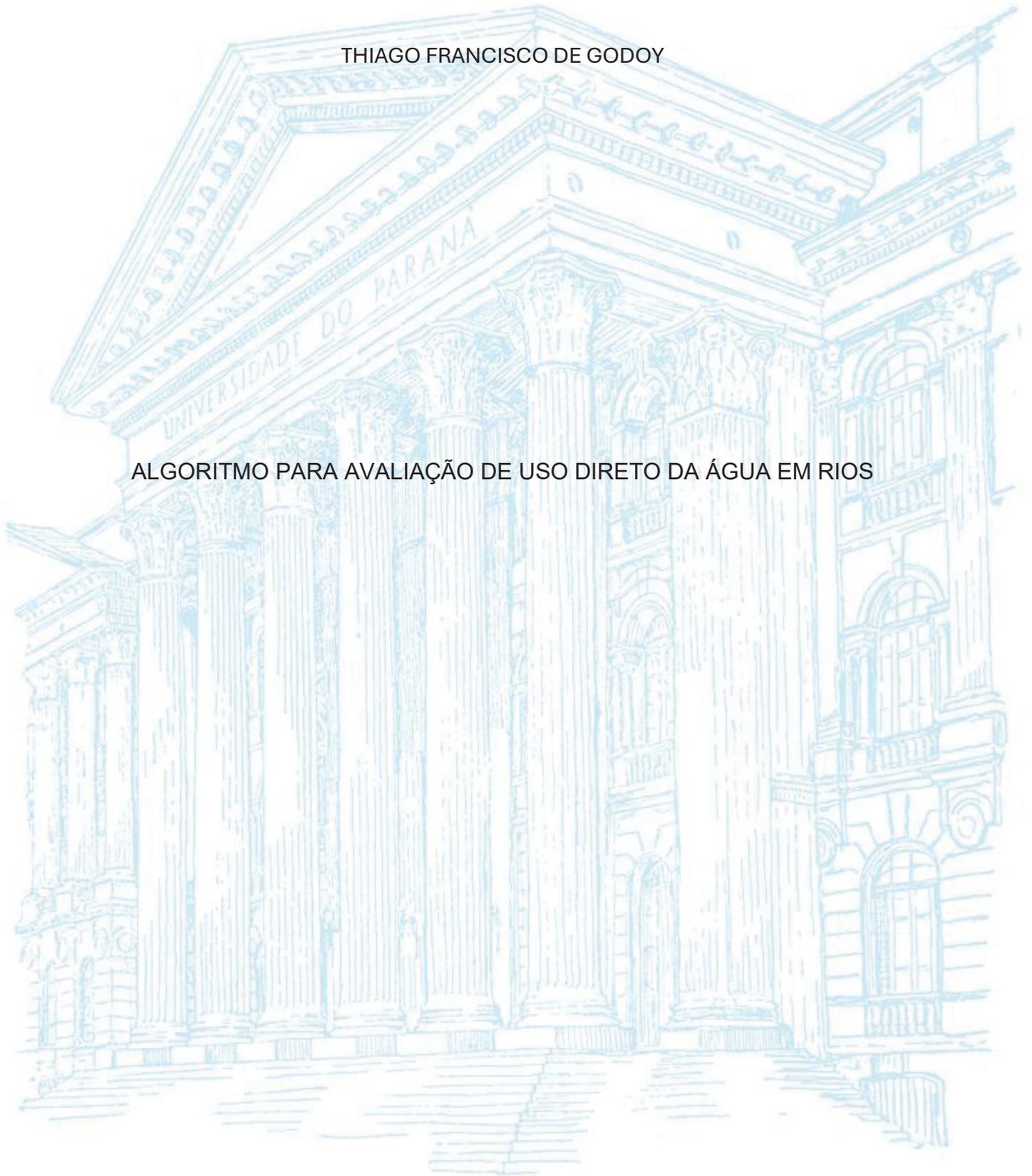


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO FRANCISCO DE GODOY

ALGORITMO PARA AVALIAÇÃO DE USO DIRETO DA ÁGUA EM RIOS



CURITIBA  
2025

THIAGO FRANCISCO DE GODOY

## ALGORITMO PARA AVALIAÇÃO DE USO DIRETO DA ÁGUA EM RIOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes

CURITIBA  
2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Godoy, Thiago Francisco de  
Algoritmo para avaliação de uso direto da água em rios / Thiago Francisco  
de Godoy. – Curitiba, 2025.  
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos  
Hídricos e Ambiental.

Orientador: Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Efluentes – Tratamento. 3.  
Oxigênio. 4. Bioquímica. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. III.  
Fernandes, Cristovão Vicente Scapulatempo. IV. Título.

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **THIAGO FRANCISCO DE GODOY**, intitulada: **Algoritmo para avaliação de uso direto da água em rios**, sob orientação do Prof. Dr. CRISTOVÃO VICENTE SCAPULATEMPO FERNANDES, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 21 de Fevereiro de 2025.

Assinatura Eletrônica

25/03/2025 16:44:46.0

CRISTOVÃO VICENTE SCAPULATEMPO FERNANDES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

22/02/2025 08:06:57.0

NICOLAS LOPARDO

Avaliador Externo (PPGERHA )

Assinatura Eletrônica

21/02/2025 14:46:45.0

HELOISE GARCIA KNAPIK

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

21/02/2025 15:07:39.0

MIGUEL MANSUR AISSE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

22/02/2025 09:21:26.0

GUILHERME SAMWAYS

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) pela infraestrutura e condições proporcionadas ao desenvolvimento desta pesquisa, bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, sem os quais a realização deste trabalho não teria sido possível.

Manifesto minha profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Cristóvão V. S. Fernandes, pela acolhida, orientação dedicada e constante incentivo ao longo do mestrado. Seu apoio foi essencial não apenas no âmbito acadêmico, mas também como mentor nos momentos mais desafiadores desta jornada.

Agradeço, com carinho, aos meus pais, Edilson e Marcia, e aos meus irmãos, Junior e Rhianny, por serem meu alicerce. Seu apoio incondicional, alegria e presença, mesmo à distância, foram fundamentais para que eu mantivesse o ânimo e a motivação nos momentos difíceis.

Aos amigos que estiveram ao meu lado ao longo deste percurso, meus sinceros agradecimentos. Ao Marcelo Takenobu, pela companhia diária nas longas horas de estudo e pelas conversas que tornaram os dias mais leves. À Larissa Maciel Ticianel, pela escuta atenta, pelas orientações e pelos momentos de descontração entre cafés e encontros que amenizaram a saudade da família. À Giovana Andrade Assis, pela amizade e conversas reflexivas, mesmo à distância, e ao João Pandino, pelo apoio constante e pelas palavras de ânimo nos momentos de maior sensibilidade. A convivência com vocês foi essencial para que eu me mantivesse centrado, e, embora não sejam da minha família biológica, os considero como tal.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta caminhada — direta ou indiretamente — deixo aqui meu muito obrigado. Este trabalho é, sem dúvida, resultado da soma de cada contribuição, apoio e gesto de incentivo recebidos ao longo dessa trajetória.

## RESUMO

A presente dissertação propõe o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para apoiar a tomada de decisão na gestão de bacias hidrográficas urbanas, com foco na seleção de tecnologias de tratamento de efluentes capazes de restaurar a qualidade da água em rios poluídos. A rotina foi implementada em Excel e permite simular diferentes combinações de tratamento primário, secundário e terciário, com base em dados de vazão e concentração de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), além de considerar a classe de qualidade hídrica desejada, conforme a Resolução CONAMA nº 357/05. A lógica do algoritmo foi estruturada para identificar a menor eficiência necessária de remoção que permita atingir os padrões definidos. A metodologia foi aplicada ao trecho IG-4 do Rio Iguaçu, situado na Região Metropolitana de Curitiba, sendo analisadas quatro estratégias experimentais com diferentes abordagens de cálculo da carga de DBO, a partir das curvas de permanência de vazão, concentração e DBO. Os resultados demonstraram a aplicabilidade da ferramenta, permitindo simulações comparativas entre diferentes cenários de captação, usos múltiplos e lançamento de tratado no rio, como forma de diluição de carga, com estimativas de eficiência e custo.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos; Tratamento de efluentes; Curva de permanência; Ferramenta de apoio à decisão; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

## **ABSTRACT**

This dissertation presents the development of a computational tool to support decision-making in the management of urban watersheds, focusing on the selection of wastewater treatment technologies capable of restoring water quality in polluted rivers. The routine was implemented in Excel and enables the simulation of different combinations of primary, secondary, and tertiary treatments, based on flow rate and BOD (Biochemical Oxygen Demand) data, as well as the desired water quality class, according to Brazilian Resolution CONAMA nº 357/05. The algorithm logic was designed to identify the lowest removal efficiency necessary to meet the established standards. The methodology was applied to the IG-4 section of the Iguaçu River, located in the Metropolitan Region of Curitiba, through four experimental strategies using different approaches to calculate BOD load based on flow duration curves, BOD concentration, and BOD load. The results demonstrated the applicability of the tool, allowing comparative simulations between different scenarios of river water abstraction, multipurpose reuse, and treated effluent discharge as a dilution mechanism, with efficiency and cost estimates.

**Keywords:** Water resources management; Wastewater treatment; Flow duration curve; Decision-support tool; Biochemical Oxygen Demand (BOD).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma lógico da ferramenta.....	40
Figura 2 - Esquema ilustrativo do processo de coleta e tratamento .....	42
Figura 3 - Gráficos resumo da simulação.....	47
Figura 4 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio .....	48
Figura 5 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 10% de captação da vazão do rio .....	49
Figura 6 - Eficiências de tratamentos para 10% de captação da vazão do rio .	49
Figura 7 – Bacia do alto iguaçu.....	63
Figura 8 – Pontos de monitoramento da bacia do alto iguaçu.....	64
Figura 9 – Uso do solo para o ponto ig4 .....	65
Figura 10 – Projeções populacionais para a RMC.....	66
Figura 11 – Fluviograma do ponto ig4, dos anos de 2005 a 2016.....	67
Figura 12 – Curva de permanência da concentração de DBO, dos anos de 2005 a 2016.....	68
Figura 13 – Curva de permanência da vazão, dos anos de 2005 a 2016 .....	69
Figura 14 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 1.....	75
Figura 15 - Concentração de DBO e carga diária para 10% de captação da vazão do rio .....	80
Figura 16 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio .....	81
Figura 17 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 10% de captação da vazão do rio .....	82
Figura 18 - Eficiências de tratamentos para 10% de captação da vazão do rio	82
Figura 19 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 2.....	84
Figura 20 - Concentração de DBO e carga diária para vazão da curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	88
Figura 21 - Eficiências de tratamentos para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%.....	88
Figura 22 - Custo de cada tecnologia para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%.....	89
Figura 23 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	90
Figura 24 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	90
Figura 25 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	91
Figura 26 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 3.....	92
Figura 27 - Curva de permanência da carga diária de DBO.....	93
Figura 28 - Curva de vazão para curva de permanência da carga diária de DBO .....	94
Figura 29 - Curva da concentração de DBO para curva de permanência da carga diária de DBO.....	95

Figura 30 - Concentração de DBO e carga diária para 10% de captação da vazão do rio .....	99
Figura 31 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio .....	100
Figura 32 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 10% de captação da vazão do rio .....	100
Figura 33 - Eficiências de tratamentos para 10% de captação da vazão do rio .....	101
Figura 34 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 4...	103
Figura 35 - Curva de permanência da carga diária de DBO.....	104
Figura 36 - Vazão seção ig4 (m <sup>3</sup> /s) x frequência da curva de permanência da carga diária de DBO (%).....	105
Figura 37 - Concentração de DBO da seção ig4 (mg/l) x frequência da curva de permanência da carga diária de DBO (%).....	106
Figura 38 - Concentração de DBO e carga diária para vazão da curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	109
Figura 39 - Eficiências de tratamentos para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	110
Figura 40 - Custo de cada tecnologia para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	110
Figura 41 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	111
Figura 42 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	111
Figura 43 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% .....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das simulações .....	46
Tabela 2 - Eficiências médias de tratamento primário .....	55
Tabela 3 - Eficiência média de tratamento secundário .....	57
Tabela 4 - Eficiência média de tratamento terciário .....	60
Tabela 5 - Dados de vazão da seção IG4 e de entrada no sistema de tratamento.....	76
Tabela 6 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis .....	77
Tabela 7 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	77
Tabela 8 - Cesta de medidas de tratamentos secundários .....	78
Tabela 9 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos.....	79
Tabela 10 - Resumo do balanço de massa da simulação .....	80
Tabela 11 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento.....	85
Tabela 12 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	86
Tabela 13 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	86
Tabela 14 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	86
Tabela 15 - Resumo do balanço de massa da simulação .....	87
Tabela 16 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento.....	95
Tabela 17 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis .....	96
Tabela 18 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	97
Tabela 19 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	97
Tabela 20 - Tabela resumo do balanço de massa da simulação.....	98
Tabela 21 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento.....	106
Tabela 22 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	107
Tabela 23 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	107
Tabela 24 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos .....	107
Tabela 25 - Tabela resumo do balanço de massa da simulação.....	108
Tabela 26 – Resumo dos resultados de vazão e concentração de DBO para as estratégias experimentais 1 e 2 .....	113
Tabela 27 – Resumo dos métodos de tratamento escolhidos, eficiência de remoção de DBO e concentração de DBO remanescente após os tratamentos primário, secundário e terciário para as estratégias .....	114

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1. OBJETIVOS .....	24
1.1.1 Objetivo Geral.....	24
1.1.2 Objetivos Específicos .....	25
1.2. SÍNTESE DO MÉTODO .....	25
1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	25
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	27
2.1. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	27
2.2. PANORAMA GERAL DE TRATAMENTO E COLETA DE ESGOTO NO BRASIL .....	28
2.2.1 Esgoto Coletado e tratado .....	31
2.2.2 Coletado e não tratado .....	31
2.2.3 Não Coletado e Não tratado .....	32
2.3. COMO ESSE PANORAMA AFETA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS..	32
2.4. BACIAS CRÍTICAS.....	35
2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	38
<b>3. ESTRATÉGIA DE REMOÇÃO DE CARGA EM RIOS POLUÍDOS</b> .....	39
3.1. O ALGORITMO .....	40
3.2. RESULTADOS OBTIDOS .....	44
3.3. LIMITAÇÕES.....	50
<b>4. ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES</b> .....	51
4.1. TRATAMENTO PRIMÁRIO .....	53
4.2. TRATAMENTO SECUNDÁRIO .....	55
4.3. TRATAMENTO TERCIÁRIO.....	59
4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	60
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	60
5.1. A BACIA DO ALTO IGUAÇU .....	60
5.2. O PONTO DE MONITORAMENTO IG4.....	63
5.3. FERRAMENTA COMPUTACIONAL .....	69
<b>6. ESTUDO DE CASO PARA O PONTO DE MONITORAMENTO IG4 NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA</b> .....	72
6.1. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 1 (EE1).....	74
6.2. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 2 (EE2).....	83
6.3. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 3 (EE3).....	91

6.4.	ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 4 (EE4).....	102
6.5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	113
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>118</b>
7.1.	LIMITAÇÕES DA ROTINA.....	119
7.2.	INDICAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	120
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>122</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas impactam significativamente o ambiente ecológico dos rios. A descarga de esgotos urbanos e industriais, junto com o uso excessivo de pesticidas e fertilizantes nas áreas agrícolas, contribui substancialmente para a poluição das águas superficiais e o excesso de nutrientes nos recursos de água doce (Chen et al., 2019). Essas fontes de poluição exigem abordagens integradas e colaborativas para mitigar seus impactos negativos.

Identificar os fatores responsáveis pela degradação dos ecossistemas é crucial para iniciar a reabilitação sistemática dos rios. Entre os principais agentes causadores de alteração dos habitats e ecossistemas, destacam-se a energia hidroelétrica, a navegação, a agricultura, a proteção contra inundações e o desenvolvimento urbano. Ayres et al. (2014) destaca que essas pressões afetam mais de 48% dos rios e riachos da União Europeia. Portanto, encontrar maneiras de lidar com essas pressões é essencial para promover a recuperação e preservação dos ecossistemas fluviais.

No contexto específico das bacias hidrográficas urbanas, o controle da poluição da água emerge como uma questão crítica, onde a redução dos poluentes ao menor custo possível torna-se uma prioridade estratégica. Os rios urbanos, estão particularmente vulneráveis à poluição e possuem pouca efetividade no processo de autodepuração (Zeng et al., 2020),

Assim, estratégias eficazes de gestão são imperativas para proteger esses ecossistemas vitais e a inclusão de considerações econômicas nesse processo é essencial para garantir a eficiência e sustentabilidade das intervenções. Além disso, é essencial considerar tanto os desafios financeiros significativos quanto os benefícios gerados por tais projetos.

Os custos elevados que as ações demandam podem exercer uma pressão considerável sobre os administradores urbanos, especialmente em países em desenvolvimento, Gunawardena et al. (2018) e Zeng et al. (2020). Essa preocupação com os custos adiciona uma camada de complexidade à busca por abordagens eficientes e sustentáveis para a melhoria da qualidade hídrica.

Sob a perspectiva ecológica e social, os investimentos na despoluição e recuperação de rios refletem na melhoria da qualidade dos corpos hídricos, apresentando diversos benefícios. A despoluição dos rios não só melhora a saúde ambiental e a biodiversidade, mas também atribui um valor econômico aos rios urbanos, que até então eram vistos apenas como recursos desperdiçados. Mesmo que o tratamento do rio não atinja o padrão de potabilidade, a água pode ser destinada a usos distintos, reduzindo a demanda por água potável e gerando economia. Assim, esses investimentos agregam valor ao recurso hídrico, promovendo sua utilização sustentável e eficiente.

Os benefícios decorrentes da alteração e gestão dos rios revertem para a sociedade em geral através dos bens e serviços econômicos que esses ecossistemas sustentam. Isso ressalta a importância, não apenas para o meio ambiente e as comunidades locais, mas também para a economia em geral, da restauração e manejo adequado dos recursos hídricos. Neste contexto, esta pesquisa apresenta uma ferramenta para auxiliar os gestores de bacias na escolha de métodos para tratamento de rios poluídos, considerando os mesmos como efluentes domésticos, visando usos múltiplos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é proporcionar elementos aos gestores de recursos hídricos para a tomada de decisão quanto à escolha da eficiência mínima de tecnologias mais adequadas para tratar rios poluídos, particularmente em bacias consideradas críticas. Um algoritmo e a respectiva rotina computacional serão apresentados para permitir gestor inserir as condições específicas do rio, como vazão e concentração, além da classe de qualidade que se pretende alcançar após o tratamento.

A ferramenta terá como base um banco de dados contendo as tecnologias mais amplamente documentadas na literatura e suas respectivas eficiências de remoção. O algoritmo processará os dados fornecidos e apresentará as

tecnologias capazes de atingir os resultados esperados, priorizando aquelas com as menores eficiências necessárias para alcançar o padrão desejado.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são: (i) o desenvolvimento e avaliação da aplicabilidade da ferramenta; (ii) a proposta de definição de combinação de eficiências de tratamento para atingir determinado objetivo; (iii) inserir análise com base na curva de permanências e concentrações de DBO distintas.

## 1.2. SÍNTESE DO MÉTODO

O estudo concentra-se em utilizar a rotina desenvolvida como ferramenta para modelar as condições da seção IG-4, incorporando dados locais de vazão e concentração de poluentes, além de simular a eficácia das tecnologias disponíveis para o tratamento do rio. As tecnologias selecionadas, baseadas em levantamento bibliográfico e evidências científicas, possuem suas eficiências de remoção previamente cadastradas no sistema, permitindo a análise fundamentada sobre quais opções são mais adequadas para a recuperação ambiental do rio.

O foco na classe 2 da Resolução CONAMA nº 357 reflete a busca por um padrão de qualidade de água de rios que permita usos múltiplos, incluindo abastecimento humano, recreação e preservação da biota aquática, em um contexto onde os níveis de poluição impõem barreiras significativas para atingir esse objetivo. Nesse sentido, o trabalho visa identificar tecnologias que atendam a esses requisitos, considerando a eficiência necessária para a remoção de carga orgânica e a diluição de contaminantes.

## 1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação está organizada em sete capítulos, elaborados de forma a proporcionar uma visão completa e estruturada dos temas abordados, desde a introdução e contextualização inicial até as conclusões e recomendações para futuros estudos.

O primeiro capítulo é dedicado à introdução, apresentando os objetivos gerais e específicos que nortearam a pesquisa. Nele, são contextualizados os problemas enfrentados na gestão de recursos hídricos e saneamento básico, bem como a relevância do tema para o desenvolvimento sustentável e a gestão de recursos hídricos.

No segundo capítulo, são abordados os aspectos gerais dos recursos hídricos no Brasil, com ênfase na cobertura e na situação atual do esgotamento sanitário. São discutidos os diferentes cenários de esgoto coletado e tratado, coletado e não tratado, e não coletado e não tratado, além de suas implicações diretas na gestão de recursos hídricos, especialmente em bacias hidrográficas críticas. Esse capítulo oferece o pano de fundo necessário para compreender os desafios enfrentados pela pesquisa.

O terceiro capítulo apresenta a proposta central desta dissertação: o desenvolvimento de uma ferramenta voltada para auxiliar gestores de recursos hídricos na escolha de tecnologias de tratamento de esgoto. Nele, são detalhados os fundamentos teóricos e a lógica de funcionamento do algoritmo, além de ser contextualizado o papel da Resolução CONAMA nº 357 no direcionamento das decisões técnicas. Também são descritos os cálculos envolvidos, o balanço hídrico, e a estruturação das tecnologias em três blocos principais: tratamento primário, secundário e terciário. Adicionalmente, são apresentados os resultados iniciais obtidos para um estudo de caso, incluindo as limitações observadas.

No quarto capítulo, são descritas as tecnologias utilizadas nos tratamentos primário, secundário e terciário, conforme as referências bibliográficas. Este capítulo serve como base técnica para a aplicação da ferramenta proposta, detalhando as características, de cada tecnologia no contexto do saneamento básico.

O quinto capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados na pesquisa, com destaque para a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, que foi o objeto de estudo escolhido. Nele, é descrito como os dados foram processados pela ferramenta, desde a introdução das informações pelo operador até a geração dos resultados finais. Esse capítulo também detalha o fluxo de trabalho da ferramenta e sua aplicabilidade prática.

O sexto capítulo é dedicado às estratégias experimentais utilizadas na pesquisa. Foram desenvolvidos quatro cenários distintos para a execução das simulações, os quais são apresentados e analisados em detalhes. Nesse capítulo, são descritos os resultados obtidos para cada estratégia experimental, evidenciando o potencial da ferramenta em diferentes contextos e condições.

Por fim, o sétimo capítulo reúne as considerações finais do estudo, destacando as principais conclusões extraídas dos resultados das estratégias experimentais. Nele, são discutidas as limitações da abordagem proposta e apresentadas sugestões para estudos futuros, com o objetivo de aprimorar tanto a ferramenta desenvolvida quanto o entendimento do tema no contexto da gestão de recursos hídricos e saneamento básico.

## **2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA**

### **2.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

O tratamento de rios para fins de usos múltiplos pode se constituir de uma potencial abordagem estratégica e sustentável para a gestão dos recursos hídricos, com impactos positivos para a preservação ambiental (TUNDISI, 2008). Em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/05, tal estratégia busca aprimorar a qualidade dos corpos hídricos para usos como abastecimento público, irrigação, processos industriais e atividades recreativas. A implementação dessa abordagem possibilita não apenas a diversificação do uso da água, mas também a redução da dependência de água potável para atividades que não exigem alto padrão de qualidade, promovendo maior racionalidade na alocação dos recursos hídricos (GOHRINGER, 2006).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, os corpos de água são classificados em diferentes categorias, ou classes, de qualidade, baseadas nas características físicas, químicas e biológicas da água, bem como nos usos preponderantes. Por exemplo, águas de Classe 2 podem ser utilizadas para abastecimento público, desde que sejam submetidas a tratamento convencional, enquanto águas de Classe 3 são adequadas para irrigação, dessedentação animal e algumas atividades industriais.

Além do impacto ambiental positivo, o tratamento de rios para usos múltiplos oferece um benefício econômico adicional que deve ser analisado no processo de tomada de decisão: a redução dos custos operacionais associados ao tratamento de água. Direcionar águas de qualidade intermediária, tratadas de forma adequada, para aplicações menos exigentes, como irrigação ou usos industriais, permite empregar processos de tratamento menos complexos e, conseqüentemente, menos dispendiosos (GOHRINGER, 2006). Essa abordagem resulta em economia, sobretudo no consumo de energia, produtos químicos e na operação e manutenção dos sistemas de tratamento, tornando o modelo de gestão hídrica mais viável financeiramente e acessível para diferentes setores (GOHRINGER, 2006).

A recuperação da qualidade dos rios, visando utilizar em usos múltiplos, desempenha um papel importante na preservação de mananciais destinados ao abastecimento humano, garantindo que essas fontes sejam reservadas para usos mais nobres (AMORIM, 2024). A redução da pressão sobre esses mananciais implica menor necessidade de captação e tratamento de volumes adicionais de água potável, o que, por sua vez, diminui os custos associados aos serviços de abastecimento. Em regiões sujeitas a elevada demanda hídrica, essa abordagem torna-se ainda mais estratégica, pois otimiza os recursos limitados (TUNDISI, 2008).

## 2.2 PANORAMA GERAL DE TRATAMENTO E COLETA DE ESGOTO NO BRASIL

A análise do atendimento da população brasileira em relação aos serviços de esgotamento sanitário revela um panorama ainda distante da universalização e da adequação completa às diretrizes de sustentabilidade e saúde pública. Conforme os dados analisados, apenas 43% da população é atendida por sistemas coletivos que abrangem a coleta e o tratamento de esgotos. Outros 12% utilizam soluções individuais, como fossas sépticas, consideradas adequadas segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico (SNS, 2014). Por outro lado, 18% da população encontra-se em situação crítica, com os esgotos sendo coletados, mas sem qualquer tipo de tratamento antes do descarte em corpos receptores. A situação é ainda mais grave para 27% da população, que não possui qualquer

atendimento, estando completamente desprovida de infraestrutura para coleta e tratamento de esgoto (ANA, 2013).

De acordo com o PLANSAB, em 2021, 72,2% da população brasileira possui um atendimento considerado adequado de esgotamento sanitário, seja por soluções individuais (fossas sépticas) ou por sistemas coletivos de coleta e tratamento. Esse índice evidencia um avanço em relação a 2013, 55%, mas ainda assim representa atraso no cumprimento das metas de universalização do saneamento básico, especialmente em regiões mais vulneráveis, onde a ausência de infraestrutura perpetua ciclos de degradação ambiental, desigualdades sociais e riscos sanitários elevados (ANA, 2021).

Os índices de cobertura em termos de coleta e tratamento de esgotos nas áreas urbanas, apesar de investimentos recentes, ainda são insatisfatórios e refletem um passivo histórico (ANA,2017). As redes coletoras de esgotos alcançam apenas 61,4% da população urbana brasileira, deixando 65,1 milhões de pessoas nas cidades sem acesso a sistemas coletivos para afastamento dos esgotos sanitários. Além disso, nem todo esgoto coletado é conduzido a uma estação de tratamento (ANA,2017). A parcela atendida com coleta e tratamento dos esgotos corresponde a apenas 42,6% da população urbana total, o que significa que 96,7 milhões de pessoas não dispõem de tratamento coletivo de esgotos (ANA,2017).

Os esgotos não coletados têm destinos diversos, como encaminhamento para fossas sépticas ou negras, lançamento em redes de águas pluviais ou em sarjetas, e disposição direta no solo ou em corpos de água. Quando executadas adequadamente, as fossas sépticas diminuem os impactos desses efluentes sobre os corpos hídricos, mas sua aplicação depende de condições propícias e monitoramento rigoroso (ANA,2017).

Dentre as regiões brasileiras, a Sudeste apresenta os melhores índices de coleta e tratamento de esgotos, sendo a única onde o tratamento dos esgotos gerados alcança mais da metade da população urbana (ANA,2017). As regiões Sul, Nordeste e Centro-Oeste têm índices semelhantes de coleta, abrangendo aproximadamente metade da população urbana dessas áreas, com maior nível de tratamento no Centro-Oeste (ANA,2017). Em contrapartida, a Região Norte é a mais carente em termos de serviços coletivos de esgotamento sanitário, refletindo

desigualdades regionais persistentes. Apesar de 14 Unidades Federativas possuírem índices de tratamento do esgoto coletado superiores a 75%, esse dado isolado não é suficiente para caracterizar a qualidade do saneamento, uma vez que muitas dessas regiões ainda apresentam baixos índices de coleta (ANA,2017).

A Resolução CONAMA nº 430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, estabelece que o tratamento dos efluentes deve atingir pelo menos 60% de remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para o lançamento direto em corpos de água. Entretanto, os dados indicam que essa meta está longe de ser atingida pela maioria das cidades brasileiras. Apenas 14% dos municípios (769 cidades) conseguem atingir ou superar os níveis recomendados de remoção de carga orgânica, com a maioria dessas cidades concentradas na Região Sudeste (ANA,2013). No extremo oposto, 4.801 cidades, que somam 129,5 milhões de habitantes, apresentam níveis de remoção de carga orgânica inferiores a 60% (ANA,2013). Essa baixa eficiência de tratamento é especialmente predominante nas regiões Norte e Nordeste, que enfrentam desafios estruturais históricos relacionados à infraestrutura de saneamento (ANA, 2013).

Entre as Unidades da Federação, o Distrito Federal se destaca como a única unidade a remover mais de 60% da carga orgânica gerada. São Paulo e Paraná aproximam-se dessa meta, mas os demais estados possuem índices de remoção significativamente baixos, o que reduz a média nacional (ANA, 2013).

Atualmente, a infraestrutura de tratamento de esgoto nas sedes dos municípios brasileiros é capaz de remover apenas 39% da carga orgânica gerada, estimada em 9,1 mil toneladas de DBO por dia. Assim, aproximadamente 5,5 mil toneladas de DBO são lançadas diariamente em corpos receptores sem o devido tratamento, gerando impactos ambientais severos, como a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, além de contribuir para a eutrofização e a degradação dos ecossistemas aquáticos (ANA, 2013).

O cenário apresentado reforça a necessidade urgente de investimentos significativos em infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto no Brasil. Para alcançar a universalização do saneamento, é imprescindível a adoção de políticas públicas eficazes que priorizem o planejamento integrado, o financiamento sustentável e a capacitação técnica dos operadores do sistema. Além disso, é

essencial o fortalecimento de ações de fiscalização e monitoramento, de modo a assegurar que os sistemas de esgotamento sanitário não apenas cumpram os requisitos mínimos estabelecidos por normas legais, mas também promovam benefícios ambientais e sociais amplamente distribuídos (ANA, 2013).

A deficiência no tratamento de esgotos não apenas compromete a saúde pública e a qualidade de vida das populações mais vulneráveis, mas também prejudica a conservação dos recursos hídricos, que são estratégicos para o desenvolvimento sustentável do país (ANA, 2013).

### 2.2.1 Esgoto Coletado e tratado

O esgoto coletado e tratado refere-se à situação em que os efluentes são conduzidos por uma rede de coleta até uma estação de tratamento de esgoto (ETE), onde passam por processos que visam remover ou minimizar contaminantes antes do descarte no meio ambiente. Em termos técnicos, o tratamento pode incluir etapas como o pré-tratamento, que remove sólidos grosseiros e materiais flutuantes; o tratamento primário, que separa sólidos sedimentáveis; o tratamento secundário, que utiliza processos biológicos para degradação da matéria orgânica; e, quando necessário, o tratamento terciário, para remoção de nutrientes, metais pesados ou desinfecção. Essa abordagem reduz significativamente os impactos ambientais, protegendo corpos hídricos e ecossistemas, além de melhorar as condições de saúde pública ao mitigar a propagação de doenças de veiculação hídrica (ANA, 2013).

### 2.2.2 Coletado e não tratado

O esgoto coletado e não tratado caracteriza-se pela presença de uma rede de coleta que transporta os efluentes, mas sem que estes sejam submetidos a qualquer tipo de tratamento antes do descarte. Nessa condição, o esgoto é despejado diretamente em corpos de água, provocando degradação ambiental significativa. A poluição de rios, lagos e águas costeiras compromete sua capacidade de sustentar a biodiversidade aquática, além de gerar impactos negativos em usos futuros, como o abastecimento de água potável, a pesca e o

lazer. Além disso, há consequências diretas para a saúde humana, com o aumento da exposição a patógenos, metais pesados e outros poluentes, contribuindo para a incidência de doenças em comunidades vulneráveis (ANA, 2013).

### 2.2.3 Não Coletado e Não tratado

O esgoto não coletado e não tratado representa a situação mais crítica no contexto do saneamento básico. Neste caso, não há infraestrutura para coleta ou tratamento, e o esgoto é descartado de forma difusa, geralmente no solo, em fossas rudimentares ou diretamente em corpos de água próximos. Essa realidade é comum em regiões periurbanas ou rurais, onde a população utiliza sistemas informais e improvisados de descarte. Entre as consequências mais graves estão a contaminação do lençol freático, especialmente em áreas com fossas não impermeabilizadas, e a exposição direta a agentes patogênicos, ampliando os riscos de doenças como leptospirose, febre tifoide e parasitoses. Ademais, a ausência de saneamento básico perpetua ciclos de pobreza, impactando negativamente a qualidade de vida e o desenvolvimento socioeconômico (ANA, 2013).

## 2.3 COMO ESSE PANORAMA AFETA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Os sistemas de coleta e tratamento de esgoto exercem influência direta sobre a qualidade ambiental e a sustentabilidade das bacias hidrográficas. Uma bacia hidrográfica é uma unidade territorial onde toda a água da chuva, dos rios e do escoamento converge para um único ponto, formando um sistema integrado que abrange aspectos físicos, químicos e biológicos. A presença e a eficiência desses sistemas de saneamento determinam os níveis de poluição dos corpos hídricos e a integridade dos ecossistemas aquáticos (TUNDISI, 2006).

O esgoto coletado e tratado apresenta o menor impacto negativo para a bacia hidrográfica. Nesse sistema, a remoção de contaminantes, como matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais pesados e microrganismos patogênicos, contribui para a manutenção da qualidade da água (VON SPERLING, 2017). Ao receber efluentes devidamente tratados, os corpos hídricos

permanecem em condições adequadas para usos múltiplos, como abastecimento humano, irrigação, pesca e recreação. Além disso, evita-se a eutrofização, um processo em que o excesso de nutrientes na água estimula o crescimento descontrolado de algas, reduzindo o oxigênio dissolvido e prejudicando a biodiversidade aquática (VON SPERLING, 2017). Assim, o tratamento adequado reforça o equilíbrio ecológico e reduz os custos com remediação de impactos futuros.

Por outro lado, o esgoto coletado e não tratado representa um desafio crítico. Ainda que a coleta centralize o esgoto e o encaminhe para pontos específicos de descarte, a ausência de tratamento significa que efluentes brutos são despejados diretamente em corpos de água, introduzindo altas cargas de poluentes (ANA, 2023). A contaminação por matéria orgânica leva à queda do oxigênio dissolvido, inviabilizando a vida aquática e intensificando os processos de degradação ambiental. Esse cenário é especialmente prejudicial em áreas urbanizadas com redes de coleta, mas sem infraestrutura suficiente para tratar o esgoto, gerando impactos cumulativos que se propagam a jusante na bacia hidrográfica (CETESB, 2024).

No caso do esgoto não coletado e não tratado, os impactos são mais difusos, mas igualmente graves. O descarte inadequado em fossas rudimentares, valas e solos expostos contribui para a infiltração de poluentes no lençol freático, comprometendo a qualidade da água subterrânea. Além disso, os corpos de água superficiais, que recebem contribuições esparsas de esgoto, também sofrem contaminação, agravada pela ausência de monitoramento e controle (ANA, 2023).

A relação entre os sistemas de coleta e tratamento e as bacias hidrográficas revela a importância de políticas públicas voltadas à universalização do saneamento básico. A instalação de estações de tratamento de esgoto (ETEs) modernas e eficientes, associada à expansão das redes de coleta, reduz significativamente os impactos ambientais nas bacias hidrográficas, ao mesmo tempo em que melhora a saúde pública e a qualidade de vida das populações (ANA, 2013).

A fiscalização assegura que os serviços de saneamento básico sejam conduzidos de acordo com as normas técnicas, legais e ambientais estabelecidas.

No Brasil, órgãos como as agências reguladoras estaduais, municipais e federais, além de entidades como o Ministério Público e a ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), são responsáveis por monitorar o funcionamento dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto.

Sem fiscalização, os riscos incluem o descumprimento da legislação ambiental, como os padrões da Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece limites para o lançamento de efluentes em corpos de água. A ausência de monitoramento pode resultar no despejo inadequado de esgotos, gerando degradação ambiental, contaminação de recursos hídricos e ampliação de riscos à saúde pública (CONAMA, 2011). Além disso, a fiscalização é fundamental para assegurar que as concessionárias de saneamento realizem os investimentos necessários em infraestrutura, evitando a perpetuação de déficits históricos no setor (SNS, 2014).

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) são a infraestrutura essencial para garantir que os esgotos coletados sejam tratados antes de seu retorno ao meio ambiente, reduzindo a carga de poluentes e contribuindo para a recuperação e preservação de ecossistemas aquáticos. Elas atuam na remoção de sólidos, matéria orgânica, nutrientes como nitrogênio e fósforo, e outros contaminantes, como metais pesados e agentes patogênicos (ANA, 2017).

O funcionamento adequado das ETEs promove benefícios diretos e indiretos para as bacias hidrográficas, como a redução da eutrofização em rios e lagos, a preservação da biodiversidade aquática e a melhoria da qualidade da água para usos múltiplos, como abastecimento público, lazer e irrigação. Em termos sociais, as ETEs contribuem para a redução de doenças relacionadas à veiculação hídrica, como cólera, leptospirose e hepatite A (SNS, 2014).

Rios urbanos frequentemente apresentam altos níveis de poluição devido ao lançamento direto de esgoto doméstico e industrial, resíduos sólidos e outras formas de contaminação resultantes de atividades humanas (ABIKO E MORAES, 2009). A Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece os padrões de qualidade da água para corpos hídricos e diretrizes para o lançamento de efluentes, é um marco regulatório fundamental nesse contexto, ao fornecer parâmetros que norteiam ações de despoluição e recuperação ambiental.

## 2.4 BACIAS CRÍTICAS

As bacias críticas são regiões hidrográficas que apresentam condições de pressão sobre os recursos hídricos, exigindo atenção especial dos órgãos gestores. A classificação de uma bacia como crítica pode ocorrer por meio de portaria específica, fundamentada em situações que comprometem a disponibilidade ou a qualidade da água. De acordo com Stinghen e Mannich (2022), essa declaração pode ser feita em cinco situações principais: quando as demandas de uso ultrapassam os limites outorgáveis da bacia; em casos de superexploração dos recursos hídricos; na ocorrência de contaminação de aquíferos; quando há risco ao abastecimento público; e em períodos com evidências de escassez hídrica severa, como registrado em 2020. A definição de uma área como crítica possibilita a adoção de medidas de controle mais rigorosas, priorização de usos e o planejamento de ações emergenciais para mitigar os impactos sobre os sistemas hídricos locais.

A gestão de bacias hidrográficas críticas exige uma abordagem técnica e integrada, que inclua monitoramento, planejamento e implementação de medidas progressivas de despoluição. A Resolução CONAMA nº 357/05, que estabelece diretrizes para a classificação e os padrões de qualidade das águas, desempenha papel fundamental ao orientar os processos necessários para a recuperação de rios urbanos altamente poluídos, como exemplificado pela Bacia do Alto Iguaçu (KNAPIK, 2009).

Os afluentes do Rio Iguaçu apresentam áreas de drenagem de pequeno porte e com baixa capacidade de assimilação de efluentes, especialmente em relação ao tamanho das cargas de poluição que neles são lançadas. Essa condição agrava significativamente os níveis de poluição hídrica, tornando o contexto da bacia ainda mais desafiador (MARIN et al., 2007). Entre as principais fontes dessa deterioração destacam-se os efluentes domésticos e industriais, que contribuem com altas cargas de matéria orgânica, impactando de forma severa a qualidade das águas dos corpos hídricos (ÁGUAS PARANÁ, 2013).

Uma atividade essencial para a gestão dessas bacias é o monitoramento que relaciona dados de qualidade e quantidade de água. A análise conjunta desses

parâmetros possibilita uma avaliação precisa da capacidade de autodepuração do corpo hídrico e da vazão disponível para diluição, elementos cruciais em bacias com intensa carga de poluição orgânica (KNAPIK, 2009). Entretanto, a falta de integração entre dados qualitativos e quantitativos, frequentemente observada no Brasil, limita o uso de modelagens matemáticas e a calibração de cenários de simulação, ferramentas indispensáveis para a tomada de decisão em bacias críticas (KNAPIK, 2009).

Além disso, a complexidade da gestão de bacias críticas como a do Alto Iguaçu envolve uma multiplicidade de ações e uma diversidade de entidades nas esferas municipal e estadual. Isso exige comprometimento de órgãos gestores de recursos hídricos e meio ambiente, prefeituras municipais, comitês de bacias, empresas de saneamento, indústrias e agricultores, de forma articulada, para o cumprimento das metas estabelecidas e a viabilização do enquadramento e das medidas de despoluição (ÁGUAS PARANÁ, 2013).

A poluição predominante em rios urbanos é caracterizada por elevados níveis de matéria orgânica, medidos por parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Dissolvido (DOC). A elevada concentração de matéria orgânica nos corpos hídricos dessas regiões deve-se, sobretudo, à insuficiência no tratamento de esgoto doméstico, sendo essencial a adoção de tecnologias avançadas de tratamento que reduzam essas cargas a níveis aceitáveis para a qualidade da água (KNAPIK, 2009).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 introduz o conceito de metas progressivas, um instrumento estratégico para planejar intervenções escalonadas que reduzam progressivamente a concentração de poluentes nos rios. Essa abordagem é especialmente importante em bacias críticas, permitindo alinhar a implementação das medidas de despoluição à capacidade financeira e técnica das regiões (Knapik, 2009). Cada meta progressiva requer um conjunto de medidas específicas, desde o aprimoramento no tratamento de esgotos até o controle de fontes difusas de poluição, e demanda investimentos substanciais que devem ser estrategicamente planejados (KNAPIK, 2009).

Adicionalmente, o desenvolvimento de metodologias específicas para bacias críticas, como as apresentadas no Projeto “Bacias Críticas”, desenvolvido por pesquisadores dos departamentos de Hidráulica e Saneamento da UFPR e USP, reforça a necessidade de integração entre instrumentos de gestão, tais como enquadramento, outorga e cobrança pelo uso da água. Essa integração permite simular cenários e identificar estratégias mais eficazes para a despoluição, contribuindo para o alcance das metas estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357 (KNAPIK, 2009).

