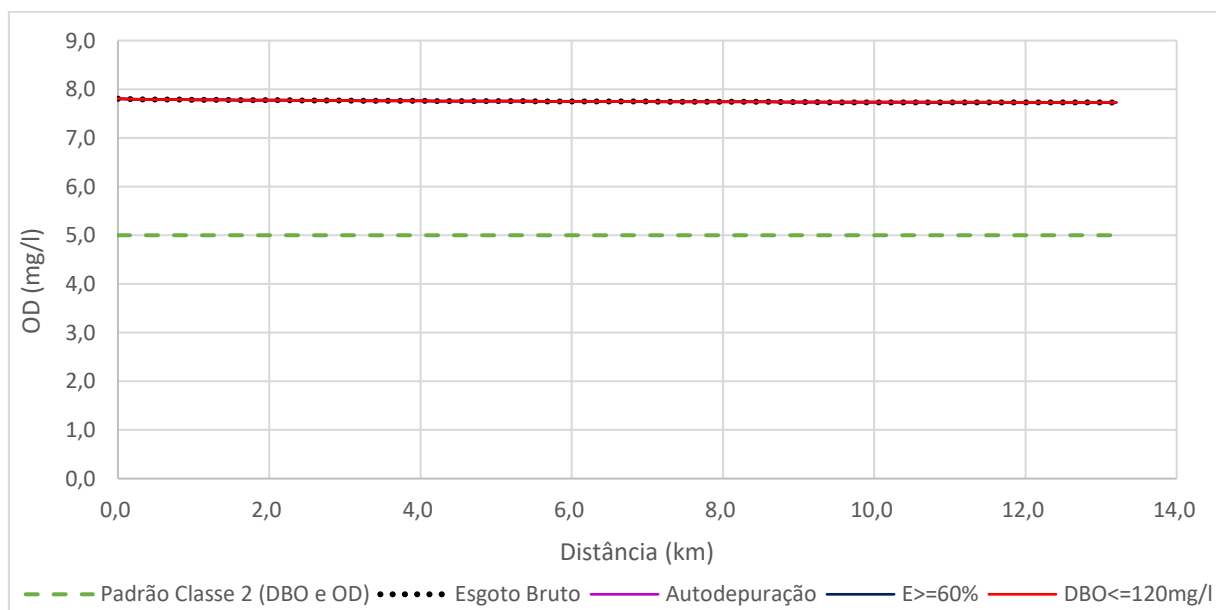
APÊNDICE B – Perfis de concentração de DBO e OD, após a aplicação das eficiências mínimas determinadas para as funções objetivo, dos tributários da bacia do rio Benevente

Figura B. 1 - Perfil de DBO no rio Santa Maria considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



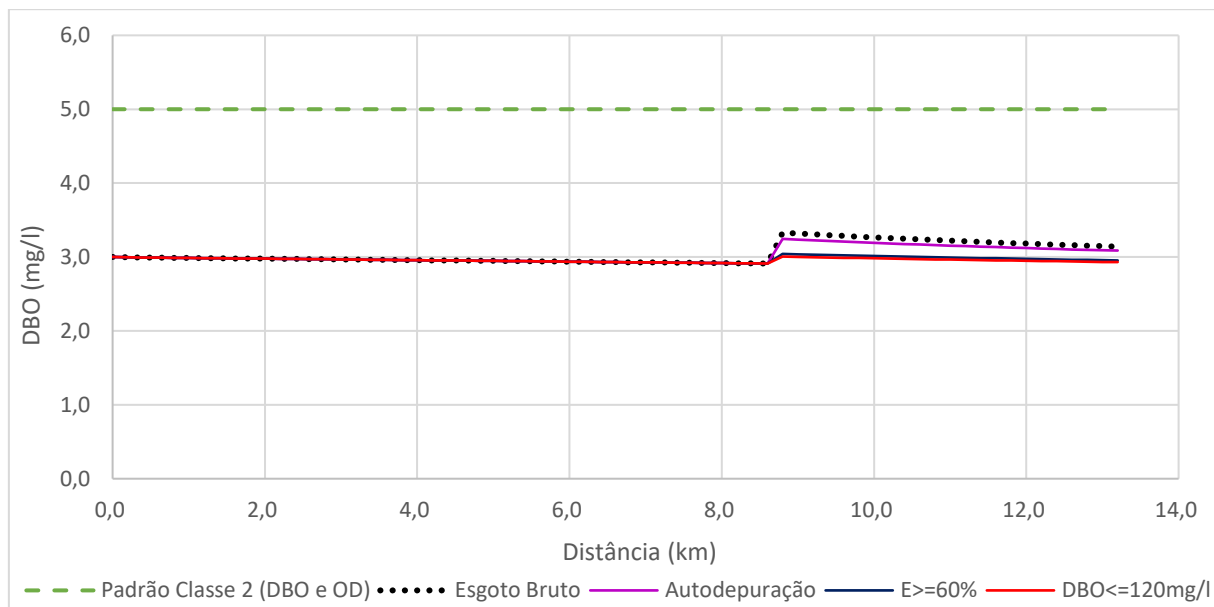
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 2 - Perfil de OD no rio Santa Maria considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



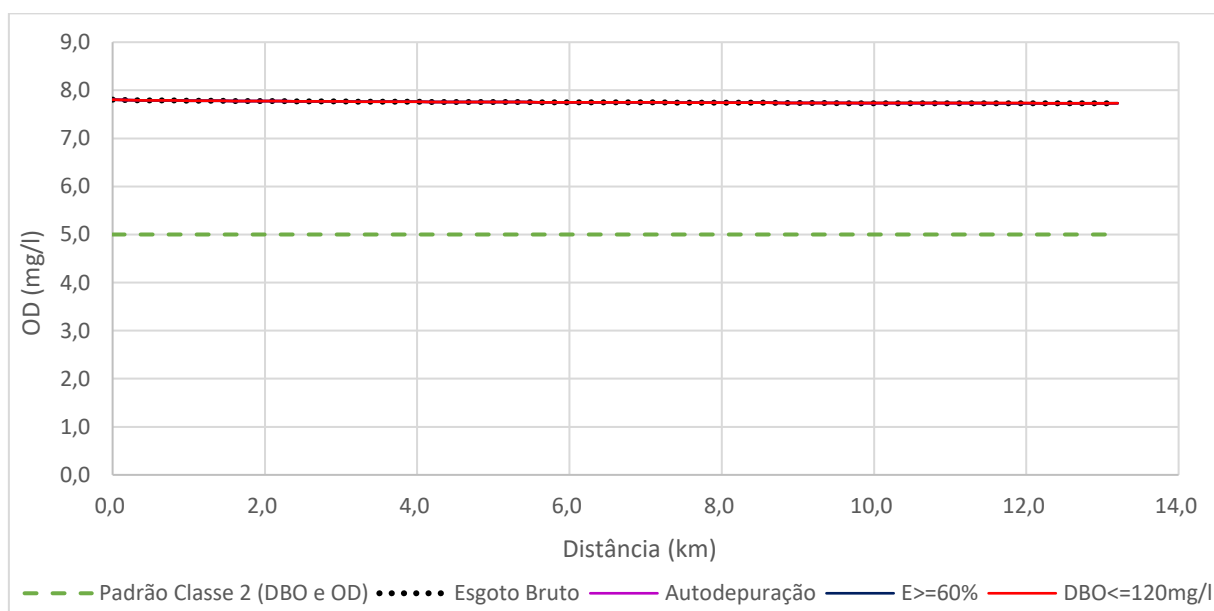
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 3 - Perfil de DBO no rio Santa Maria considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