Outro ponto crítico está relacionado à defasagem das redes de monitoramento, que apresentam poucos pontos de amostragem e longos períodos sem coleta de dados (KNAPIK, 2009). Essa situação compromete a gestão de recursos hídricos, dificultando a identificação de ações eficazes e oportunas. Sem dados confiáveis sobre vazão e qualidade, a capacidade de estimar a autodepuração do corpo hídrico é limitada, prejudicando também a construção de cenários realistas em modelagens matemáticas (KNAPIK, 2009).

O caso da Bacia do Alto Iguaçu ilustra os desafios enfrentados em regiões densamente urbanizadas, onde a sobrecarga populacional e a insuficiência de infraestrutura agravam os problemas ambientais. A bacia, com aproximadamente 3 milhões de habitantes distribuídos em 14 municípios, concentra cerca de 25% da população estadual, mas apresenta baixos índices de coleta e tratamento de esgoto (KNAPIK, 2009). Essa realidade compromete a qualidade da água e a qualidade de vida, exigindo intervenções estruturadas e bem planejadas.

Portanto, a Resolução CONAMA nº 357/05 oferece um marco normativo indispensável, mas sua implementação requer articulação entre monitoramento, planejamento e investimentos, além de maior eficiência na coleta e no tratamento de esgoto. Apenas com a combinação desses esforços será possível transformar rios urbanos em sistemas resilientes e sustentáveis, promovendo a recuperação da qualidade ambiental e assegurando benefícios a longo prazo para a população e o ecossistema.

## 2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este item apresenta uma síntese dos principais temas abordados ao longo do capítulo 2, apresentando uma base conceitual para a compreensão da problemática discutida na dissertação. O capítulo inicia com a abordagem acerca da gestão de recursos hídricos, destacando a importância da Resolução CONAMA 357/05 e os impactos positivos associados ao tratamento de rios para usos múltiplos. Este tratamento, ao possibilitar o reaproveitamento da água para fins não potáveis, contribui para a redução de custos relacionados à potabilização desnecessária.

Em seguida, é apresentado um panorama geral sobre o tratamento e a coleta de esgoto no Brasil, incluindo os conceitos fundamentais e os índices de cobertura e tratamento existentes. Apesar da existência de sistemas estruturados de coleta e tratamento, o capítulo evidencia a lacuna ainda significativa que resulta na emissão de esgoto, oriundo de diversas fontes, diretamente nos corpos hídricos sem tratamento adequado.

Na sequência, discute-se o desafio da gestão de bacias hidrográficas, conectando os conceitos previamente explorados à complexidade desse processo. Nesse contexto, introduz-se o conceito de bacias críticas, que ilustra as dificuldades adicionais impostas pela alta poluição hídrica presente nessas áreas específicas.

Por fim, o capítulo atual interconecta as problemáticas apresentadas, de modo a justificar a proposta central da dissertação: o desenvolvimento de uma ferramenta para apoiar gestores na identificação e aplicação de tecnologias voltadas ao tratamento de rios localizados em bacias críticas. Tal abordagem fundamenta e reforça a relevância do estudo e do desenvolvimento realizado nesta pesquisa.

### **3. ESTRATÉGIA DE REMOÇÃO DE CARGA EM RIOS POLUÍDOS**

Este capítulo apresenta, o desenvolvimento da ferramenta voltada para auxiliar gestores na seleção de tecnologias de tratamento de esgoto, com base nas características específicas do cenário analisado e nos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357. O algoritmo, conforme fluxograma a seguir, ilustra a sequência lógica de processamento. Essa abordagem busca esclarecer como o sistema distingue e categoriza as tecnologias de tratamento em três blocos principais: primário, secundário e terciário. São apresentados, também, os dados de entrada requeridos para o funcionamento do algoritmo, incluindo suas respectivas unidades de medida.

Na sequência, o capítulo dedica-se à explicação do cálculo do balanço hídrico, essencial para a operação da ferramenta. Uma imagem esquemática é utilizada para ilustrar a sequência de cálculos realizados pelo sistema, enquanto as equações aplicadas em cada etapa são detalhadas. Esses cálculos têm como objetivo garantir que a ferramenta opere de maneira precisa e consistente, considerando as condições específicas de entrada fornecidas pelo operador.

Após a descrição do funcionamento e das bases teóricas da ferramenta, o capítulo aborda a sua aplicação em um estudo de caso. Essa aplicação prática ilustra como a ferramenta pode ser utilizada para selecionar tecnologias de tratamento que atendam aos requisitos de remoção de poluentes, garantindo que os parâmetros de qualidade da água estabelecidos pela legislação sejam alcançados. O estudo de caso demonstra a aplicabilidade e a funcionalidade da ferramenta em um contexto hipotético, destacando sua capacidade de identificar soluções técnicas para problemas de gestão de recursos hídricos.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta no estudo de caso. Gráficos e tabelas ilustram os desempenhos das tecnologias selecionadas, bem como os impactos previstos no corpo hídrico analisado. Além disso, são discutidas as limitações da ferramenta, considerando aspectos como a disponibilidade e a qualidade dos dados de entrada, capacitação do operador e a necessidade de ajustes futuros para ampliar sua aplicabilidade em diferentes cenários.

### 3.1 O ALGORITMO

A ferramenta simplificada de auxílio na tomada de decisão desenvolvida para auxiliar a escolha de métodos de tratamento primário, secundário e terciário de um rio poluído tem seu funcionamento resumido no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma lógico da ferramenta



FONTE: O autor (2024).

A ferramenta foi desenvolvida utilizando a interface do Excel, o qual foi programado com rotinas específicas para distinguir os tipos de tratamentos de efluentes domésticos: primário, secundário e terciário. Este sistema avalia a eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e fornece como resultado a melhor configuração de tratamento para as condições propostas pelo operador conforme critérios descritos a seguir.

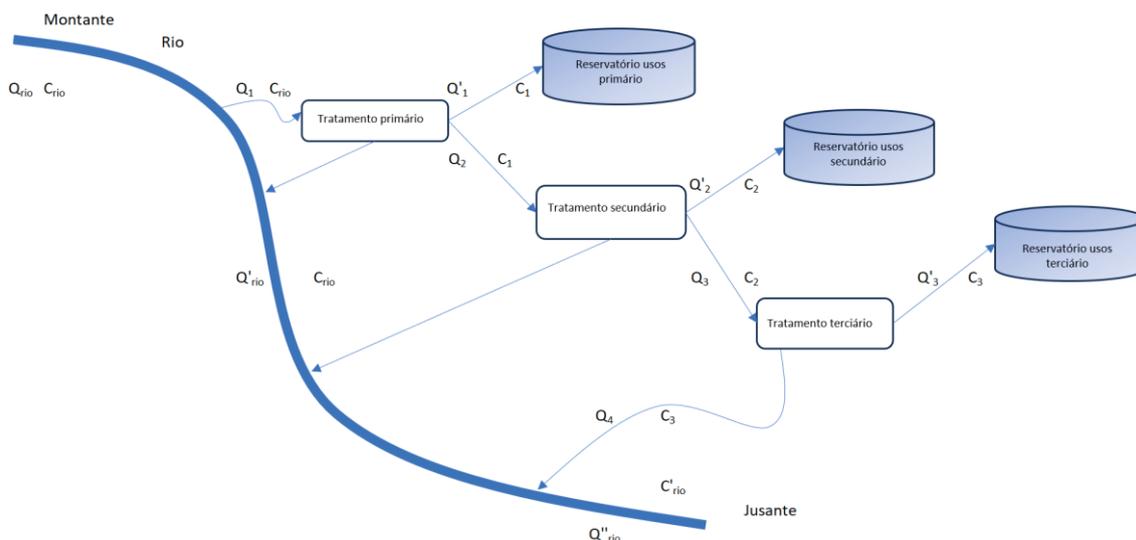
Para operar o sistema, é necessário que o usuário insira certos dados de entrada, incluindo a vazão do rio em  $m^3/s$ , a vazão desviada para o tratamento também em  $m^3/s$ , a concentração de DBO desejada ao final do processo em  $mg/l$ , e os percentuais de vazões que serão armazenadas em reservatórios, destinado para usos múltiplos, após cada tipo de tratamento. O recurso tratado e armazenado, após cada etapa de tratamento, terá uma série de possibilidades de uso conforme as classes definidas na Resolução CONAMA 357/05. Isso promove economia de capital e de água potável em usos que não exigem níveis elevados de qualidade.

Uma vez fornecidos os dados de entrada, a rotina do Excel buscará a melhor alternativa de tratamento primário que consiga atender à concentração desejada de DBO. A melhor alternativa é definida como a mais econômica, que simultaneamente atenda às necessidades impostas. A eficiência ideal é considerada a menor que consiga atender ao padrão desejado, visto que menor eficiência necessária para o tratamento é sinônimo de um método de tratamento menos oneroso. Caso o tratamento primário não consiga atender ao padrão desejado, a rotina impõe a melhor eficiência dessa etapa, separa a vazão para uso, caso seja do interesse do operador, e encaminha o remanescente para o tratamento secundário.

O tratamento secundário é realizado de maneira similar ao primário, indicando o melhor método de tratamento conforme a eficiência. Há também a opção de separar parte da vazão tratada para diferentes usos, e o restante é encaminhado ao tratamento terciário, que segue a mesma metodologia das etapas anteriores.

Ao final do processo, são obtidos três reservatórios com concentrações de DBO e usos distintos, e o efluente restante tratado é devolvido ao rio com uma concentração mais baixa de DBO. O sistema realiza um balanço de massa no ponto de descarga do rio, apresentando os resultados de concentração e eficiência de cada tratamento, bem como os usos distintos que podem ser feitos com a água reservada em cada etapa de tratamento, tudo em forma de tabela conforme esquematizado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema ilustrativo do processo de coleta e tratamento



FONTE: O autor (2024).

As seguintes equações são referentes à Figura 2.

$$Q_{rio} = Q'_{rio} + Q_1 \quad (1)$$

$$Q_1 = Q'_1 + Q_2 \quad (2)$$

$$Q_2 = Q'_2 + Q_3 \quad (3)$$

$$Q_3 = Q'_3 + Q_4 \quad (4)$$

$$(Q_1 * c_{rio}) * (1 - e_{tratamento\ 1}) = (Q'_1 * c_1) + (Q_2 * c_1) \quad (5)$$

$$(Q_2 * c_1) * (1 - e_{tratamento\ 2}) = (Q'_2 * c_2) + (Q_3 * c_2) \quad (6)$$

$$(Q_3 * c_2) * (1 - e_{tratamento\ 3}) = (Q'_3 * c_3) + (Q_4 * c_3) \quad (7)$$

$$Q''_{rio} * C'_{rio} = (Q_4 * C_3) + (Q'_{rio} * C_{rio}) \quad (8)$$

sendo “Q” e “C” as vazões e concentrações em cada trecho, respectivamente, e “e” as eficiências adotadas em cada tratamento.

Adicionalmente, a rotina fornece gráficos detalhados de eficiência, custo de tratamento, concentração após cada tratamento, a vazão remanescente para tratamento e a vazão separada para usos distintos conforme sua concentração.

No estudo de caso hipotético desenvolvido, buscou-se avaliar o desempenho da ferramenta proposta, destacando seu potencial para realizar cálculos de redução de carga e auxiliar na tomada de decisão. A ferramenta

permite identificar e selecionar a alternativa de tratamento que melhor atende às condições e necessidades apresentadas, considerando os parâmetros específicos do corpo hídrico e os padrões de qualidade estabelecidos. Essa análise foi realizada a partir da aplicação de tratamentos primário, secundário e terciário, com faixas de eficiência compatíveis para cada etapa, baseadas em valores amplamente discutidos na literatura. O caso foi estruturado para simular a aplicação dessas tecnologias em um rio hipotético, estabelecendo parâmetros operacionais específicos e utilizando como referência as normas ambientais.

As simulações realizadas consideraram uma vazão de tratamento de 3 m<sup>3</sup>/s e concentrações iniciais de DBO de 50 mg/l, 25 mg/l e 10 mg/l, com o objetivo de atender aos padrões de qualidade exigidos pela Resolução CONAMA 357 para corpos hídricos classificados como classe 2, nos quais a concentração final de DBO deve ser  $\leq 5$  mg/l. Além disso, a vazão total do rio antes do tratamento foi fixada em 8 m<sup>3</sup>/s, com a definição de que 10% da vazão remanescente, após cada etapa de tratamento, seria destinada a usos múltiplos, tais como irrigação e outras aplicações não potáveis, em conformidade com as regulamentações sobre água de reuso.

Inicialmente, o estudo foi estruturado para simular a redução progressiva da carga orgânica por meio de tecnologias hipotéticas, empregando faixas de eficiência baseadas em parâmetros amplamente reconhecidos. O tratamento primário foi projetado para priorizar a remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica em suspensão, com remoções variando entre 20% e 35%. Essa etapa inicial foi fundamental para reduzir a carga de DBO destinada às etapas subsequentes, promovendo maior eficiência nos processos secundários e terciários. A vazão tratada no primário foi dividida em três fluxos principais: uma parcela direcionada ao tratamento secundário, outra devolvida ao corpo hídrico e a terceira reservada para usos múltiplos, como irrigação. Essa estratégia de divisão reflete a importância de um planejamento integrado, equilibrando a recuperação da qualidade ambiental com o aproveitamento de água tratada.

No tratamento secundário, foram consideradas tecnologias que apresentam eficiências superiores, com remoção de DBO variando entre 60% e 80%, dependendo das condições operacionais. O objetivo dessa etapa foi reduzir

a carga orgânica de forma significativa, garantindo que os efluentes estivessem adequados para o tratamento terciário ou para devolução ao rio, de acordo com o cenário analisado. Assim como no tratamento primário, a vazão remanescente foi dividida estrategicamente entre o tratamento terciário, a devolução ao corpo hídrico e o reservatório para usos múltiplos.

Por fim, o tratamento terciário foi projetado como etapa de polimento do remanescente do tratamento secundário, que não foram removidos nas etapas anteriores. As faixas de eficiências adotadas variam de 81% a 95%. O objetivo principal foi garantir que a concentração de DBO no efluente final atendesse rigorosamente ao limite de 5 mg/l, estabelecido pela Resolução CONAMA 357. Após o tratamento terciário, a vazão tratada foi novamente dividida entre a devolução ao rio e o reservatório para usos múltiplos, promovendo a sustentabilidade do sistema e o uso racional dos recursos hídricos.

## 3.2 RESULTADOS OBTIDOS

Além das simulações de cada etapa, o estudo incluiu uma análise detalhada do balanço hídrico e da redução de carga de DBO ao longo do sistema. A carga inicial de DBO foi calculada para cada concentração testada (50 mg/l, 25 mg/l e 10 mg/l), permitindo uma avaliação precisa da redução acumulativa em cada etapa de tratamento. Os resultados demonstraram que a eficiência combinada das três etapas foi suficiente para atender às exigências normativas em todos os cenários simulados. O percentual de redução de carga foi diretamente proporcional à eficiência das tecnologias aplicadas, com as maiores reduções observadas nas etapas secundária e terciária.

Os resultados obtidos foram apresentados de forma clara por meio de gráficos e tabelas, ilustrando a concentração de DBO remanescente após cada etapa de tratamento, a carga diária de poluentes removida, os custos associados às configurações tecnológicas e a eficiência global do sistema. Os gráficos também destacaram a eficiência acumulada ao longo do processo, evidenciando a importância da combinação de tecnologias complementares para alcançar os padrões de qualidade exigidos.

A análise realizada demonstrou o desempenho da ferramenta como um recurso técnico eficiente para planejamento e tomada de decisão em projetos de tratamento de efluentes. A metodologia apresentada permitiu identificar as tecnologias mais adequadas para diferentes cenários, considerando aspectos como eficiência, custo e aplicabilidade. Além disso, a abordagem reforçou a necessidade de integrar estratégias de captação, tratamento e reutilização, promovendo a gestão sustentável dos recursos hídricos.

No caso hipotético analisado, foram consideradas três concentrações distintas (50 mg/l, 25 mg/l e 10 mg/l), cada uma com abordagens e resultados específicos. A análise dos resultados revelou que o fator decisivo para que as concentrações preestabelecidas atinjam a concentração desejada ( $\leq 5$  mg/l, conforme a classe 2 da Resolução CONAMA 357) foi a eficiência do tratamento secundário. Este achado indica que o tratamento secundário é a etapa crítica à qual o gestor deve prestar mais atenção para alcançar os resultados esperados.

Observou-se, através da simulação, que no cenário mais crítico (50 mg/l), a concentração desejada (5 mg/l) foi atingida ainda na etapa de tratamento secundário, exigindo apenas uma eficiência de tratamento 10% superior àquela necessária para a concentração de 25 mg/l. Este resultado sugere que, para tratar uma concentração inicial equivalente ao dobro (de 25 mg/l para 50 mg/l), é requerido um aumento de apenas 10% na eficiência do tratamento.

Com esses dados, o gestor pode avaliar de forma mais clara as medidas a serem tomadas e decidir se o investimento necessário para aumentar a eficiência do tratamento secundário em 10% é justificado para tratar uma carga correspondente ao dobro da concentração de 25 mg/l.

A partir desses parâmetros, uma rotina metodológica, Figura 1, foi desenvolvida para determinar o método de tratamento mais adequado para cada uma das três etapas sequenciais. Os resultados foram apresentados em forma de tabela resumo das simulações,

Tabela 1, e por gráficos que ilustram a eficácia dos tratamentos em reduzirem as concentrações de DBO para atender aos padrões regulatórios, Figura 3.

Tabela 1 – Resumo das simulações

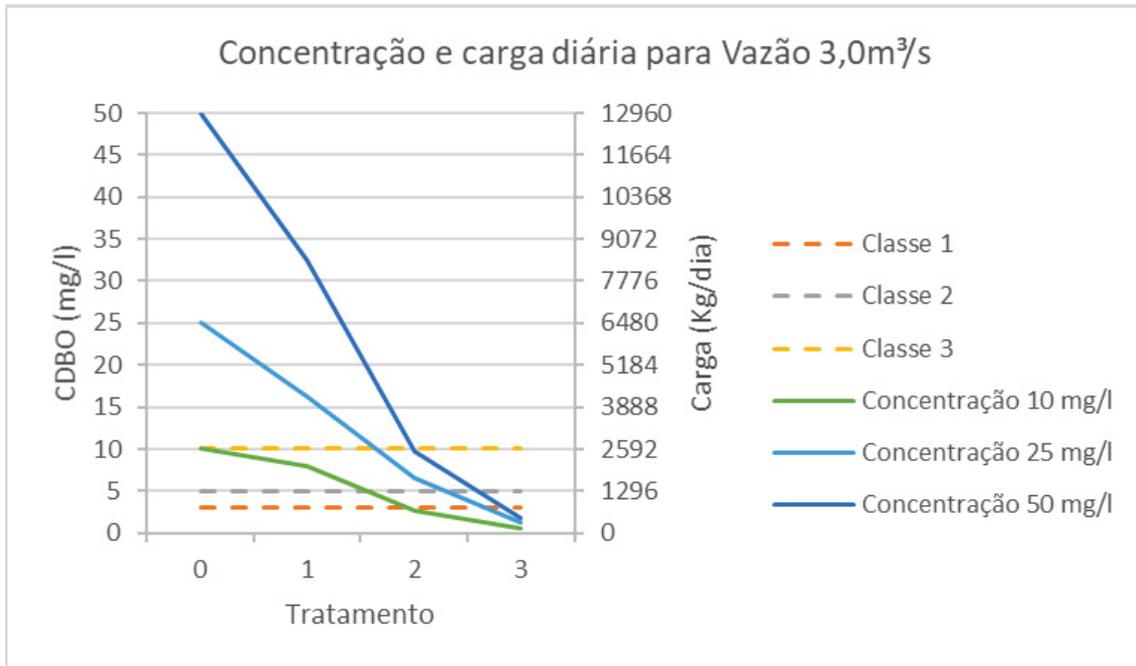
Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema				
		Vazão de entrada Q (m³/s)	Concentração C <sub>ceio</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)		
8,00	5	3,00	50	12960		
			25	6480		
			10	2592		
Tratamento Primário						
Tratamento primário	Eficiência DBO (%)	% para uso	Usar a vazão para algum uso?	Vazão disponível no tratamento 1 (m³/s)	Concentração C <sub>DBO</sub> tratamento primário (mg/l)	Possíveis usos
tratamento 16	35%	10%	Sim	0,30	32,50	Classe 4
tratamento 16	35%	10%	Sim	0,30	16,25	Classe 3
tratamento 16	35%	10%	Sim	0,30	6,50	Classe 3
Tratamento Secundário						
Tratamento Secundário	Eficiência DBO (%)	% para uso	Usar a vazão para algum uso?	Vazão disponível no tratamento 2 (m³/s)	Concentração C <sub>DBO</sub> tratamento secundário (mg/l)	Possíveis usos
tratamento 21	80%	10%	Sim	0,27	6,50	Classe 3
tratamento 11	70%	10%	Sim	0,27	4,88	Classe 2
tratamento 1	60%	10%	Sim	0,27	2,60	Classe 1
Tratamento Terciário						
Tratamento Terciário	Eficiência DBO (%)	% para uso	Usar a vazão para algum uso?	Vazão disponível no tratamento 3 (m³/s)	Concentração C <sub>DBO</sub> tratamento terciário (mg/l)	Possíveis usos
tratamento 1	81%	10%	Sim	0,24	1,24	Classe 1
tratamento 1	81%	10%	Sim	0,24	0,93	Classe 1
tratamento 1	81%	10%	Sim	0,24	0,49	Classe 1
Dados Finais						
Vazão disponível tratado (m³/s)	Concentração tratado (mg/l)	Concentração do rio, antes	Concentração após o deságue (mg/l)			
2,19	1,24	50	35,16			
2,19	0,93	25	17,67			

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 1 apresenta um resumo das simulações realizada para o caso hipotético analisado. Este resumo inclui os dados de entrada utilizados na simulação, abrangendo informações como vazão captada, concentração inicial de DBO e os percentuais destinados a cada etapa do tratamento. Além disso, a tabela compila as tecnologias selecionadas, cujas eficiências médias de remoção de DBO foram consideradas suficientes para que a concentração final atingisse ou ficasse abaixo do limite desejado.

Adicionalmente, são apresentados os percentuais de vazão destinados a usos múltiplos, indicando tanto o volume de água separado para essas finalidades quanto a concentração de DBO remanescente após cada etapa de tratamento. Essa informação é relevante para avaliar a viabilidade de reutilização da água tratada em diferentes aplicações, contribuindo para a otimização dos recursos hídricos disponíveis.

Figura 3 - Gráficos resumo da simulação

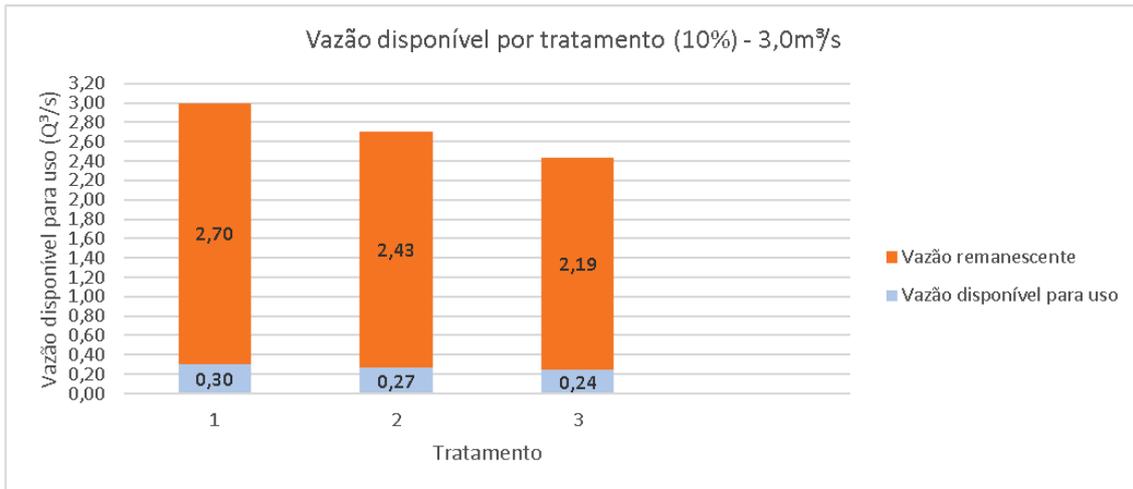


FONTE: O autor (2024).

A Figura 3 apresenta a variação das concentrações e das cargas diárias de DBO para as simulações realizadas com concentrações iniciais de 10 mg/L, 20 mg/L e 50 mg/L. Os resultados indicam que, considerando as eficiências médias hipotéticas de remoção de DBO para cada etapa de tratamento, as concentrações iniciais de 10 mg/L e 20 mg/L atingiram a concentração final desejada já ao término do tratamento secundário.

No entanto, para a concentração inicial de 50 mg/L atingir a concentração desejada, precisou-se do tratamento terciário. Ao final dessa etapa, todas as concentrações simuladas resultaram em valores que se enquadram nos limites estabelecidos para a classe 1 da Resolução CONAMA 357/05.

Figura 4 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio

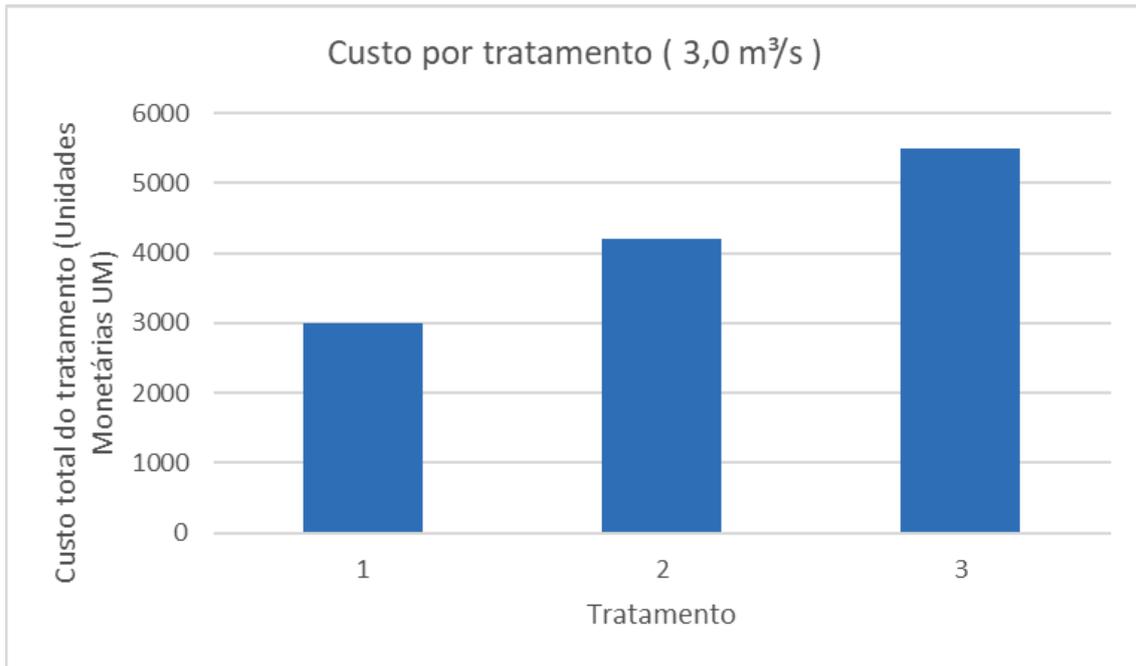


FONTE: O autor (2024).

A Figura 4 apresenta a distribuição das vazões disponíveis após cada etapa de tratamento, segmentando os volumes destinados a usos múltiplos e aqueles que permanecem no sistema para posterior tratamento até o lançamento final no corpo hídrico.

A parcela destinada a usos múltiplos corresponde ao volume de água tratada que atende aos padrões de qualidade necessários para aplicações não potáveis, como irrigação, processos industriais e recarga de aquíferos, reduzindo a demanda por água potável e promovendo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. Já a vazão remanescente segue para as etapas subsequentes de tratamento, garantindo que os parâmetros de qualidade exigidos sejam atingidos antes do lançamento no corpo hídrico receptor.

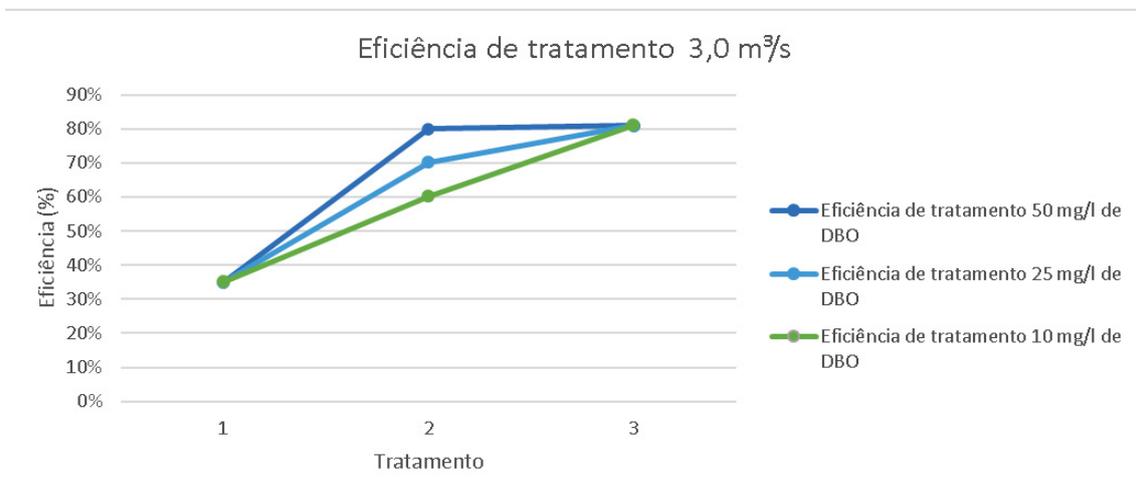
Figura 5 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 10% de captação da vazão do rio



FONTE: O autor (2024).

Na Figura 5, são apresentados os custos médios das tecnologias aplicadas para cada etapa de tratamento. Foram considerados valores de 1.000 UM, 2.000 UM e 3.000 UM (UM – Unidades Monetárias) para os tratamentos primário, secundário e terciário, respectivamente. Essa análise de custos permitiu avaliar a viabilidade econômica das tecnologias selecionadas, considerando a relação entre o percentual de captação e o investimento necessário para atingir os padrões de qualidade exigidos.

Figura 6 - Eficiências de tratamentos para 10% de captação da vazão do rio



FONTE: O autor (2024).

A Figura 6 apresenta os percentuais de eficiência mínimos necessários para os tratamentos primário, secundário e terciário atingirem os padrões de qualidade da classe 2 ou superior. Os valores estimados foram de 35% para o tratamento primário, 60%-80% para o secundário e 81% para o terciário, indicando faixas de eficiência que orientam o gestor na seleção das tecnologias mais adequadas.

### 3.3 LIMITAÇÕES

A gestão eficaz dos recursos hídricos em bacias hidrográficas urbanas é essencial para proteger os ecossistemas aquáticos vitais e garantir a disponibilidade de água de qualidade para diversos usos. A poluição resultante das atividades humanas representa um desafio significativo, exigindo abordagens integradas e colaborativas para mitigar seus impactos negativos. Estratégias de manejo sustentável da terra desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade da água dos rios, enquanto a análise de custo-eficácia oferece uma ferramenta valiosa para avaliar os benefícios econômicos das medidas de gestão.

Os resultados deste estudo demonstram a importância de considerar padrões regulatórios e aplicar modelos de otimização para orientar práticas de gestão hídrica eficazes e sustentáveis. Ao desenvolver um sistema de seleção de auxílio na escolha de tratamento de efluentes utilizando o Excel, foram identificadas soluções que atendem aos padrões de qualidade exigidos, ao mesmo tempo em que promovem a economia de recursos e capital. Essas abordagens integradas e sustentáveis são essenciais para enfrentar os desafios complexos associados à gestão dos recursos hídricos e garantir a sustentabilidade ambiental e a saúde pública a longo prazo.

Apesar de a ferramenta desenvolvida oferecer um suporte significativo na tomada de decisão inicial sobre os métodos de tratamento para atingir a qualidade de água desejada, algumas limitações devem ser reconhecidas. A necessidade de dados precisos de vazão e concentração é um aspecto essencial para a sua operação, o que pode, por vezes, representar um desafio. Adicionalmente, a ferramenta não está configurada para otimizar múltiplos pontos de entrada e saída,

restringindo seu uso em contextos mais complexos de gestão de bacias hidrográficas.

Outro ponto a considerar é a ausência de integração com sistemas de rede, exigindo que o operador atualize manualmente os dados de vazão, concentração e os métodos de tratamento com suas respectivas eficiências. Embora esse processo manual possa aumentar a carga de trabalho e a possibilidade de erros, a ferramenta ainda se mostra eficaz na geração de resultados preliminares que auxiliam na gestão de rios e bacias hidrográficas.

#### **4. ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Este capítulo apresenta tecnologias de tratamento primário, secundário e terciário. Essa abordagem visa descrever, com embasamento técnico, os mecanismos de remoção de poluentes, as eficiências de cada alternativa e suas aplicações práticas para redução de cargas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Além disso, serão apresentados os passos necessários para implementar essas tecnologias na rotina desenvolvida, utilizando como estudo ponto de monitoramento no Rio Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba. Informações de literatura e normativas regulatórias serão utilizados como base para essa análise, permitindo a construção de cenários realistas de redução de poluição.

Como anteriormente apresentado, a rotina de cálculo foi descrita como uma ferramenta estruturada para avaliar a eficiência de diferentes etapas de tratamento de efluentes, considerando a diminuição progressiva de DBO ao longo do processo.

A escolha do Alto Rio Iguaçu como objeto de estudo reflete sua relevância ambiental e social, bem como os desafios enfrentados em termos de poluição orgânica. Este corpo hídrico, um dos mais significativos do estado do Paraná, é impactado por uma alta carga de esgotos domésticos e industriais, além de práticas inadequadas de manejo no uso do solo ao longo de sua bacia (KNAPIK, 2009). A elevada concentração de DBO em suas águas é um indicativo da pressão exercida pelas atividades humanas, tornando importante o desenvolvimento de

estratégias para reduzir a poluição e melhorar sua qualidade (KNAPIK, 2009). A aplicação da rotina de cálculo neste contexto possibilitará avaliar como diferentes combinações de tecnologias de tratamento podem contribuir para atingir os padrões de qualidade definidos pela Resolução CONAMA 357/05, além de propor alternativas viáveis para a recuperação ambiental.

Inicialmente, serão descritas em detalhe as tecnologias de tratamento primário, secundário e terciário. Esta seção abordará os princípios operacionais, mecanismos de remoção e eficiências típicas de cada tecnologia, com base em estudos de literatura e normativas técnicas. Alternativas como decantadores primários, reatores anaeróbios, sistemas de lagoas, lodos ativados e tecnologias avançadas para tratamento terciário serão analisadas, destacando suas capacidades de remoção de DBO, nutrientes e outros poluentes críticos. A seleção dessas tecnologias foi fundamentada em critérios de eficiência, aplicabilidade prática e custo-benefício, considerando as condições do Rio Iguaçu. Esse levantamento teórico é essencial para compreender o papel de cada alternativa dentro da rotina e como podem ser adaptadas a diferentes cenários de gestão.

Posteriormente, será apresentado o processo de integração dessas tecnologias à rotina de cálculo. A metodologia seguirá a lógica previamente descrita, aplicando os parâmetros de entrada, como vazões, concentrações iniciais e eficiências reportadas, para simular os resultados esperados em cada etapa de tratamento. Para cada tecnologia, serão especificados os cálculos necessários para estimar a carga de DBO remanescente, considerando tanto os parâmetros operacionais como os percentuais de vazão destinados ao tratamento subsequente, devolução ao rio ou usos múltiplos. Este processo permitirá estimar, de forma sistemática, os impactos das tecnologias selecionadas na carga total de poluentes.

Os resultados estabelecem, como referência, indicadores como concentração e carga diária de DBO remanescente, vazão disponível no rio após cada etapa de tratamento, custo associado às tecnologias aplicadas e eficiência global do sistema. Essa abordagem permitirá quantificar os benefícios potenciais das tecnologias em termos de redução de carga poluidora, além de identificar as combinações mais promissoras para melhorar a qualidade da água do Rio Iguaçu.

Atualmente, busca-se evidenciar os desafios operacionais e econômicos associados à implementação das tecnologias, além de suas limitações em termos de infraestrutura e custos.

#### 4.1 TRATAMENTO PRIMÁRIO

O tratamento primário é uma etapa importante no processo de tratamento de esgoto, que se concentra na remoção inicial de sólidos em suspensão sedimentáveis e materiais flutuantes. Essa fase contribui para a redução da carga de poluentes direcionada ao tratamento secundário, ao eliminar uma parte significativa da matéria orgânica e sólidos suspensos, diminuindo a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do efluente. A eficiência dessa etapa otimiza as fases seguintes de tratamento e reduz os custos operacionais. No presente capítulo, são abordadas as principais tecnologias de tratamento primário, incluindo decantadores primários, fossas sépticas e tratamento primário avançado, com um enfoque em sua funcionalidade, eficiência de remoção e aplicabilidade em diferentes contextos (VON SPERLING, 2017; ANA, 2017).

O tratamento primário destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. Os esgotos, após passarem pelas unidades de tratamento preliminar, ainda contêm sólidos em suspensão não grosseiros, que podem ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação. Uma parte significativa desses sólidos compreende matéria orgânica em suspensão. A remoção desses sólidos através de processos simples, como a sedimentação, implica em uma redução da carga de DBO direcionada ao tratamento secundário, onde a remoção é, em geral, mais significativa e cara. A eficiência de remoção de sólidos em suspensão situa-se em torno de 60 a 70%, e a de DBO, em torno de 25 a 35% (VON SPERLING, 2017; ANA, 2017).

Os tanques de decantação utilizados no tratamento primário podem ser circulares ou retangulares. O esgoto flui vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, com densidade maior do que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Em estações de tratamento, o lodo é removido por meio de tubulações em tanques

de pequenas dimensões ou através de raspadores mecânicos e bombas em tanques maiores. Materiais flutuantes, como graxas e óleos, que possuem menor densidade que o líquido, sobem para a superfície dos decantadores, onde são coletados e removidos para tratamento posterior (VON SPERLING, 2017).

Os decantadores primários são comumente utilizados antes da etapa biológica em processos de tratamento como lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes. Com a tendência atual de utilização de reatores anaeróbios, os decantadores primários estão sendo substituídos, em novos projetos, por reatores UASB. Com essa substituição, a remoção de DBO passa a ser de aproximadamente 70%, o que possibilita uma redução no volume das unidades de tratamento de jusante e uma economia de energia. A eficiência do tratamento primário na remoção de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, de DBO pode ser aumentada através da adição de agentes coagulantes, técnica conhecida como tratamento primário avançado. Coagulantes como sulfato de alumínio e cloreto férrico, com ou sem a adição de polímeros, são comumente utilizados, sendo que o fósforo também pode ser removido por precipitação (VON SPERLING, 2017; ANA, 2017).

O tratamento primário resulta em uma maior geração de lodo devido à quantidade de sólidos removidos e aos produtos químicos adicionados. Esse lodo pode ser digerido em digestores convencionais ou estabilizado com cal, método conhecido como estabilização alcalina, o que simplifica o fluxograma, mas aumenta a quantidade de lodo a ser disposto. Em áreas com pequenas populações, tanques sépticos, assim como suas variantes, como os tanques Imhoff, são utilizados como uma forma de tratamento primário. Esses tanques funcionam como decantadores, onde os sólidos sedimentáveis permanecem no fundo do tanque por um período suficiente (alguns meses) para estabilização sob condições anaeróbias, formando o lodo estabilizado. Por esse motivo, tanques sépticos são também denominados decanto-digestores (VON SPERLING, 2017).

De acordo com Von Sperling (2017), o tratamento primário concentra-se na remoção inicial de sólidos suspensos e sedimentos grossos, sendo uma etapa fundamental para reduzir a carga de partículas que chegam ao sistema de

tratamento secundário. As principais tecnologias utilizadas neste estágio, conforme Von Sperling (2017), são:

- **Decantador Primário:** Utilizado para sedimentação de partículas sólidas suspensas, permitindo a redução da carga de sólidos e parte da matéria orgânica sedimentável.
- **Fossa Séptica:** Tecnologia amplamente adotada em áreas residenciais e rurais, onde o tratamento anaeróbico ocorre em tanques fechados, resultando em uma separação inicial da matéria orgânica e de sólidos sedimentáveis.
- **Tratamento Primário Avançado:** Utiliza a adição de coagulantes e floculantes para aumentar a eficiência na remoção de sólidos finos e matéria orgânica. Este método é recomendado quando se busca maior eficiência de remoção na etapa primária.

Tabela 2 - Eficiências médias de tratamento primário

<b>Tratamento primário</b>	<b>Eficiência média DBO (%)</b>	<b>Referências</b>
Decantador primário	32,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Fossa séptica	32,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Primário avançado	62,5%	Von Sperling, 2017.

FONTE: O autor (2024).

## 4.2 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

De acordo com Von Sperling (2017) e ANA (2017), o tratamento secundário é projetado para remover a matéria orgânica dissolvida e coloidal presente no efluente, bem como nutrientes específicos, dependendo da tecnologia empregada. Este estágio é necessário para reduzir a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e pode ser realizado por diferentes sistemas, com ênfase na eficiência de remoção de matéria orgânica e, em alguns casos, de nutrientes como nitrogênio e fósforo. As tecnologias secundárias abrangem uma ampla gama de processos, que podem ser agrupados, segundo Von Sperling (2017), conforme segue:

- **Lagoas de Estabilização:**

- **Lagoa Facultativa:** Utiliza processos aeróbios e anaeróbios, permitindo a decomposição da matéria orgânica de forma natural. Ideal para sistemas com baixa carga orgânica e amplos espaços disponíveis.
- **Lagoa Anaeróbia - Lagoa Facultativa:** Esta combinação possibilita uma decomposição mais eficiente da matéria orgânica, especialmente em sistemas com maior carga de DBO.
- **Lagoa Aerada Facultativa e Lagoa Aerada de Mistura Completa com Sedimentação:** Ambas proporcionam uma maior eficiência na oxidação da matéria orgânica, com o uso de aeração mecânica para maximizar a remoção de DBO.

- **Processos de Lodos Ativados:**

- **Lodos Ativados Convencionais:** Consiste na aeração de lodos para promover a decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias, sendo amplamente utilizado em sistemas urbanos.
- **Lodos Ativados com Aeração Prolongada:** Um processo mais intensivo que proporciona maior tempo de retenção da biomassa, resultando em uma decomposição mais completa da matéria orgânica.
- **Lodos Ativados - Batelada com Aeração Prolongada:** Realiza o tratamento em ciclos, com fases de aeração e sedimentação, ideal para plantas com variações de carga ao longo do tempo.

- **Filtros Biológicos e Biofiltros:**

- **Filtros Biológicos de Baixa e Alta Carga:** Filtros de baixa carga promovem uma remoção lenta e gradual da matéria orgânica, enquanto os de alta carga aceleram o processo, sendo mais indicados para sistemas com alta demanda.
- **Biofiltro Aerado Submerso:** Este sistema é projetado para promover nitrificação e, em alguns casos, desnitrificação, sendo útil para a remoção de amônia e nitrato, além da matéria orgânica.

- **Biodiscos:**

- Os biodiscos consistem em uma série de discos de material plástico que giram lentamente enquanto parte de sua superfície permanece submersa no efluente. Esses discos promovem o crescimento de uma biomassa biológica que oxida a

matéria orgânica à medida que o disco gira e a biomassa entra em contato com o oxigênio atmosférico. Este processo combina aeração e tratamento biológico, sendo eficiente em áreas urbanas com espaços limitados e cargas de efluente moderadas. Os biodiscos são uma tecnologia eficaz para a remoção de DBO e têm baixo consumo de energia devido à rotação mecânica lenta.

- **Reatores Anaeróbios:**

- **Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket):** Realiza a decomposição anaeróbica da matéria orgânica, gerando biogás como subproduto. Sua eficiência é aumentada quando combinado com outras tecnologias para polimento.
- **UASB em Conjunto com Outras Tecnologias:** O UASB pode ser combinado com filtros anaeróbios, flotação por ar dissolvido ou lagoas de polimento para melhorar a qualidade final do efluente. Combinações como UASB + lodos ativados ou UASB + lagoa aerada mista completa com lagoa de decantação permitem maior controle e eficiência no tratamento.

- **Infiltração e escoamento no Solo:**

- **Infiltração Lenta e Rápida no Solo:** Sistemas que utilizam a capacidade de filtragem do solo para remover contaminantes, especialmente aplicáveis em áreas rurais ou locais com características de solo adequadas.
- **Escoamento Superficial:** Similar à infiltração, mas ocorre na superfície, promovendo a remoção de sólidos suspensos e alguns nutrientes.
- **Wetlands:** São sistemas naturais de tratamento que utilizam plantas aquáticas e processos biológicos em áreas úmidas construídas, promovendo uma remoção eficiente de nutrientes e contaminantes de forma sustentável.

Tabela 3 - Eficiência média de tratamento secundário

<b>Tratamento Secundário</b>	<b>Eficiência média DBO (%)</b>	<b>Referências</b>
<b>Faixa de eficiência (FE) 1 - 70% até 79%</b>		
UASB	69,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lagoa Facultativa	77,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lagoa anaeróbia - Lagoa facultativa	77,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lagoa aerada facultativa	77,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.

Lagoa aerada de mistura completa - Lagoa sedimentação	77,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
<b>FE 2 - 80% até 89%</b>		
UASB + lagoa aerada facultativa	80,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
UASB + lagoa aerada mista completa + lagoa de decantação	80,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
UASB + filtro anaeróbio	81,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
UASB + lagoas de polimento	82,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Fossa séptica + Filtro anaeróbio	82,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	82,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de alta taxa	82,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
UASB + escoamento superficial	83,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Filtro biológico (Alta carga)	85,0%	Von Sperling, 2017.
Escoamento superficial no solo	85,0%	Von Sperling, 2017.
Wetlands	85,0%	Von Sperling, 2017.
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	86,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas	87,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
UASB + Lodos ativados	88,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Uasb + biofiltro aerado submerso	88,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
UASB + flotação por ar dissolvido	88,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lodos ativados convencionais	89,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Filtro biológico (Baixa carga)	89,0%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	89,0%	Von Sperling, 2017.
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P	89,0%	Von Sperling, 2017.
<b>FE3 - 90% até 95%</b>		
Biodisco	91,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Infiltração rápida no solo	91,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	91,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.

Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	91,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lodos ativados - Aeração Prolongada	93,5%	Von Sperling, 2017; ANA, 2017.
Lodos ativados - batelada (aeração prolongada)	93,5%	Von Sperling, 2017.
Fossa séptica + infiltração	94,0%	Von Sperling, 2017.
Infiltração lenta no solo	94,5%	Von Sperling, 2017.
<b>FE3 - 96% até 99%</b>		
Lodos ativados convencional + filtração terciária	95,5%	Von Sperling, 2017.

FONTE: O autor (2024).

#### 4.3 TRATAMENTO TERCIÁRIO

De acordo com Von Sperling, 2017, o tratamento terciário visa a remoção de contaminantes residuais, como micropoluentes e patógenos, que não foram totalmente eliminados nas etapas anteriores. Estas tecnologias são particularmente importantes quando o efluente tratado é destinado à reutilização ou ao lançamento em corpos de água sensíveis. As principais tecnologias incluem:

- **Ozonização com Ultrassom:** Utiliza uma combinação de ozônio e ultrassom para oxidar compostos orgânicos complexos e eliminar micropoluentes, proporcionando um polimento final ao efluente (Ren et al. 2020; Zhang et al. 2023).

**Biochar:** Um adsorvente derivado da pirólise de biomassa que captura compostos orgânicos e metais pesados, sendo uma alternativa eficiente e sustentável para polimento (BOLTON et al. 2019; DAI et al. 2020).

- **Nano CaO<sub>2</sub> (Peróxido de Cálcio):** Libera oxigênio lentamente no sistema, ajudando na oxidação de matéria orgânica residual e na estabilização da qualidade do efluente (ZHOU et al. 2017).
- **Palm Oil Boiler Ash:** Resíduo resultante da queima de óleo de palma, utilizado como material adsorvente para metais pesados e outras substâncias específicas no efluente terciário (MANIKAM et al. 2019).
- **Flotação:** A flotação é um processo físico de separação utilizado para remover partículas suspensas, graxas ou oleosas de líquidos. Isso ocorre pela introdução de bolhas de ar que aderem às partículas, fazendo-as subir à superfície. Na superfície, o material é removido por raspadores (CHERNICHARO, 2001).

Tabela 4 - Eficiência média de tratamento terciário

<b>Tratamento Terciário</b>	<b>Eficiência média DBO (%)</b>	<b>Referências</b>
Ozonização com ultrassom	90,0%	Ren et al. 2020; Zhang et al. 2023
Nano CaO <sub>2</sub>	74,7%	Zhou et al. 2017
Palm oil boiler	99,0%	Manikam et al. 2019
Flotação	60,0%	Von Sperling, 2017; Barros et.al. 2018

FONTE: O autor (2024).

#### 4.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

O Capítulo 4 complementa a abordagem introduzida no Capítulo 3, ampliando a análise com a inclusão das tecnologias de tratamento primário, secundário e terciário que serão incorporadas à rotina desenvolvida. No Capítulo 3, foram apresentados a estrutura lógica dos cálculos, a metodologia adotada e as simulações realizadas com base em cenários hipotéticos. No entanto, a abordagem inicial não contemplava a implementação específica de tecnologias disponíveis na literatura para cada etapa do processo de tratamento.

Dessa forma, o Capítulo 4 tem o propósito de aprofundar a construção da ferramenta, detalhando a inclusão das tecnologias encontradas na literatura e sua integração à rotina de cálculo. A organização desta seção permite uma progressão metodológica clara, em que primeiramente são estabelecidos os fundamentos da rotina e, posteriormente, as tecnologias são incorporadas ao sistema de análise.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 A BACIA DO ALTO IGUAÇU

A bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, situada predominantemente no estado do Paraná, destaca-se como um dos sistemas hidrográficos mais importantes do Brasil, tanto em extensão quanto em relevância ecológica, econômica e social. Com uma área aproximada de 72.000 km<sup>2</sup>, ela abrange 79% de seu território no Paraná, 19% em Santa Catarina e 2% na Argentina (ELETROSUL, 1978; SEMA, 2013). Esse sistema, formado pela confluência dos rios Iraí e Atuba, na divisa entre

Curitiba e Pinhais, percorre 1.320 km até desaguar no Rio Paraná, próximo à barragem de Itaipu, sendo um dos principais tributários da margem esquerda desse rio e o maior rio inteiramente paranaense (SEMA, 2013; BAUMGARTNER et al., 2012). A bacia é um exemplo paradigmático de como fatores naturais e antrópicos interagem e moldam paisagens e recursos hídricos, exigindo abordagens integradas de gestão.

Do ponto de vista climático, a bacia apresenta características de clima subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e sem estação seca definida. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C, enquanto no mês mais quente supera os 22°C, com chuvas concentradas nos meses de verão e geadas pouco frequentes nas áreas de menor altitude (FEIDEN et al., 2015; BAUMGARTNER et al., 2012). Esse regime climático, associado à variação altimétrica dos três planaltos paranaenses, influencia diretamente a distribuição e o comportamento dos ecossistemas aquáticos e terrestres da bacia. A geomorfologia da região, formada a partir de movimentos escalonados da Serra do Mar durante as eras mesozoica e paleozoica, divide a bacia em três grandes regiões: o alto Iguaçu, no primeiro planalto; o médio Iguaçu, no segundo planalto; e o baixo Iguaçu, no terceiro planalto, cada qual com dinâmicas hidrológicas e usos do solo distintos (SEMA, 2013; BAUMGARTNER et al., 2012).

A ocupação do solo na bacia do Rio Iguaçu reflete as atividades humanas e as pressões econômicas sobre o ambiente. A região do alto Iguaçu, onde se localiza a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), é marcada pela alta densidade populacional e pela concentração de atividades industriais, comerciais e de serviços (SUDERHSA, 1997). Em contraste, as regiões média e baixa são caracterizadas por atividades agropecuárias, com destaque para o cultivo de soja e trigo em áreas intensivas, sobretudo próximas ao município de Guarapuava, e por extensas coberturas florestais, especialmente no trecho inferior da bacia (SEMA, 2013). O desnível topográfico nas regiões média e baixa torna-as também propícias ao aproveitamento hidrelétrico, com usinas importantes, como Salto Santiago (1.420 MW), Segredo (1.260 MW), Salto Caxias (1.240 MW) e Salto Osório (1.078 MW), que juntas desempenham um papel estratégico na geração de energia para o estado (SEMA, 2013).

Apesar de sua relevância econômica e ecológica, a bacia enfrenta desafios significativos relacionados à qualidade da água e à gestão sustentável de seus recursos. As atividades humanas, tanto no ambiente terrestre quanto no aquático, exercem impactos diretos e indiretos, especialmente no alto Iguaçu, onde a urbanização e o lançamento de efluentes domésticos e industriais alteram as características físico-químicas naturais do rio (SEMA, 2013). O transporte de poluentes provenientes das áreas urbanas e agrícolas afeta os ecossistemas aquáticos e compromete a biodiversidade local. A composição de matéria orgânica (MO), por exemplo, é fortemente influenciada pela densidade populacional e pelo manejo inadequado dos resíduos, sendo um fator determinante na qualidade das águas (SEMA, 2013).

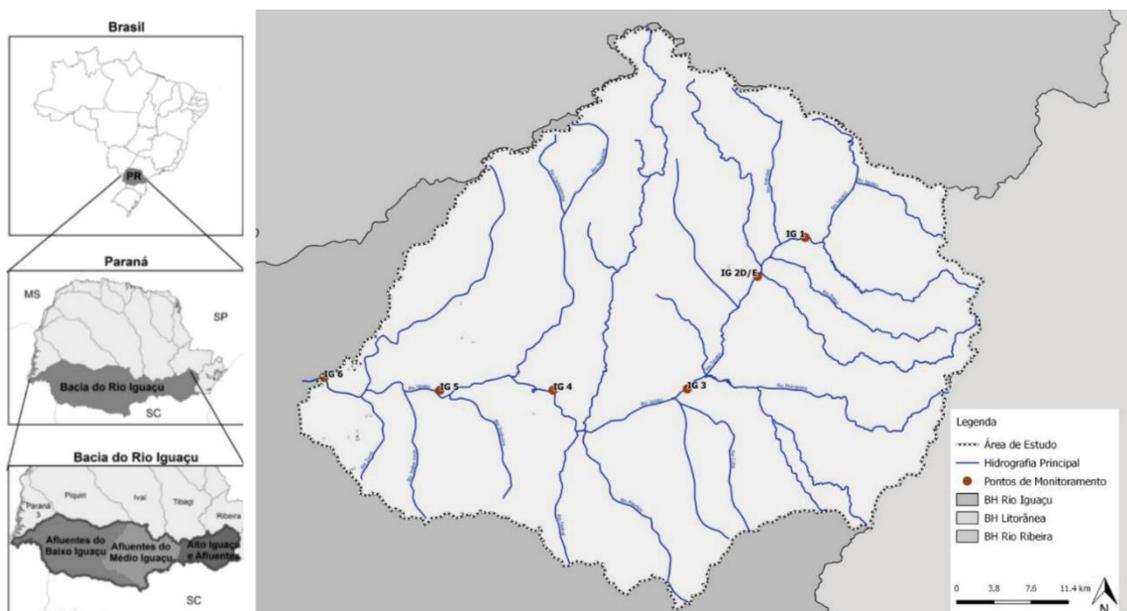
A demanda hídrica da bacia é outro aspecto crítico, totalizando aproximadamente 16 mil L/s, dos quais 81% são provenientes de mananciais superficiais e 19% de mananciais subterrâneos. O abastecimento público responde por 62% dessa demanda, seguido pelo uso industrial (18%), agrícola (10%), pecuário (9%) e minerário (menos de 1%) (SEMA, 2013). A região do alto Iguaçu, devido à concentração populacional na RMC, é responsável por 78% da demanda total para abastecimento público, evidenciando a necessidade de uma gestão eficiente dos recursos hídricos nessa área (SEMA, 2013).

Além das pressões antrópicas, a bacia do Rio Iguaçu abriga patrimônios naturais únicos, como as Cataratas do Iguaçu, localizadas no município de Foz do Iguaçu. Reconhecidas como a oitava maravilha do mundo, essas quedas formam 272 saltos, com desnível médio de 72 metros e um volume médio de 1.551 m<sup>3</sup>/segundo (SEMA, 2013). Esse recurso natural destaca a importância da conservação ambiental e da integração entre estratégias de uso sustentável e proteção do patrimônio ecológico.

O planejamento e a gestão da bacia do Rio Iguaçu requerem uma abordagem integrada e baseada em evidências, que leve em consideração as especificidades regionais e as interações entre clima, geomorfologia, usos do solo e demandas econômicas. A implementação de redes de esgoto, estações de tratamento de efluentes e práticas de manejo sustentável são importantes para mitigar os impactos sobre os recursos hídricos e promover a recuperação

ambiental. Políticas públicas que priorizem a conservação da biodiversidade e a redução das desigualdades no acesso à água são relevantes para garantir a sustentabilidade desse sistema estratégico para o Paraná e para o Brasil como um todo. A Figura 7 apresenta da Bacia do Rio Iguazu na Região Metropolitana de Curitiba.

Figura 7 – Bacia do alto iguaçu

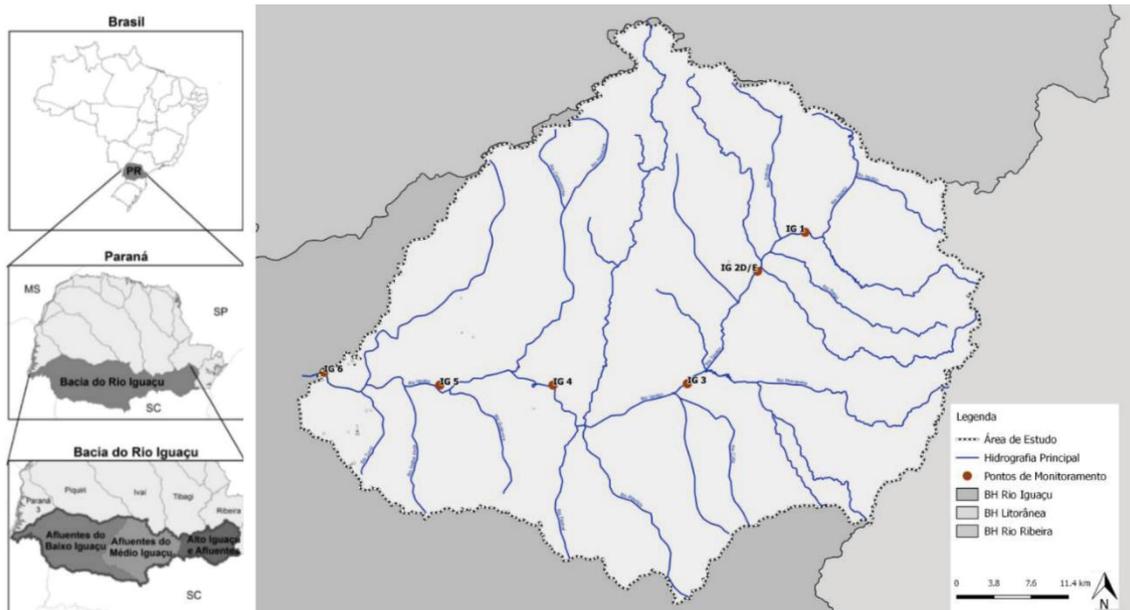


FONTE: Bitencourt (2019).

## 5.2 O PONTO DE MONITORAMENTO IG4

O estudo de caso foi realizado na Bacia do Alto Iguazu, que está localizada na Região Metropolitana de Curitiba. Esta bacia cobre uma área de 2.746,62 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010) e abriga uma população estimada de 3,6 milhões de habitantes (IBGE, 2017). A maior parte de sua área é composta por vegetação, mas a mancha urbana na região é densa e concentrada, o que tem impactos diretos sobre a qualidade da água do Rio Iguazu e de seus principais afluentes Bitencourt e Fernandes. (2019), conforme indicado na Figura 8, a seguir, que destaca os pontos de monitoramento do Rio Iguazu nos trabalhos de (KNAPIK, 2014; LEITHOLD, 2022; COELHO 2013).

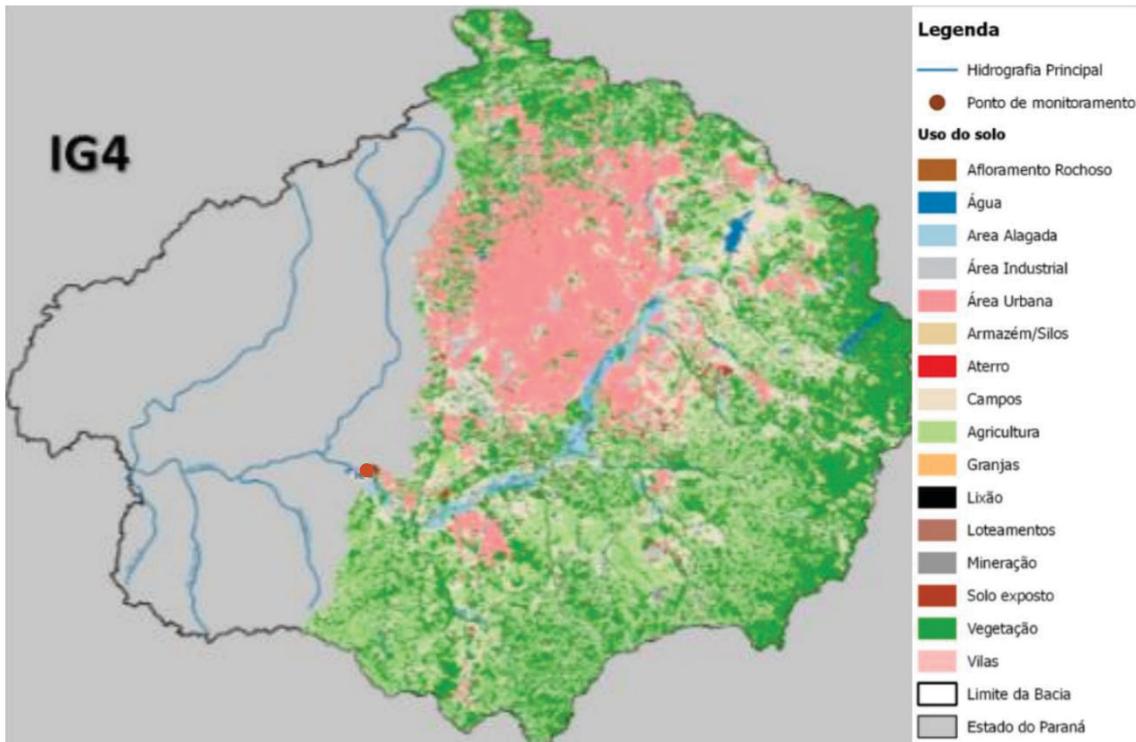
Figura 8 – Pontos de monitoramento da bacia do alto iguaçu



FONTE: Bitencourt e Fernandes (2019).

Embora a vegetação cubra uma porção significativa da bacia, a urbanização tem levado à degradação dos corpos de água. As áreas urbanas, com suas concentrações populacionais e atividades industriais, resultam no lançamento de poluentes e efluentes, afetando diretamente a qualidade da água. Bitencourt e Fernandes (2019) destacam que a poluição proveniente das áreas urbanas, aliada ao uso inadequado dos recursos hídricos, tem gerado sérios desafios para a conservação ambiental da bacia e para a saúde dos ecossistemas aquáticos, conforme indicado na Figura 9, com destaque para a localização do ponto IG4.

Figura 9 – Uso do solo para o ponto ig4

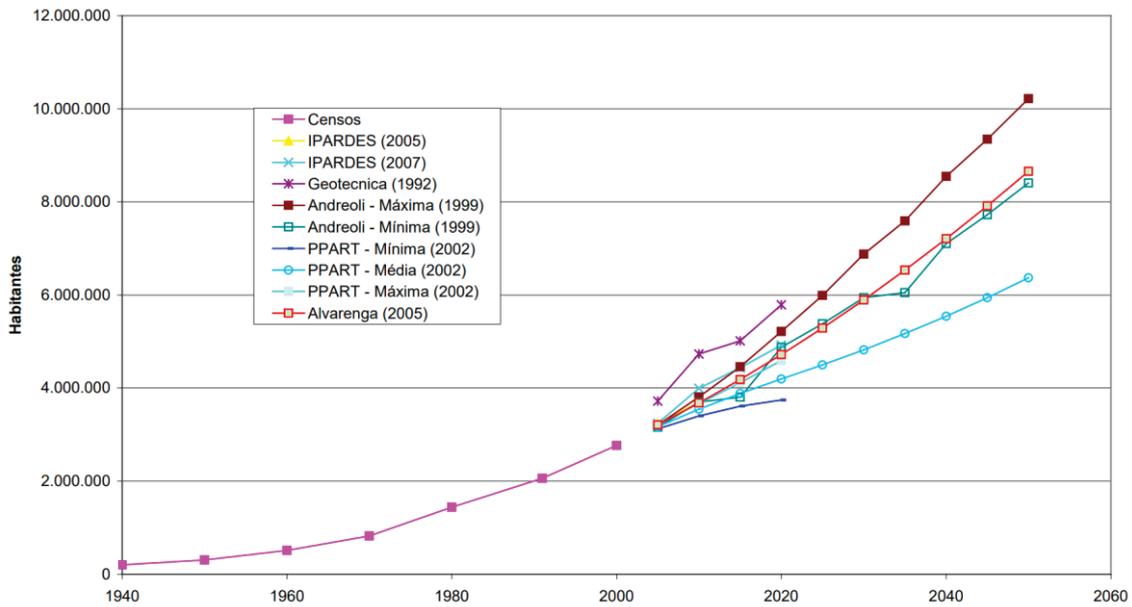


FONTE: Adaptado de Bitencourt e Fernandes (2019).

Esse cenário evidencia a necessidade de ações voltadas para o controle da poluição e a preservação da qualidade hídrica na bacia, de modo a garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos para as populações que dependem dessa água.

Com o passar do tempo, a dificuldade em gerenciar a bacia tende a aumentar, conforme apontado pelos estudos da SUDERHSA (2008). A Figura 10 apresenta o gráfico de projeções populacionais para a Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Esse crescimento populacional acentua a necessidade de se identificar e implementar tecnologias e soluções eficazes para o tratamento de rios que enfrentam desafios semelhantes.

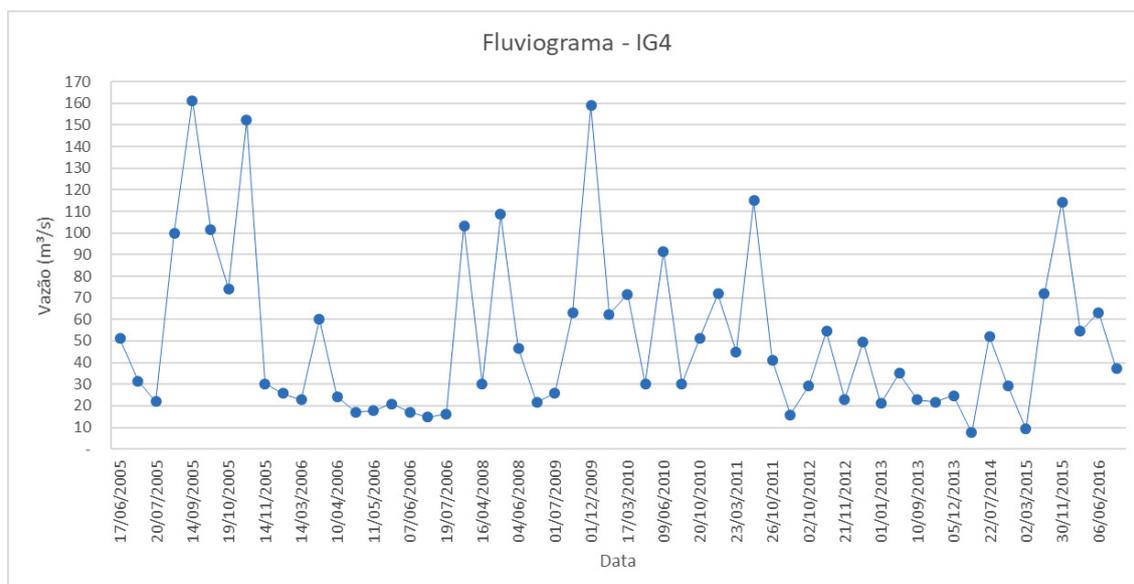
Figura 10 – Projeções populacionais para a RMC



FONTE: SUDERHSA (2008).

A Figura 11 apresenta o fluviograma referente ao ponto de monitoramento IG4, a partir do qual foram extraídos os dados utilizados nas simulações e análises realizadas no âmbito desta dissertação. A série histórica de dados observados quando da amostragem para parâmetros de qualidade da água do período de 2005 a 2016 (PROJETO INTEGRA), permite observar que as vazões se situam predominantemente entre 10 e 60 m<sup>3</sup>/s. Esse comportamento reflete uma dinâmica hidrológica caracterizada pela regularidade das vazões em níveis moderados, intercalada por picos sazonais, que ocorrem majoritariamente nos meses finais de cada ano. Tal comportamento pode ser atribuído a fatores climáticos específicos da região, como o aumento da precipitação durante o período chuvoso.

Figura 11 – Fluviograma do ponto ig4, dos anos de 2005 a 2016



FONTE: O autor (2024).

A partir dos dados obtidos no ponto de monitoramento IG4, foram elaboradas as curvas de permanência de vazão e de concentração de DBO, Figura 12 e Figura 13, respectivamente, essenciais para a análise hidrológica e de qualidade da água.

A curva de permanência é uma ferramenta estatística amplamente utilizada na hidrologia para analisar o comportamento temporal das vazões de um curso de água ao longo de um período de observação. Essa curva representa graficamente a frequência com que determinadas vazões são igualadas ou superadas em um dado intervalo de tempo, sendo fundamental para a caracterização da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, Cruz e Tucci (2007).

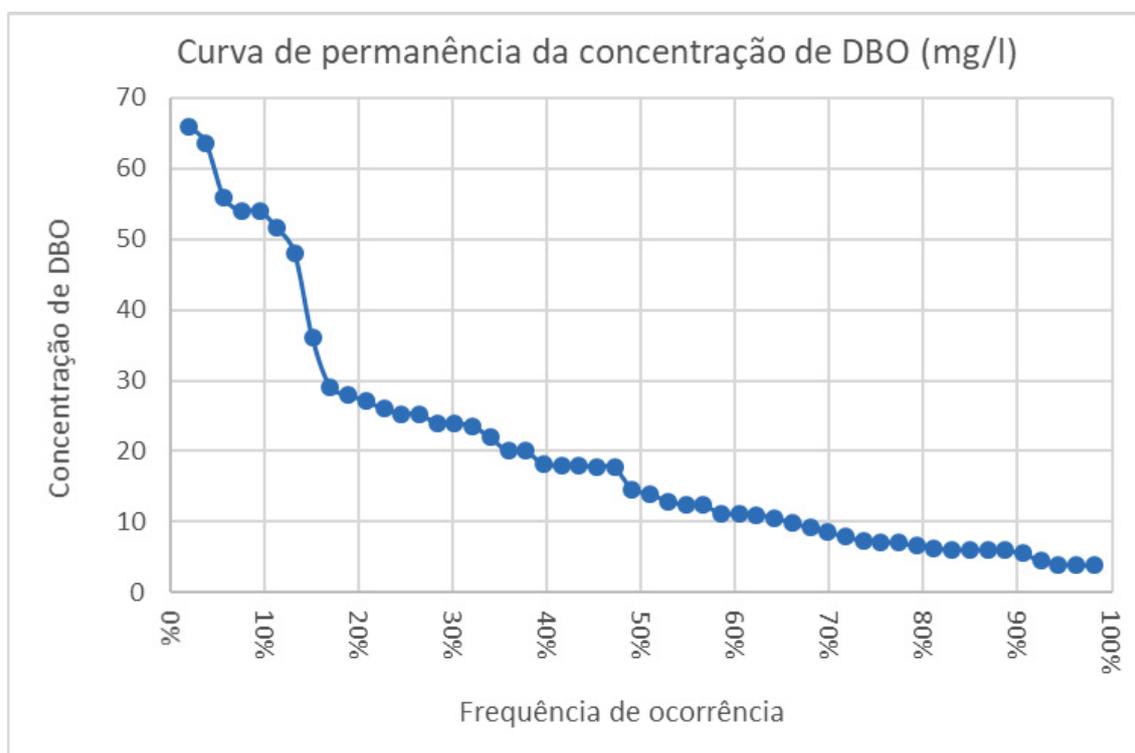
De acordo com Cruz e Tucci (2007), a construção da curva de permanência baseia-se na ordenação das vazões diárias, mensais ou anuais — conforme o objetivo da análise — de forma decrescente, ou seja, da maior para a menor. Em seguida, atribui-se a cada vazão um valor de probabilidade empírica, que corresponde ao percentual do tempo em que aquela vazão foi igualada ou superada no período considerado. A fórmula mais comumente utilizada para o cálculo da frequência de permanência é:

$$P = (m / (n + 1)) \times 100$$

Onde: P é a frequência de permanência (%), m é a posição da vazão na série ordenada (1 para a maior vazão, 2 para a segunda maior, e assim por diante), e n é o número total de observações.

O resultado da aplicação dessa fórmula é um conjunto de pares de valores, associando vazões a suas respectivas permanências, que são então representados em um gráfico com a vazão no eixo vertical e a frequência de permanência no eixo horizontal. Dessa forma, a curva de permanência permite visualizar, por exemplo, qual é a vazão garantida em 90% do tempo (Q90), ou seja, a vazão que foi igualada ou superada em 90% dos dias do período avaliado.

Figura 12 – Curva de permanência da concentração de DBO, dos anos de 2005 a 2016

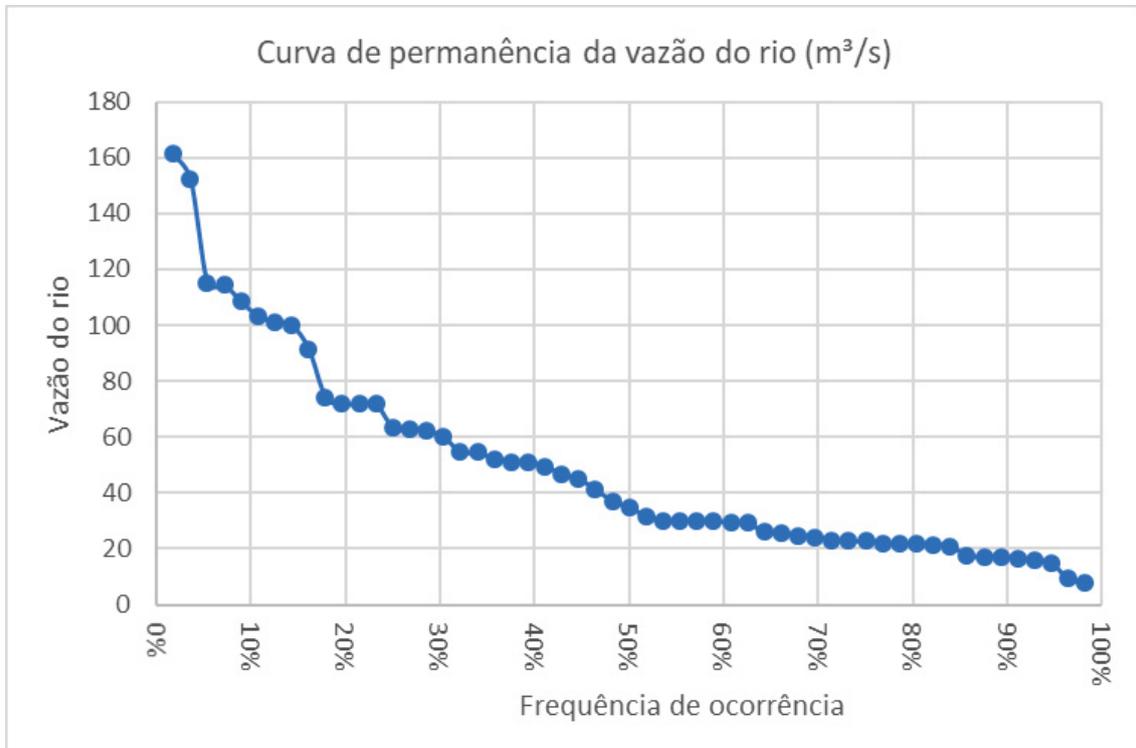


FONTE: O autor (2024).

A Figura 13 indica a curva de permanência de vazão indica a distribuição e a frequência das vazões ao longo do período analisado, abrangendo desde eventos de alta vazão, com baixa probabilidade de ocorrência, até vazões mais frequentes em regimes médios e baixos. Analogamente, a curva de permanência de concentração de DBO revela a relação entre as concentrações dessa variável e sua

probabilidade de ocorrência, refletindo o comportamento da carga orgânica no corpo hídrico

Figura 13 – Curva de permanência da vazão, dos anos de 2005 a 2016



FONTE: O autor (2024).

A análise dessas curvas permitiu identificar as vazões e concentrações de DBO associadas a diferentes níveis de probabilidade (10% a 95%). Os percentuais de 10% e 95% correspondem, respectivamente, a condições extremas e mais regulares de ocorrência, sendo importantes para a compreensão das características hidrológicas e da qualidade da água no ponto de monitoramento.

Esses dados foram utilizados como entradas nas simulações realizadas e apresentadas no Capítulo 6.

### 5.3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

A modelagem e controle de processos de tratamento de águas residuais são necessários para garantir a conformidade com os parâmetros de qualidade

estabelecidos para corpos hídricos. No Brasil, a Resolução CONAMA 357/05 define limites específicos para a concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de acordo com as classes de qualidade dos rios, exigindo sistemas de tratamento que possibilitem o lançamento de efluentes adequados aos padrões estabelecidos.

Este capítulo descreve uma rotina de cálculo desenvolvida em uma planilha Excel para a estimativa e controle de carga de DBO em sistemas de tratamento, abrangendo as etapas primária, secundária e terciária. A rotina inicia-se com a entrada de dados de vazão e concentração de DBO pelo operador, que ajusta os valores conforme o padrão de qualidade exigido. A partir disso, a ferramenta avalia alternativas de tratamento com base nas eficiências de remoção, selecionando aquelas que atendem aos requisitos ou, na ausência de opções compatíveis, a de maior eficiência disponível.

Além da remoção de DBO, a planilha permite a distribuição das vazões tratadas entre devolução ao corpo hídrico e destinação a reservatórios para usos múltiplos, conforme regulamentação vigente. Abaixo, a sequência lógica detalhada da rotina no Excel apresenta cada etapa envolvida no processo, evidenciando o fluxo de dados e as ações para a aplicação dos percentuais de vazão e para o cálculo de remoção de carga de DBO:

#### **1. Entrada de Dados pelo Operador:**

- O operador insere os dados da curva de permanência de vazão e a concentração de DBO do rio específico;
- Define a concentração de DBO desejada para o rio, conforme as classes de qualidade da Resolução CONAMA 357/05;
- Escolhe os percentuais de vazão a serem destinados para:
  - Devolução direta ao rio após cada etapa de tratamento;
  - Reservatório para usos múltiplos, em conformidade com a regulamentação sobre água de reuso;
- Próxima etapa de tratamento (primário, secundário ou terciário).

## **2. Cálculo Inicial de Cargas:**

- O sistema calcula as cargas de DBO correspondentes ao cruzamento entre os dados de curva de permanência de vazão e concentração de DBO fornecidos;
- Esse cálculo inicial de carga serve de base para a estimativa de remoção de DBO em cada etapa de tratamento, considerando as vazões e eficiências atribuídas.

## **3. Tratamento Primário:**

- O sistema avalia as alternativas de tratamento primário e seleciona a que possui eficiência para alcançar a qualidade de DBO desejada;
- Se nenhuma opção atingir o padrão desejado, o sistema seleciona a alternativa com a maior eficiência disponível;
- A vazão tratada é dividida em três partes, conforme os percentuais definidos pelo operador:
  - Vazão para o tratamento secundário (continuação do processo);
  - Vazão devolvida ao rio;
  - Vazão reservada para usos múltiplos.

## **4. Tratamento Secundário:**

- O sistema analisa as alternativas de tratamento secundário e procura uma opção que possua uma faixa de eficiência capaz de atender ao padrão de qualidade estipulado;
- Se nenhuma alternativa for suficiente, o sistema escolhe o pacote de tratamento com a maior eficiência disponível;
- O sistema oferece uma lista de alternativas dentro da faixa de eficiência selecionada, permitindo ao operador escolher o método específico de tratamento;
- A vazão é novamente dividida:
  - Vazão para o tratamento terciário (continuação do processo);
  - Vazão devolvida ao rio;
  - Vazão reservada para usos múltiplos.

### **5. Tratamento Terciário:**

- O sistema verifica as alternativas de tratamento terciário disponíveis e seleciona a que melhor atende à concentração de DBO desejada;
- Caso nenhuma opção alcance o padrão, o sistema aplica a alternativa com a maior eficiência;
- A vazão tratada é separada para os dois destinos finais:
  - Vazão reservada para usos múltiplos;
  - Vazão devolvida ao rio.

### **6. Cálculo Final – Balanço de Massa:**

- Ao término das três etapas de tratamento, o sistema realiza um balanço de massa para a carga de DBO final lançada no rio;
- Esse cálculo permite estimar a redução total de carga de DBO que o tratamento alcançou, comparando a carga inicial com a carga remanescente após o tratamento, e apresenta ao operador o impacto efetivo do processo sobre a qualidade da água do rio.

## **6. ESTUDO DE CASO PARA O PONTO DE MONITORAMENTO IG4 NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

O Estudo de caso para a aplicação do algoritmo e estratégia de orientação para o gestor de recursos hídricos é baseado na análise do ponto de monitoramento IG4, no Rio Iguaçu. O planejamento experimental consiste de quatro configurações distintas de experimentos considerando diferentes parâmetros de vazão e carga de DBO, buscando fornecer uma compreensão detalhada sobre o impacto da captação de água e o desempenho de diferentes configurações de tecnologias de tratamento.

As quatro estratégias experimentais foram estruturadas com dinâmicas de cálculo que se dividem em dois pares principais: as Estratégias Experimentais 1 e 3 seguem uma mesma abordagem de comparação de dados, enquanto as Estratégias Experimentais 2 e 4 apresentam uma lógica semelhante entre si. A diferença central entre eles está na forma como os dados de entrada foram

tratados e interpretados, o que reflete diretamente nas estimativas de carga e nos resultados obtidos.

Nas Estratégias Experimentais 1 e 2, a análise foi baseada na curva de permanência de vazão e na curva de concentração de DBO do rio. Para cada percentil de permanência (10%, 20%, 30% até 95%), as vazões e concentrações correspondentes foram combinadas diretamente, multiplicando os valores de vazão e concentração para calcular a carga diária de DBO. Essa abordagem considera cenários hipotéticos em que as maiores vazões coincidem com as maiores concentrações, resultando em uma estimativa superdimensionada de carga. Essa condição, embora não reflita a variabilidade real dos dados históricos, pode ser vantajosa em situações onde não há uma série histórica longa ou confiável, permitindo ao gestor adotar margens conservadoras que assegurem maior segurança na proposta de tratamento.

Nas Estratégias Experimentais 3 e 4, por outro lado, os cálculos foram realizados utilizando diretamente os pares observados de vazão e concentração da série histórica, preservando a correlação real entre os dois parâmetros. Isso resultou em estimativas de carga mais ajustadas às condições reais do rio e, conseqüentemente, em uma proposta de tratamento mais adequada à dinâmica hídrica do corpo de água.

Apesar das diferenças na forma de tratar os dados, os métodos de tratamento sugeridos pelas Estratégias Experimentais 1 e 3, assim como pelas Estratégias Experimentais 2 e 4, foram os mesmos. Isso demonstra que, mesmo com mudanças nas configurações de entrada ou nas condições de carga, o sistema de tratamento permanece eficaz em atender os parâmetros estipulados inicialmente. Pois indica que o sistema proposto consegue atender à demanda de qualidade da água, seja em cenários mais conservadores ou mais alinhados à realidade operacional do rio.

A seguir, cada estratégia experimental é descrita em termos das variáveis utilizadas e dos resultados gráficos obtidos.

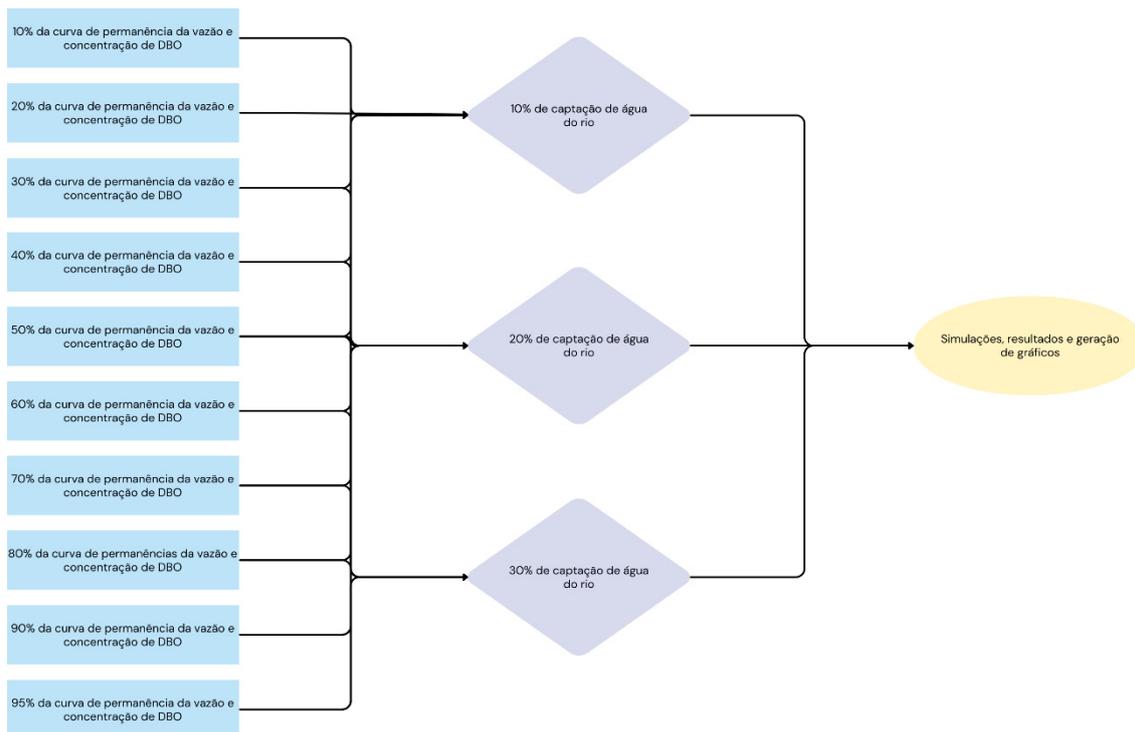
## 6.1 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 1 (EE1)

A EE1, consiste de simulação baseada na curva de permanência de concentração de DBO (Figura 12) e vazão (Figura 13), considerando: percentuais de vazão de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95%, representando a variabilidade da vazão ao longo do tempo, conforme a Figura 14 a seguir e síntese dos dados de entrada na Tabela 5, para o cenário de 10% de permanência de vazão.