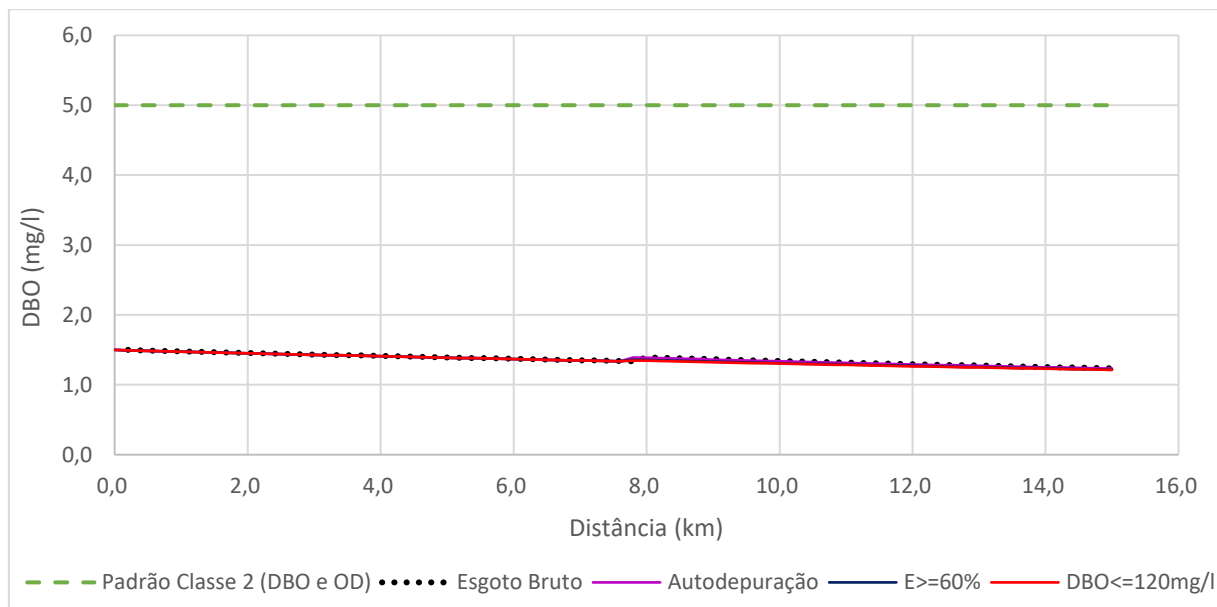
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 4 - Perfil de OD no rio Santa Maria considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



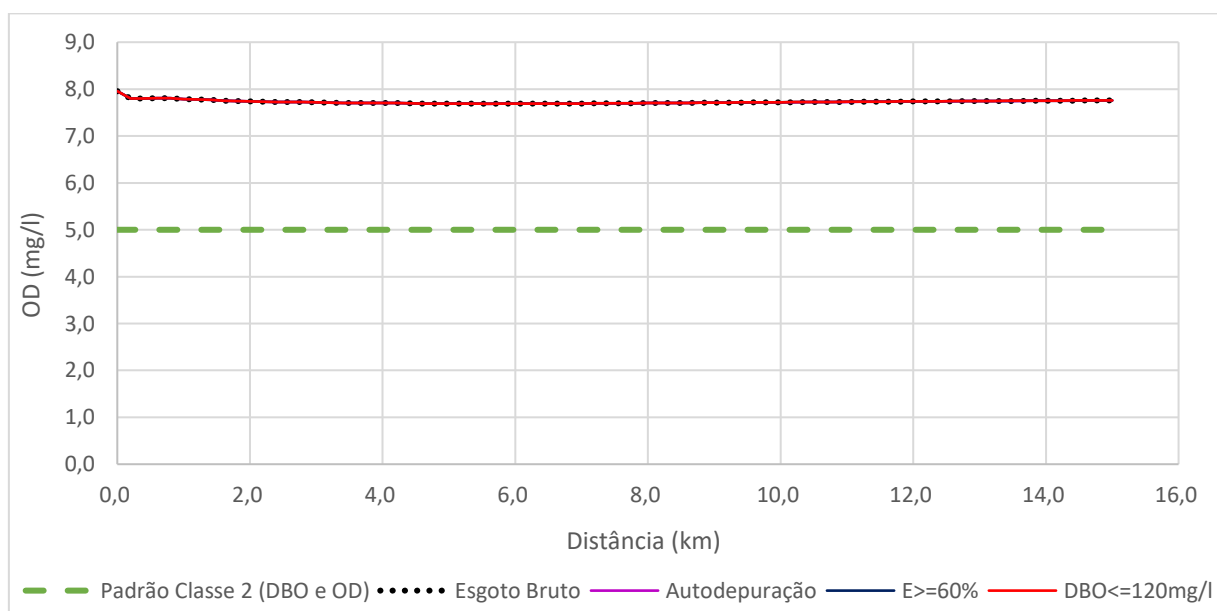
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 5 - Perfil de DBO no ribeirão São Joaquim considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



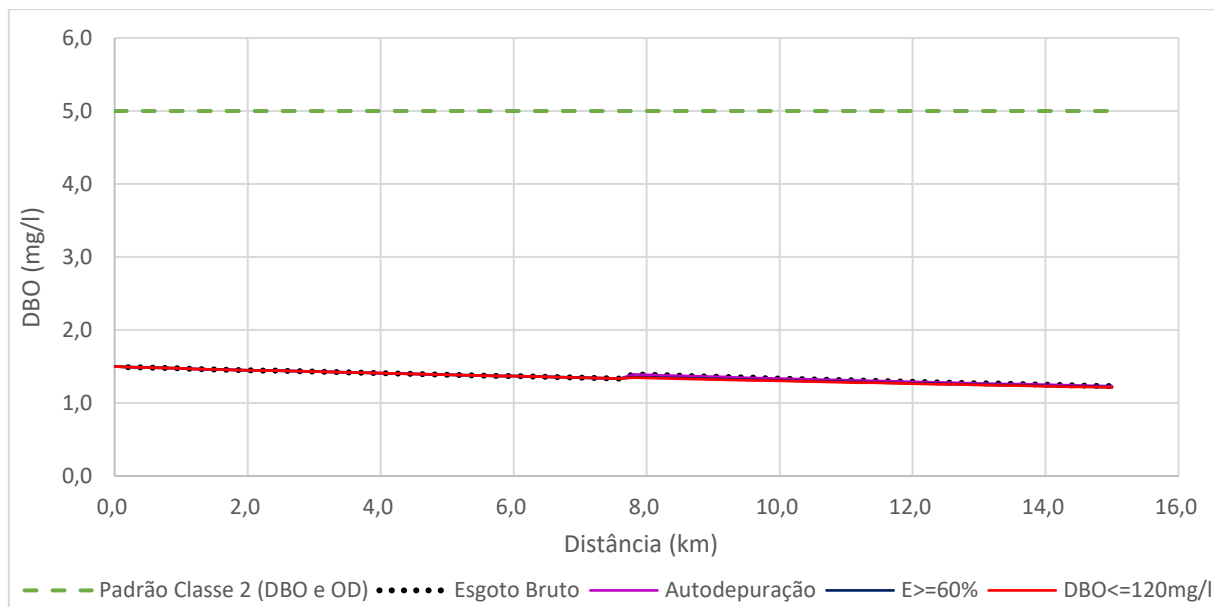
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 6 - Perfil de OD no ribeirão São Joaquim considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



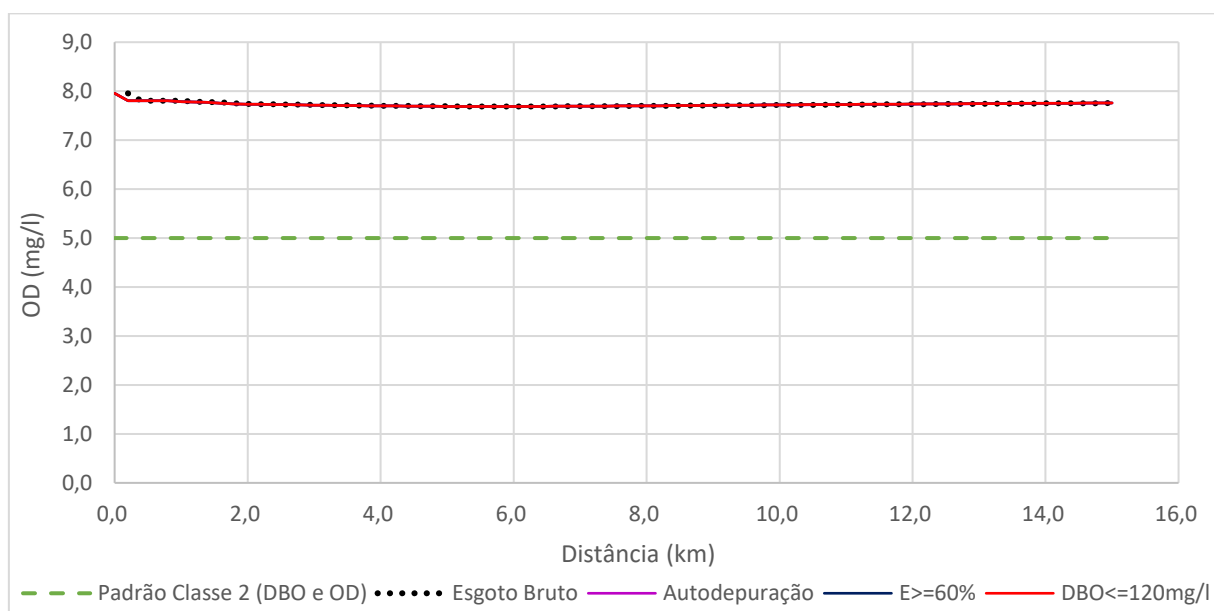
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 7 - Perfil de DBO no ribeirão São Joaquim considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



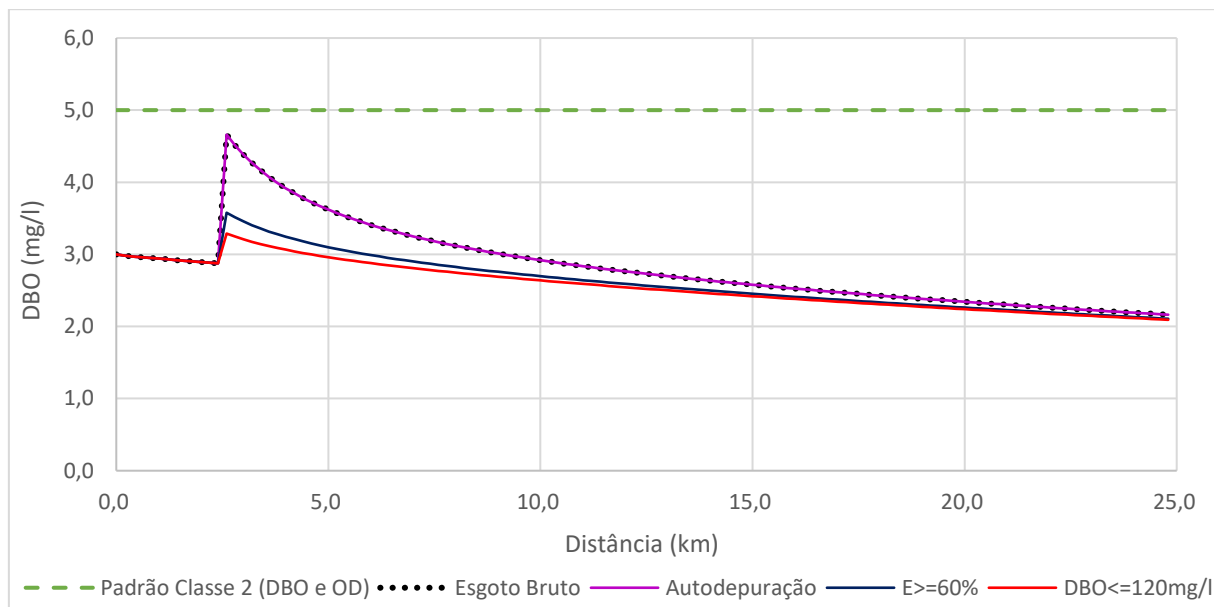
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 8 - Perfil de OD no ribeirão São Joaquim considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



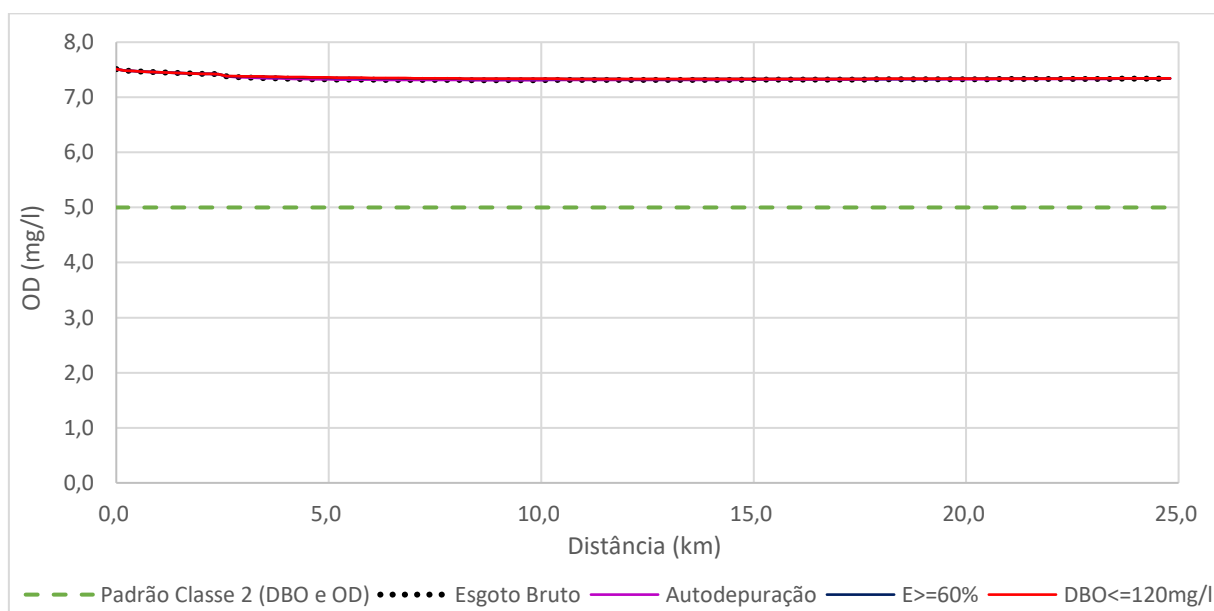
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 9 - Perfil de DBO no rio Batatal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