Cabe destacar que as simulações indicam a eficiência mínima para atingir uma determinada meta por etapa de tratamento primário, secundário e terciário. Para cada uma dessas vazões, foram avaliados cenários de captação de água do rio correspondentes a 10%, 20% e 30% da respectiva vazão do rio. Os resultados foram apresentados em gráficos que mostram a concentração (mg/L) e a carga de DBO (Kg/dia) para os diferentes percentuais de vazão e captação, permitindo analisar o comportamento da qualidade da água em função das condições de captação. Adicionalmente, foram plotados gráficos da vazão residual disponível, do custo associado a cada tipo de tratamento e da eficiência dos tratamentos aplicados em cada cenário.

A Figura 14 apresenta o fluxograma referente ao procedimento adotado na EE1. A rotina toma como dados de entrada as curvas de permanência para vazão e concentração de DBO, abrangendo percentuais de permanência de 10% a 95%. Com base nesses dados, são realizadas simulações separadas para cenários de captação de 10%, 20% e 30% da vazão do rio. Em cada cenário, todas as curvas de permanência são simuladas simultaneamente, permitindo uma análise abrangente das variações nas vazões e concentrações de DBO em diferentes condições de permanência.

Figura 14 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 1



FONTE: O autor (2024).

A Figura 12 apresenta a curva de permanência da concentração de DBO para a seção IG4 do Rio Iguaçu, localizado na Bacia do Alto Iguaçu, onde se situa a Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Os dados indicam que as concentrações de DBO variam desde valores inferiores a 10 mg/L até níveis próximos de 70 mg/L. Observa-se que, durante aproximadamente 70% do tempo, a concentração de DBO excede 10 mg/L, limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 3. Essa análise evidencia a necessidade de adoção de medidas eficazes para a melhoria da qualidade hídrica local

A Figura 13 apresenta a curva de permanência das vazões do Rio Iguaçu na seção IG4. Essa curva, em conjunto com a curva de permanência da concentração de DBO, é importante para estimar a carga de DBO transportada pelo rio diariamente. Além disso, aquela possui aplicação relevante em estudos de outorga e no dimensionamento de projetos voltados para a melhoria da qualidade hídrica, contribuindo para o planejamento e a gestão eficiente dos recursos hídricos da região.

A Tabela 5 apresenta informações sobre o Rio Iguaçu, incluindo as vazões correspondentes às curvas de permanência com percentis de 10% a 95%, além das respectivas concentrações de DBO para os mesmos percentis. Adicionalmente, a tabela traz os dados de entrada do sistema, como a vazão captada do rio, correspondente a 10% da vazão total, e as concentrações de DBO associadas. Com base nessas informações, foi possível estimar a carga diária de DBO sujeita ao tratamento no sistema proposto.

Tabela 5 - Dados de vazão da seção IG4 e de entrada no sistema de tratamento

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)		Dados de entrada no sistema		
		Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
Q <sub>10</sub>	102,11	10,21	44,16	38959,63
Q <sub>20</sub>	80,11	8,01	33,55	29595,61
Q <sub>30</sub>	62,85	6,29	25,48	22482,25
Q <sub>40</sub>	49,31	4,93	19,36	17078,60
Q <sub>50</sub>	38,69	3,87	14,71	12973,72
Q <sub>60</sub>	30,36	3,04	11,17	9855,46
Q <sub>70</sub>	23,82	2,38	8,49	7486,68
Q <sub>80</sub>	18,69	1,87	6,45	5687,25
Q <sub>90</sub>	14,66	1,47	4,90	4320,30
Q <sub>95</sub>	12,99	1,30	4,27	3765,48

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 6 apresenta a seleção dos métodos de tratamento aplicados às vazões correspondentes aos percentis de 10% a 95% das curvas de permanência de vazão e concentração de DBO na seção IG4 do Rio Iguaçu. Verifica-se que, para os percentis de 10%, 20%, 30% e 40%, o método escolhido foi o "Primário Avançado", que tem eficiência média de remoção de DBO de 63%. Para os percentis restantes, de 50% a 95%, optou-se pelo "Decantador Primário", cuja eficiência média de remoção de DBO é de 33%.

Tabela 6 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis

Tratamento Primário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4
Q <sub>20</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>30</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>40</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>50</sub>	Decantador primário	33%	9,93	Classe 3
Q <sub>60</sub>	Decantador primário	33%	7,54	Classe 3
Q <sub>70</sub>	Decantador primário	33%	5,73	Classe 3
Q <sub>80</sub>	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2
Q <sub>90</sub>	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2
Q <sub>95</sub>	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Analogamente à Tabela 6, a Tabela 7 apresenta as tecnologias selecionadas pela rotina para a etapa de tratamento secundário das vazões e concentrações de DBO analisadas. Observa-se que, em todos os cenários simulados, o método escolhido enquadra-se na Faixa de Eficiência 1, cuja eficiência média de remoção de DBO varia entre 70% e 79%.

Tabela 7 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Secundário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	3,73	Classe 2
Q <sub>20</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>30</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>40</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>50</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,03	Classe 2
Q <sub>60</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,30	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,75	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,00	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,01	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,88	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 8, síntese da Tabela 3 apresenta todas as tecnologias cadastradas na rotina, classificadas em quatro faixas de eficiência conforme sua

capacidade média de remoção de DBO. A Faixa 1 abrange tecnologias com eficiência entre 70% e 79%, enquanto a Faixa 2 contempla aquelas com eficiência entre 80% e 89%. A Faixa 3 corresponde a tecnologias que removem entre 90% e 95% da carga orgânica, e, por fim, a Faixa 4 compreende os métodos mais eficientes, com capacidade de remoção entre 96% e 99%.

Tabela 8 - Cesta de medidas de tratamentos secundários

Tratamento Secundário			
Cesta de Medida	Faixa de Eficiência	Tratamentos	Eficiência de remoção
1	70-79%	UASB	69,5%
		Lagoa Facultativa	77,5%
		Lagoa anaeróbia - Lagoa facultativa	77,5%
		Lagoa aerada facultativa	77,5%
		Lagoa aerada de mistura completa - Lagoa sedimentação	77,5%
2	80-89%	UASB + lagoa aerada facultativa	80,0%
		UASB + lagoa aerada mista completa + lagoa de decantação	80,0%
		UASB + filtro anaeróbio	81,0%
		UASB + lagoas de polimento	82,0%
		Fossa séptica + Filtro anaeróbio	82,5%
		Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	82,5%
		Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de alta taxa	82,5%
		UASB + escoamento superficial	83,5%
		Filtro biológico (Alta carga)	85,0%
		Escoamento superficial no solo	85,0%
		Wetlands	85,0%
		UASB + filtro biológico percolador de alta carga	86,5%
		Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas	87,5%
		UASB + Lodos ativados	88,0%
		Uasb + biofiltro aerado submerso	88,0%
		UASB + flotação por ar dissolvido	88,0%
		Lodos ativados convencionais	89,0%
		Filtro biológico (Baixa carga)	89,0%
		Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	89,0%
		Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P	89,0%
3	90-95%	Biodisco	91,5%
		Infiltração rápida no solo	91,5%
		Biofiltro aerado submerso com nitrificação	91,5%
		Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	91,5%
		Lodos ativados - Aeração Prolongada	93,5%
		Lodos ativados - batelada (aeração prolongada)	93,5%
		Fossa séptica + infiltração	94,0%
Infiltração lenta no solo	94,5%		
4	96-99%	Lodos ativados convencional + filtração terciária	95,5%

FONTE: O autor (2024).

Por fim, a Tabela 9 apresenta a seleção do método de remoção de DBO aplicado à etapa de tratamento terciário. Para todas as vazões e concentrações simuladas a partir da curva de permanência, o método escolhido foi o Nano CaO<sub>2</sub>, que apresenta uma eficiência média de remoção de DBO de 75%.

Tabela 9 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Terciário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Nano CaO2	75%	0,94	Classe 1
Q <sub>20</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>30</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Nano CaO2	75%	0,77	Classe 1
Q <sub>60</sub>	Nano CaO2	75%	0,58	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Nano CaO2	75%	0,44	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Nano CaO2	75%	0,34	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Nano CaO2	75%	0,26	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Nano CaO2	75%	0,22	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Os resultados globais da simulação para uma captação de 10% da vazão do rio estão detalhados na Tabela 10, a seguir. **[Os resultados para a demais frequências estão indicados no apêndice.]**

Nesta análise inicial, ao aplicar os parâmetros definidos, encontrou-se uma configuração que permitiu atingir os padrões de qualidade exigidos para enquadramento na classe 2 da Resolução CONAMA 357, estabelecendo uma concentração de DBO final inferior a 5 mg/L. Mais significativamente, após a etapa de tratamento terciário, as concentrações de DBO foram reduzidas para valores inferiores a 1,0 mg/L, indicando uma qualidade de água de padrão equivalente ao exigido para classe 1.

Com isso, permitiu não apenas atender às demandas de reuso, mas também promover a diluição natural no corpo hídrico. A combinação do tratamento aplicado e da diluição natural resultou em uma melhoria geral na qualidade da água do rio, com uma redução estimada na carga de poluentes na ordem de 3% a 4%. A parcela destinada a usos múltiplos apresentou qualidade suficiente para aplicações diversificadas, incluindo irrigação, reuso industrial e outros usos não potáveis, destacando o potencial de economia de água potável para usos de fins que não depende tal padrão.

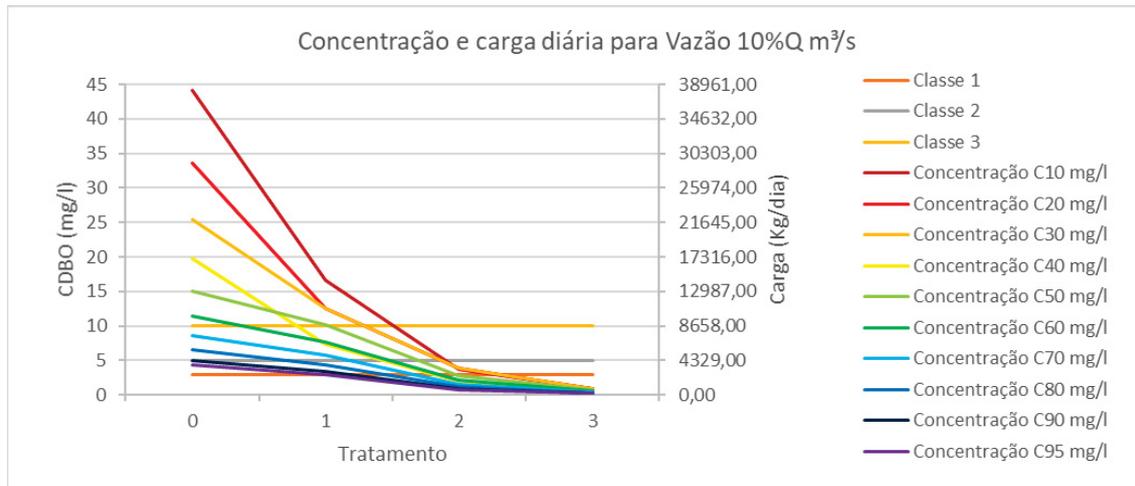
Tabela 10 - Resumo do balanço de massa da simulação

Dados Finais						
Permanência	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	5,43	0,94	91,90	44,16	42,32	4,2%
Q <sub>20</sub>	4,26	0,97	72,10	33,55	32,18	4,1%
Q <sub>30</sub>	3,34	0,97	56,57	25,48	24,57	3,6%
Q <sub>40</sub>	2,62	0,97	44,38	19,36	18,78	3,0%
Q <sub>50</sub>	2,06	0,77	34,82	14,71	14,28	2,9%
Q <sub>60</sub>	1,61	0,58	27,32	11,17	10,85	2,9%
Q <sub>70</sub>	1,27	0,44	21,44	8,49	8,24	2,9%
Q <sub>80</sub>	0,99	0,34	16,82	6,45	6,24	3,1%
Q <sub>90</sub>	0,78	0,26	13,20	4,90	4,76	2,9%
Q <sub>95</sub>	0,69	0,22	11,69	4,27	4,15	2,9%

FONTE: O autor (2024).

A Figura 15 mostra que, a partir do tratamento secundário, todas as concentrações da curva de permanência foram reduzidas a níveis compatíveis com a classe 2, o que demonstra a importância da escolha sábia desse tratamento, para que atinja o padrão desejado, sem que gere altos custos devida má escolha da tecnologia necessária. Após o tratamento terciário, todas as concentrações atingiram valores inferiores ao limite para a classe 1, demonstrando a eficiência dos métodos aplicados.

Figura 15 - Concentração de DBO e carga diária para 10% de captação da vazão do rio

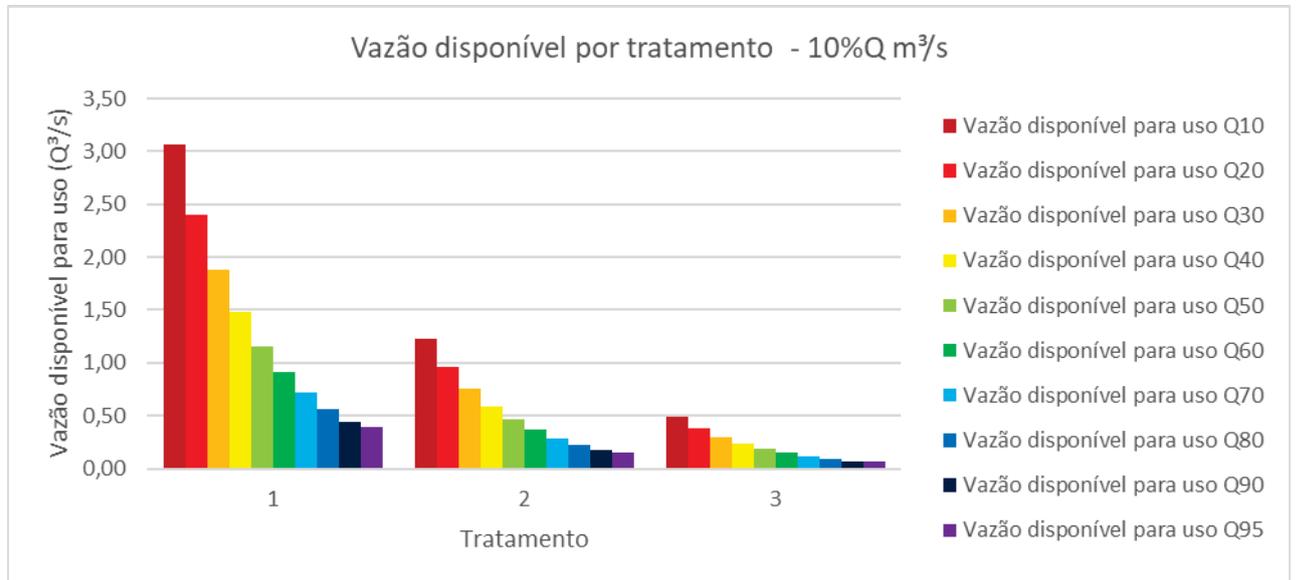


FONTE: O autor (2024).

Na Figura 16, são mostradas as vazões disponíveis para uso após cada etapa de tratamento, considerando que 30% do volume tratado foi reservado para usos múltiplos. Esses volumes, de alta qualidade, atendem a diversos tipos de aplicações não potáveis, como irrigação e uso industrial. Simulações adicionais

realizadas com captações de 20% e 30% da vazão do rio estão documentadas em anexo.

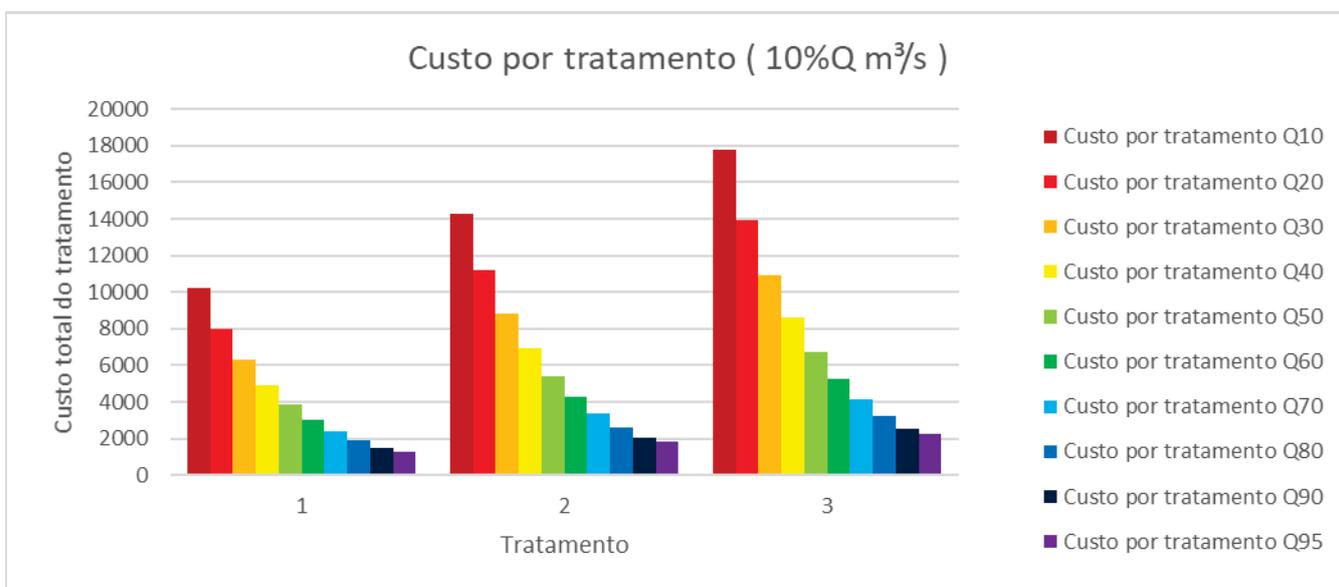
Figura 16 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio



FONTE: O autor (2024).

A Figura 17 apresenta os custos associados às tecnologias aplicadas para as três etapas de tratamento. Para esta simulação, os valores médios assumidos foram de 1000 UM (unidades monetárias) para o tratamento primário, 2000 UM para o tratamento secundário e 3000 UM para o tratamento terciário, possibilitando a análise econômica para cada uma das vazões simuladas, de Q10 a Q95. A tabela permite analisar e comparar, de forma proporcional, os custos das vazões da Q10 a Q95, possibilitando ao gestor avaliar os cenários mais viáveis economicamente.

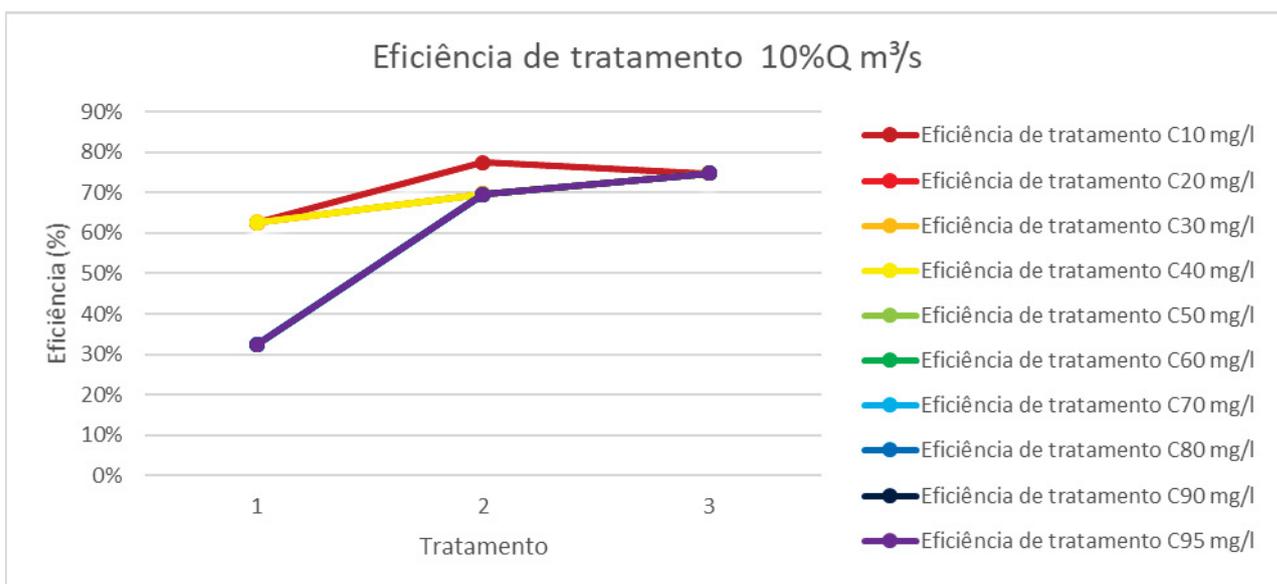
Figura 17 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 10% de captação da vazão do rio



FONTE: O autor (2024).

Por fim, a Figura 18 apresenta os percentuais de eficiência mínimos, para os tratamentos primário, secundário e terciário, necessários para atingir os padrões de qualidade da classe 2 ou superior. Os resultados indicaram faixas de eficiência de 30-65% para o tratamento primário, 70%-78% para o secundário e até 75% para o terciário nas condições mais críticas. Essas faixas auxiliam na seleção das tecnologias mais adequadas e na otimização do sistema de tratamento.

Figura 18 - Eficiências de tratamentos para 10% de captação da vazão do rio



FONTE: O autor (2024).

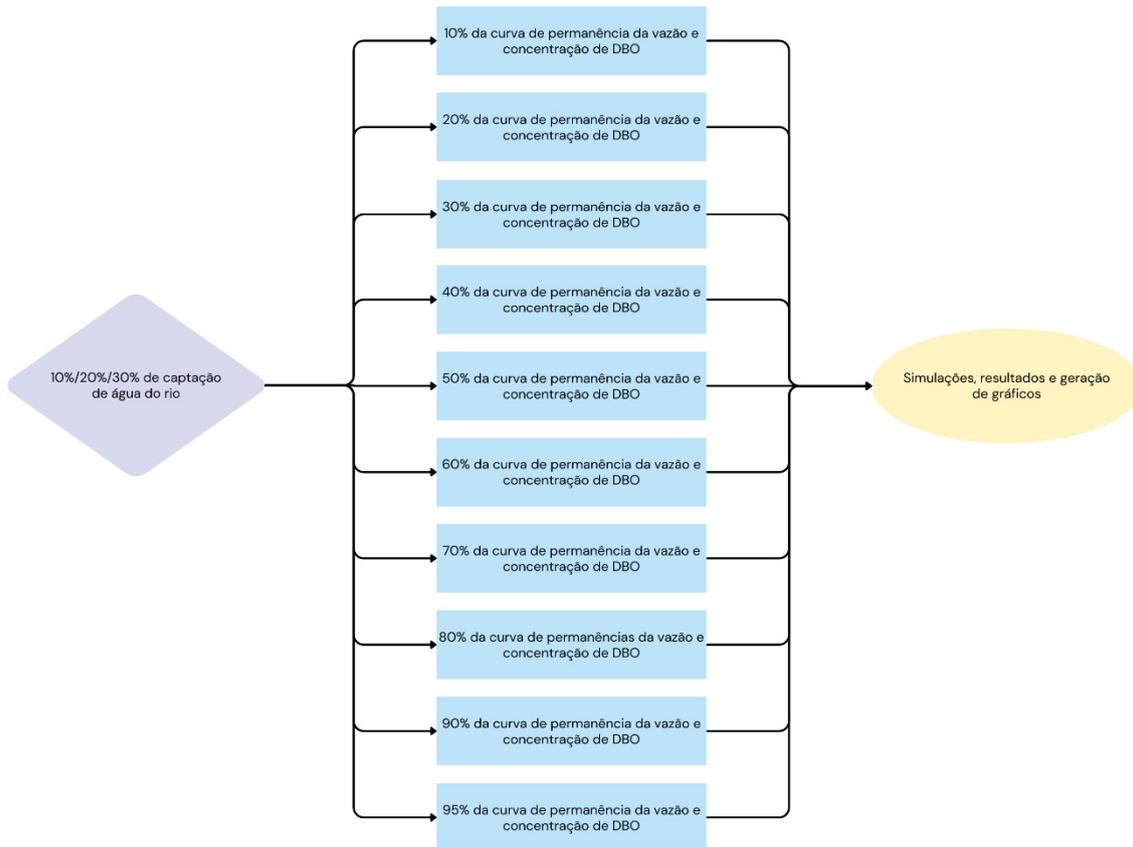
## 6.2 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 2 (EE2)

Na EE2, a simulação também utilizou a curva de permanência de vazão e concentração de DBO do rio, mas a configuração de captação foi realizada de maneira mais abrangente para cada valor de vazão. Nessa estratégia, para cada ponto da curva de permanência de vazão (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95%), foram aplicados os percentuais de captação de 10%, 20% e 30%, resultando em uma combinação de cenários. Em cada gráfico, são apresentados simultaneamente os resultados para as captações de 10%, 20% e 30%, permitindo uma análise integrada dos efeitos de múltiplos níveis de captação para cada valor da curva de permanência. Foram gerados gráficos de concentração e carga diária de DBO, além de gráficos de vazão disponível, custo por tratamento e eficiência de tratamento para cada combinação. Essa abordagem fornece uma visão abrangente sobre a relação entre a captação e a capacidade do rio de manter a qualidade hídrica em diferentes condições de vazão.

A Figura 19 apresenta o fluxograma referente ao procedimento adotado na EE2. A rotina toma como dados de entrada as curvas de permanência de vazão e concentração de DBO, considerando percentis entre 10% e 95%. Diferentemente da abordagem utilizada na EE1, que realiza comparações entre diferentes percentis da curva de permanência (de 10% a 95%) para captações fixas de 10%, 20% e 30% da vazão do rio, a EE2 adota um critério distinto de análise. Nesse caso, a comparação é realizada para uma mesma vazão do rio, avaliando os impactos de captar 10%, 20% e 30% dessa vazão para tratamento.

Essa diferenciação metodológica permite analisar os efeitos de um aumento na captação da vazão do rio sobre a qualidade da água tratada, ao invés de avaliar como variações na vazão e na concentração do rio impactam o tratamento para um mesmo percentual de captação. Dessa forma, a EE2 proporciona uma visão complementar à EE1.

Figura 19 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 2



FONTE: O autor (2024).

A Figura 12 apresenta a curva de permanência da concentração de DBO para a seção IG4 do Rio Iguaçu, localizado na Bacia do Alto Iguaçu, onde se situa a RMC. Os dados demonstram que as concentrações de DBO variam desde valores inferiores a 10 mg/L até níveis próximos de 70 mg/L. Observa-se que, durante aproximadamente 70% do tempo, a concentração de DBO ultrapassa 10 mg/L, limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 3. Essa análise reforça a necessidade de implementação de medidas eficazes para a melhoria da qualidade hídrica na região, considerando os impactos ambientais e os desafios associados à recuperação da qualidade da água desse corpo hídrico.

A Figura 13 apresenta a curva de permanência das vazões do Rio Iguaçu na seção IG4. Essa curva, em conjunto com a curva de permanência da concentração de DBO, é utilizada para estimar a carga de DBO transportada pelo rio diariamente. Além disso, sua aplicação é importante em estudos de outorga, permitindo a

avaliação da disponibilidade hídrica para diferentes usos, bem como no dimensionamento de projetos voltados à melhoria da qualidade hídrica. Dessa forma, a curva de permanência de vazões contribui diretamente para o planejamento e a gestão eficiente dos recursos hídricos da região, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisões estratégicas relacionadas à preservação e recuperação da qualidade da água.

Os dados de entrada para o sistema estão organizados na Tabela 11, que inclui informações sobre a vazão captada do rio, extraída da curva de permanência, e as concentrações de DBO associadas. Para o cálculo inicial, foram assumidas captações correspondentes a 10%, 20% e 30% da vazão total do rio, representando cenários operacionais diversificados e simulando diferentes demandas e estratégias de gestão.

Tabela 11 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
102,11	5	10% Q	10,21	44,16	38959,63
		20% Q	20,42	44,16	77919,26
		30% Q	30,63	44,16	116878,89

FONTE: O autor (2024).

Analogamente à Tabela 6, a Tabela 12 apresenta a seleção dos métodos de tratamento primário aplicados às vazões analisadas. No entanto, ao contrário da Tabela 6, que compara os percentis de 10% a 95% das curvas de permanência de vazão e concentração de DBO na seção IG4 do Rio Iguaçu, a Tabela 12 realiza a comparação entre captações de 10%, 20% e 30% da vazão correspondente ao percentil de 10% da curva de permanência de vazão. Observa-se que o método selecionado foi o "Primário Avançado", cuja eficiência média de remoção de DBO é de 63%.

Tabela 12 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4

FONTE: O autor (2024).

Já a Tabela 13, embora similar à Tabela 7, apresenta as tecnologias selecionadas pela rotina para a etapa de tratamento secundário considerando captações de 10%, 20% e 30% da vazão correspondente ao percentil de 10% da curva de permanência de vazão. Observa-se que o método escolhido se enquadra na Faixa de Eficiência 1, cuja eficiência média de remoção de DBO varia entre 70% e 79%.

Tabela 13 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	4,97	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	4,97	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	4,97	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Por fim, a Tabela 14 apresenta as mesmas características da Tabela 9, trazendo a seleção do método de remoção de DBO aplicado à etapa de tratamento terciário. O método selecionado, para captações de 10%, 20% e 30% da vazão correspondente ao percentil de 10% da curva de permanência de vazão, foi o Nano CaO<sub>2</sub>, cuja eficiência média de remoção de DBO é de 75%.

Tabela 14 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO <sub>2</sub>	75%	1,26	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO <sub>2</sub>	75%	1,26	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO <sub>2</sub>	75%	1,26	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 15 resume os resultados das simulações para captações de 10%, 20% e 30% da vazão total, considerando a Q10 da curva de permanência. O sistema encontrou configurações que permitiram atingir os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, com concentração final de DBO inferior a 5 mg/L. Após o tratamento terciário, para o caso da Q10, a DBO foi reduzida para 1,26 mg/L, permitindo não apenas o enquadramento na classe 1, mas também uma significativa redução de carga orgânica no corpo hídrico. A diluição resultante gerou reduções estimadas de carga de 4,1%, 8,6% e 13,6%, para captações de 10%, 20% e 30% da vazão do rio, respectivamente.

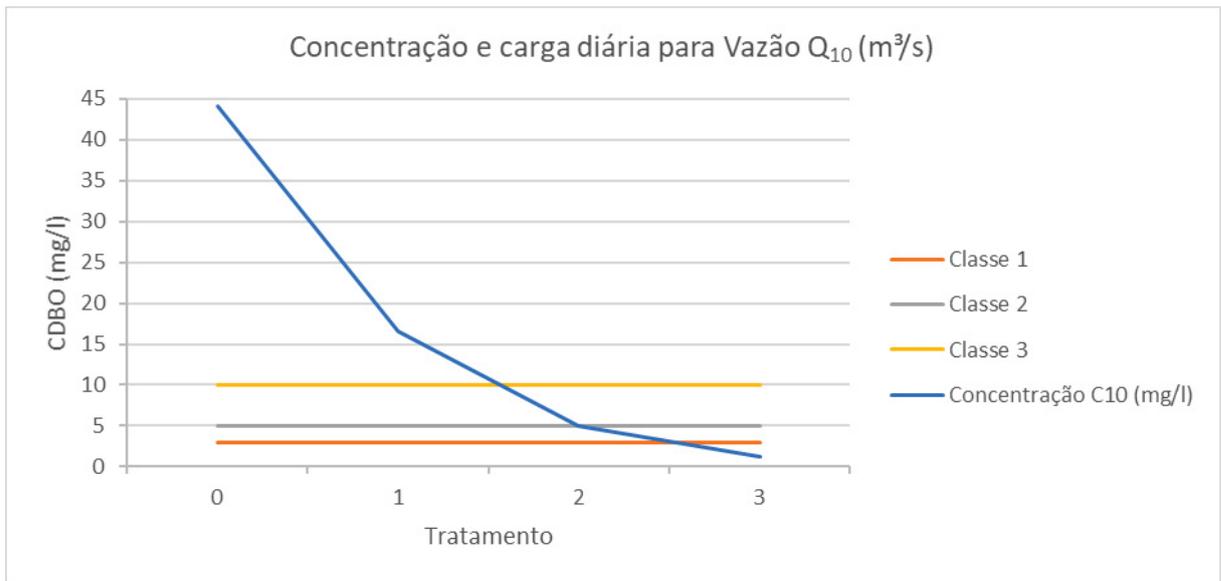
Tabela 15 - Resumo do balanço de massa da simulação

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	5,43	1,26	91,90	44,16	42,36	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	10,86	1,26	81,68	44,16	40,37	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	16,30	1,26	71,47	44,16	38,16	13,6%

FONTE: O autor (2024).

A Figura 20 mostra que o tratamento secundário foi capaz de atender aos padrões da classe 2 para a Q10 da curva de permanência. Resultados semelhantes foram observados para as demais vazões da curva, conforme mostrado nos anexos. Esse comportamento ressalta a importância do tratamento secundário no processo de remoção de carga orgânica, sendo um elemento-chave para o cumprimento dos padrões de qualidade.

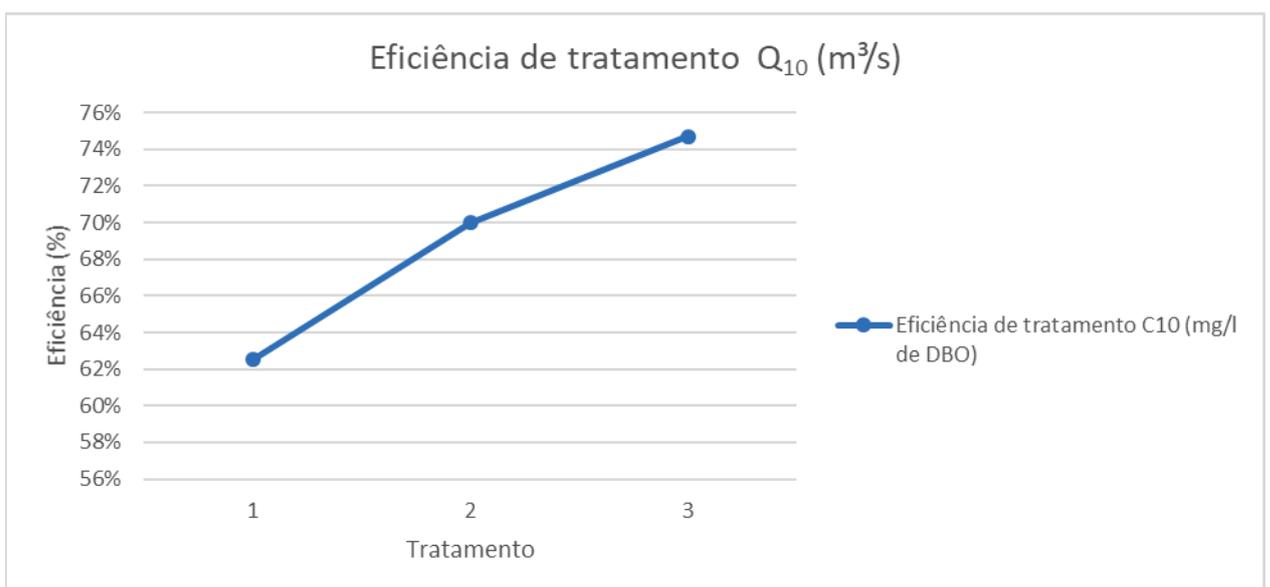
Figura 20 - Concentração de DBO e carga diária para vazão da curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

A Figura 21 apresenta os percentuais de eficiência mínimos necessários para os tratamentos primário, secundário e terciário atingirem os padrões de qualidade da classe 2 ou superior. Os valores estimados foram de 63% para o tratamento primário, 70% para o secundário e 75% para o terciário, indicando faixas de eficiência que orientam o gestor na seleção das tecnologias mais adequadas.

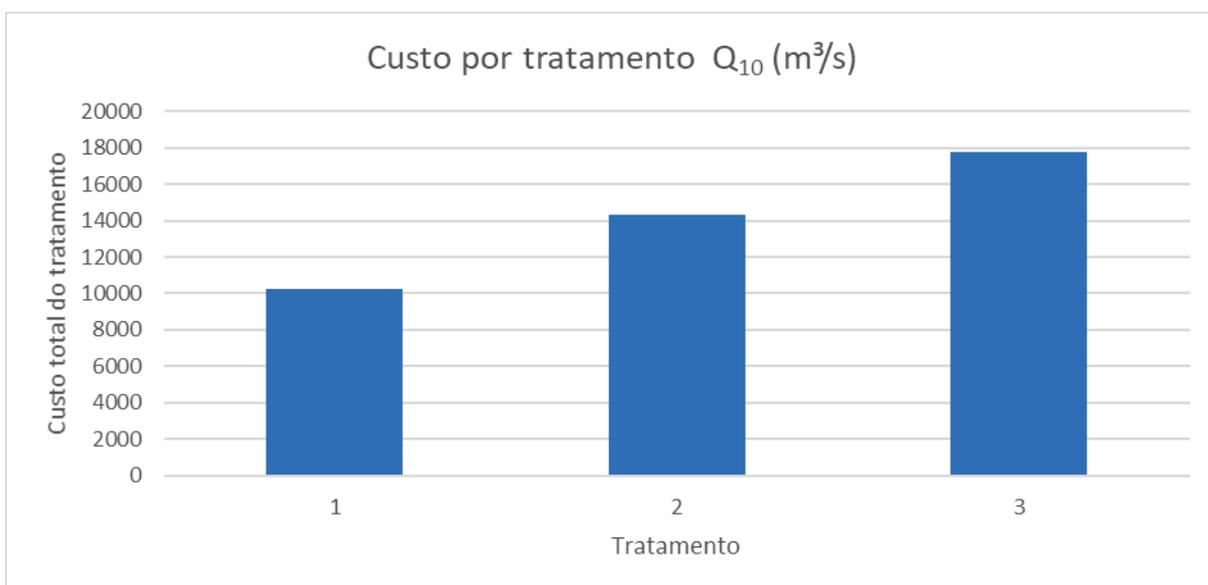
Figura 21 - Eficiências de tratamentos para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

Na Figura 22, são apresentados os custos médios das tecnologias aplicadas para cada etapa de tratamento. Foram considerados valores de 1000 UM, 2000 UM e 3000 UM para os tratamentos primário, secundário e terciário, respectivamente. Para o cálculo do custo total do tratamento, foi multiplicado a vazão de tratamento pelo custo de cada tratamento, essa análise de custos permitiu avaliar a viabilidade econômica das tecnologias selecionadas, considerando a relação entre o percentual de captação e o investimento necessário para atingir os padrões de qualidade exigidos.

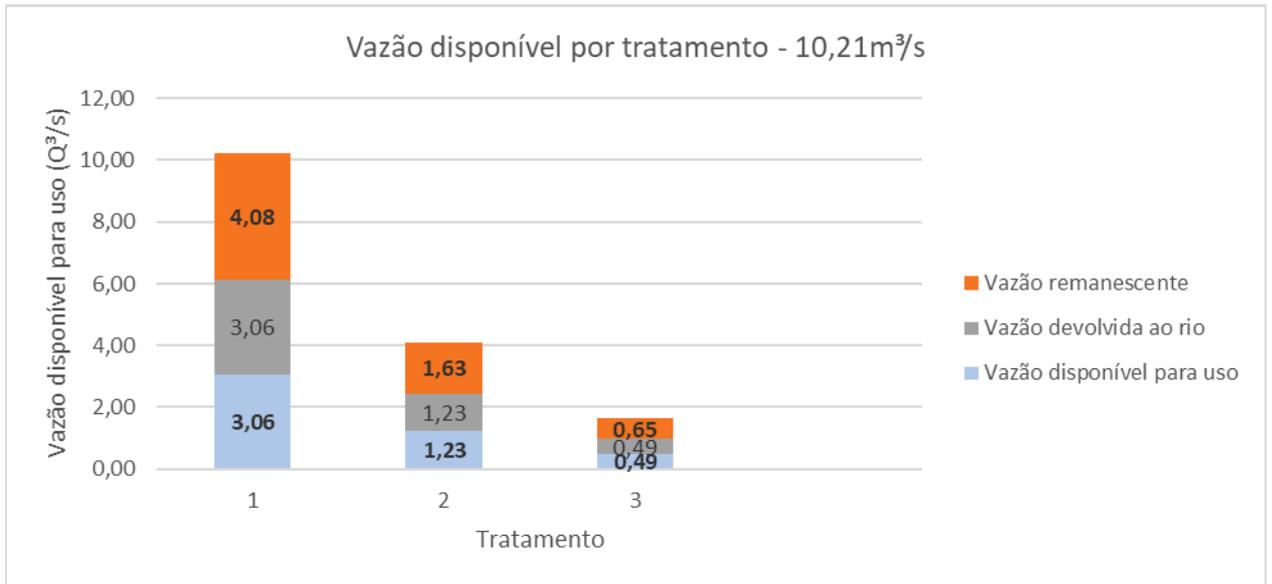
Figura 22 - Custo de cada tecnologia para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

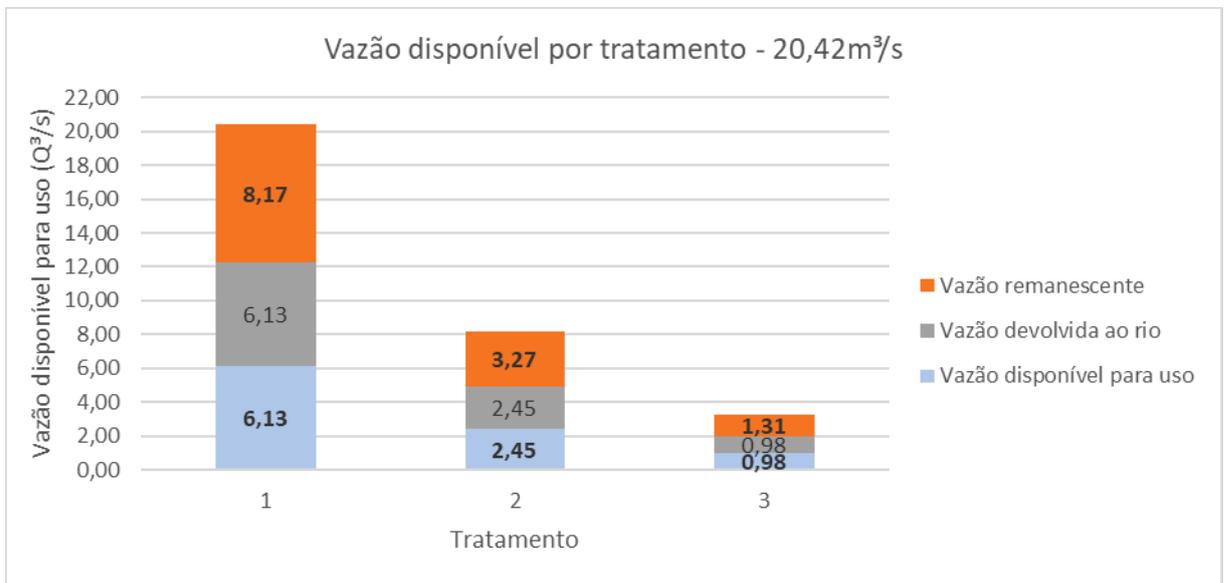
As Figura 23, Figura 24 e Figura 25, correspondentes às captações de 10%, 20% e 30% da vazão do rio, mostram as vazões disponíveis para usos múltiplos após cada etapa de tratamento. Os resultados indicam que as vazões reservadas, com alta qualidade, são adequadas para aplicações diversas, promovendo uma gestão hídrica mais eficiente e sustentável. Simulações adicionais, abrangendo outras vazões da curva de permanência, estão documentadas nos anexos deste estudo.