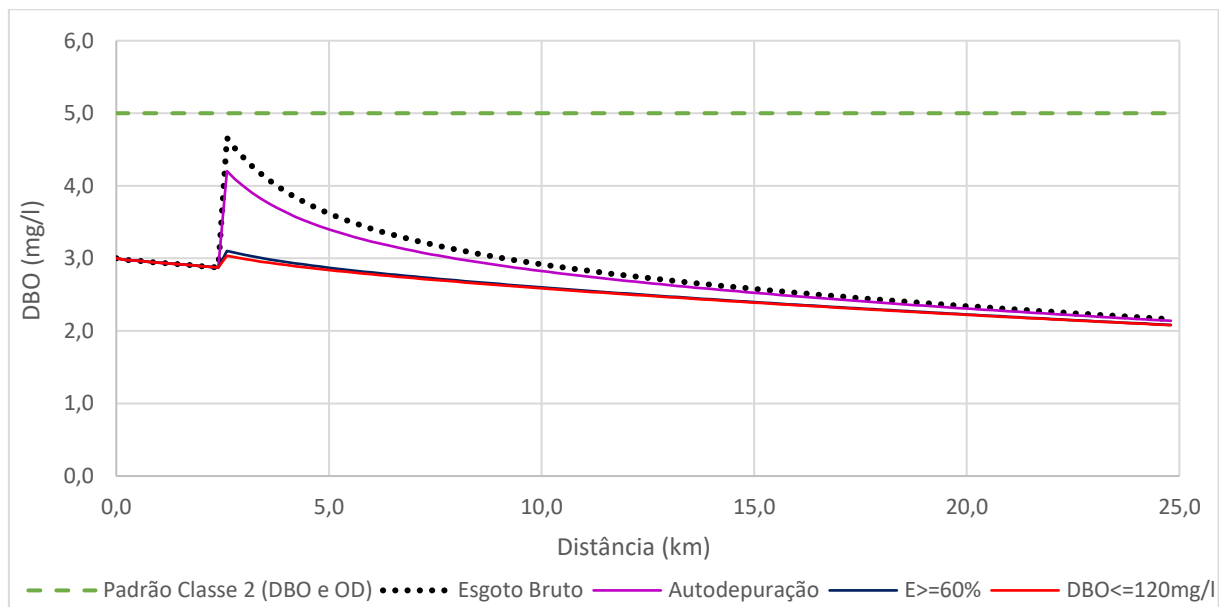
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 10 - Perfil de OD no rio Batatal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



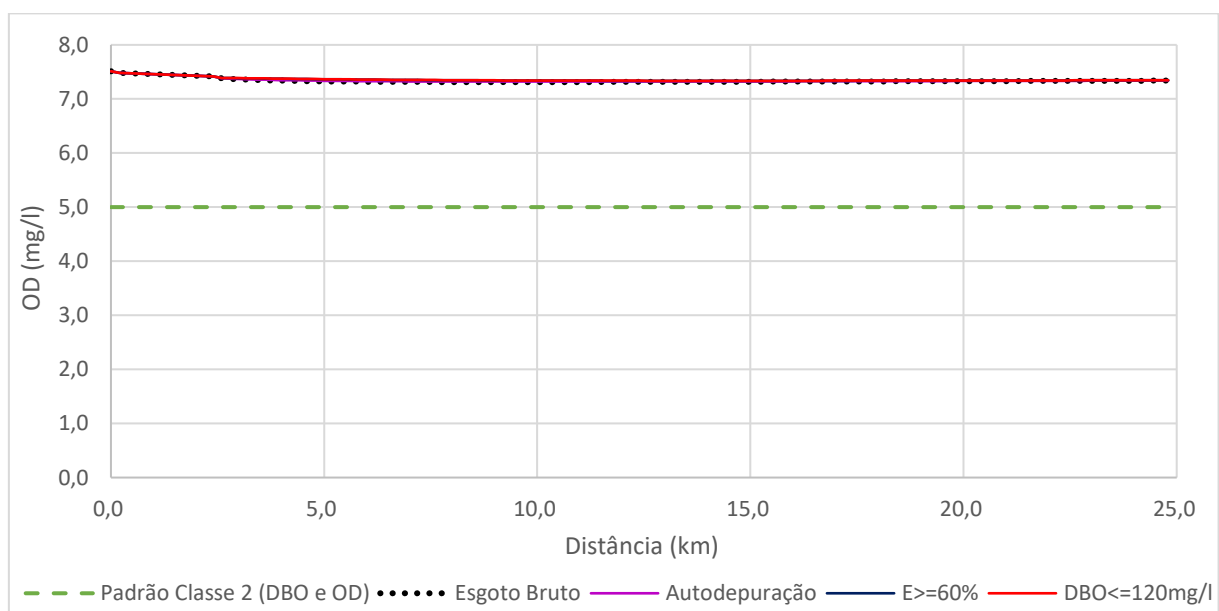
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 11 - Perfil de DBO no rio Batatal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



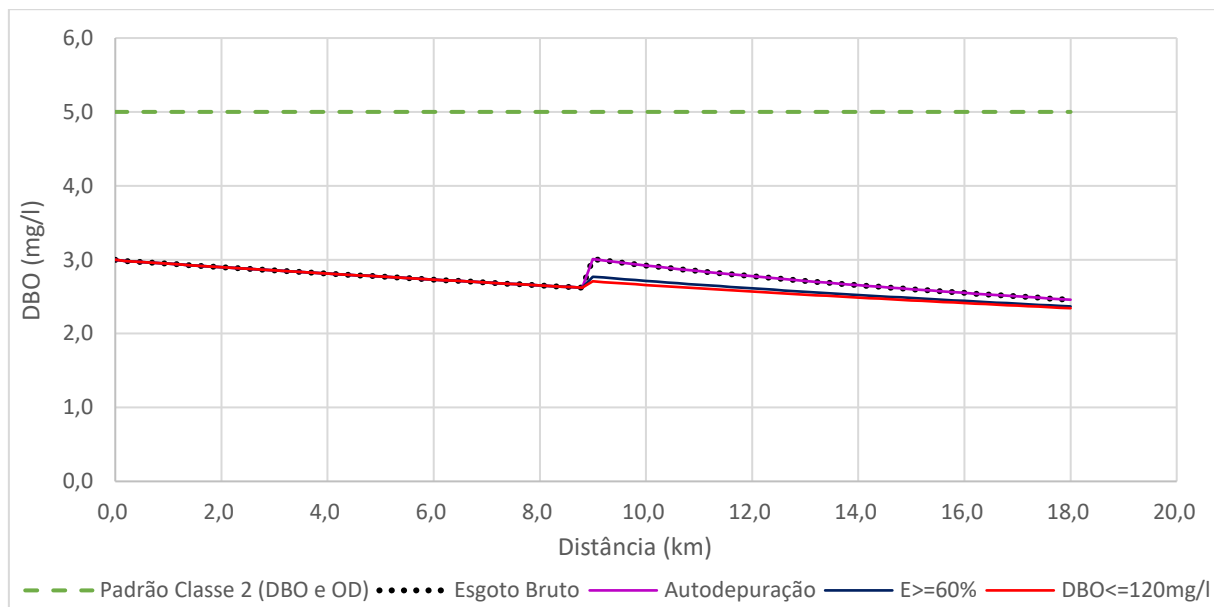
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 12 - Perfil de OD no rio Batatal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



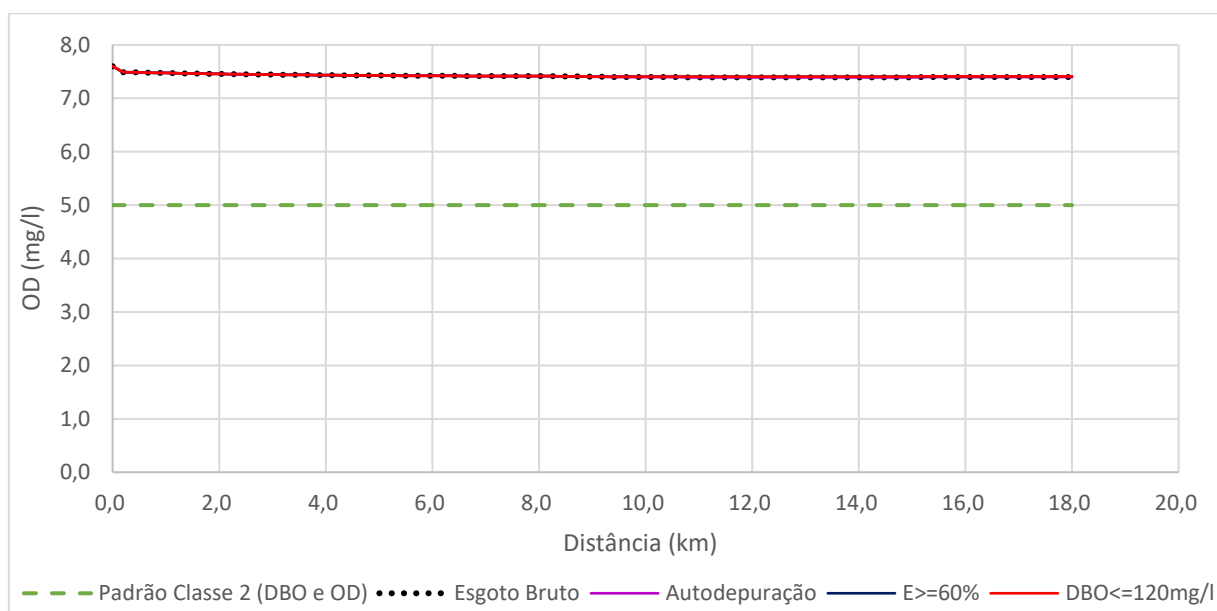
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 13 - Perfil de DBO no rio Caco do Pote considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



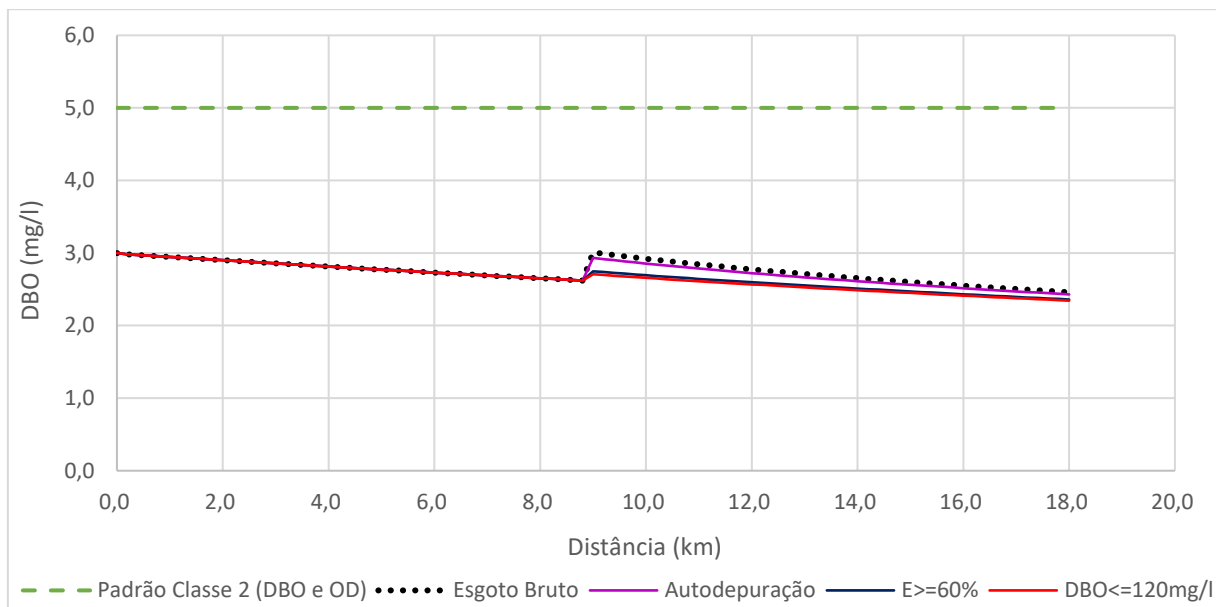
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 14 - Perfil de OD no rio Caco do Pote considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



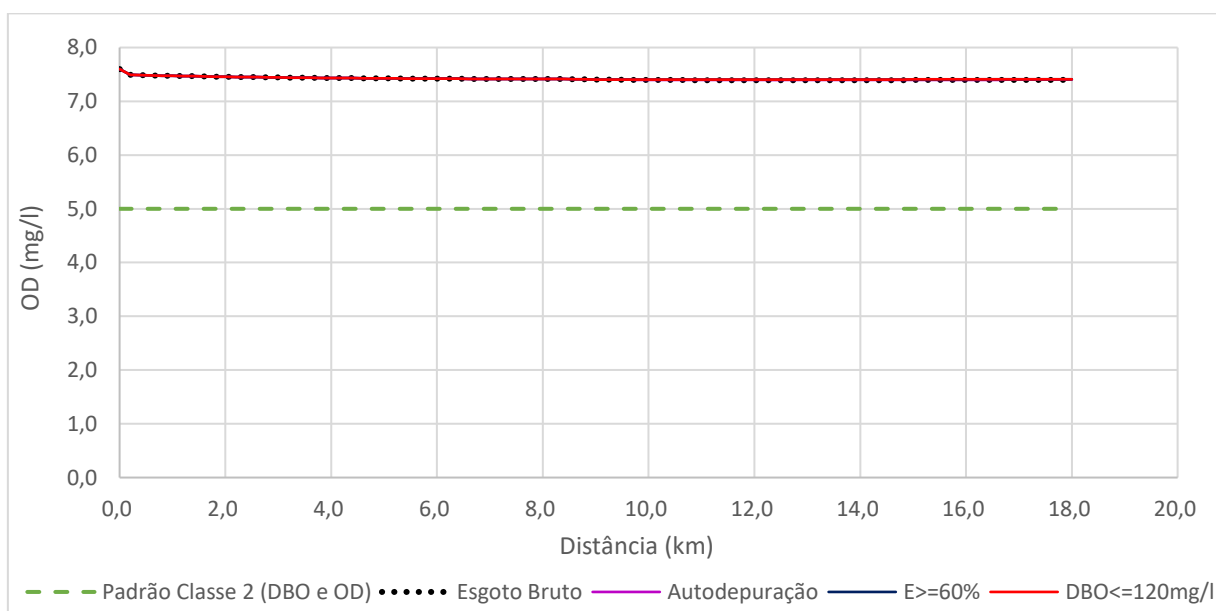
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 15 - Perfil de DBO no rio Caco do Pote considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



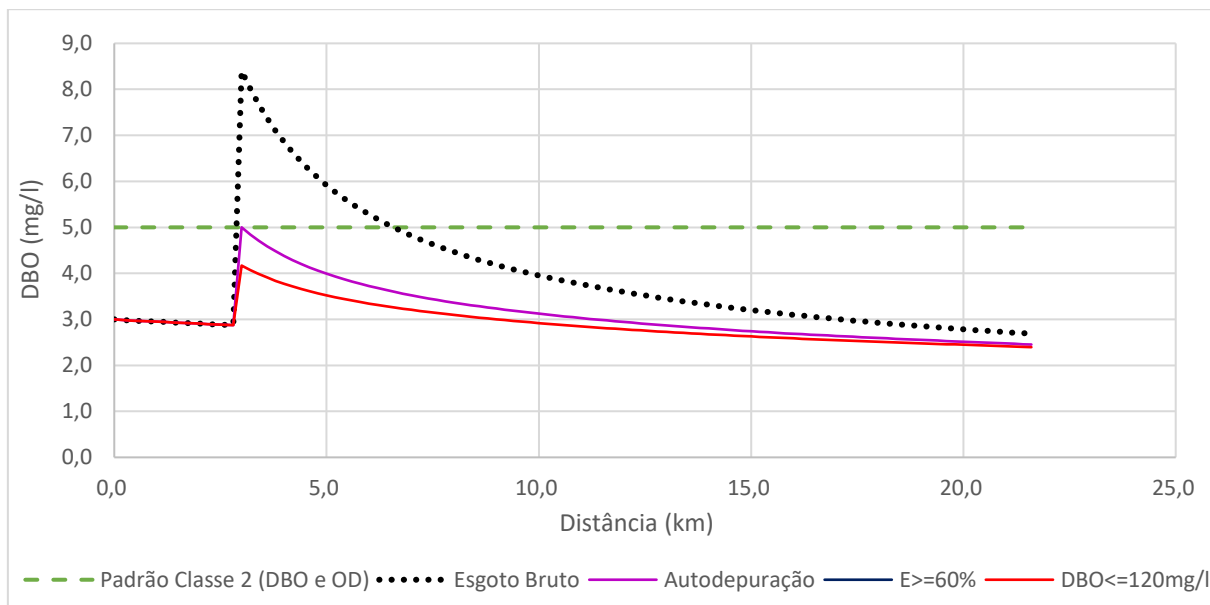
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 16 - Perfil de OD no rio Caco do Pote considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