Figura 23 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



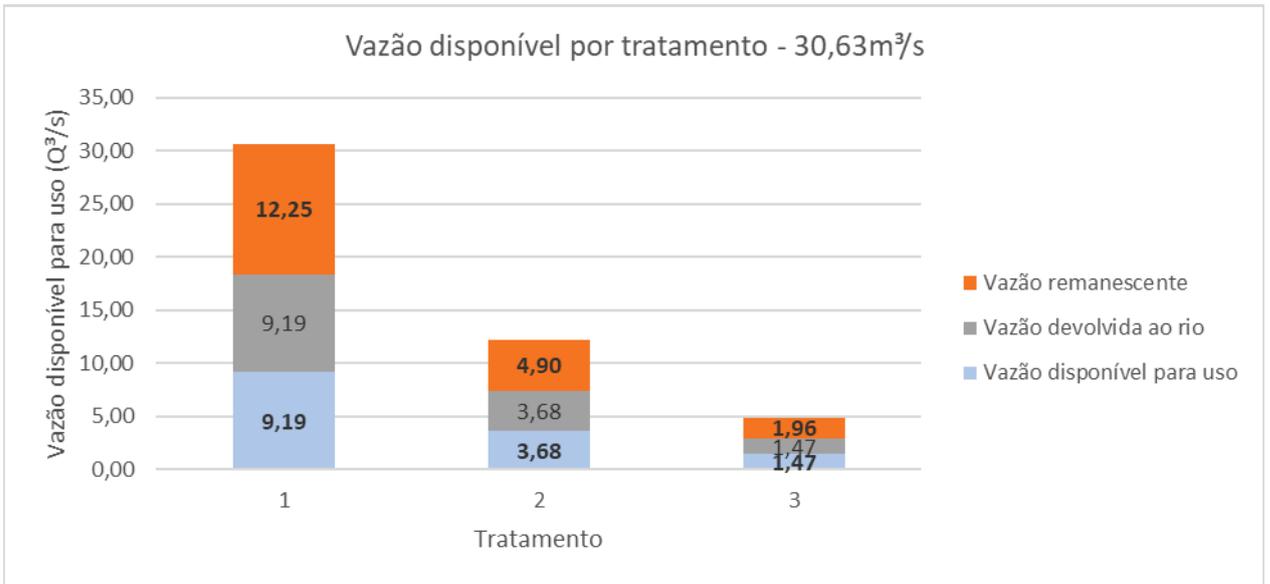
FONTE: O autor (2024).

Figura 24 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

Figura 25 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

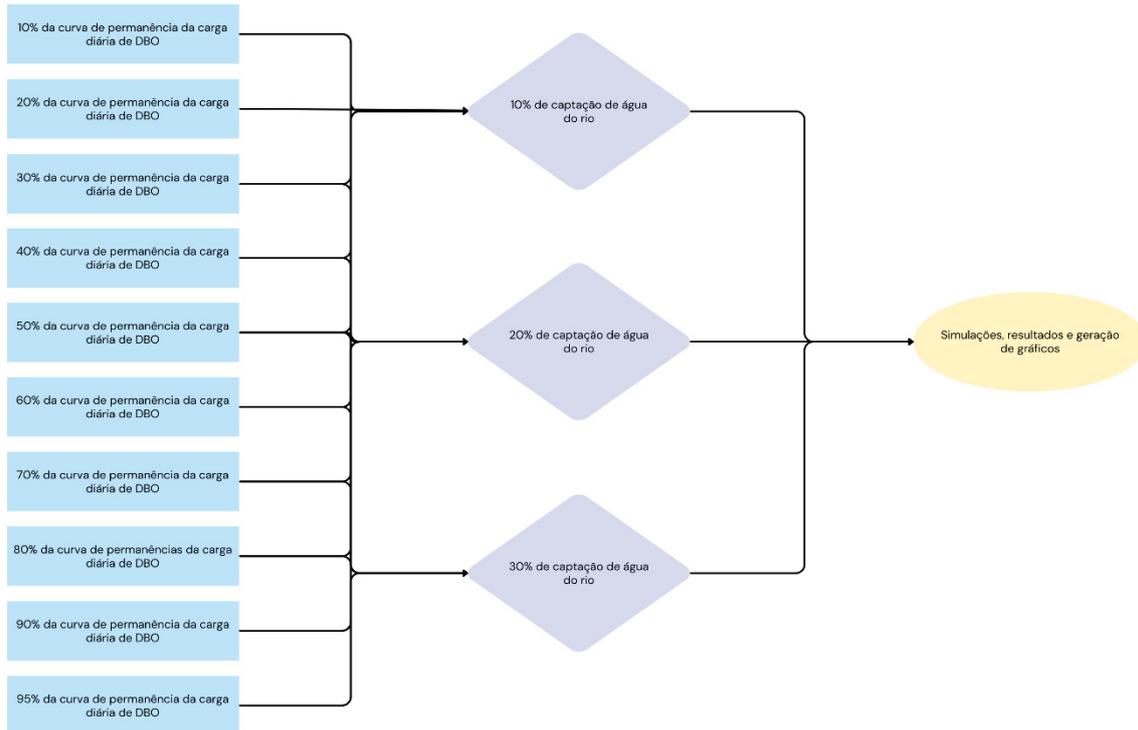
### 6.3 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 3 (EE3)

A EE3 foi estruturada para analisar a curva de permanência da carga diária de DBO do rio, diferenciando-se das estratégias anteriores que focaram na curva de vazão. A simulação foi realizada utilizando os percentuais de carga de DBO de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95%, que representam a variação na carga de poluentes ao longo do tempo. Para cada uma dessas cargas, foram simulados os cenários de captação de 10%, 20% e 30% da vazão do rio. Os resultados obtidos foram plotados em gráficos que mostram a concentração de DBO e a carga diária para as combinações de percentuais de carga e captação, permitindo observar como a variação na carga de DBO afeta a eficiência de tratamento e a qualidade da água. Além disso, foram plotados gráficos da vazão residual disponível, do custo associado ao tratamento e da eficiência do tratamento para cada cenário, proporcionando uma análise detalhada do comportamento do sistema frente às variáveis de carga de DBO.

A Figura 26 apresenta o fluxograma referente ao procedimento adotado na EE3. A rotina toma como dados de entrada as curvas de permanência para vazão e concentração de DBO, abrangendo percentuais de permanência de 10% a 95%.

Com base nesses dados, são realizadas simulações separadas para cenários de captação de 10%, 20% e 30% da vazão do rio. Em cada cenário, todas as curvas de permanência são simuladas simultaneamente, permitindo uma análise abrangente das variações nas vazões e concentrações de DBO em diferentes condições de permanência.

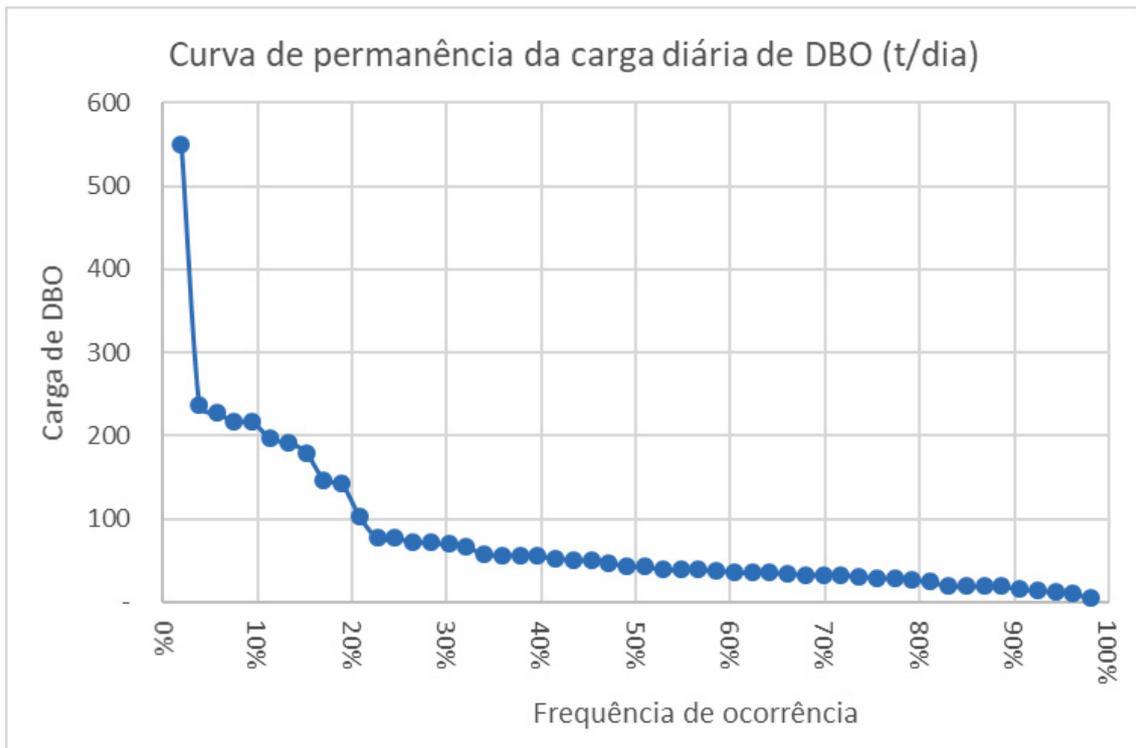
Figura 26 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 3



FONTE: O autor (2024).

A Figura 27 apresenta a curva de permanência da carga diária de DBO do Rio Iguaçu. Essa curva representa o cenário real, uma vez que considera a correlação entre os pares reais de vazão e concentração de DBO observados na seção analisada. A utilização dessa curva nas simulações possibilita uma avaliação mais precisa e representativa dos processos de remoção de carga orgânica, proporcionando resultados mais condizentes com as condições reais do corpo hídrico e aumentando a confiabilidade das análises aplicadas ao estudo de caso.

Figura 27 - Curva de permanência da carga diária de DBO

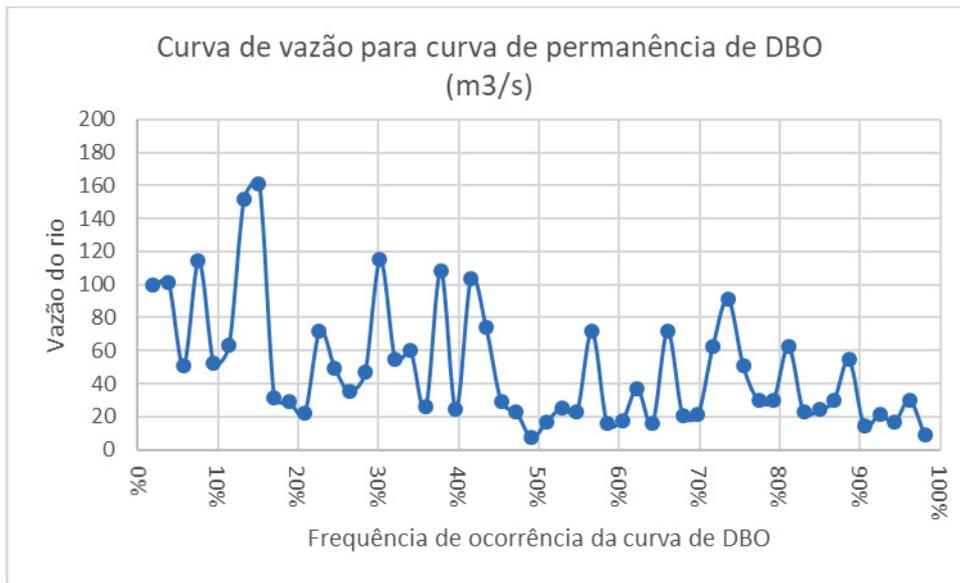


FONTE: O autor (2024).

A Figura 28 apresenta curva de vazão apresentada corresponde apenas aos valores pontuais usados para o cálculo da curva de permanência da carga de DBO. Nesse processo, a carga diária de DBO é obtida pela multiplicação da vazão pela concentração de DBO do rio. Dessa forma, podem ocorrer combinações em que vazões baixas estão associadas a concentrações elevadas de DBO, assim como vazões mais altas podem estar relacionadas a concentrações menores.

Ainda que os valores de vazão individualmente não sigam um comportamento típico de permanência, o resultado da multiplicação desses pares gera uma curva com características compatíveis a uma curva de permanência, refletindo a distribuição da carga diária de DBO no sistema hídrico analisado.

Figura 28 - Curva de vazão para curva de permanência da carga diária de DBO

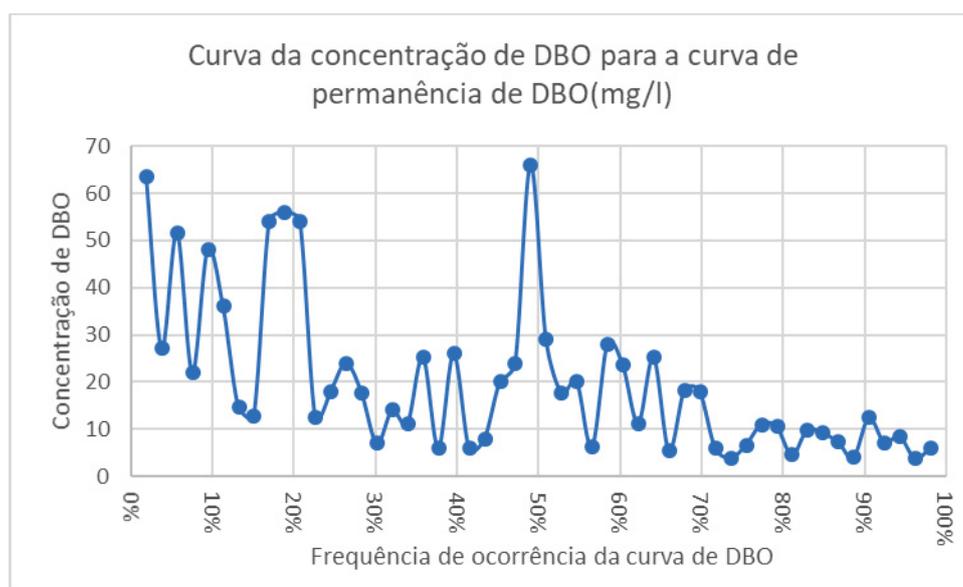


FONTE: O autor (2024).

A Figura 29 apresenta a curva da concentração de DBO, cuja justificativa segue o mesmo princípio da Figura 28, mas aplicada à variação das concentrações ao longo do tempo.

A curva de concentração de DBO exibida refere-se aos valores pontuais utilizados no cálculo da curva de permanência da carga de DBO. Nesse processo, a carga diária de DBO é obtida pela multiplicação da concentração de DBO pela vazão do rio. Como resultado, podem ocorrer cenários em que concentrações mais baixas estejam associadas a vazões elevadas, bem como concentrações mais altas estejam vinculadas a vazões menores. Assim, embora a concentração de DBO isoladamente não apresente um padrão típico de permanência, a interação entre esses fatores gera uma curva que reflete o comportamento real da carga de DBO transportada ao longo do tempo no sistema hídrico analisado.

Figura 29 - Curva da concentração de DBO para curva de permanência da carga diária de DBO



FONTE: O autor (2024).

A Tabela 16 apresenta informações detalhadas sobre o Rio Iguaçu, incluindo as vazões associadas aos percentis de 10% a 95% das curvas de permanência, bem como as respectivas concentrações de DBO para os mesmos percentis. Além disso, a tabela fornece os dados de entrada do sistema, contemplando a vazão captada do rio, equivalente a 10% da vazão total, e as concentrações de DBO correspondentes. Com essas informações, foi possível estimar a carga diária de DBO a ser tratada no sistema proposto.

Tabela 16 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)		Dados de entrada no sistema		
		Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
Q <sub>10</sub>	52,20	5,22	48,00	21646,72
Q <sub>20</sub>	29,32	2,93	56,00	25254,51
Q <sub>30</sub>	46,76	4,68	17,78	8018,31
Q <sub>40</sub>	24,70	2,47	26,00	11725,31
Q <sub>50</sub>	7,58	0,76	66,00	29764,24
Q <sub>60</sub>	15,89	1,59	28,00	12627,26
Q <sub>70</sub>	21,18	2,12	18,00	8117,52
Q <sub>80</sub>	30,16	3,02	10,56	4762,28
Q <sub>90</sub>	54,48	5,45	4,00	1803,89
Q <sub>95</sub>	17,03	1,70	8,53	3846,80

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 17 apresenta a seleção dos métodos de tratamento aplicados às vazões correspondentes aos percentis de 10% a 95% das curvas de permanência da carga diária de DBO na seção IG4 do Rio Iguaçu. Observa-se que, para a maioria dos percentis analisados, o método selecionado foi o "Primário Avançado", cuja eficiência média de remoção de DBO é de 63%. No entanto, para o percentil de 90%, optou-se pelo "Decantador Primário", que apresenta uma eficiência média de remoção de DBO de 33%.

Tabela 17 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis

Tratamento Primário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4
Q <sub>20</sub>	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4
Q <sub>30</sub>	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3
Q <sub>40</sub>	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3
Q <sub>50</sub>	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4
Q <sub>60</sub>	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4
Q <sub>70</sub>	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3
Q <sub>80</sub>	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2
Q <sub>90</sub>	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 18 apresenta a seleção dos métodos de tratamento secundário aplicados às vazões correspondentes aos percentis de 10% a 95% das curvas de permanência da carga diária de DBO na seção IG4 do Rio Iguaçu. Observa-se que, para a maioria dos percentis analisados, o método selecionado pertence à Faixa de Eficiência 1, cuja eficiência média de remoção de DBO varia entre 70% e 79%. No entanto, para o percentil de 80%, foi adotada a Faixa de Eficiência 2, que apresenta uma eficiência média de remoção de DBO na faixa de 80% a 89%.

Tabela 18 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Secundário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	4,05	Classe 2
Q <sub>20</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	4,73	Classe 2
Q <sub>30</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,03	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,97	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Faixa de Eficiência 2	80%	4,95	Classe 2
Q <sub>60</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,20	Classe 2
Q <sub>70</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,06	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,21	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,46	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,98	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Por fim, a Tabela 18 apresenta a seleção dos métodos de tratamento terciário aplicados às vazões correspondentes aos percentis de 10% a 95% das curvas de permanência da carga diária de DBO na seção IG4 do Rio Iguaçu. Verifica-se que, para todos os percentis analisados, o método escolhido foi o Nano CaO<sub>2</sub>, cuja eficiência média de remoção de DBO é de 75%.

Tabela 19 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Terciário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Nano CaO2	75%	1,02	Classe 1
Q <sub>20</sub>	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q <sub>30</sub>	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q <sub>60</sub>	Nano CaO2	75%	0,81	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Nano CaO2	75%	0,52	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Nano CaO2	75%	0,31	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Os resultados detalhados na Tabela 20 mostram que o sistema foi capaz de atingir os padrões de qualidade estabelecidos para a classe 2 da Resolução

CONAMA 357, reduzindo a DBO para valores inferiores a 5 mg/L. Notavelmente, após o tratamento terciário, as concentrações de DBO foram reduzidas para valores abaixo de 1,20 mg/L, garantindo qualidade equivalente à exigida para a classe 1. Além de atender aos padrões normativos, o sistema demonstrou potencial para promover a diluição natural no corpo hídrico, resultando em uma redução geral de carga poluente na ordem de 3% a 4%.

Tabela 20 - Tabela resumo do balanço de massa da simulação

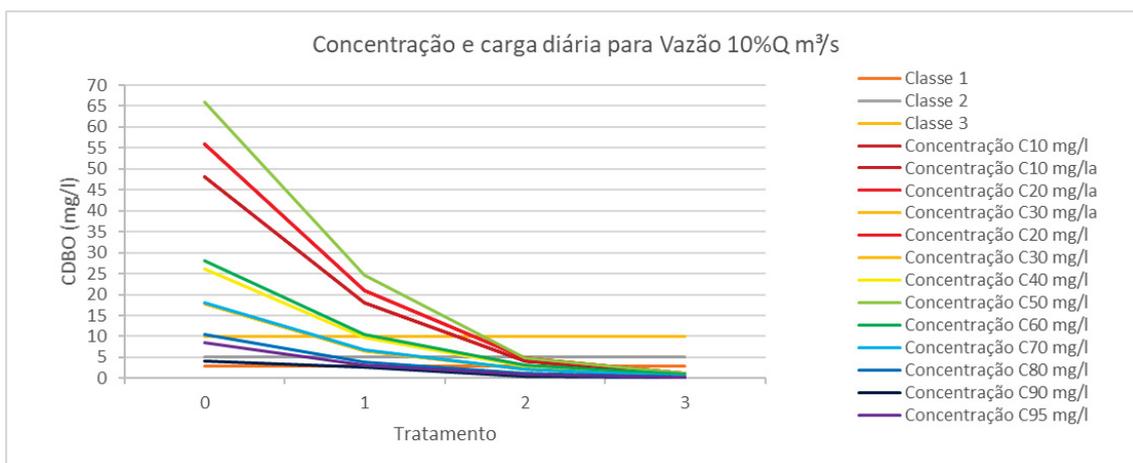
Dados Finais						
Permanência	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	2,78	1,02	46,98	48,00	46,00	4,2%
Q <sub>20</sub>	1,56	1,20	26,39	56,00	53,67	4,2%
Q <sub>30</sub>	2,49	0,51	42,09	17,78	17,05	4,1%
Q <sub>40</sub>	1,31	0,75	22,23	26,00	24,94	4,1%
Q <sub>50</sub>	0,40	1,25	6,82	66,00	63,23	4,2%
Q <sub>60</sub>	0,85	0,81	14,30	28,00	26,86	4,1%
Q <sub>70</sub>	1,13	0,52	19,06	18,00	17,27	4,1%
Q <sub>80</sub>	1,60	0,31	27,14	10,56	10,13	4,1%
Q <sub>90</sub>	2,90	0,12	49,03	4,00	3,87	3,1%
Q <sub>95</sub>	0,91	0,25	15,33	8,53	8,18	4,1%

FONTE: O autor (2024).

A Figura 30 apresenta a evolução das concentrações de DBO ao longo das etapas de tratamento, evidenciando a eficácia das tecnologias empregadas. Observa-se que, a partir do tratamento secundário, todas as concentrações da curva de permanência foram reduzidas a níveis compatíveis com os limites estabelecidos para corpos hídricos de classe 2, conforme a Resolução CONAMA 357/05. Esse resultado reforça a importância da seleção adequada da tecnologia de tratamento.

Além disso, após a aplicação do tratamento terciário, todas as concentrações atingiram valores inferiores ao limite estabelecido para corpos hídricos de classe 1.

Figura 30 - Concentração de DBO e carga diária para 10% de captação da vazão do rio

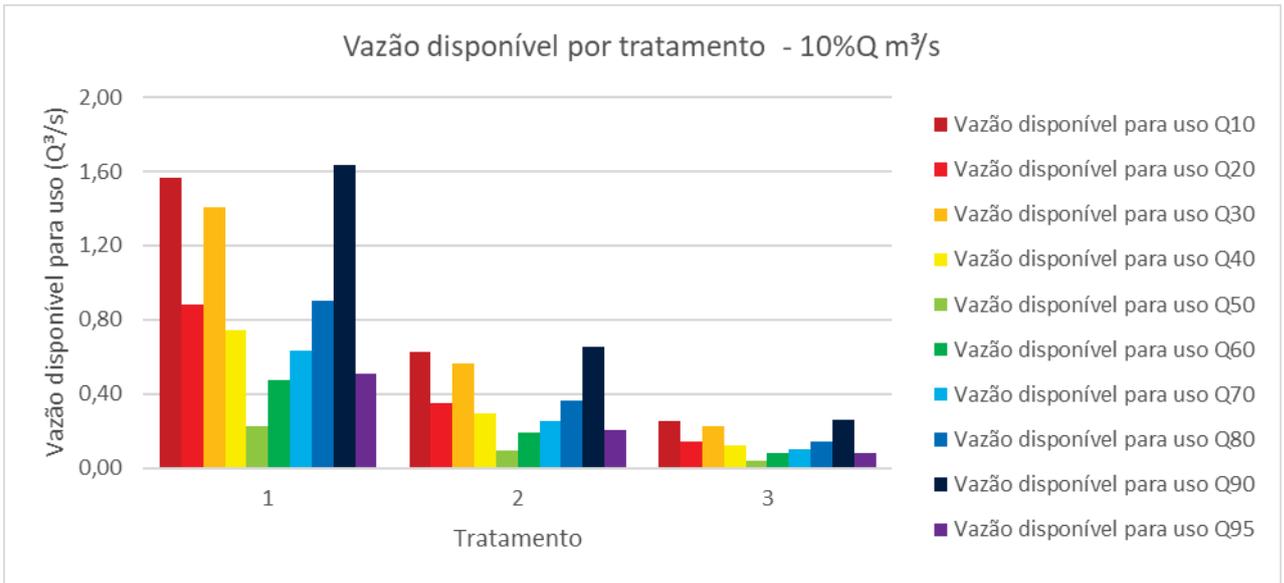


FONTE: O autor (2024).

A Figura 31 apresenta as vazões disponíveis para uso após cada etapa de tratamento, considerando que 30% do volume tratado foi reservado para usos múltiplos. Esses volumes, devido à qualidade resultante do processo de tratamento, são adequados para diversas aplicações não potáveis, tais como irrigação, uso industrial e outros fins que não demandam água potável.

Além disso, foram realizadas simulações adicionais para captações correspondentes a 20% e 30% da vazão do rio, permitindo uma análise comparativa dos impactos dessas diferentes captações no sistema de tratamento e na disponibilidade hídrica. Os resultados dessas simulações complementares encontram-se documentados em anexo, oferecendo suporte técnico para a avaliação da viabilidade de aproveitamento da água tratada em diferentes cenários de gestão.

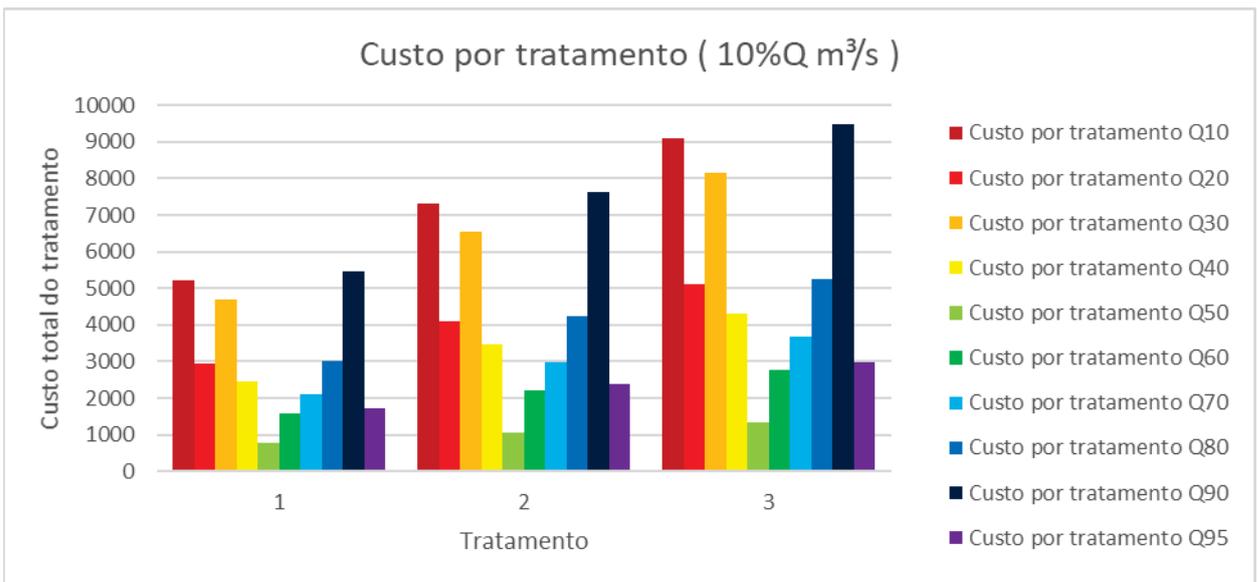
Figura 31 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio



FONTE: O autor (2024).

A Figura 32 apresenta os custos associados às tecnologias empregadas nas três etapas de tratamento, permitindo a avaliação econômica dos diferentes cenários analisados. Para esta simulação, os valores médios considerados foram de 1000 UM (unidades monetárias) para o tratamento primário, 2000 UM para o tratamento secundário e 3000 UM para o tratamento terciário.

Figura 32 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 10% de captação da vazão do rio

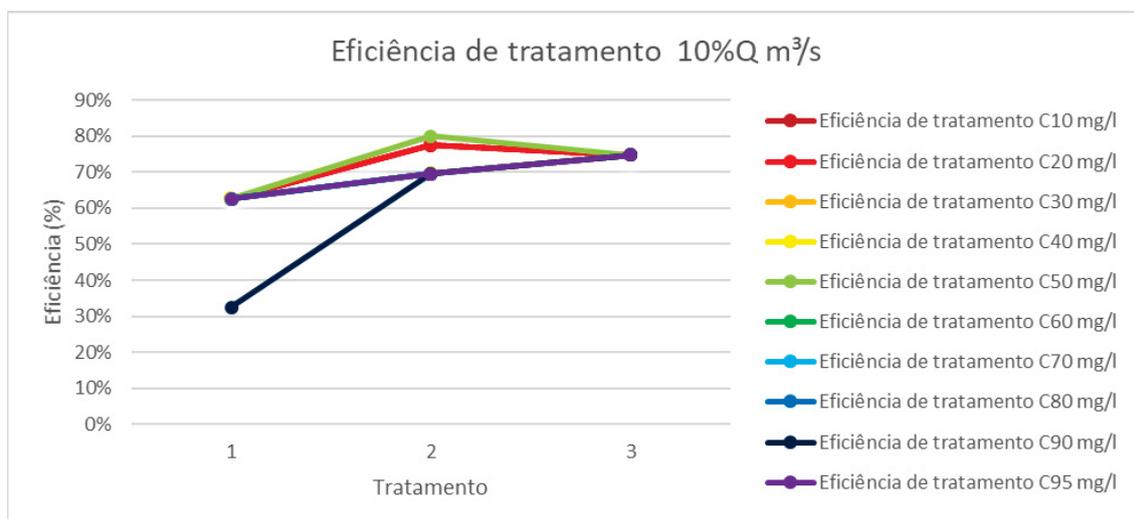


FONTE: O autor (2024).

Por fim, a Figura 33 apresenta os percentuais mínimos de eficiência requeridos para as etapas de tratamento primário, secundário e terciário, de modo a garantir que os efluentes tratados atendam aos padrões de qualidade exigidos para corpos hídricos de classe 2 ou superior, conforme a Resolução CONAMA 357/05.

Os resultados demonstraram que a eficiência necessária para o tratamento primário varia entre 30% e 65%, enquanto o tratamento secundário requer faixas de remoção de 70% a 80%. Já para o tratamento terciário, em condições mais críticas, os percentuais mínimos de remoção de DBO podem atingir até 75%.

Figura 33 - Eficiências de tratamentos para 10% de captação da vazão do rio



FONTE: O autor (2024).

A parcela destinada a usos múltiplos, com 30% do volume tratado, apresentou qualidade suficiente para aplicações como irrigação, reuso industrial e outros usos não potáveis, destacando a importância do sistema na economia de água potável. O padrão de qualidade alcançado pelo tratamento terciário reforça o potencial de sustentabilidade dessa abordagem.

## 6.4 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 4 (EE4)

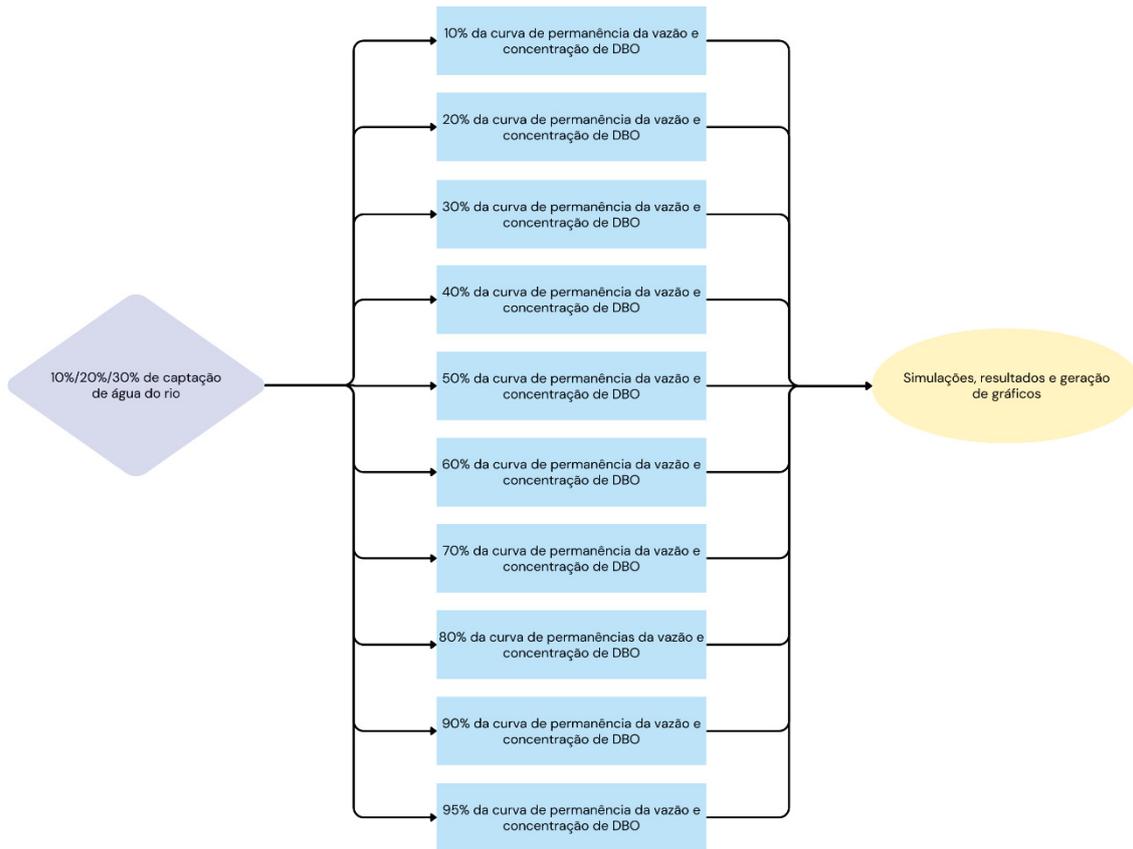
Por fim, a EE4 utilizou a curva de permanência da carga diária de DBO do rio, com uma configuração de captação semelhante à da EE2. Para cada ponto da curva de carga de DBO (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95%), foram aplicados os percentuais de captação de 10%, 20% e 30%. Em cada gráfico, foram apresentados os resultados de captação para esses três níveis, para cada ponto da curva de permanência da carga de DBO. Os gráficos resultantes incluem a concentração de DBO e a carga diária para as combinações estabelecidas, além de gráficos de vazão disponível, custo por tratamento e eficiência de tratamento.

A Figura 34 apresenta o fluxograma do procedimento adotado na EE4, cuja rotina utiliza como dados de entrada as curvas de permanência da carga diária de DBO, considerando percentis entre 10% e 95%.

Diferentemente da abordagem utilizada na EE3, que realiza comparações entre diferentes percentis da curva de permanência para captações fixas de 10%, 20% e 30% da vazão do rio, a EE4 adota uma estratégia distinta. Nesse caso, a análise é conduzida para uma mesma vazão do rio, investigando os impactos de captar 10%, 20% e 30% dessa vazão para tratamento.

Essa diferenciação metodológica permite avaliar como o aumento da captação da vazão do rio afeta a qualidade da água tratada, em vez de analisar a influência das variações na vazão e na concentração do rio sobre o tratamento para um mesmo percentual de captação. Dessa forma, a EE4 complementa a EE3, oferecendo uma perspectiva adicional para a tomada de decisão e auxiliando na definição de estratégias mais eficazes para a gestão e tratamento dos recursos hídricos.

Figura 34 - Fluxograma da ordem de cálculo da estratégia experimental 4

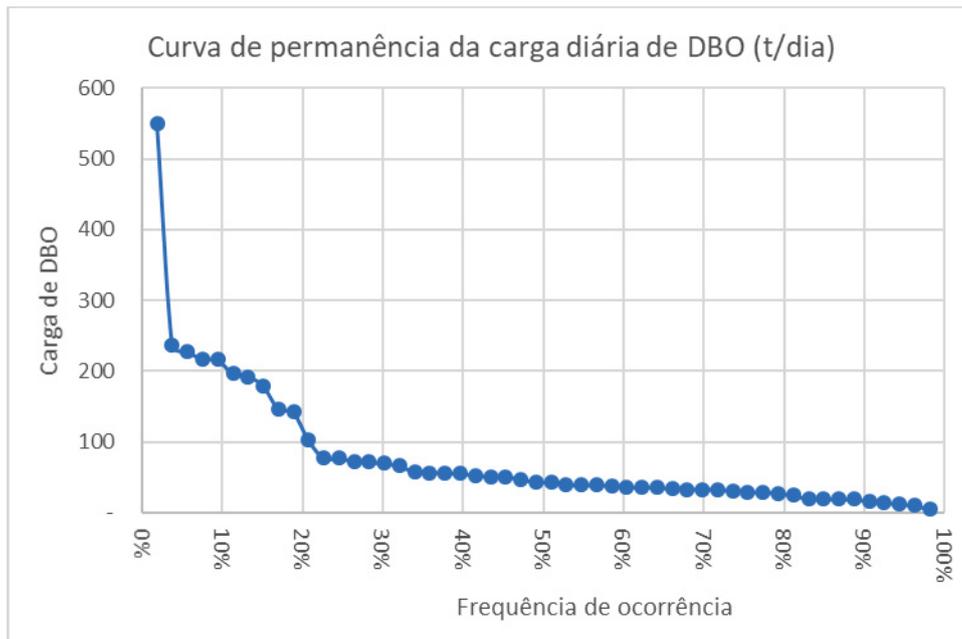


FONTE: O autor (2024).

A Figura 35 apresenta a curva de permanência da carga diária de DBO do Rio Iguaçu, representando o cenário real ao considerar a correlação entre os pares observados de vazão e concentração de DBO na seção analisado.

A utilização dessa curva nas simulações permite uma avaliação mais precisa e representativa dos processos de remoção da carga orgânica, uma vez que reflete a variabilidade natural das condições hidrodinâmicas do rio. Dessa forma, os resultados obtidos tornam-se mais condizentes com a realidade do corpo hídrico.

Figura 35 - Curva de permanência da carga diária de DBO

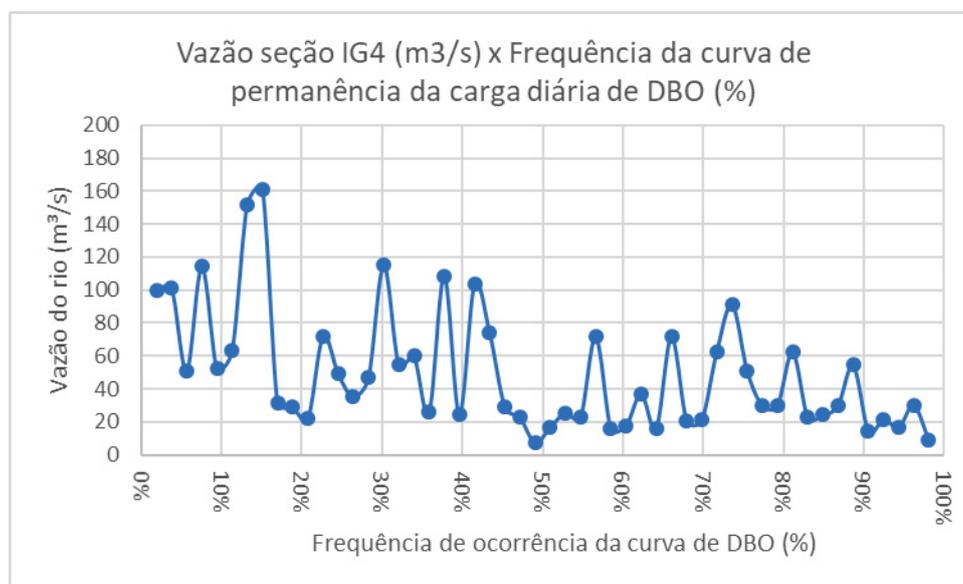


FONTE: O autor (2024).

A Figura 36 apresenta a curva de vazão utilizada no cálculo da curva de permanência da carga diária de DBO. Essa curva corresponde apenas aos valores pontuais empregados para a obtenção da carga orgânica transportada pelo rio, sem necessariamente seguir um padrão típico de permanência de vazão.

A carga diária de DBO é determinada pela multiplicação da vazão pela concentração de DBO na seção analisada. Dessa forma, podem ocorrer combinações em que vazões mais baixas estejam associadas a concentrações elevadas de DBO, assim como vazões mais altas podem estar vinculadas a concentrações menores. Apesar de os valores de vazão individualmente não apresentarem um comportamento típico de permanência, a multiplicação desses pares resulta em uma curva que reflete a distribuição real da carga diária de DBO no sistema hídrico analisado, proporcionando uma base mais representativa para as análises e simulações realizadas.