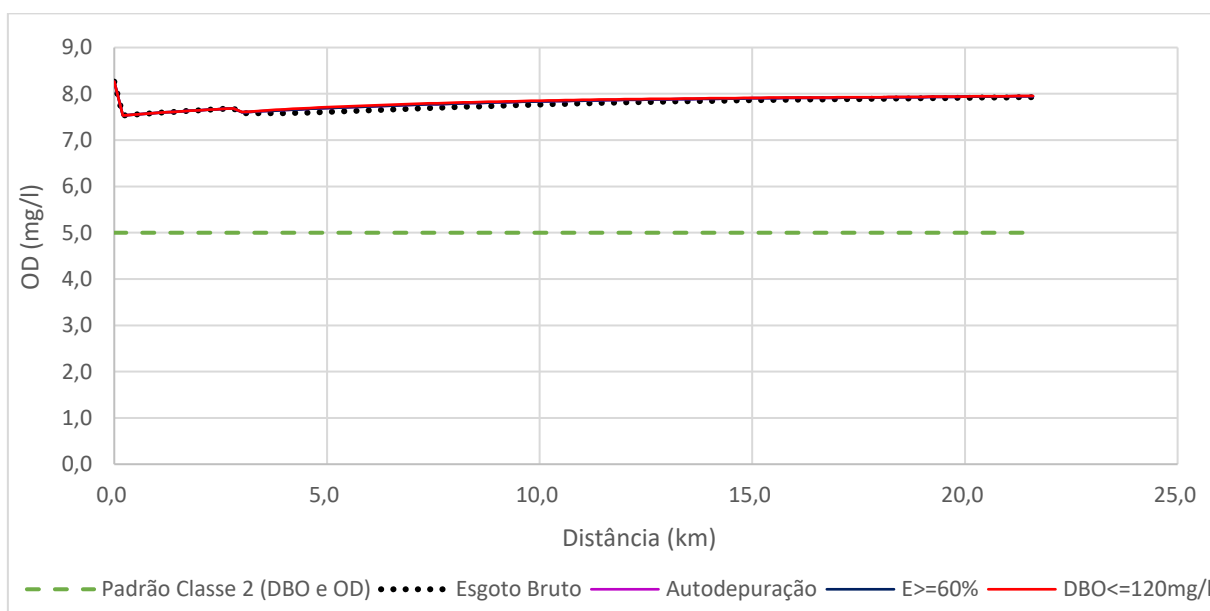
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 17 - Perfil de DBO no rio Pongal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



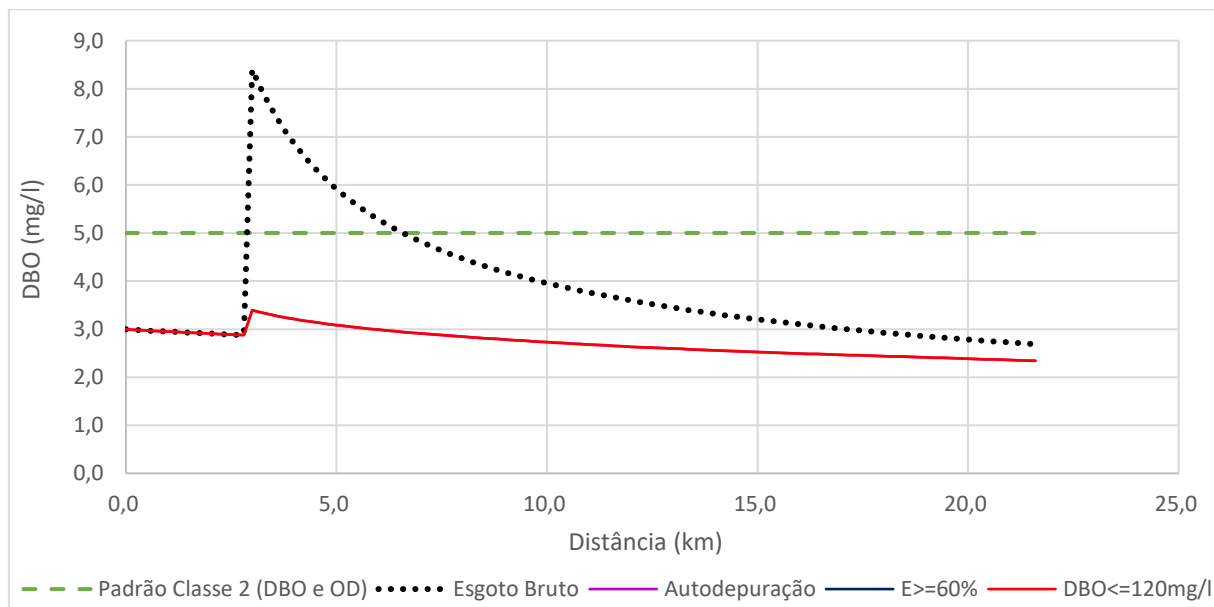
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 18 - Perfil de OD no rio Pongal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 01



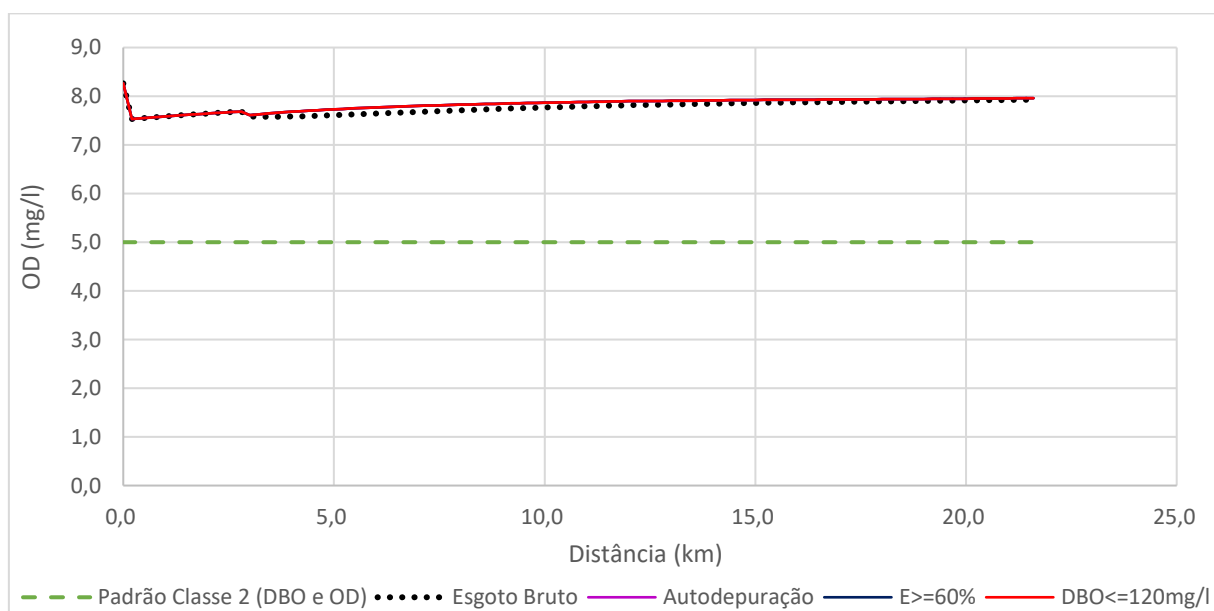
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 19 - Perfil de DBO no rio Pongal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura B. 20 - Perfil de OD no rio Pongal considerando as condições de lançamento conforme eficiências estimadas pela Função Objetivo 03



Fonte: Autoria própria (2020).