Figura 36 - Vazão seção ig4 (m3/s) x frequência da curva de permanência da carga diária de DBO (%)



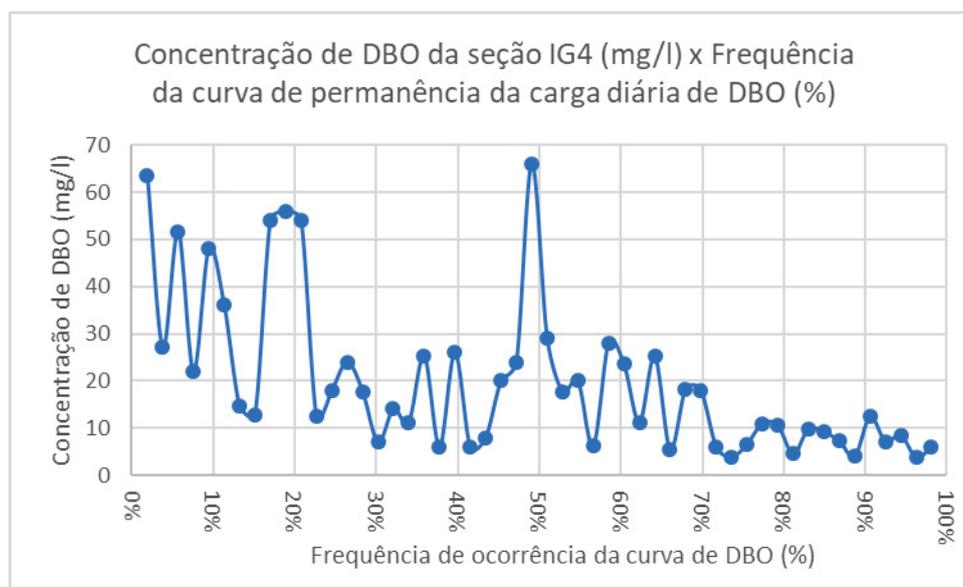
FONTE: O autor (2024).

A Figura 37 apresenta a curva da concentração de DBO, cuja justificativa segue o mesmo princípio da Figura 36, porém aplicada à variação das concentrações ao longo do tempo.

A curva exibida representa os valores pontuais utilizados no cálculo da curva de permanência da carga diária de DBO. Nesse processo, a carga diária de DBO é determinada pela multiplicação da concentração de DBO pela vazão do rio. Como consequência, podem ocorrer situações em que concentrações mais baixas estejam associadas a vazões elevadas, assim como concentrações mais altas podem estar vinculadas a vazões menores.

Embora a concentração de DBO, quando analisada isoladamente, não apresente um comportamento típico de permanência, a interação entre concentração e vazão resulta em uma curva que reflete o comportamento real da carga de DBO transportada ao longo do tempo no sistema hídrico analisado. Isso possibilita uma avaliação mais precisa das condições do corpo hídrico e da dinâmica da carga orgânica, contribuindo para a definição de estratégias mais eficazes no gerenciamento da qualidade da água.

Figura 37 - Concentração de DBO da seção ig4 (mg/l) x frequência da curva de permanência da carga diária de DBO (%)



FONTE: O autor (2024).

A Tabela 21 apresenta informações sobre o Rio Iguaçu, abrangendo as vazões associadas aos percentis de 10% a 95% das curvas de permanência, bem como as respectivas concentrações de DBO para os mesmos percentis.

Além disso, a tabela disponibiliza os dados de entrada do sistema, incluindo a vazão captada do rio, correspondente a 10% da vazão total, e as concentrações de DBO associadas. A partir dessas informações, foi possível estimar a carga diária de DBO a ser tratada no sistema proposto.

Tabela 21 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
52,20	5	10% Q	5,22	48,00	21646,72
		20% Q	10,44	48,00	43293,45
		30% Q	15,66	48,00	64940,17

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 22 apresenta a seleção dos métodos de tratamento primário aplicados às vazões analisadas. A Tabela 22 realiza a comparação entre captações de 10%, 20% e 30% da vazão correspondente ao percentil de 10% da curva de permanência de vazão. Observa-se que o método selecionado foi o "Primário Avançado", cuja eficiência média de remoção de DBO é de 63%.

Tabela 22 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 23 apresenta as tecnologias selecionadas pela rotina para a etapa de tratamento secundário, considerando captações de 10%, 20% e 30% da vazão correspondente ao percentil de 10% da curva de permanência de vazão. Observa-se que, para todas as condições analisadas, o método escolhido se enquadra na Faixa de Eficiência 1, cuja eficiência média de remoção de DBO varia entre 70% e 79%.

Tabela 23 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	78%	4,05	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	78%	4,05	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	78%	4,05	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Por fim, a Tabela 24 apresenta a seleção do método de remoção de DBO aplicado à etapa de tratamento terciário. Para as captações de 10%, 20% e 30% da vazão correspondente ao percentil de 10% da curva de permanência de vazão, o método escolhido foi o Nano CaO<sub>2</sub>, que possui uma eficiência média de remoção de DBO de 75%.

Tabela 24 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO <sub>2</sub>	75%	1,02	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO <sub>2</sub>	75%	1,02	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO <sub>2</sub>	75%	1,02	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

A Tabela 25 apresenta um resumo dos resultados obtidos nas simulações para captações de 10%, 20% e 30% da vazão total, considerando o percentil de 10% da curva de permanência.

Os resultados indicam que o sistema conseguiu encontrar configurações de tratamento capazes de atender aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, com concentração final de DBO inferior a 5 mg/L. Após a aplicação do tratamento terciário, para o cenário correspondente à Q10, a concentração de DBO foi reduzida para 1,02 mg/L, permitindo não apenas o enquadramento do corpo hídrico na classe 1, mas também a redução da carga orgânica lançada no sistema.

A diluição resultante do processo de tratamento possibilitou reduções estimadas de carga de 4,2%, 8,8% e 13,9% para captações de 10%, 20% e 30% da vazão do rio, respectivamente.

Tabela 25 - Tabela resumo do balanço de massa da simulação

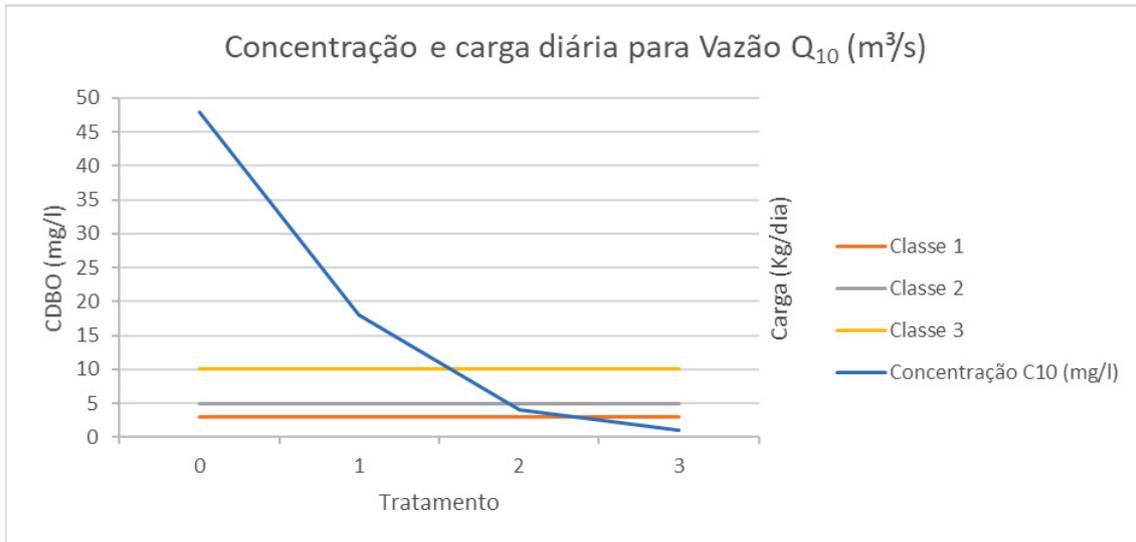
Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	2,78	1,02	46,98	48,00	46,00	4,2%
Q <sub>20</sub>	20%	5,55	1,02	41,76	48,00	43,80	8,8%
Q <sub>30</sub>	30%	8,33	1,02	36,54	48,00	41,35	13,9%

FONTE: O autor (2024).

A Figura 38 apresenta os resultados do tratamento secundário para a Q10 da curva de permanência, demonstrando que esse nível de tratamento foi suficiente para atender aos padrões de qualidade exigidos para corpos hídricos de classe 2, conforme a Resolução CONAMA 357.

Resultados semelhantes foram observados para as demais vazões da curva de permanência, conforme documentado nos anexos. Esse comportamento reforça a relevância do tratamento secundário na remoção da carga orgânica, evidenciando seu papel no cumprimento dos padrões de qualidade da água e na viabilização de estratégias eficientes de gestão hídrica.

Figura 38 - Concentração de DBO e carga diária para vazão da curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%

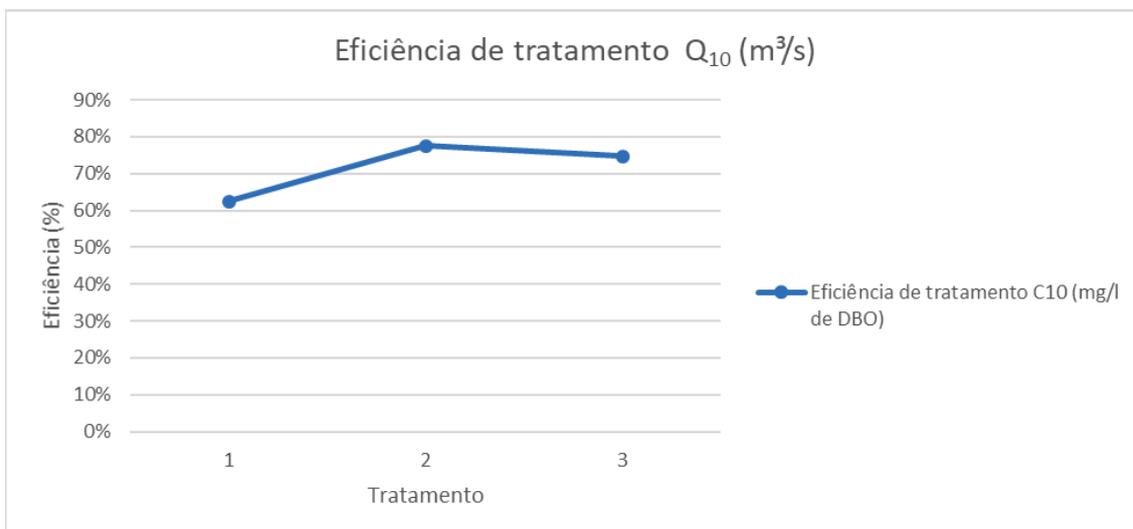


FONTE: O autor (2024).

A Figura 39 apresenta os percentuais mínimos de eficiência necessários para que as etapas de tratamento primário, secundário e terciário atendam aos padrões de qualidade da classe 2 ou superior, conforme a Resolução CONAMA 357.

Os valores estimados indicam que são necessários 63% de remoção de DBO para o tratamento primário, 78% para o tratamento secundário e 75% para o tratamento terciário. Essas faixas de eficiência fornecem subsídios técnicos para a seleção das tecnologias mais adequadas, permitindo ao gestor tomar decisões mais embasadas quanto ao dimensionamento e à otimização do sistema de tratamento.

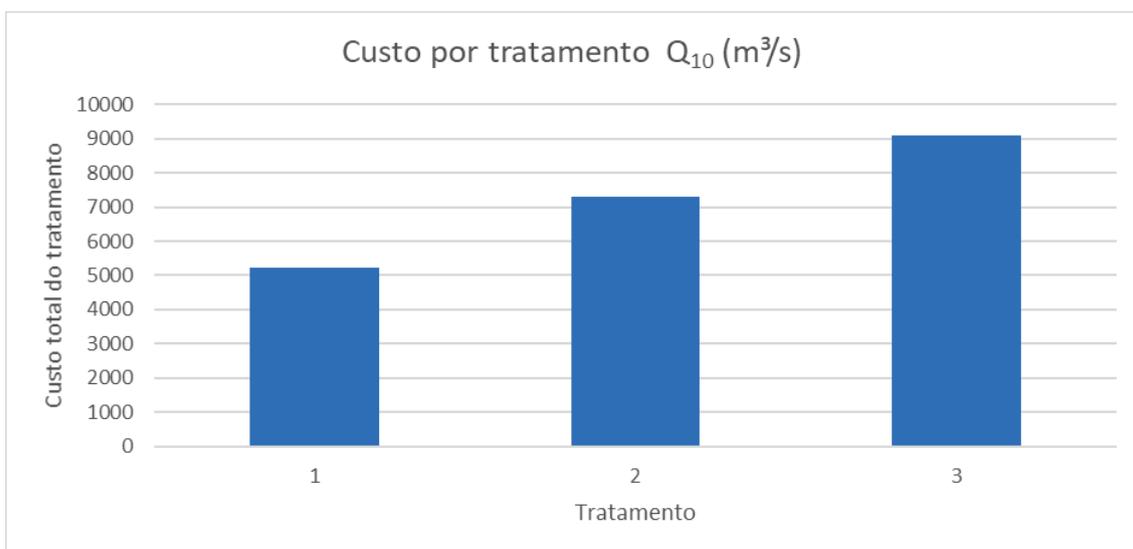
Figura 39 - Eficiências de tratamentos para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

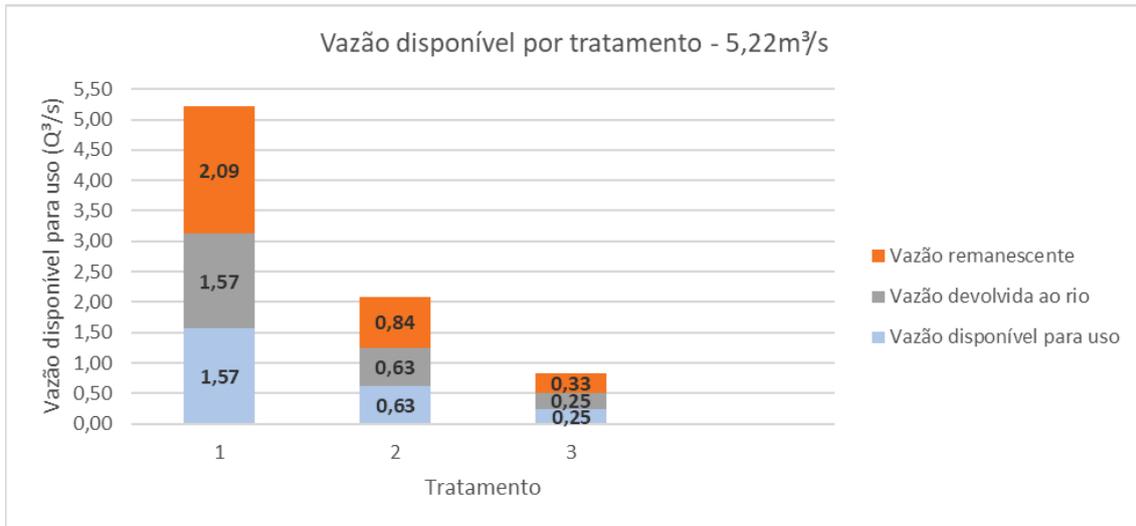
Na Figura 40, são apresentados os custos médios das tecnologias aplicadas para cada etapa de tratamento. Foram considerados valores de 1000 UM, 2000 UM e 3000 UM para os tratamentos primário, secundário e terciário, respectivamente. Essa análise de custos permitiu avaliar a viabilidade econômica das tecnologias selecionadas, considerando a relação entre o percentual de captação e o investimento necessário para atingir os padrões de qualidade exigidos.

Figura 40 - Custo de cada tecnologia para curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



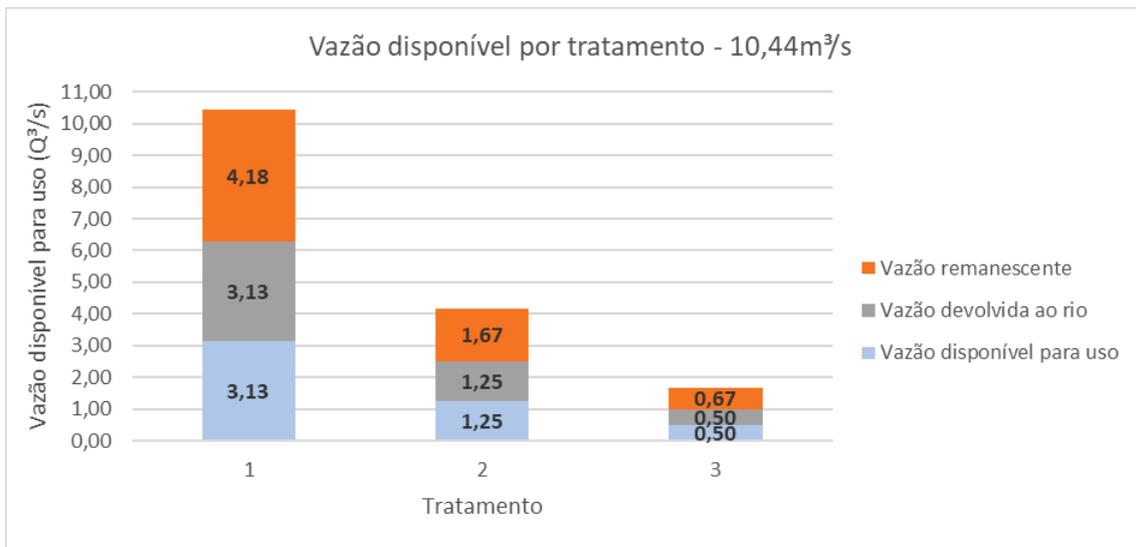
FONTE: O autor (2024).

Figura 41 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



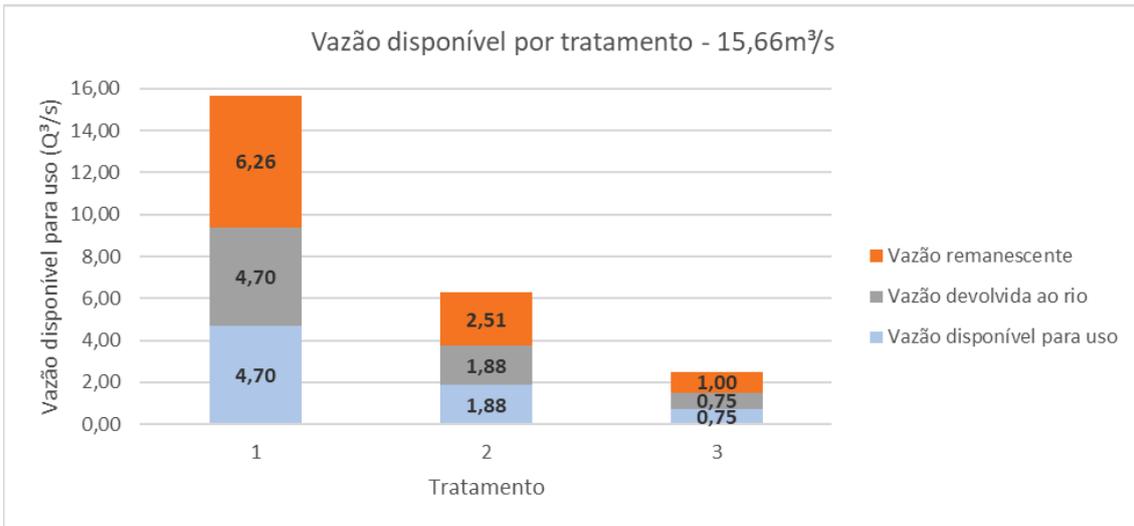
FONTE: O autor (2024).

Figura 42 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

Figura 43 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10%



FONTE: O autor (2024).

A Figura 34 apresenta a ordem de cálculo adotada pelo sistema na EE4, abrangendo análises comparativas para captações de 10%, 20% e 30% da vazão total do rio, aplicadas às vazões correspondentes à curva de permanência de DBO: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95%. O objetivo dessa abordagem foi avaliar a eficiência dos tratamentos primário, secundário e terciário, considerando diferentes cenários de captação e seus impactos na redução de carga orgânica e no enquadramento às classes de qualidade definidas pela Resolução CONAMA 357.

Os dados de entrada utilizados no sistema estão organizados na Tabela 21, que contém informações detalhadas sobre a vazão captada do rio, extraída da curva de permanência, e as respectivas concentrações de DBO associadas. Para o cálculo inicial, foram simulados cenários com captação de 10%, 20% e 30% da vazão total do rio, representando cenários diversificados de captação e gestão hídrica.

Simulações adicionais, abrangendo outros percentuais da curva de permanência, estão documentadas nos anexos deste estudo, permitindo análises comparativas e mais amplas para auxiliar na tomada de decisão dos gestores hídricos.

## 6.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas a partir das análises realizadas nas Estratégias Experimentais 1, 2, 3 e 4, com o objetivo de identificar as tecnologias mais adequadas para o tratamento das cargas de DBO na seção IG-4 do Rio Iguaçu. As simulações realizadas permitiram comparar diferentes abordagens metodológicas, destacando as diferenças nos cálculos adotados e os impactos nos resultados obtidos.

As discussões realizadas mostraram que os cenários variaram de acordo com a curva de permanência utilizada, demonstrando como diferentes combinações de pares de vazão e concentração influenciam na seleção e eficiência das tecnologias propostas. Enquanto as Estratégias 1 e 2 adotaram configurações que superestimam as cargas do rio, baseando-se na associação de maiores vazões com maiores concentrações, as Estratégias 3 e 4, considerados mais realistas, utilizaram a curva de permanência da DBO para simular cenários que refletem com maior precisão a dinâmica natural do rio. A partir desses resultados, foi possível identificar as melhores configurações de tecnologias de tratamento para cada etapa do processo.

Tabela 26 – Resumo dos resultados de vazão e concentração de DBO para as estratégias experimentais 1 e 2

Curva de permanência	% de captação do rio	Dados Finais					
		Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q10	10%	5,43	1,26	91,90	44,16	42,36	4,1%
Q20	10%	4,26	0,95	72,10	33,55	32,18	4,1%
Q30	10%	3,34	0,95	56,57	25,48	24,56	3,6%
Q40	10%	2,62	0,95	44,38	19,36	18,78	3,0%
Q50	10%	2,06	0,75	34,82	14,71	14,28	2,9%
Q60	10%	1,61	0,57	27,32	11,17	10,85	2,9%
Q70	10%	1,27	0,43	21,44	8,49	8,24	2,9%
Q80	10%	0,99	0,33	16,82	6,45	6,26	2,9%
Q90	10%	0,78	0,25	13,20	4,90	4,76	2,9%
Q95	10%	0,69	0,22	11,69	4,27	4,14	2,9%
Q10	20%	10,86	1,26	81,68	44,16	40,37	8,6%
Q20	20%	8,52	0,95	64,09	33,55	30,66	8,6%
Q30	20%	6,69	0,95	50,28	25,48	23,55	7,6%
Q40	20%	5,25	0,95	39,45	19,36	18,14	6,3%
Q50	20%	4,12	0,75	30,95	14,71	13,81	6,1%
Q60	20%	3,23	0,57	24,29	11,17	10,49	6,1%
Q70	20%	2,53	0,43	19,05	8,49	7,97	6,1%
Q80	20%	1,99	0,33	14,95	6,45	6,05	6,1%
Q90	20%	1,56	0,25	11,73	4,90	4,60	6,1%
Q95	20%	1,38	0,22	10,39	4,27	4,01	6,1%
Q10	30%	16,30	1,26	71,47	44,16	38,16	13,6%
Q20	30%	12,79	0,95	56,08	33,55	28,99	13,6%
Q30	30%	10,03	0,95	44,00	25,48	22,42	12,0%
Q40	30%	7,87	0,95	34,52	19,36	17,43	9,9%
Q50	30%	6,18	0,75	27,08	14,71	13,29	9,6%
Q60	30%	4,84	0,57	21,25	11,17	10,10	9,6%
Q70	30%	3,80	0,43	16,67	8,49	7,67	9,6%
Q80	30%	2,98	0,33	13,08	6,45	5,83	9,6%
Q90	30%	2,34	0,25	10,26	4,90	4,43	9,6%
Q95	30%	2,07	0,22	9,09	4,27	3,86	9,6%

FONTE: O autor (2024).

Tabela 27 – Resumo dos métodos de tratamento escolhidos, eficiência de remoção de DBO e concentração de DBO remanescente após os tratamentos primário, secundário e terciário para as estratégias

Curva de permanência	% de captação do rio	Tratamento Primário				Tratamento Secundário				Tratamento Terciário			
		Método escolhido	Ef <sub>CaO2</sub> (%)	DBO <sub>5</sub> tratamento 1 (mg/l)	Possíveis usos	Método escolhido	Ef <sub>CaO2</sub> (%)	CaO <sub>2</sub> tratamento 2 (mg/l)	Possíveis usos	Método escolhido	Ef <sub>CaO2</sub> (%)	CaO <sub>2</sub> tratamento 3 (mg/l)	Possíveis usos
Q10	10%	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	4,97	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,26	Classe 1
Q20	10%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q30	10%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q40	10%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q50	10%	Decantador primário	33%	9,93	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,98	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q60	10%	Decantador primário	33%	7,54	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,26	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,57	Classe 1
Q70	10%	Decantador primário	33%	5,73	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	1,72	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,43	Classe 1
Q80	10%	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	1,31	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,33	Classe 1
Q90	10%	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	0,99	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1
Q95	10%	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1	Cesta de Medida 1	70%	0,86	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,22	Classe 1
Q10	20%	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	4,97	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,26	Classe 1
Q20	20%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q30	20%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q40	20%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q50	20%	Decantador primário	33%	9,93	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,98	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q60	20%	Decantador primário	33%	7,54	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,26	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,57	Classe 1
Q70	20%	Decantador primário	33%	5,73	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	1,72	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,43	Classe 1
Q80	20%	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	1,31	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,33	Classe 1
Q90	20%	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	0,99	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1
Q95	20%	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1	Cesta de Medida 1	70%	0,86	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,22	Classe 1
Q10	30%	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	4,97	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,26	Classe 1
Q20	30%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q30	30%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q40	30%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,77	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q50	30%	Decantador primário	33%	9,93	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,98	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q60	30%	Decantador primário	33%	7,54	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,26	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,57	Classe 1
Q70	30%	Decantador primário	33%	5,73	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	1,72	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,43	Classe 1
Q80	30%	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	1,31	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,33	Classe 1
Q90	30%	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	0,99	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1
Q95	30%	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1	Cesta de Medida 1	70%	0,86	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,22	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Os resultados obtidos nas Estratégias Experimentais 1 e 2 apresentaram equivalência, diferenciando-se apenas na forma de comparação dos dados, resultando em gráficos distintos, conforme discutido anteriormente. A Tabela 26 apresenta os resultados das simulações realizadas, considerando captações de 10%, 20% e 30% da vazão do rio, com variações de Q10 a Q95. Nessas condições, assumiu-se que 30% do volume tratado ao longo das etapas de tratamento primário, secundário e terciário seria devolvido ao rio para diluição de carga, enquanto outros 30% seriam destinados a usos múltiplos.

Os resultados indicaram que as reduções de carga poluente variaram conforme o percentual de captação. Para 10% da vazão captada, as reduções ficaram entre 2,9% e 4,1%; para 20%, entre 6,1% e 8,6%; e, para 30%, entre 9,6% e 13,6%. Observou-se também que as vazões compreendidas entre Q40 e Q95 apresentaram os menores percentuais de redução de carga, enquanto as vazões mais elevadas, como Q10 e Q20, resultaram nos maiores percentuais de redução. Este comportamento evidencia que, na maior parte do tempo, o rio opera dentro das condições associadas às vazões Q40 a Q95, representando cenários de eficiência mais baixa de redução de carga. Assim, essas vazões tornam-se referência para uma estimativa conservadora do desempenho do sistema, auxiliando na tomada de decisão por parte dos gestores.

Complementando essas análises, a Tabela 27 apresenta as configurações de tipos de tratamentos necessários para alcançar os padrões de classe 2

estabelecidos pela Resolução CONAMA 357. Para o tratamento primário, foi indicado o uso de tratamento primário avançado para as vazões Q10 a Q40, enquanto, para as vazões Q50 a Q95, o decantador primário foi recomendado, já que essas vazões demandam uma eficiência menor de tratamento. No caso do tratamento secundário, todas as vazões foram enquadradas na "Cesta de Medidas 1", enquanto, para o tratamento terciário, a tecnologia "Nano CaO<sub>2</sub>" foi indicada de forma consistente para todas as vazões. Esses resultados mantiveram-se uniformes para os cenários de captação de 10%, 20% e 30%, pois, embora a carga a ser tratada aumente proporcionalmente com a vazão captada, a concentração dos poluentes manteve-se constante. O que difere, portanto, entre as configurações de captação é o dimensionamento da estação de tratamento, que deverá ser ajustado para lidar com maior ou menor volume de vazão a ser tratada.

A análise dos dados evidencia que, enquanto os tratamentos secundário e terciário apresentam as mesmas tecnologias para todas as condições simuladas, o tratamento primário conta com duas alternativas principais. Nesse contexto, o gestor pode concluir que, na maior parte do tempo, o decantador primário é suficiente para atender às demandas de tratamento, sendo a opção mais adequada. Entretanto, também é possível optar por dimensionar a estação para as maiores vazões, considerando cenários futuros de aumento de vazão. Essa flexibilidade no planejamento é de grande importância, pois permite ao gestor alinhar a escolha tecnológica às demandas específicas, ao mesmo tempo em que filtra as diversas opções disponíveis no mercado, facilitando o processo de tomada de decisão.

Já os resultados obtidos nas Estratégias Experimentais 3 e 4 apresentaram equivalência, diferenciando-se apenas nas comparações entre os dados, que resultaram em gráficos comparativos distintos, conforme apresentado anteriormente. A Tabela 28 traz os resultados das simulações realizadas para essas estratégias, considerando captações de 10%, 20% e 30% da vazão do rio, com variações de Q10 a Q95. Nessas configurações, assumiu-se que 30% do volume tratado ao longo das etapas de tratamento primário, secundário e terciário seria devolvido ao rio para diluição da carga, enquanto outros 30% seriam destinados a usos múltiplos.

Tabela 28 – Resumo dos resultados de vazão e concentração de DBO para as estratégias experimentais 3 e 4

Curva de permanência	% de captação do rio	Dados Finais					
		Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q10	10%	2,78	1,02	46,98	48,00	46,00	4,2%
Q20	10%	1,56	1,20	26,39	56,00	53,67	4,2%
Q30	10%	2,49	0,51	42,09	17,78	17,05	4,1%
Q40	10%	1,31	0,74	22,23	26,00	24,94	4,1%
Q50	10%	0,40	1,25	6,82	66,00	63,23	4,2%
Q60	10%	0,85	0,80	14,30	28,00	26,86	4,1%
Q70	10%	1,13	0,51	19,06	18,00	17,26	4,1%
Q80	10%	1,60	0,30	27,14	10,56	10,13	4,1%
Q90	10%	2,90	0,11	49,03	4,00	3,87	3,1%
Q95	10%	0,91	0,24	15,33	8,53	8,18	4,1%
Q10	20%	5,55	1,02	41,76	48,00	43,80	8,8%
Q20	20%	3,12	1,20	23,46	56,00	51,09	8,8%
Q30	20%	4,98	0,51	37,41	17,78	16,25	8,6%
Q40	20%	2,63	0,74	19,76	26,00	23,77	8,6%
Q50	20%	0,81	1,25	6,06	66,00	60,18	8,8%
Q60	20%	1,69	0,80	12,71	28,00	25,59	8,6%
Q70	20%	2,25	0,51	16,95	18,00	16,45	8,6%
Q80	20%	3,21	0,30	24,13	10,56	9,65	8,6%
Q90	20%	5,80	0,11	43,58	4,00	3,74	6,6%
Q95	20%	1,81	0,24	13,62	8,53	7,80	8,6%
Q10	30%	8,33	1,02	36,54	48,00	41,35	13,9%
Q20	30%	4,68	1,20	20,53	56,00	48,24	13,9%
Q30	30%	7,46	0,51	32,73	17,78	15,36	13,6%
Q40	30%	3,94	0,74	17,29	26,00	22,47	13,6%
Q50	30%	1,21	1,25	5,31	66,00	56,80	13,9%
Q60	30%	2,54	0,80	11,12	28,00	24,19	13,6%
Q70	30%	3,38	0,51	14,83	18,00	15,55	13,6%
Q80	30%	4,81	0,30	21,11	10,56	9,12	13,6%
Q90	30%	8,69	0,11	38,13	4,00	3,58	10,5%
Q95	30%	2,72	0,24	11,92	8,53	7,37	13,6%

FONTE: O autor (2024).

A análise apontou reduções de carga variando de 3,1% a 4,2% para uma captação de 10% da vazão do rio, 6,6% a 8,8% para 20% de captação e 10,5% a 13,9% para 30% de captação. Além disso, observou-se que a vazão Q90 apresentou os menores percentuais de redução de carga, enquanto as demais vazões resultaram em desempenhos similares. Esses resultados sugerem que, de maneira geral, a redução de carga poluente ocorre na mesma ordem de grandeza, independentemente da vazão e da concentração de DBO usada a partir da curva de permanência da DBO.

Já a Tabela 29 apresenta as configurações de tratamento necessárias para atingir os padrões da classe 2 definidos pela Resolução CONAMA 357. Verificou-se que apenas a vazão Q90 teve como tecnologia indicada o decantador primário como tecnologia de tratamento inicial, enquanto as demais vazões demandaram o uso do tratamento primário avançado. Essa diferença justifica a menor eficiência de redução de carga associada à Q90, pois, embora o decantador primário atenda aos requisitos para a classe 2, sua eficiência de remoção de carga é inferior à do primário avançado. Contudo, o gestor pode optar por adotar o tratamento primário avançado como método de tratamento para a estação, pois irá atender todos os

casos, além de aumentar a eficiência de remoção da Q90, em relação ao encontrado na simulação.

No que se refere ao tratamento secundário, as simulações indicaram que, com exceção da Q50, todas as vazões foram contempladas na "Cesta de Medidas 1", o que reforça a viabilidade dessa tecnologia para a maior parte das condições simuladas. Por fim, o tratamento terciário mostrou-se consistente, sendo a tecnologia "Nano CaO<sub>2</sub>" adequada para todas as vazões analisadas.

Tabela 29 – Resumo dos métodos de tratamento escolhidos, eficiência de remoção de DBO e concentração de DBO remanescente após os tratamentos primário, secundário e terciário para as estratégias experimentais 3 e 4

Curva de permanência	% de captação do rio	Tratamento Primário			Tratamento Secundário			Tratamento Terciário					
		Método escolhido	Eficiência (%)	Carga de tratamento <sub>1</sub> (mg/l)	Possíveis usos	Método escolhido	Eficiência (%)	Carga de tratamento <sub>2</sub> (mg/l)	Possíveis usos	Método escolhido	Eficiência (%)	Carga de tratamento <sub>3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q10	10%	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4	Cesta de Medida 1	78%	4,05	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,02	Classe 1
Q20	10%	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4	Cesta de Medida 1	78%	4,73	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q30	10%	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,00	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q40	10%	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,93	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,74	Classe 1
Q50	10%	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4	Cesta de Medida 2	80%	4,95	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q60	10%	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,15	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,80	Classe 1
Q70	10%	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,03	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q80	10%	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	1,19	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,30	Classe 1
Q90	10%	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1	Cesta de Medida 1	70%	0,45	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,11	Classe 1
Q95	10%	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	0,96	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,24	Classe 1
Q10	20%	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4	Cesta de Medida 1	78%	4,05	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,02	Classe 1
Q20	20%	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4	Cesta de Medida 1	78%	4,73	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q30	20%	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,00	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q40	20%	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,93	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,74	Classe 1
Q50	20%	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4	Cesta de Medida 2	80%	4,95	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q60	20%	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,15	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,80	Classe 1
Q70	20%	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,03	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q80	20%	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	1,19	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,30	Classe 1
Q90	20%	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1	Cesta de Medida 1	70%	0,45	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,11	Classe 1
Q95	20%	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	0,96	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,24	Classe 1
Q10	30%	Primário avançado	0,63	18,00	Classe 4	Cesta de Medida 1	78%	4,05	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,02	Classe 1
Q20	30%	Primário avançado	0,63	21,00	Classe 4	Cesta de Medida 1	78%	4,73	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q30	30%	Primário avançado	0,63	6,67	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,00	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q40	30%	Primário avançado	0,63	9,75	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,93	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,74	Classe 1
Q50	30%	Primário avançado	0,63	24,75	Classe 4	Cesta de Medida 2	80%	4,95	Classe 2	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q60	30%	Primário avançado	0,63	10,50	Classe 4	Cesta de Medida 1	70%	3,15	Classe 2	Nano CaO2	75%	0,80	Classe 1
Q70	30%	Primário avançado	0,63	6,75	Classe 3	Cesta de Medida 1	70%	2,03	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q80	30%	Primário avançado	0,63	3,96	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	1,19	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,30	Classe 1
Q90	30%	Decantador primário	0,33	2,70	Classe 1	Cesta de Medida 1	70%	0,45	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,11	Classe 1
Q95	30%	Primário avançado	0,63	3,20	Classe 2	Cesta de Medida 1	70%	0,96	Classe 1	Nano CaO2	75%	0,24	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Com base nessas informações, o gestor pode concluir que, para o tratamento primário, o uso do "primário avançado" é a opção mais eficiente, visto que atende 9 das 10 vazões analisadas na curva de permanência e ainda melhora os resultados para a Q90. Para o tratamento secundário, a adoção das tecnologias incluídas na "Cesta de Medidas 1" se destaca como a melhor escolha, devido à sua aplicabilidade em 90% dos casos. Já para o tratamento terciário, o método "Nano CaO<sub>2</sub>" se consolidou como a alternativa mais indicada, garantindo uniformidade no desempenho do sistema.

Por fim, destaca-se que todas as simulações atingiram os parâmetros da classe 1 em termos de concentração de DBO após a aplicação do tratamento terciário, confirmando a eficiência das configurações propostas.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados e as discussões realizadas a partir das Estratégias Experimentais 1, 2, 3 e 4 indicam que os cenários analisados apresentam padrões semelhantes, com destaque para as Estratégias 3 e 4, que utilizaram a curva de permanência da DBO como parâmetro de cálculo. Essas estratégias, considerados os cenários mais realistas por refletirem a dinâmica natural do rio, resultaram na recomendação de tecnologias com maior eficiência de remoção.

Nas Estratégias 1 e 2, que adotaram a curva de permanência de vazão e concentração como estimativa de carga diária, os pares utilizados combinam as maiores vazões com as maiores concentrações e as menores vazões com as menores concentrações. Essa abordagem gera valores de carga maiores em comparação às Estratégias 3 e 4, porém demanda menores eficiências das tecnologias adotadas. Em contrapartida, nas Estratégias 3 e 4, os pares de valores simulados frequentemente associam vazões baixas com concentrações elevadas, o que reflete de forma mais precisa o comportamento real de um rio. Nesse caso, a necessidade de tecnologias com maior eficiência de remoção é justificada pela demanda de reduzir concentrações mais elevadas de DBO para uma vazão menor.

De forma geral, as tecnologias propostas pelas simulações baseadas na curva de permanência da DBO são capazes de atender tanto aos cenários mais realistas quanto aos cenários que superestimam as cargas do rio, calculados pela multiplicação dos pares de vazão e concentração.

Na seção estudada do Rio Iguaçu, denominado IG-4, a melhor configuração identificada para atender às demandas de eficiência de remoção de carga na maior parte das condições analisadas é a seguinte: para o tratamento primário, a tecnologia recomendada é o "Primário Avançado"; para o tratamento secundário, a adoção da "Cesta de Medidas 1", que contempla um conjunto de tecnologias capazes de alcançar os resultados desejados; e, para o tratamento terciário, a aplicação da tecnologia de remoção com uso de Nano  $\text{CaO}_2$ . Essas configurações demonstraram ser eficazes e adequadas para atender às exigências da seção analisada, garantindo a redução necessária de carga orgânica para atingir os parâmetros estabelecidos.

## 7.1 LIMITAÇÕES

O sistema desenvolvido para análise e simulação de cenários relacionados à qualidade da água e ao tratamento de rios apresentou resultados promissores, mas também revelou algumas limitações importantes que precisam ser discutidas. Essas limitações, relacionadas principalmente à integração com bases de dados, à necessidade de alimentação manual de informações e à forma de apresentação dos resultados, podem impactar a sua aplicabilidade e eficiência operacional em determinados contextos. A seguir, essas questões serão detalhadas, indicando pontos que podem ser aprimorados para ampliar a funcionalidade e a eficiência do sistema.

O primeiro ponto importante a ser discutido é o fato de o sistema não estar integrado a nenhuma base de dados externa, seja uma base histórica de medições hidrológicas ou de tecnologias de tratamento. Isso implica que todo o processo de alimentação de dados deve ser realizado manualmente pelo operador, seja no tratamento e inserção das informações. Essa característica não apenas aumenta o tempo necessário para a preparação das simulações, mas também eleva a suscetibilidade a erros, como inserção de dados incorretos ou incompletos.

Outra limitação está associada à atualização das tecnologias de tratamento disponíveis no sistema. Atualmente, cabe exclusivamente ao operador a responsabilidade de alimentar e gerenciar as informações sobre as tecnologias e seus respectivos parâmetros de eficiência. Essa abordagem, embora ofereça flexibilidade para personalização de cenários, não acompanha a evolução contínua das inovações tecnológicas no setor de saneamento, o que pode levar à utilização de dados desatualizados ou inadequados. A falta de automatização na atualização da base de tecnologias pode, portanto, comprometer a eficiência e a precisão das soluções geradas pelo sistema.

Além disso, uma limitação importante diz respeito à forma como o sistema trata os pontos de coleta e de emissão de efluentes. O sistema considera um único ponto de coleta de água, assumindo condições homogêneas de vazão e concentração de poluentes na entrada. Esse tratamento simplificado pode ser adequado para estudos pontuais, mas em cenários mais complexos, como bacias

hidrográficas com múltiplas contribuições, essa abordagem pode não representar adequadamente as condições reais. Em contrapartida, os pontos de emissão podem ser configurados em múltiplos locais. No entanto, o sistema apresenta, como resultado, o balanço hídrico apenas no último ponto de emissão, sem detalhar os resultados dos balanços intermediários.

Por fim, há também desafios relacionados à aplicação das tecnologias de tratamento em cenários reais. Embora o sistema ofereça alternativas tecnológicas com eficiência suficiente para atender às demandas de qualidade estabelecidas, nem todas as tecnologias são viáveis em determinados contextos. Algumas delas dependem de condições específicas para operação eficiente, como altas cargas orgânicas, vazões constantes ou temperaturas favoráveis. Quando essas condições não são atendidas, a performance pode ser prejudicada ou, até mesmo, inviabilizada. Essa dependência de condições operacionais específicas reforça a necessidade de análises contextuais realizadas pelo operador, que deve avaliar cuidadosamente as variáveis ambientais, as características do corpo hídrico e as propostas de tecnologias que o sistema apresenta como viáveis, antes de implementar qualquer solução recomendada.