APÊNDICE C – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto para os distritos

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continua)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,436	0,433	0,488	0,488	0,505			0,555		0,512					0,396	0,373	
	6º	8º	5º	5º	3º			1º		2º					11º	14º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Urânia			0,488	0,488	0,505			0,555		0,512					0,396	0,373	
			5º	5º	3º			1º		2º					9º	12º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,488	0,505			0,555		0,512					0,396		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,390	0,420	0,497										0,406	0,435		0,380
		12º	9º	4º										10º	7º		13º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Urânia		0,390	0,420	0,497										0,406	0,435		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,390	0,420	0,497										0,406	0,435		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,435	0,431	0,487	0,487	0,504			0,553		0,511					0,395	0,371	
	6º	8º	5º	5º	3º			1º		2º					11º	14º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Matilde			0,487	0,487	0,504			0,553		0,511					0,395	0,371	
			5º	5º	3º			1º		2º					9º	12º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
			0,487	0,504				0,553		0,511					0,395		
			5º	3º				1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,389	0,419	0,496										0,406	0,434		0,380
		12º	9º	4º										10º	7º		13º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Matilde		0,389	0,419	0,496										0,406	0,434		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,389	0,419	0,496										0,406	0,434		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,431	0,428	0,485	0,484	0,501			0,551		0,508					0,393	0,368	
	8º	9º	5º	6º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Ibitiruí			0,485	0,484	0,501			0,551		0,508					0,393	0,368	
			5º	6º	3º			1º		2º					10º	13º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,484	0,501			0,551		0,508					0,393		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,386	0,416	0,494										0,404	0,432		0,378
		13º	10º	4º										11º	7º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Ibitiruí		0,386	0,416	0,494										0,404	0,432		0,378
		11º	8º	4º										9º	7º		12º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,386	0,416	0,494										0,404	0,432		0,378
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,449	0,445	0,494	0,500	0,517			0,564		0,522					0,405	0,385	
	7º	8º	6º	5º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Crubixá			0,494	0,500	0,517			0,564		0,522					0,405	0,385	
			6º	5º	3º			1º		2º					10º	13º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,500	0,517			0,564		0,522					0,405		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,401	0,430	0,508										0,413	0,441		0,387
		13º	10º	4º										11º	9º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Crubixá		0,401	0,430	0,508										0,413	0,441		0,387
		11º	8º	4º										9º	7º		12º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,401	0,430	0,508										0,413	0,441		0,387
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,431	0,428	0,486	0,484	0,501			0,551		0,509					0,393	0,369	
	8º	9º	5º	6º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Sagrada Família			0,486	0,484	0,501			0,551		0,509					0,393	0,369	
			5º	6º	3º			1º		2º					10º	13º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,484	0,501			0,551		0,509					0,393		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,386	0,416	0,494										0,404	0,433		0,378
		13º	10º	4º										11º	7º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Sagrada Família		0,386	0,416	0,494										0,404	0,433		0,378
		11º	8º	4º										9º	7º		12º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,386	0,416	0,494										0,404	0,433		0,378
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,429	0,426	0,484	0,482	0,499			0,550		0,507					0,392	0,366	
	8º	9º	5º	6º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Aparecida			0,484	0,482	0,499			0,550		0,507					0,392	0,366	
			5º	6º	3º			1º		2º					10º	13º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,482	0,499			0,550		0,507					0,392		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,384	0,415	0,492											0,403	0,432		0,377
	13º	10º	4º											11º	7º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Aparecida	0,384	0,415	0,492											0,403	0,432		0,377
	11º	8º	4º											9º	7º		12º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
	0,384	0,415	0,492											0,403	0,432		0,377
	10º	7º	4º											8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,412	0,411	0,475	0,469	0,487	0,399	0,339	0,539	0,527	0,497					0,381	0,349	0,341
	9º	10º	6º	7º	4º	14º	24º	1º	2º	3º					17º	22º	23º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Alfredo Chaves			0,475	0,469	0,487	0,399	0,339	0,539	0,527	0,497					0,381	0,349	0,341
			6º	7º	4º	13º	23º	1º	2º	3º					16º	21º	22º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
			0,469	0,487	0,399	0,339	0,539	0,527	0,497						0,381		0,341
			6º	4º	12º	21º	1º	2º	3º						15º		20º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,338	0,370	0,402	0,481	0,355	0,308		0,334	0,386	0,410	0,353	0,405	0,411	0,394	0,423	0,330	0,368
	25°	18°	13°	5°	20°	28°		26°	16°	11°	21°	12°	10°	15°	8°	27°	19°
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Alfredo Chaves	0,338	0,370	0,402	0,481	0,355	0,308		0,334	0,386	0,410	0,353	0,405	0,411	0,394	0,423	0,330	0,368
	24°	17°	12°	5°	19°	27°		25°	15°	10°	20°	11°	9°	14°	8°	26°	18°
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
	0,338	0,370	0,402	0,481	0,355	0,308		0,334	0,386	0,410	0,353	0,405	0,411	0,394	0,423	0,330	0,368
	22°	16°	11°	5°	18°	25°		23°	14°	9°	19°	10°	8°	13°	7°	24°	17°

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,421	0,419	0,480	0,476	0,493	0,407	0,346	0,545	0,536	0,502					0,387	0,358	0,348
	9º	10º	6º	7º	4º	14º	24º	1º	2º	3º					17º	21º	23º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Jabaquara			0,480	0,476	0,493	0,407	0,346	0,545	0,536	0,502					0,387	0,358	0,348
			6º	7º	4º	12º	22º	1º	2º	3º					15º	19º	21º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,476	0,493	0,407	0,346	0,545	0,536	0,502					0,387		0,348
				6º	4º	11º	20º	1º	2º	3º					14º		19º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,344	0,378	0,409	0,487	0,364	0,317		0,338	0,391	0,414	0,357	0,409	0,415	0,399	0,428	0,335	0,373
	25°	18°	13°	5°	20°	28°		26°	16°	12°	22°	13°	11°	15°	8°	27°	19°
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Jabaquara	0,344	0,378	0,409	0,487	0,364	0,317		0,338	0,391	0,414	0,357	0,409	0,415	0,399	0,428	0,335	0,373
	23°	16°	11°	5°	18°	26°		24°	14°	10°	20°	11°	9°	13°	8°	25°	17°
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
	0,344	0,378	0,409	0,487	0,364	0,317		0,338	0,391	0,414	0,357	0,409	0,415	0,399	0,428	0,335	0,373
	21°	15°	10°	5°	17°	24°		22°	13°	9°	18°	10°	8°	12°	7°	23°	16°

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																	
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0	
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																		
Alto Pongal			0,480	0,475	0,493	0,407	0,345	0,544	0,536	0,502						0,387	0,358	0,348
			6º	7º	4º	12º	22º	1º	2º	3º						15º	19º	21º
	Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
			0,480	0,475	0,493	0,407	0,345	0,544	0,536	0,502						0,387	0,358	0,348
			6º	7º	4º	12º	22º	1º	2º	3º						15º	19º	21º
	Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,475	0,493	0,407	0,345	0,544	0,536	0,502						0,387	0,348	
				6º	4º	11º	20º	1º	2º	3º						14º	19º	

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 1 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 01

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
Alto Pongal	0,344	0,377	0,409	0,487	0,364	0,316		0,338	0,390	0,414	0,357	0,409	0,415	0,398	0,427	0,335	0,372
	23°	16°	11°	5°	18°	26°		24°	14°	10°	20°	11°	9°	13°	8°	25°	17°
	Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																
Alto Pongal	0,344	0,377	0,409	0,487	0,364	0,316		0,338	0,390	0,414	0,357	0,409	0,415	0,398	0,427	0,335	0,372
	23°	16°	11°	5°	18°	26°		24°	14°	10°	20°	11°	9°	13°	8°	25°	17°
	Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																
Alto Pongal	0,344	0,377	0,409	0,487	0,364	0,316		0,338	0,390	0,414	0,357	0,409	0,415	0,398	0,427	0,335	0,372
	21°	15°	10°	5°	17°	24°		22°	13°	9°	18°	10°	8°	12°	7°	23°	16°

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

Fonte: Autoria própria (2020).