## 7.2 INDICAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Diante das limitações identificadas no sistema desenvolvido, algumas melhorias podem ser implementadas para ampliar sua aplicabilidade e torná-lo uma ferramenta ainda mais eficiente e alinhada às necessidades do gestor acerca de tratamento de rios. Entre as possíveis frentes de avanço, destacam-se a inclusão de funcionalidades que permitam análises mais detalhadas e o refinamento dos métodos de avaliação econômica.

Um dos aprimoramentos sugeridos é a inclusão de múltiplos pontos de entrada no sistema, uma vez que, atualmente, a análise é limitada a um único ponto de coleta. Essa restrição, embora prática para cenários simplificados, reduz a capacidade do sistema de abordar situações mais complexas, como em bacias hidrográficas com múltiplas contribuições. A possibilidade de configurar diferentes pontos de entrada, com variações de vazão e concentração de

poluentes, tornaria o sistema mais adequado a contextos mais complexos, permitindo avaliar impactos cumulativos de diversas fontes e planejar estratégias de tratamento mais eficientes.

Outro ponto de avanço está relacionado à implementação de rotinas específicas para o dimensionamento das unidades de tratamento, abrangendo variáveis críticas como área necessária, temperatura de operação e tempo de residência. Atualmente, o sistema não considera tais parâmetros, o que pode limitar a aplicabilidade prática das tecnologias sugeridas. A inclusão de cálculos para estimar a área de instalação disponível, avaliar a influência da temperatura nos processos biológicos e químicos e determinar o tempo necessário para a eficiência máxima do tratamento tornaria as análises mais precisas e alinhadas às condições operacionais locais.

Além disso, recomenda-se o refinamento da análise de custos, atualmente baseada em valores fixos e genéricos, para contemplar custos ajustados por metro cúbico tratado, custos de implementação tecnológica e variações regionais. Um modelo mais detalhado poderia incluir fatores como economia de escala, disponibilidade de recursos locais e custos operacionais, como consumo energético e manutenção. Esse aprimoramento não apenas aumentaria a precisão das análises financeiras, mas também auxiliaria na escolha da tecnologia mais viável, considerando tanto o custo quanto a eficiência de remoção.

## 8. REFERÊNCIAS

Abiko, A., Moraes, O., B., 2009. “*Desenvolvimento sustentável urbano*”. São Paulo: USP, 2009. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4529983/mod\\_resource/content/0/TT26DesUrbSustentavel.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4529983/mod_resource/content/0/TT26DesUrbSustentavel.pdf). Acesso em: 08/01/2025.

Agência Nacional das Águas (ANA), 2013. “*Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*”. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 26/01/2025.

Agência Nacional das Águas (ANA), 2017. “*Atlas Esgotos – Despoluição de Bacias Hidrográficas*”. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 18/12/2024.

Agência Nacional das Águas (ANA), 2021. “*Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*”. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 29/03/2025.

Águas Paraná, 2013. “*Finalização do plano das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira*”. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-05/plano\\_de\\_acoes.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/plano_de_acoes.pdf). Acesso em: 26/01/2025.

Amorim, A., T., 2024. “*Poluição dos recursos hídricos e políticas para proteção dos recursos hídricos*”. Disponível em: <https://doi.org/10.22481/rg.v8.e2024.e14962>. Acesso em: 22/01/2025.

Ayres, A., Gerdes, H., Goeller, B., Lago, M., Catalinas, M., Cantón, A. G., Brouwer, R., Sheremet, O., Vermaat, J., Angelopoulos, N., Cowx I., 2014. “*Inventory of river restoration measures: effects, costs and benefits. REFORM: REstoring rivers FOR effective catchment Management*”. Disponível em: (PDF) Inventory of river

restoration measures: effects, costs and benefits (FP7 REFORM) (researchgate.net)  
. Acesso em: 03/04/2024.

Barros, I., P., A., F., Von Sperling, M., Pereira, C., E., B., Oliveira, S., M., A., C.,  
Marques, L., 2018. “*Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de  
esgotos avançada e de grande porte (ETE Norte – DF) aplicando conceitos de  
indicadores de desempenho e análise de confiabilidade*”. Disponível em:  
[https://abes-  
dn.org.br/analseletronicos/22\\_Download/TrabalhosCompletosPDF/II-173.pdf](https://abes-<br/>dn.org.br/analseletronicos/22_Download/TrabalhosCompletosPDF/II-173.pdf).  
Acesso em: 16/04/2025.

Baumgartner, G., Pavanelli, C., S., Baumgartner, D., Bifi, A., G., Debona, T., Frana,  
V., A., 2012. “*Peixes do baixo Rio Iguaçu*”. Maringá: Eduem, 2012. Pp. 1-14.  
Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 16/11/2024.

Bitencourt, C., C., A., Fernandes, C., V., S., 2019. “*Correlação entre parâmetros de  
qualidade da água e uso do solo como ferramenta para subsidiar o  
enquadramento*”. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/works/6032>.  
Acesso em: 16/11/2024.

Bolton, L., Joseph, S., Greenway, M., Donne, S., Munroe, P., Marjo, C., E., 2019.  
“*Phosphorus adsorption onto an enriched biochar substrate in constructed  
wetlands treating wastewater*”. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100005>. Acesso em: 16/11/2024.

Chen, X., Srokal, M., Kroeze, C., Ma, L., Shen, Z., Wu, J., Chen, Xinping, Shi, X., 2019.  
“*Seasonality in river export of nitrogen: A modelling approach for the Yangtze River*”.  
Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.323>. Acesso em:  
19/05/2024.

Chernicharo, C., A., L., Daniel, L., A., Sens, M., Filho, B., C., “*Pós-tratamento de  
efluentes de reatores anaeróbios*”. Belo Horizonte/MG: UFMG, 2001. Disponível:  
<https://repositorio.usp.br/item/001223493>. Acesso em: 16/04/2025.

Coelho, M., 2013. “Estratégia de monitoramento da qualidade da água para a gestão de recursos hídricos em bacias urbanas “. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/36356/R%20-%20D%20-%20MARCELO%20COELHO.pdf?sequence=1>. Acesso em: 04/02/2025.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 2024. “*Mortandade de peixes – Oxigênio dissolvido*”. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido/>. Acesso em: 19/12/2024.

Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), 2021. “*Sistema Tarifário do Setor de Saneamento com Base no Subsídio Cruzado na Bacia do Alto Iguaçu*”. Disponível em: <https://ri.sanepar.com.br/docs/Sanepar-2021-06-22-ktDQwTWT.pdf>. Acesso em: 28/01/2025.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (2005) Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.

Cruz, J., C., Tucci, C., E., M., 2007. “Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência”. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/242696286>. Acesso em: 01/04/2025.

Dai, Y., Wang, W., Lu Lu., Yan, L., Yu, D., 2020. “*Utilization of biochar for the removal of nitrogen and phosphorus*”. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120573>. Acesso em: 16/11/2024.

Eletrosul. 1978. “*O impacto ambiental da ação do homem sobre a natureza - Rio Iguaçu, Paraná, Brasil: reconhecimento da ictiofauna, modificações ambientais e usos múltiplos dos reservatórios*”. Florianópolis, p. 33.

Feiden, I., F., Oliveira, J., D., S., Diemer, O., Feiden, A., 2015. “*Qualidade da água, capacidade de suporte e melhor período para criação de peixes em tanques-rede*”

no reservatório de Salto Caxias”. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040114845>. Acesso em: 03/11/2024.

Gohringer, S., S., 2006. “Uso urbano não potável de efluentes de estações de tratamento de esgoto sanitário. Estudo de caso: Município de Campo Largo -PR.”. Disponível em: <https://archivum.grupomarista.org.br/pergamumweb/vinculos/tede/simonegohringer.pdf> Acesso em: 31/01/2025.

Gunawaderna, A., White, B., Hailu, A., Wijeratne, E. M. S., Pandit, R., 2018. “Policy choice and riverine water quality in developing countries: An integrated hydro-economic modelling approach”. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.065>. Acesso em: 03/04/2024.

Guo, B., Shi, W., Ai, J., Zhang, K., Qui, W., Wang, W., Li, J., 2024. “Synchronous and efficient removal of carbon, nitrogen, and phosphorus from actual rural sewage by composite wetlands enhanced with functional fillers”. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131566>. Acesso em: 16/11/2024.

Knapik, H., G., 2009. “Reflexões sobre monitoramento, modelagem e calibração na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da qualidade da água da bacia do alto iguaçu”. Disponível em: Reflexões sobre monitoramento, modelagem e calibração na gestão de recursos hídricos : estudo de caso da qualidade da água da Bacia do Alto Iguaçu. Acesso em: 20/01/2025.

Knapik, H., G., 2014. “Organic matter characterization and modeling in polluted rivers for water quality planning and management”. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/36546>. Acesso em: 02/02/2025.

Leithold, J., 2022. “Modelo para estimativa de potencial poluidor de matéria orgânica em rios a partir da cobertura do solo da bacia hidrográfica”. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/84068>. Acesso em: 03/02/2025.

Manikam, M., K., Halim, A., A., Hanafiah, M., M., Krishnamoorthy, R., R., 2019. *“Removal of ammonia nitrogen, nitrate, phosphorus and COD from sewage wastewater using palm oil boiler ash composite adsorbent”*. Disponível em: <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23842>. Acesso em: 16/11/2024.

Marin, M., C., F., C., Scussiato, C., Fernandes, C., S., Porto, M., F., A., 2007. *“Proposta preliminar de reenquadramento dos corpos de água em classes e avaliação do seu risco de não atendimento: estudo de caso da bacia do alto iguacu”*. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/artigo\\_proposta\\_reenquadramento.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/artigo_proposta_reenquadramento.pdf). Acesso em: 16/01/2025.

Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2014. Plano Nacional de Desenvolvimento Básico (PLANSAB). Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/panorama-do-saneamento-basico>. Acesso em: 07/01/2025.

Ren, H., Wang, Y., Wei, Z., Liu, P., Wang, B., 2020. *“Excess sludge conditioning with ultrasound/ozone and its effect on the anaerobic anoxic oxic process in a municipal wastewater treatment plant”*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.04.052>. Acesso em: 16/11/2024.

Secretaria de estado de meio ambiente (SEMA), 2013. *“Bacias Hidrográficas do Paraná: Série Histórica”*. Disponível em: [https://www.paranagua.pr.gov.br/imgbank2/file/meio\\_ambiente/material-didatico/Revista\\_Bacias\\_Hidrograficas\\_2015.pdf](https://www.paranagua.pr.gov.br/imgbank2/file/meio_ambiente/material-didatico/Revista_Bacias_Hidrograficas_2015.pdf). Acesso em: 03/12/2024.

Stinghen, C. M., & Mannich, M., 2022. *“Panorama da gestão de bacias críticas no Brasil. Revista de Gestão de Água da América Latina”*. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/reg.v19e13>. Acesso em: 31/04/2025.

Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), 2000. *“Mapeamentos de abrangência da bacia do Alto*

Iguaçu”. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais#:~:text=A%20%EE%80%80sub-bacia%EE%80%81%20do%20%EE%80%80Alto>. Acesso em: 28/01/2025.

Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), 2008. “Plano Diretor de Drenagem da Bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba”. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=265>. Acesso em: 23/07/2024.

Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), 2013. “Finalização do plano das bacias do alto Iguaçu e afluentes do alto”. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-05/plano\\_de\\_acoes.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/plano_de_acoes.pdf). Acesso em: 28/01/2025.

TUNDISI, J., G., 2006. “*Novas perspectivas para gestão de recursos hídricos*”, Revista USP, São Paulo, n 70, p. 24-35.

TUNDISI, J., G., 2008. “*Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções*”, Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>. Acesso em: 23/07/2024.

Von Sperling, M, 2017. “*Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*”, Vol. I. 3.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017. 472p.

Zang, B., Ni, P., Pu, X., Xu, X., Wu, C., 2023. “*Experimental study on the reduction of sludge by a process of the synergistic effect of swirl cutting and ozone oxidation* “. Disponível em: <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29816>. Acesso em: 16/11/2024.

Zeng, Y., Cai, Y., Tan, Q., Dai, C., 2020. “*An integrated modeling approach for identifying cost-effective strategies in controlling water pollution of urban watersheds*”. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124373>. Acesso em: 03/04/2024.

Zhou, K., Wu, B., Su, L., Gao, X., Chai, X., Dai, X., 2017. “*Development of nano-CaO<sub>2</sub>-coated clinoptilolite for enhanced phosphorus adsorption and simultaneous removal of COD and nitrogen from sewage*”. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.059>. Acesso em: 16/11/2024.

# APÊNDICE

Tabela 30 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 20% de captação (EE1)

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)		Dados de entrada no sistema		
		Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
Q <sub>10</sub>	102,11	20,42	44,16	77919,26
Q <sub>20</sub>	80,11	16,02	33,55	59191,22
Q <sub>30</sub>	62,85	12,57	25,48	44964,49
Q <sub>40</sub>	49,31	9,86	19,36	34157,19
Q <sub>50</sub>	38,69	7,74	14,71	25947,45
Q <sub>60</sub>	30,36	6,07	11,17	19710,93
Q <sub>70</sub>	23,82	4,76	8,49	14973,37
Q <sub>80</sub>	18,69	3,74	6,45	11374,49
Q <sub>90</sub>	14,66	2,93	4,90	8640,61
Q <sub>95</sub>	12,99	2,60	4,27	7530,96

FONTE: O autor (2024).

Tabela 31 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 20% de captação (EE1)

Tratamento Primário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 1 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4
Q <sub>20</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>30</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>40</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>50</sub>	Decantador primário	33%	9,93	Classe 3
Q <sub>60</sub>	Decantador primário	33%	7,54	Classe 3
Q <sub>70</sub>	Decantador primário	33%	5,73	Classe 3
Q <sub>80</sub>	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2
Q <sub>90</sub>	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2
Q <sub>95</sub>	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 32 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de captação (EE1)

Tratamento Secundário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 2 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	3,73	Classe 2
Q <sub>20</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>30</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>40</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>50</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,03	Classe 2
Q <sub>60</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,30	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,75	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,00	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,01	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,88	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 33 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de captação (EE1)

Tratamento Terciário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 3 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Nano CaO2	75%	0,94	Classe 1
Q <sub>20</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>30</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Nano CaO2	75%	0,77	Classe 1
Q <sub>60</sub>	Nano CaO2	75%	0,58	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Nano CaO2	75%	0,44	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Nano CaO2	75%	0,34	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Nano CaO2	75%	0,26	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Nano CaO2	75%	0,22	Classe 1

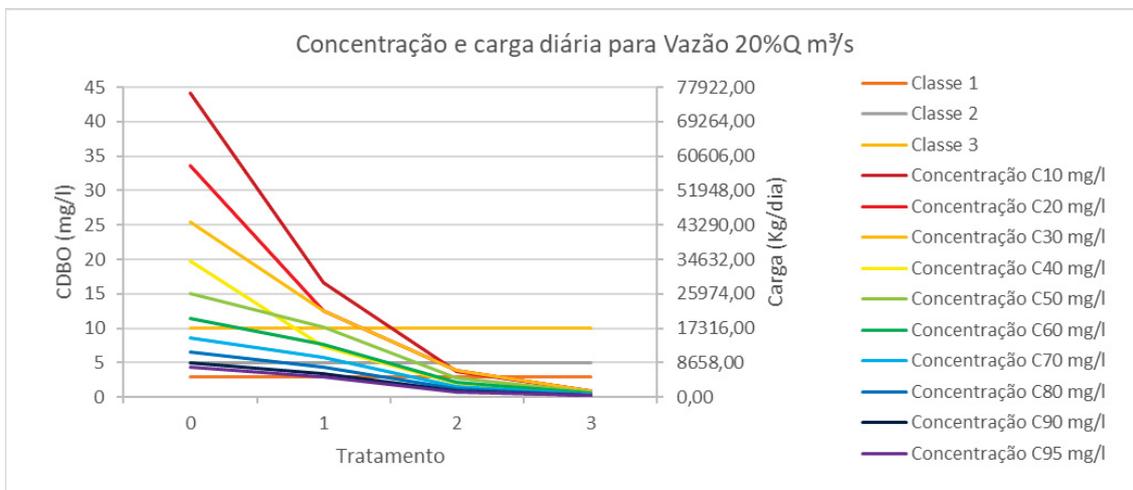
FONTE: O autor (2024).

Tabela 34 - Resumo do balanço de massa da simulação – 20% de captação (EE1)

Dados Finais						
Permanência	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10,86	0,94	81,68	44,16	40,29	8,8%
Q <sub>20</sub>	8,52	0,97	64,09	33,55	30,67	8,6%
Q <sub>30</sub>	6,69	0,97	50,28	25,48	23,55	7,6%
Q <sub>40</sub>	5,25	0,97	39,45	19,36	18,15	6,3%
Q <sub>50</sub>	4,12	0,77	30,95	14,71	13,82	6,1%
Q <sub>60</sub>	3,23	0,58	24,29	11,17	10,49	6,1%
Q <sub>70</sub>	2,53	0,44	19,05	8,49	7,97	6,1%
Q <sub>80</sub>	1,99	0,34	14,95	6,45	6,02	6,6%
Q <sub>90</sub>	1,56	0,26	11,73	4,90	4,60	6,1%
Q <sub>95</sub>	1,38	0,22	10,39	4,27	4,01	6,1%

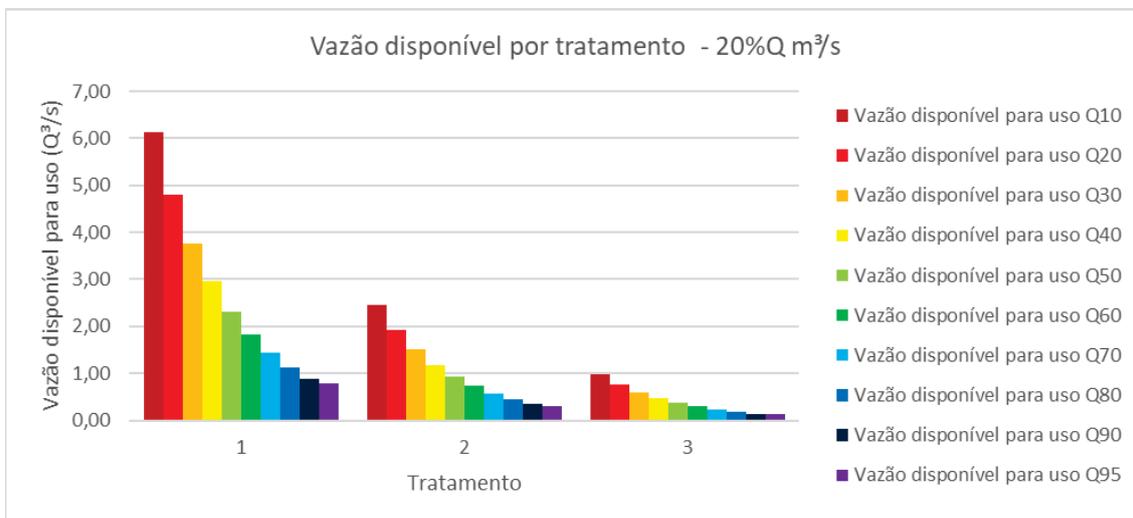
FONTE: O autor (2024).

Figura 44 - Concentração de DBO e carga diária para 20% de captação da vazão do rio (EE1)



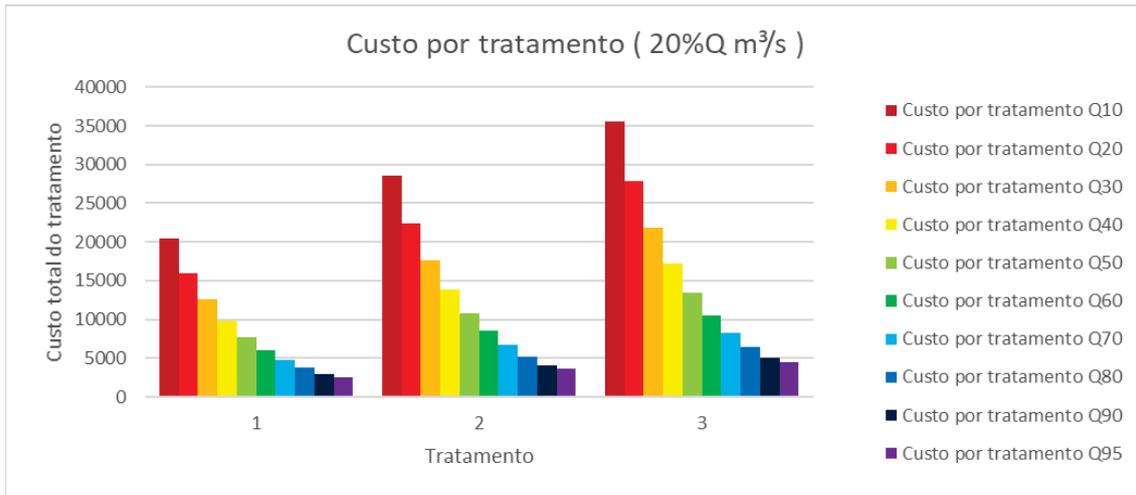
FONTE: O autor (2024).

Figura 45 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio (EE1)



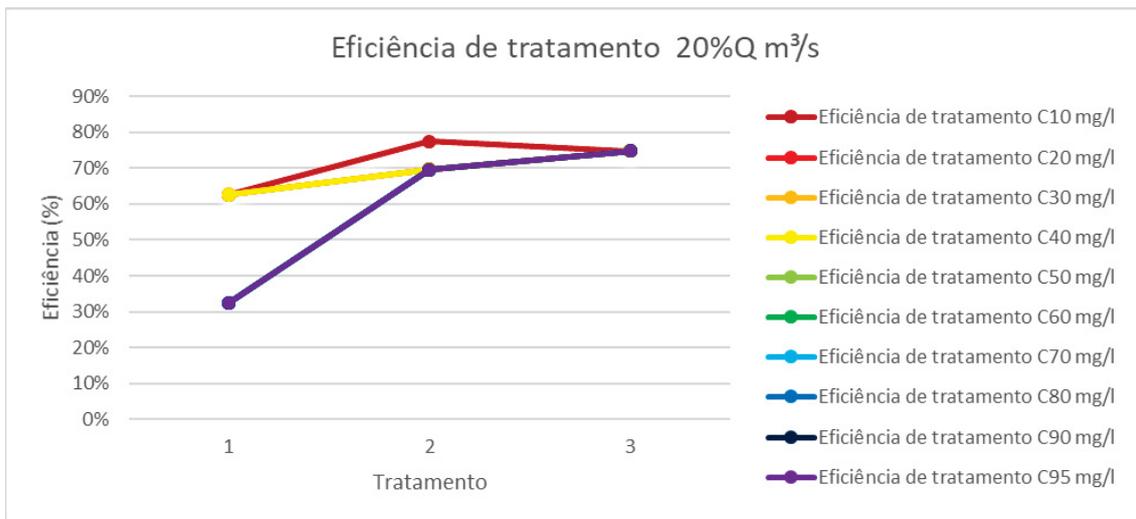
FONTE: O autor (2024).

Figura 46 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 20% de captação da vazão do rio (EE1)



FONTE: O autor (2024).

Figura 47 - Eficiências de tratamentos para 20% de captação da vazão do rio (EE1)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 35 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 30% de captação (EE1)

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)		Dados de entrada no sistema		
		Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
Q <sub>10</sub>	102,11	30,63	44,16	116878,89
Q <sub>20</sub>	80,11	24,03	33,55	88786,83
Q <sub>30</sub>	62,85	18,86	25,48	67446,74
Q <sub>40</sub>	49,31	14,79	19,36	51235,79
Q <sub>50</sub>	38,69	11,61	14,71	38921,17
Q <sub>60</sub>	30,36	9,11	11,17	29566,39
Q <sub>70</sub>	23,82	7,15	8,49	22460,05
Q <sub>80</sub>	18,69	5,61	6,45	17061,74
Q <sub>90</sub>	14,66	4,40	4,90	12960,91
Q <sub>95</sub>	12,99	3,90	4,27	11296,45

FONTE: O autor (2024).

Tabela 36 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 30% de captação (EE1)

Tratamento Primário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Primário avançado	63%	16,56	Classe 4
Q <sub>20</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>30</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>40</sub>	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>50</sub>	Decantador primário	33%	9,93	Classe 3
Q <sub>60</sub>	Decantador primário	33%	7,54	Classe 3
Q <sub>70</sub>	Decantador primário	33%	5,73	Classe 3
Q <sub>80</sub>	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2
Q <sub>90</sub>	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2
Q <sub>95</sub>	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 37 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de captação (EE1)

Tratamento Secundário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	3,73	Classe 2
Q <sub>20</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>30</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>40</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,84	Classe 2
Q <sub>50</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,03	Classe 2
Q <sub>60</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,30	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,75	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,00	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,01	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,88	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 38 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de captação (EE1)

Tratamento Terciário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Nano CaO2	75%	0,94	Classe 1
Q <sub>20</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>30</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Nano CaO2	75%	0,97	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Nano CaO2	75%	0,77	Classe 1
Q <sub>60</sub>	Nano CaO2	75%	0,58	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Nano CaO2	75%	0,44	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Nano CaO2	75%	0,34	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Nano CaO2	75%	0,26	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Nano CaO2	75%	0,22	Classe 1

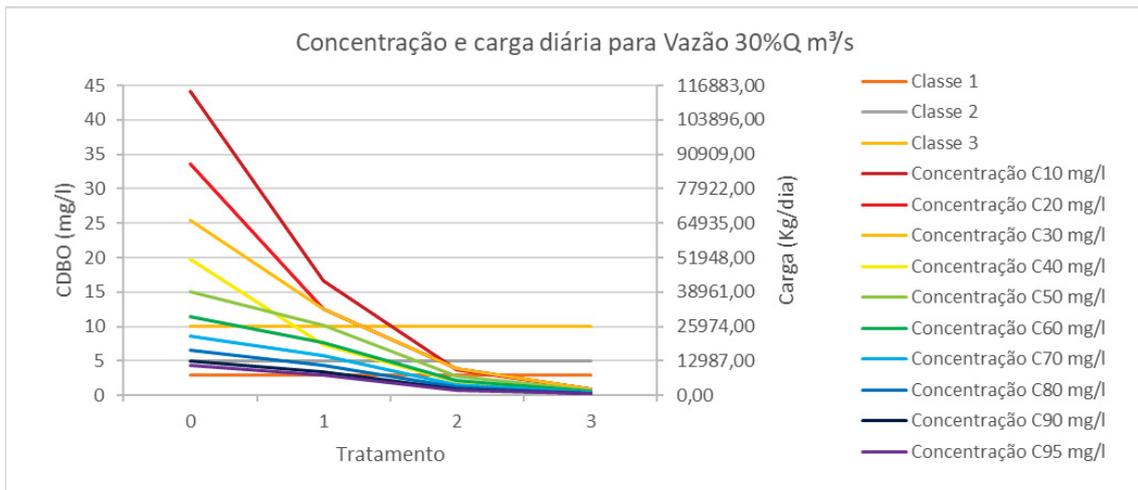
FONTE: O autor (2024).

Tabela 39 - Resumo do balanço de massa da simulação – 30% de captação (EE1)

Dados Finais						
Permanência	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	16,30	0,94	71,47	44,16	38,04	13,9%
Q <sub>20</sub>	12,79	0,97	56,08	33,55	28,99	13,6%
Q <sub>30</sub>	10,03	0,97	44,00	25,48	22,43	12,0%
Q <sub>40</sub>	7,87	0,97	34,52	19,36	17,44	9,9%
Q <sub>50</sub>	6,18	0,77	27,08	14,71	13,30	9,6%
Q <sub>60</sub>	4,84	0,58	21,25	11,17	10,10	9,6%
Q <sub>70</sub>	3,80	0,44	16,67	8,49	7,67	9,6%
Q <sub>80</sub>	2,98	0,34	13,08	6,45	5,77	10,4%
Q <sub>90</sub>	2,34	0,26	10,26	4,90	4,43	9,6%
Q <sub>95</sub>	2,07	0,22	9,09	4,27	3,86	9,6%

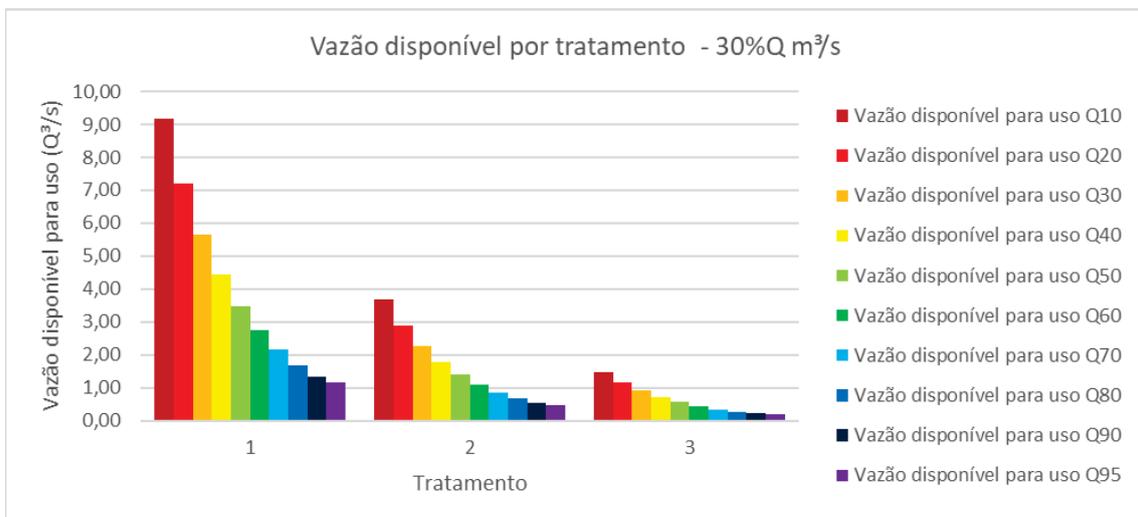
FONTE: O autor (2024).

Figura 48 - CONCENTRAÇÃO DE DBO E CARGA DIÁRIA PARA 30% DE CAPTAÇÃO DA VAZÃO DO RIO (EE1)



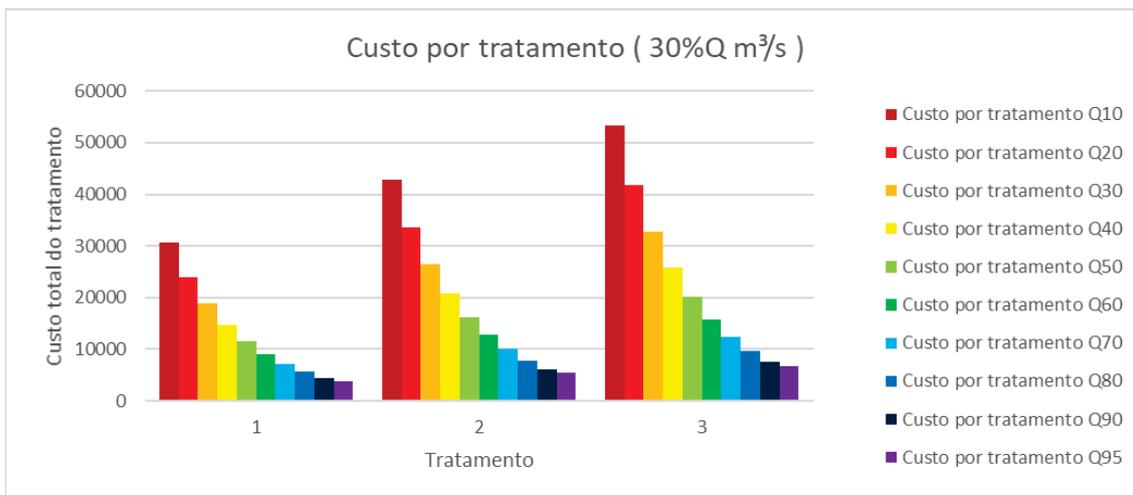
FONTE: O autor (2024).

Figura 49 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio (EE1)



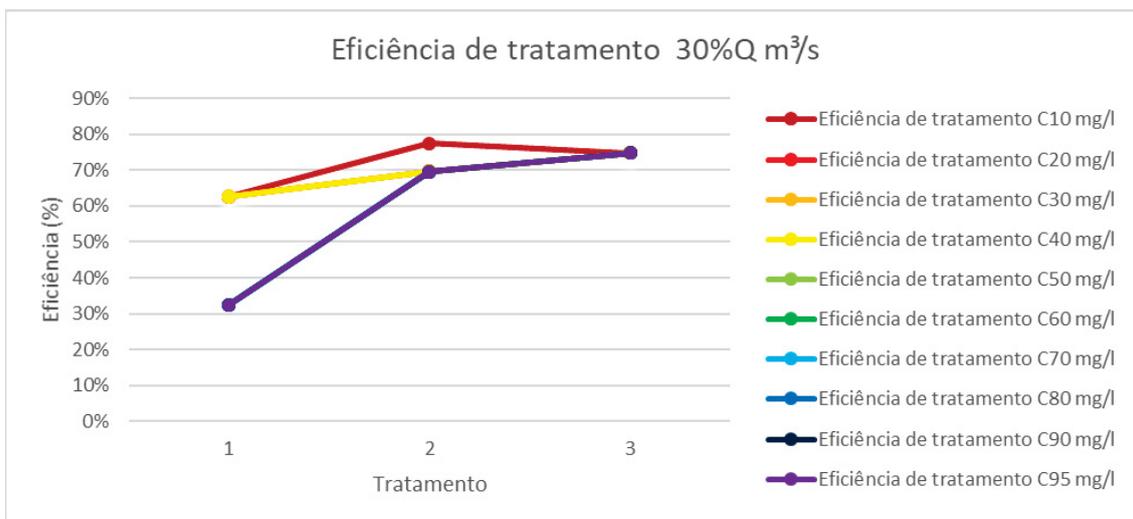
FONTE: O autor (2024).

Figura 50 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 30% de captação da vazão do rio (EE1)



FONTE: O autor (2024).

Figura 51 - Eficiências de tratamentos para 30% de captação da vazão do rio (EE1)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 40 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 20% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
80,11	5	10% Q	8,01	33,55	23220,28
		20% Q	16,02	33,55	46440,56
		30% Q	24,03	33,55	69660,84

FONTE: O autor (2024).

Tabela 41 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 20% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	12,58	Classe 4

FONTE: O autor (2024).

Tabela 42 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	3,77	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	3,77	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	3,77	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 43 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,95	Classe 1

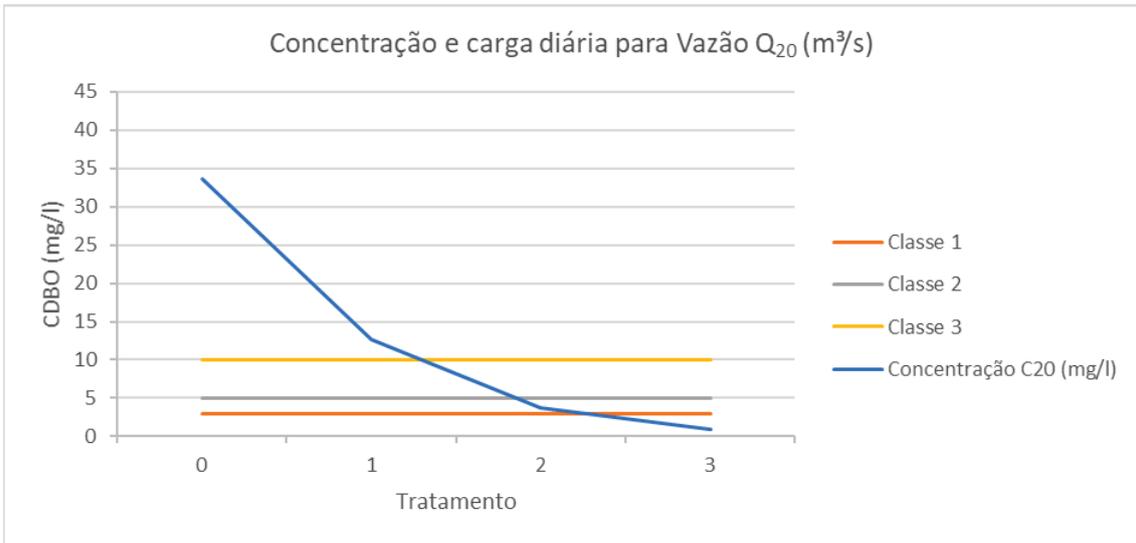
FONTE: O autor (2024).

Tabela 44 - Resumo do balanço de massa da simulação – 20% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	4,26	0,95	72,10	33,55	32,18	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	8,52	0,95	64,09	33,55	30,66	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	12,79	0,95	56,08	33,55	28,99	13,6%

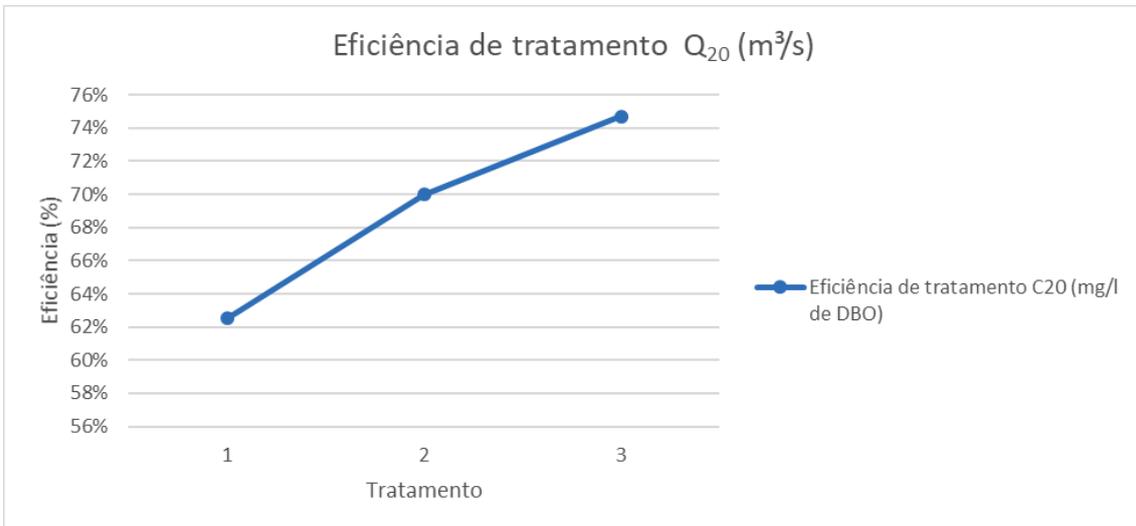
FONTE: O autor (2024).

Figura 52 - Concentração de DBO e carga diária para 20% de vazão da curva de permanência (EE2)



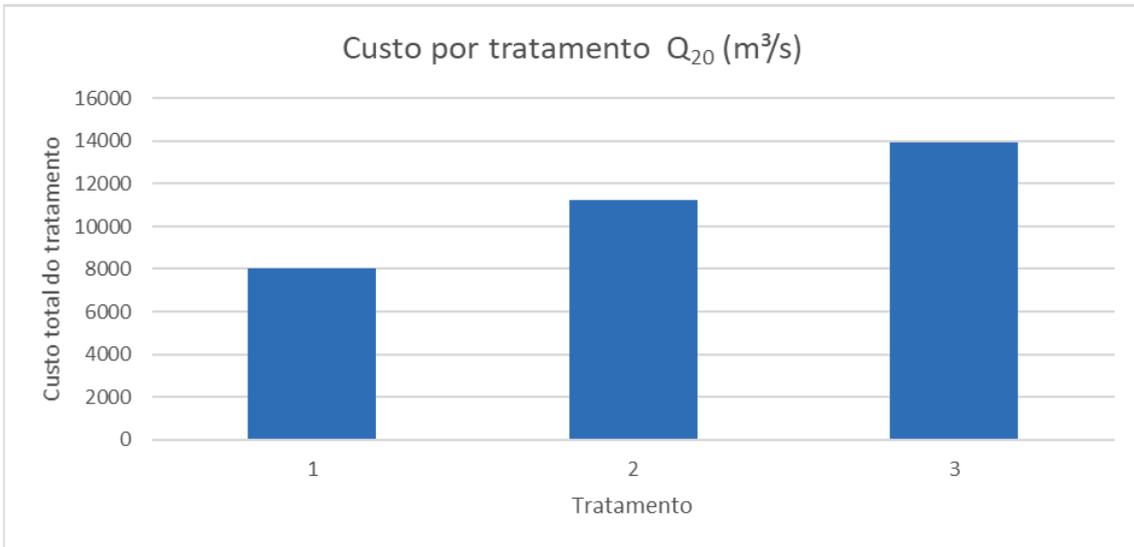
FONTE: O autor (2024).

Figura 53 - Eficiências de tratamentos para 20% de vazão da curva de permanência (EE2)



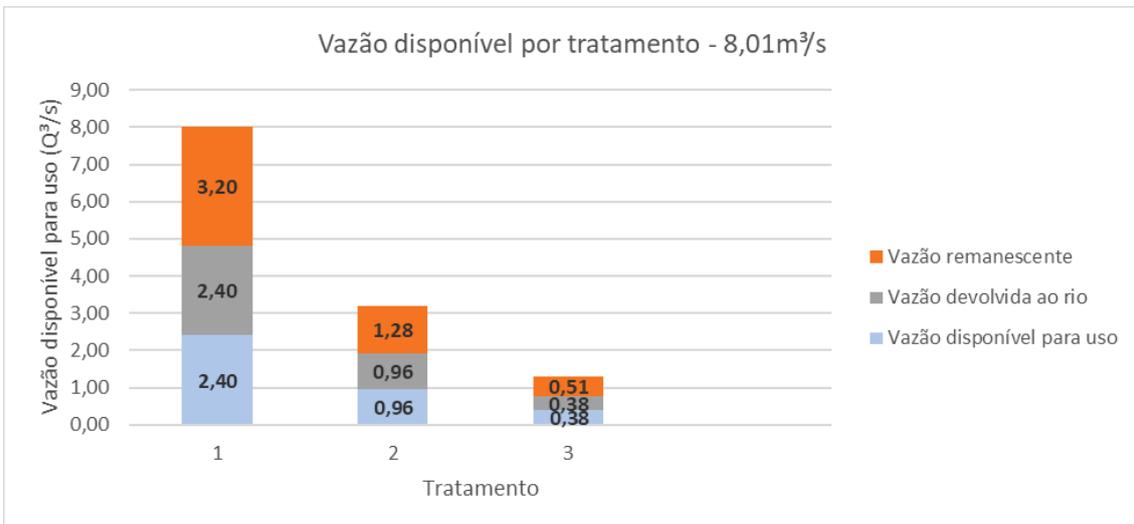
FONTE: O autor (2024).