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continua)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,436	0,433	0,488	0,488	0,505			0,555		0,512					0,396	0,373	
	6º	8º	5º	5º	3º			1º		2º					11º	14º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Urânia			0,488	0,488	0,505			0,555		0,512					0,396	0,373	
			5º	5º	3º			1º		2º					9º	12º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,488	0,505			0,555		0,512					0,396		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,390	0,420	0,497										0,406	0,435		0,380
		12º	9º	4º										10º	7º		13º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Urânia		0,390	0,420	0,497										0,406	0,435		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,390	0,420	0,497										0,406	0,435		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,435	0,431	0,487	0,487	0,504			0,553		0,511					0,395	0,371	
	6º	8º	5º	5º	3º			1º		2º					11º	14º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Matilde			0,487	0,487	0,504			0,553		0,511					0,395	0,371	
			5º	5º	3º			1º		2º					9º	12º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,487	0,504			0,553		0,511					0,395		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,389	0,419	0,496										0,406	0,434		0,380
		12º	9º	4º										10º	7º		13º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Matilde		0,389	0,419	0,496										0,406	0,434		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,389	0,419	0,496										0,406	0,434		0,380
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,431	0,428	0,485	0,484	0,501			0,551		0,508					0,393	0,368	
	8º	9º	5º	6º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Ibitiruí				0,484	0,501			0,551		0,508					0,393		
				5º	3º			1º		2º					9º		
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,484	0,501			0,551		0,508					0,393		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,386	0,416	0,494											0,404	0,432		0,378
	13º	10º	4º											11º	7º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Ibitiruí	0,386	0,416	0,494											0,404	0,432		0,378
	10º	7º	4º											8º	6º		11º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
	0,386	0,416	0,494											0,404	0,432		0,378
	10º	7º	4º											8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,449	0,445	0,494	0,500	0,517			0,564		0,522					0,405	0,385	
	7º	8º	6º	5º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Crubixá			0,494	0,500	0,517			0,564		0,522					0,405	0,385	
			6º	5º	3º			1º		2º					10º	13º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,500	0,517			0,564		0,522					0,405		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,401	0,430	0,508											0,413	0,441		0,387
	13º	10º	4º											11º	9º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Crubixá	0,401	0,430	0,508											0,413	0,441		0,387
	11º	8º	4º											9º	7º		12º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
	0,401	0,430	0,508											0,413	0,441		0,387
	10º	7º	4º											8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,431	0,428	0,486	0,484	0,501			0,551		0,509					0,393	0,369	
	8º	9º	5º	6º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Sagrada Família				0,484	0,501			0,551		0,509					0,393	0,369	
				5º	3º			1º		2º					9º	12º	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
				0,484	0,501			0,551		0,509					0,393		
				5º	3º			1º		2º					9º		

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
		0,386	0,416	0,494										0,404	0,433		0,378
		13º	10º	4º										11º	7º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Sagrada Família		0,386	0,416	0,494										0,404	0,433		0,378
		10º	7º	4º										8º	6º		11º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
		0,386	0,416	0,494										0,404	0,433		0,378
		10º	7º	4º										8º	6º		11º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,429	0,426	0,484	0,482	0,499			0,550		0,507					0,392	0,366	
	8º	9º	5º	6º	3º			1º		2º					12º	15º	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Aparecida										0,507							
										1º							
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,384	0,415	0,492											0,403	0,432		0,377
	13º	10º	4º											11º	7º		14º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Aparecida		0,415												0,403			0,377
		2º												3º			4º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
																	0,377
																	1º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Alfredo																	
Chaves																	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
									0,386	0,410			0,411			0,330	0,368
									3º	2º			1º			5º	4º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Alfredo Chaves									0,386	0,410			0,411			0,330	0,368
									3º	2º			1º			5º	4º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
									0,386	0,410			0,411			0,330	0,368
									3º	2º			1º			5º	4º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
										0,502							
										1º							
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Jabaquara																	
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
	0,344	0,409						0,338	0,391	0,414	0,357	0,409	0,415	0,399	0,428	0,335	0,373
	11º	5º						12º	7º	4º	9º	5º	3º	6º	2º	13º	8º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Jabaquara								0,391	0,414				0,415			0,335	0,373
								3º	2º				1º			5º	4º
Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																	
								0,391	0,414				0,415			0,335	0,373
								3º	2º				1º			5º	4º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
E (%)	32,5	32,5	62,5	80,0	80,0	80,0	80,0	82,5	82,5	87,5	94,5	91,5	85,0	85,0	82,5	67,5	88,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
Alto Pongal	Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																
	Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

TABELA C. 2 – Ranking das tecnologias de tratamento de esgoto referente a Função Objetivo 03

(continuação)

Distrito	Tecnologias																
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
E (%)	88,0	81,0	86,5	82,0	80,0	80,0	83,5	89,0	93,5	93,5	89,0	89,0	95,5	89,0	85,0	92,0	92,0
Condição de lançamento 01 (Autodepuração)																	
									0,390	0,414			0,415			0,335	0,372
									3º	2º			1º			5º	4º
Condição de lançamento 02 (E ≥ 60%)																	
Alto Pongal									0,390	0,414			0,415			0,335	0,372
									3º	2º			1º			5º	4º
	Condição de lançamento 03 (DBO ≤ 120mg/l)																
									0,390	0,414			0,415			0,335	0,372
									3º	2º			1º			5º	4º

Nota: A1 – Tratamento primário (Tanques sépticos), A2 - Tratamento primário convencional, A3 - Tratamento primário avançado, A4 - Lagoa facultativa, A5 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa, A6 - Lagoa aerada facultativa, A7 - Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa de sedimentação, A8 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação, A9 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa, A10 - Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Remoção de algas, A11 - Infiltração lenta, A12 - Infiltração rápida, A13 - Escoamento superficial, A14 – Terras úmidas construídas (Wetlands), A15 - Tanque séptico + Filtro anaeróbio, A16 - Reator UASB, A17 - UASB + Lodos ativados, A18 - UASB + Biofiltro aerado submerso, A19 - UASB + Filtro anaeróbio, A20 - UASB + Filtro biológico de alta carga, A21 - UASB + Lagoas de polimento, A22 - UASB + Lagoa aerada facultativa, A23 - UASB + Lagoa aerada de mistura completa + Lagoa decantação, A24 - UASB + Escoamento superficial, A25 - Lodos ativados convencional, A26 - Lodos ativados de aeração prolongada, A27 - Lodos ativados por batelada, A28 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N, A29 - Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, A30 – Lodos ativados convencional + Filtração terciária, A31 - Filtro biológico percolador de baixa carga, A32 - Filtro biológico percolador de alta carga, A33 - Biofiltro aerado submerso com nitrificação, A34 - Tanque séptico + Biodisco.

Fonte: Autoria própria (2020).