Figura 54 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 20% de vazão da curva de permanência (EE2)



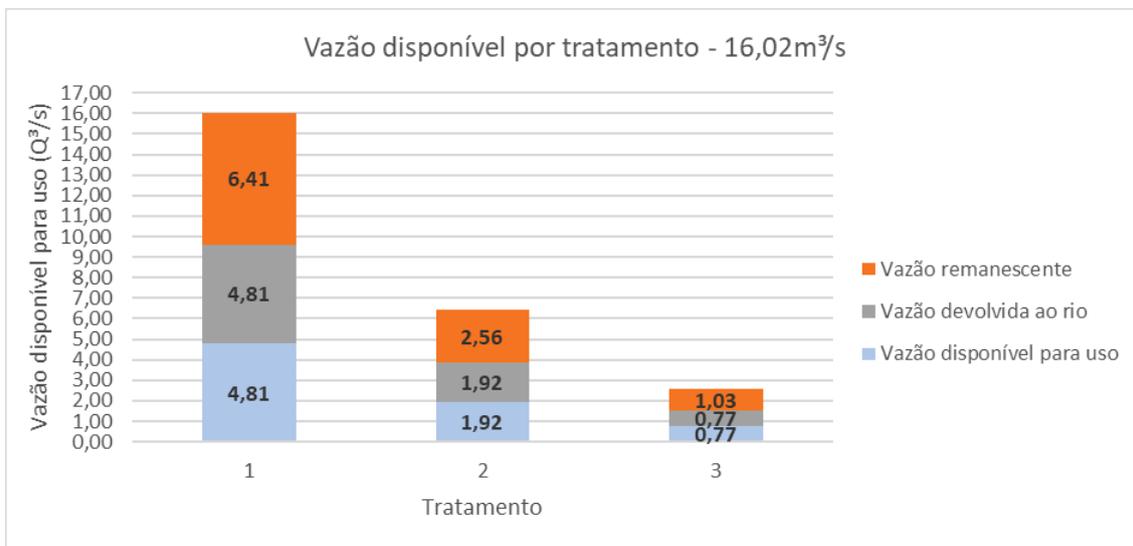
FONTE: O autor (2024).

Figura 55 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 20% (EE2)



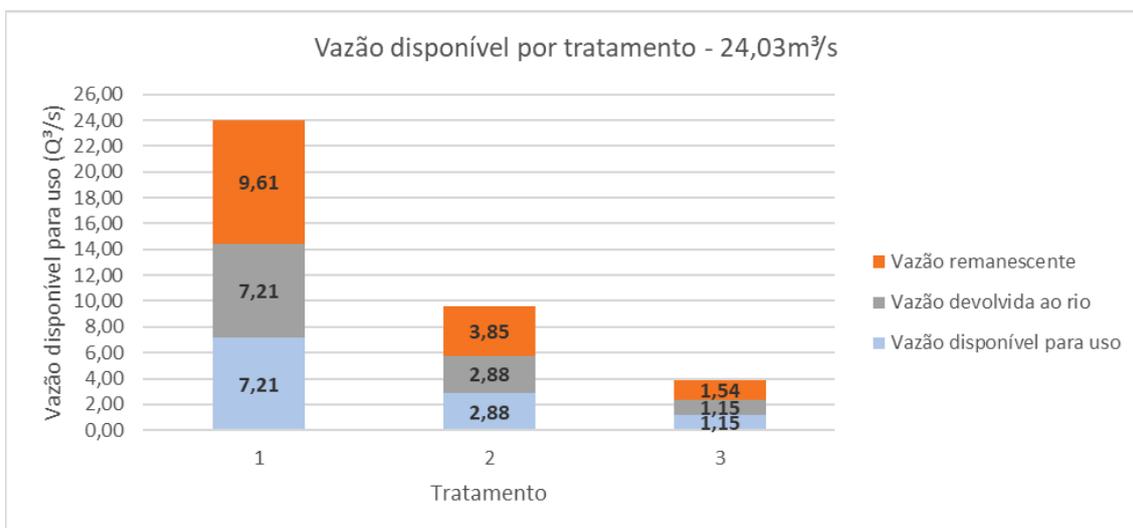
FONTE: O autor (2024).

Figura 56 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 20% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 57 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 20% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 45 - DADOS DE VAZÃO DO RIO IGUAÇU E DE ENTRADA NO SISTEMA DE TRATAMENTO – 30% DE VAZÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA (EE2)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
62,85	5	10% Q	6,29	25,48	13839,49
		20% Q	12,57	25,48	27678,98
		30% Q	18,86	25,48	41518,47

FONTE: O autor (2024).

Tabela 46 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 30% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	9,56	Classe 3
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	9,56	Classe 3
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	9,56	Classe 3

FONTE: O autor (2024).

Tabela 47 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,87	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,87	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,87	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 48 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,73	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,73	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,73	Classe 1

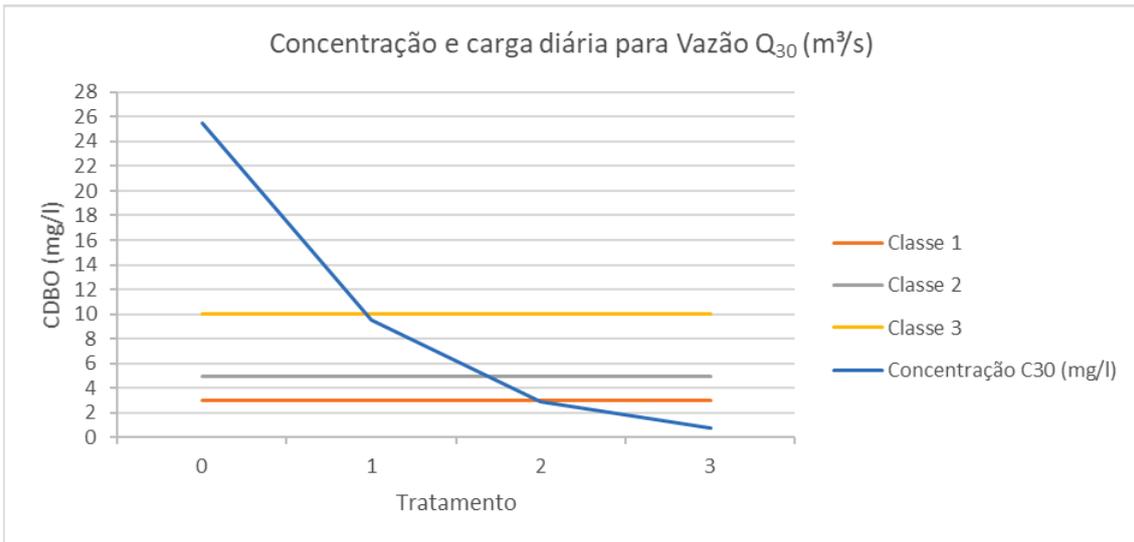
FONTE: O autor (2024).

Tabela 49 - Resumo do balanço de massa da simulação – 30% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	3,34	0,73	56,57	25,48	24,44	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	6,69	0,73	50,28	25,48	23,29	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	10,03	0,73	44,00	25,48	22,02	13,6%

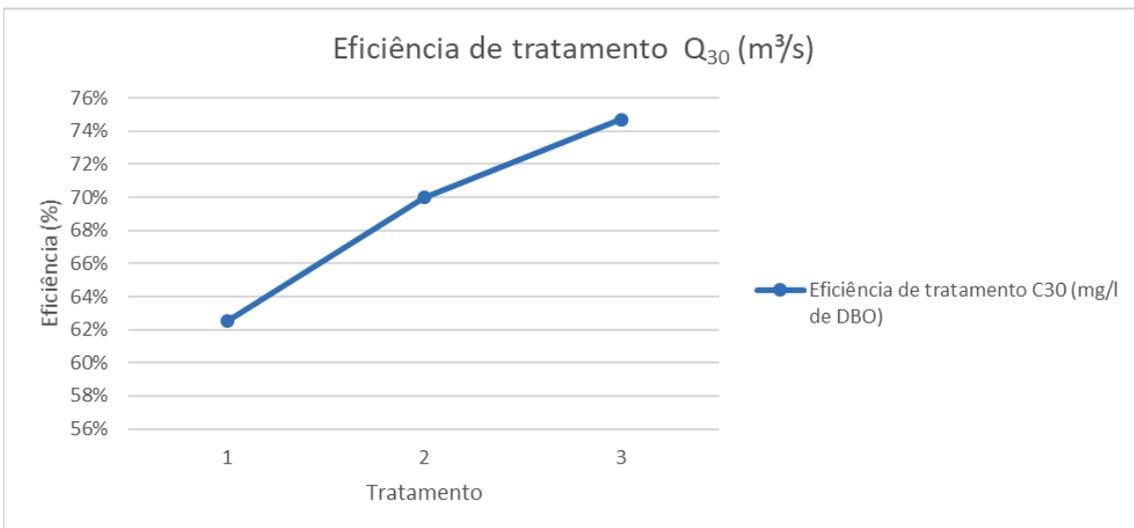
FONTE: O autor (2024).

Figura 58 - Concentração de DBO e carga diária para 30% de vazão da curva de permanência (EE2)



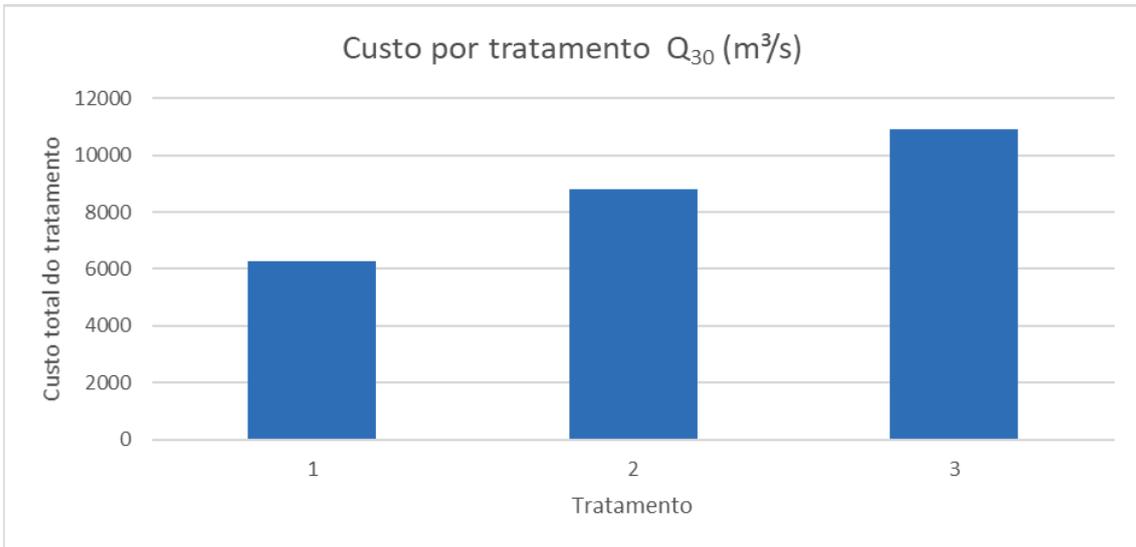
FONTE: O autor (2024).

Figura 59 - Eficiências de tratamentos para 30% de vazão da curva de permanência (EE2)



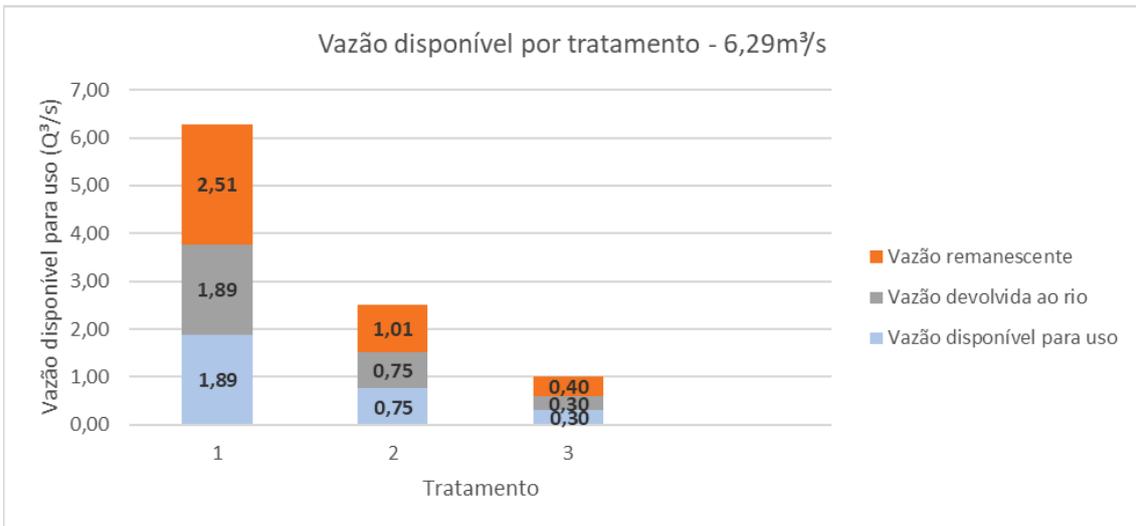
FONTE: O autor (2024).

Figura 60 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 30% de vazão da curva de permanência (EE2)



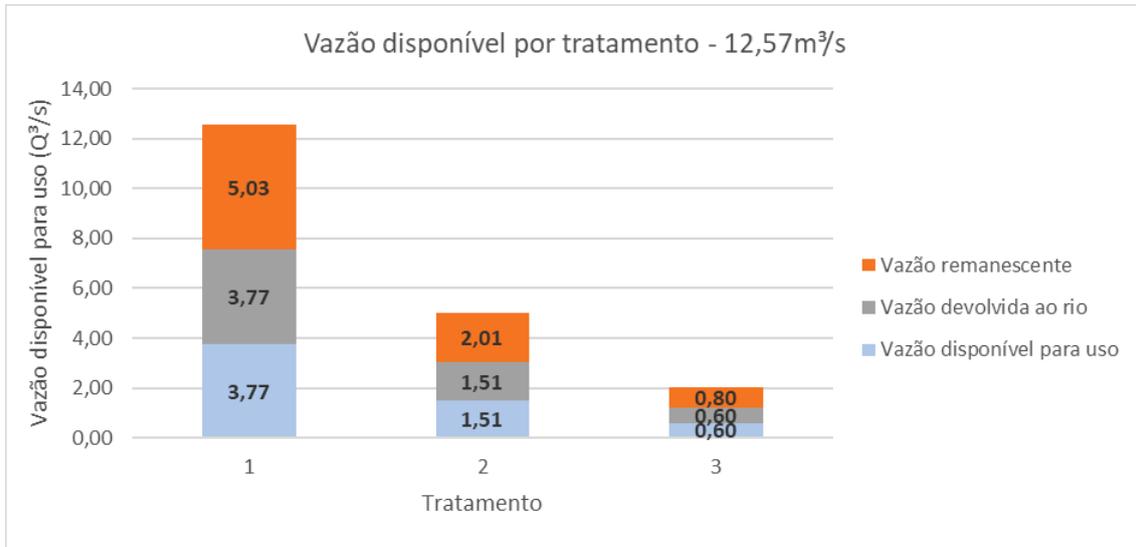
FONTE: O autor (2024).

Figura 61 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 30% (EE2)



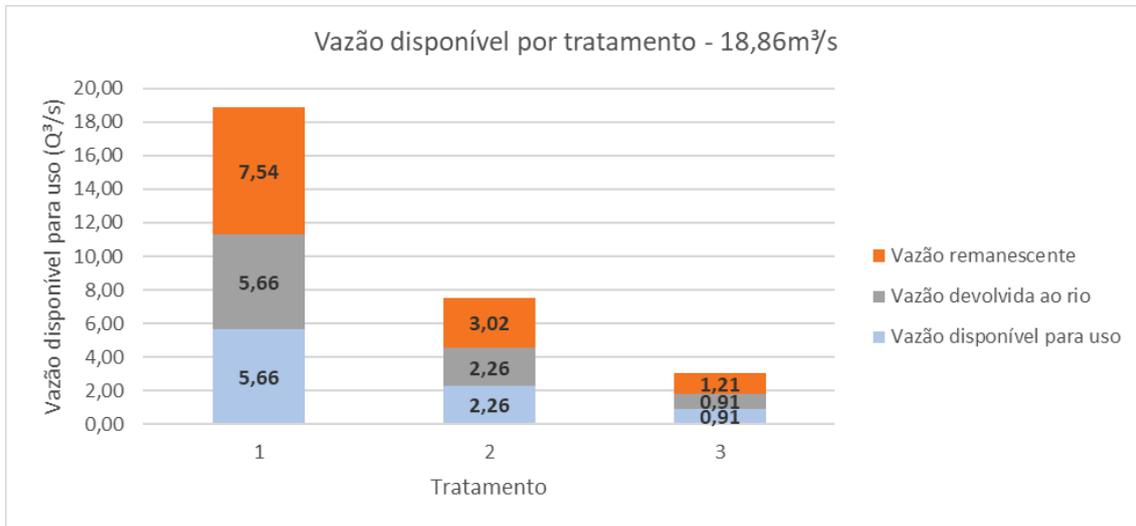
FONTE: O autor (2024).

Figura 62 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 30% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 63 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 30% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 50 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 40% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
49,31	5	10% Q	4,93	19,36	8248,46
		20% Q	9,86	19,36	16496,91
		30% Q	14,79	19,36	24745,37

FONTE: O autor (2024).

Tabela 51 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 40% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	7,26	Classe 3
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	7,26	Classe 3
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	7,26	Classe 3

FONTE: O autor (2024).

Tabela 52 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 40% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,18	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,18	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,18	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 53 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 40% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,55	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,55	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,55	Classe 1

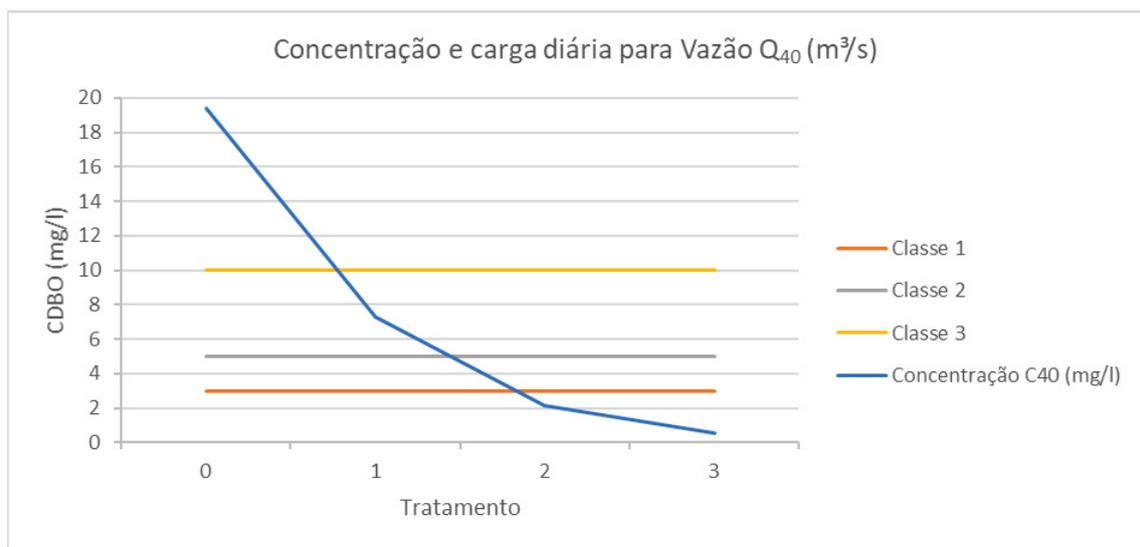
FONTE: O autor (2024).

Tabela 54 - Resumo do balanço de massa da simulação – 40% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	2,62	0,55	44,38	19,36	18,57	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	5,25	0,55	39,45	19,36	17,70	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	7,87	0,55	34,52	19,36	16,73	13,6%

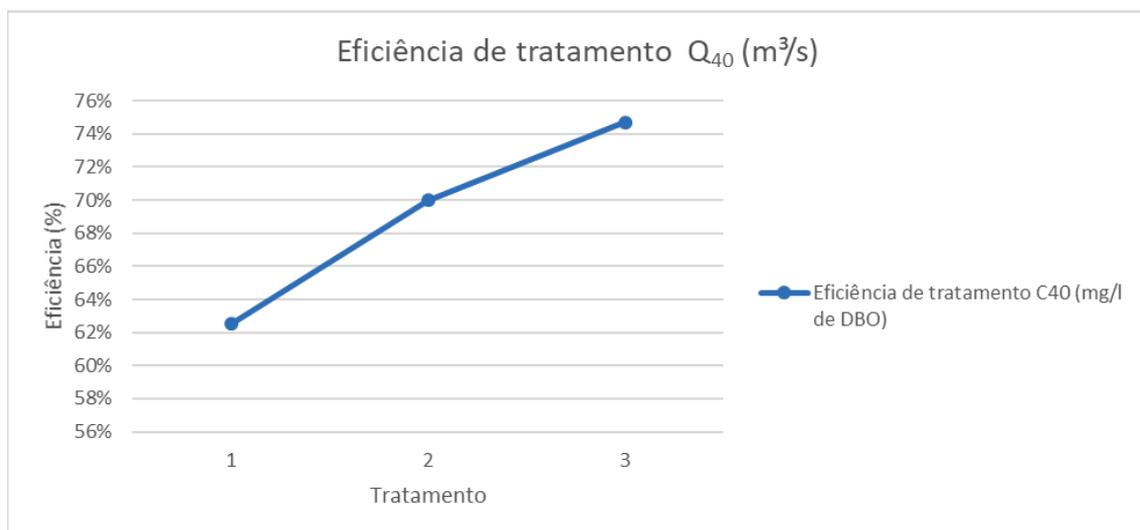
FONTE: O autor (2024).

Figura 64 - Concentração de DBO e carga diária para 40% de vazão da curva de permanência (EE2)



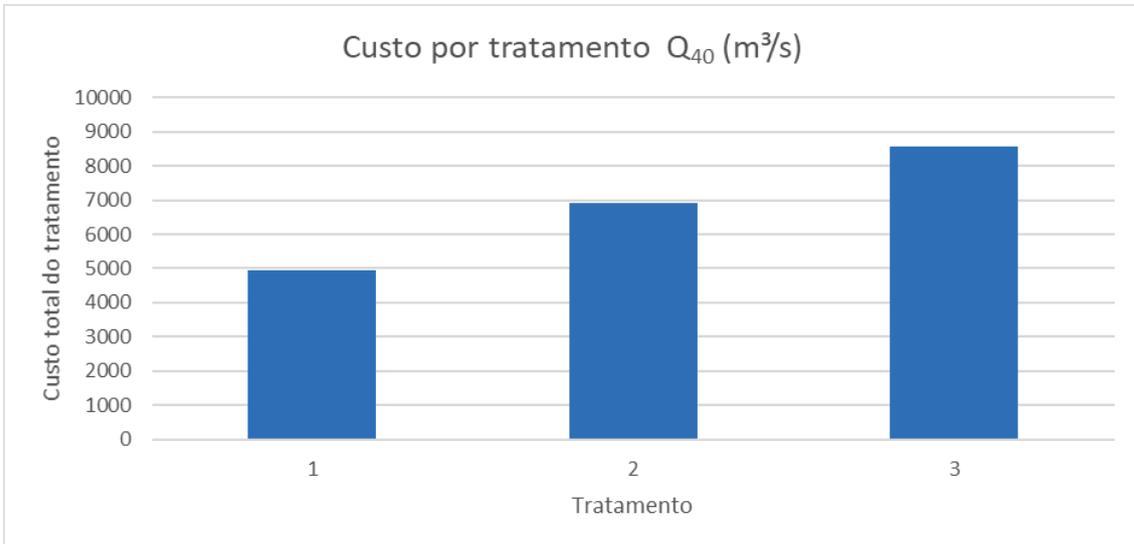
FONTE: O autor (2024).

Figura 65 - Eficiências de tratamentos para 40% de vazão da curva de permanência (EE2)



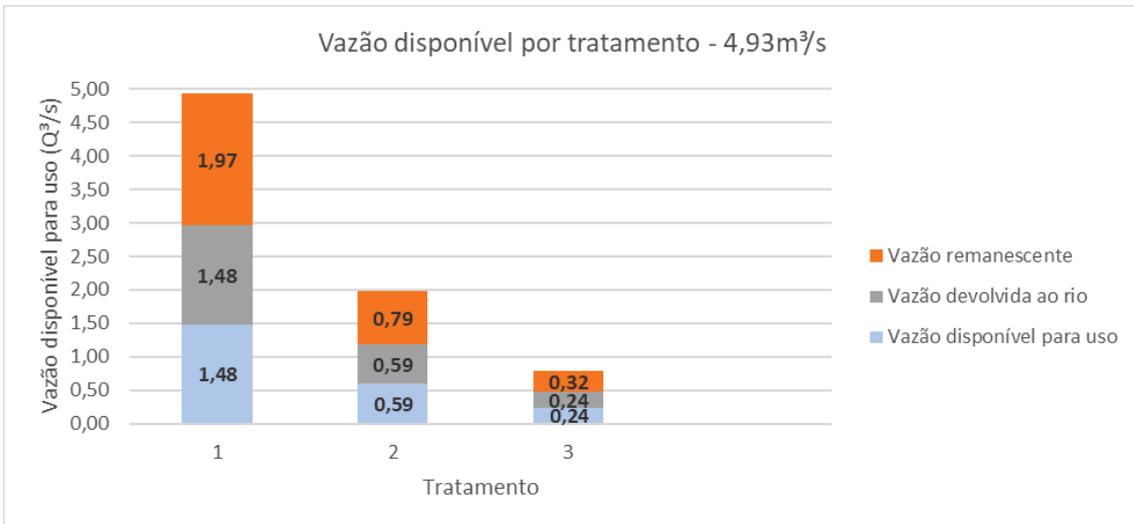
FONTE: O autor (2024).

Figura 66 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 40% de vazão da curva de permanência (EE2)



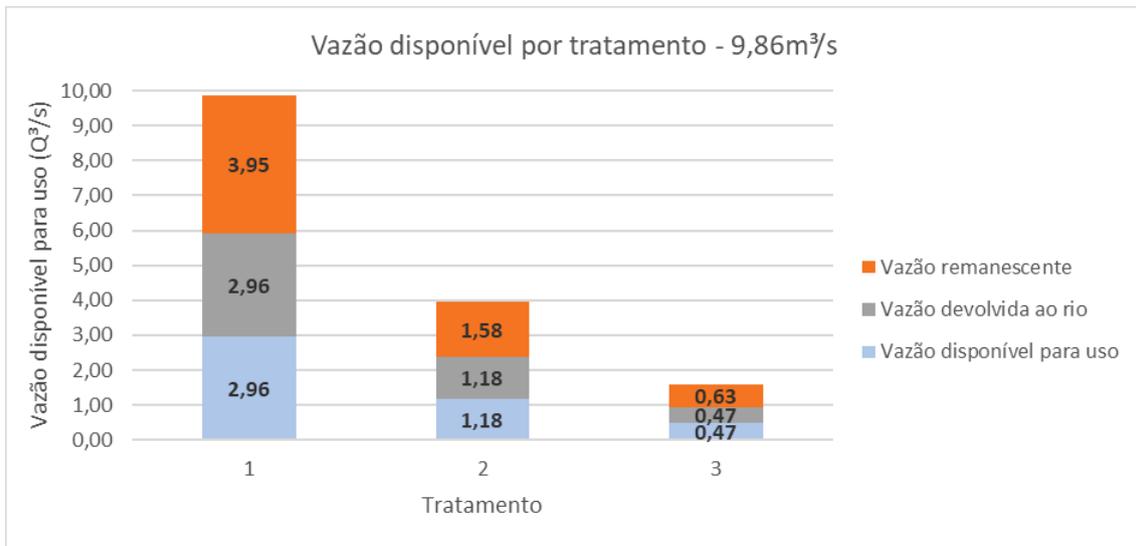
FONTE: O autor (2024).

Figura 67 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 40% (EE2)



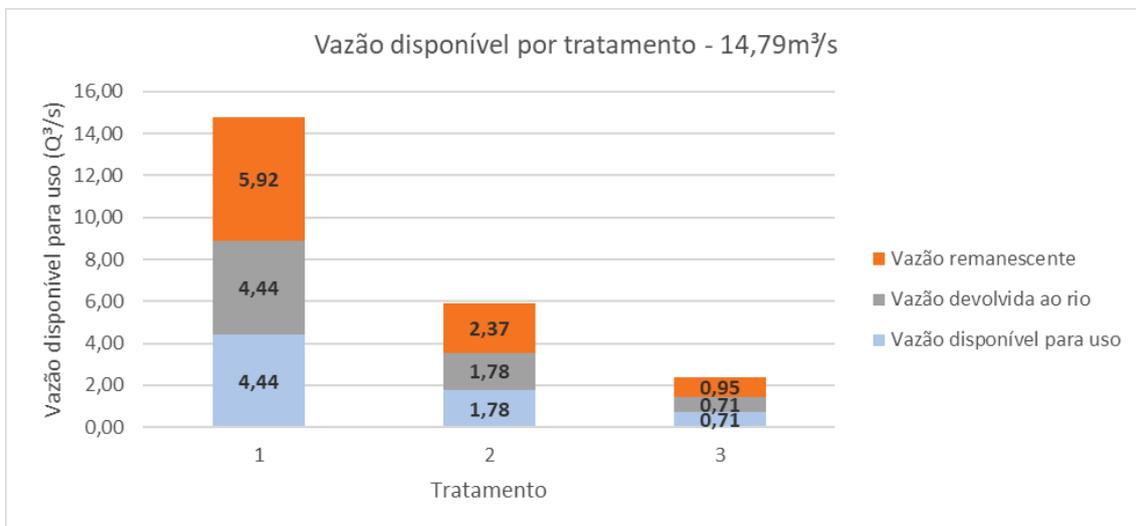
FONTE: O autor (2024).

Figura 68 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 40% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 69 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 40% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 55 - Dados de vazão do Rio Iguazu e de entrada no sistema de tratamento – 50% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
38,69	5	10% Q	3,87	14,71	4916,15
		20% Q	7,74	14,71	9832,30
		30% Q	11,61	14,71	14748,45

FONTE: O autor (2024).

Tabela 56 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 50% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	5,51	Classe 3
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	5,51	Classe 3
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	5,51	Classe 3

FONTE: O autor (2024).

Tabela 57 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 50% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,65	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,65	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,65	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 58 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 50% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,42	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,42	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,42	Classe 1

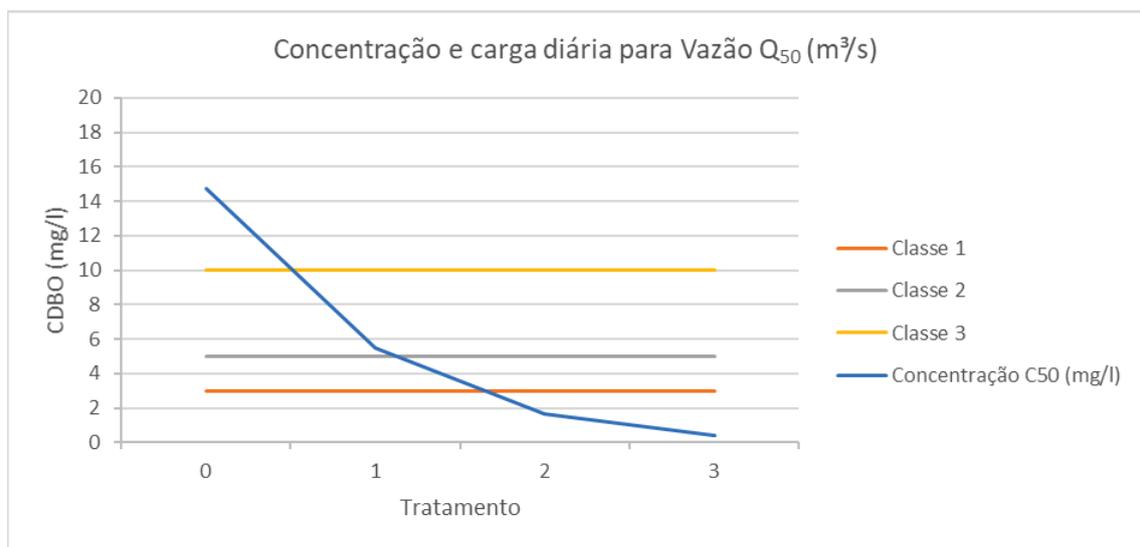
FONTE: O autor (2024).

Tabela 59 - Resumo do balanço de massa da simulação– 50% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	2,06	0,42	34,82	14,71	14,11	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	4,12	0,42	30,95	14,71	13,44	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	6,18	0,42	27,08	14,71	12,71	13,6%

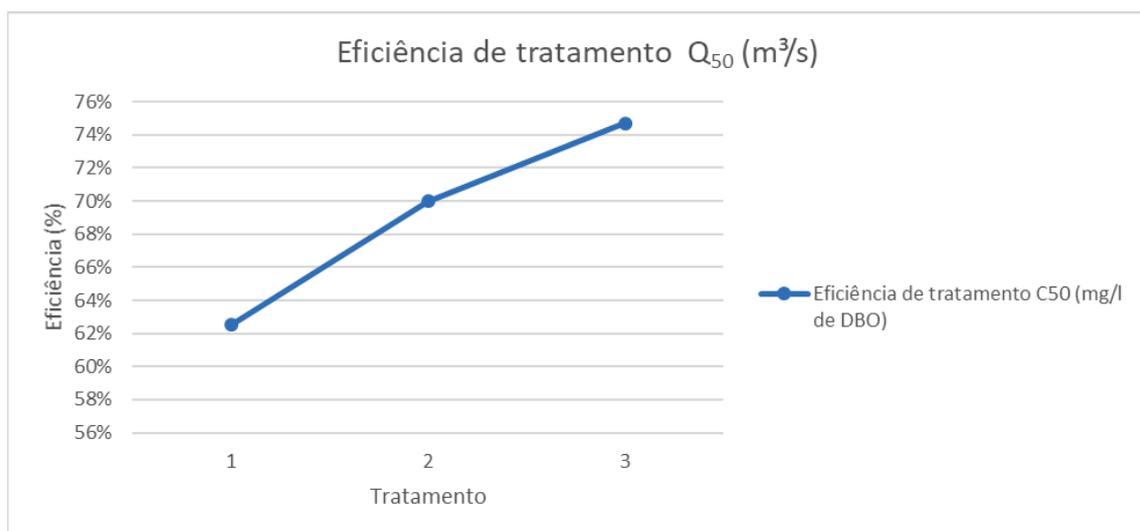
FONTE: O autor (2024).

Figura 70 - Concentração de DBO e carga diária para 50% de vazão da curva de permanência (EE2)



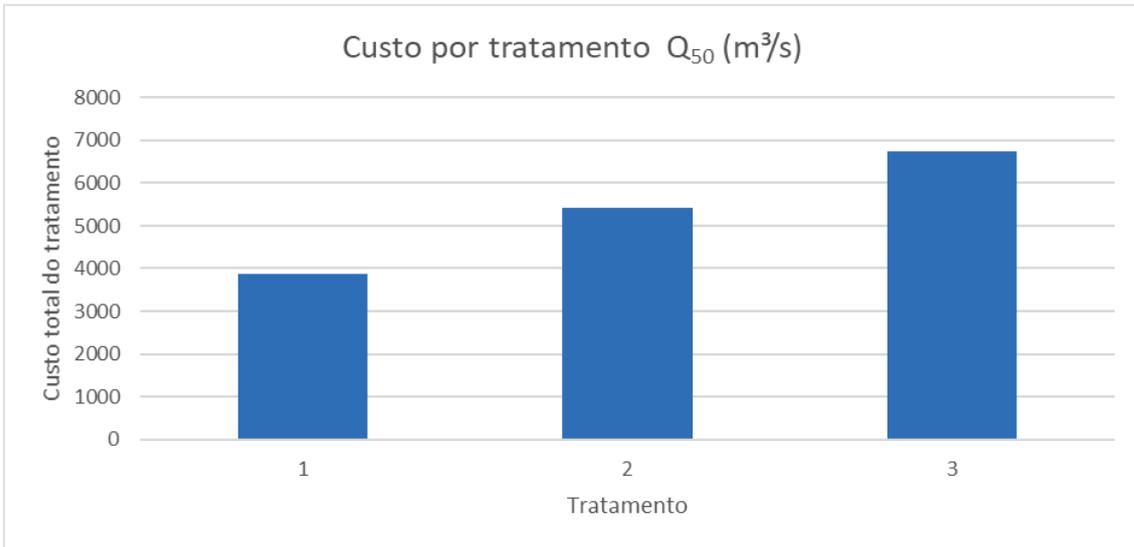
FONTE: O autor (2024).

Figura 71 - Eficiências de tratamentos para 50% de vazão da curva de permanência (EE2)



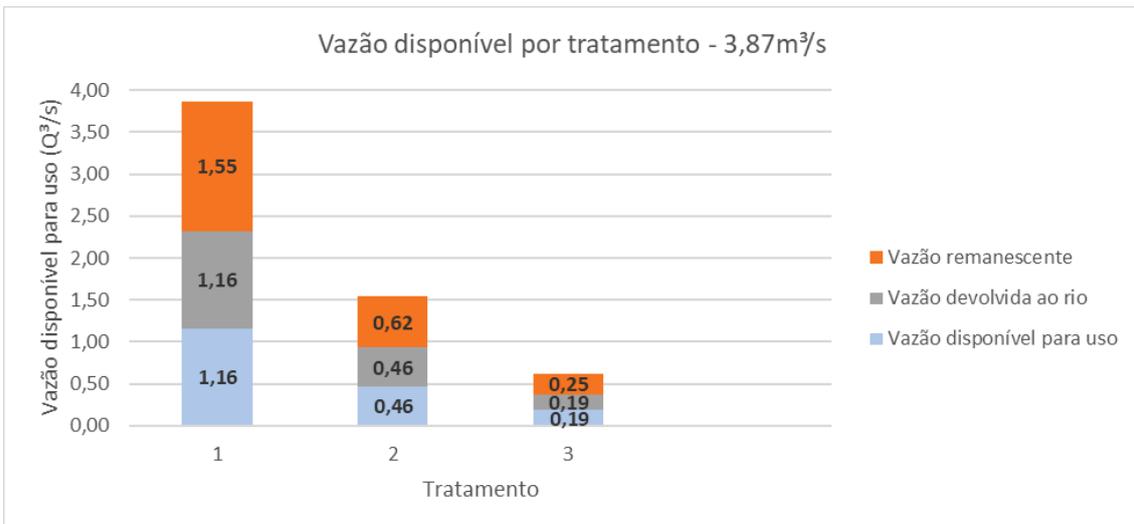
FONTE: O autor (2024).

Figura 72 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 50% de vazão da curva de permanência (EE2)



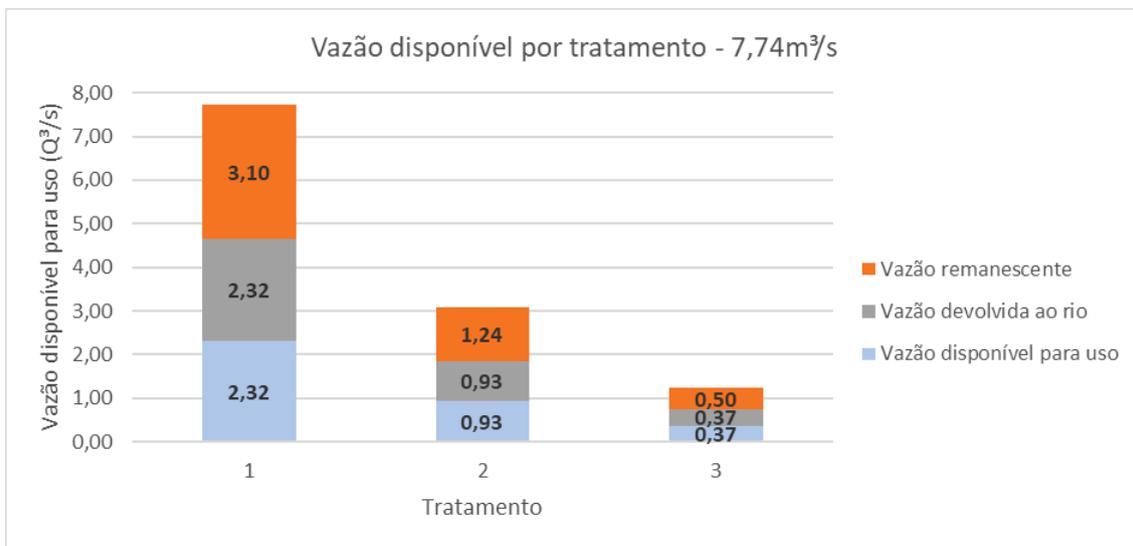
FONTE: O autor (2024).

Figura 73 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 50% (EE2)



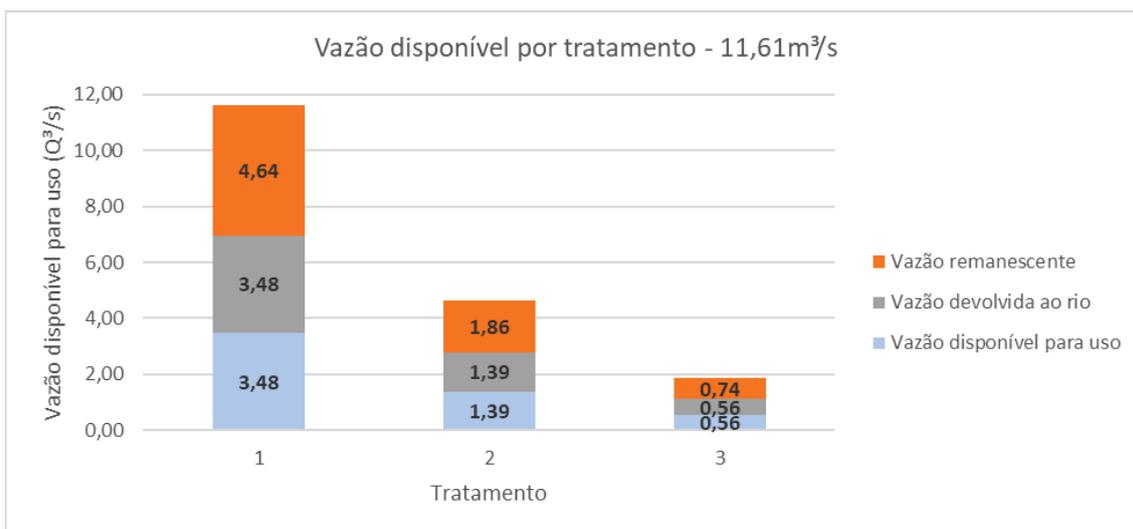
FONTE: O autor (2024).

Figura 74 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 50% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 75 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 50% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 60 - Dados de vazão do Rio Iguazu e de entrada no sistema de tratamento – 60% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
30,36	5	10% Q	3,04	11,17	2930,07
		20% Q	6,07	11,17	5860,14
		30% Q	9,11	11,17	8790,21

FONTE: O autor (2024).

Tabela 61 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 60% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	4,19	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	4,19	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	4,19	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 62 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 60% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,26	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,26	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,26	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 63 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 60% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,32	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,32	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,32	Classe 1

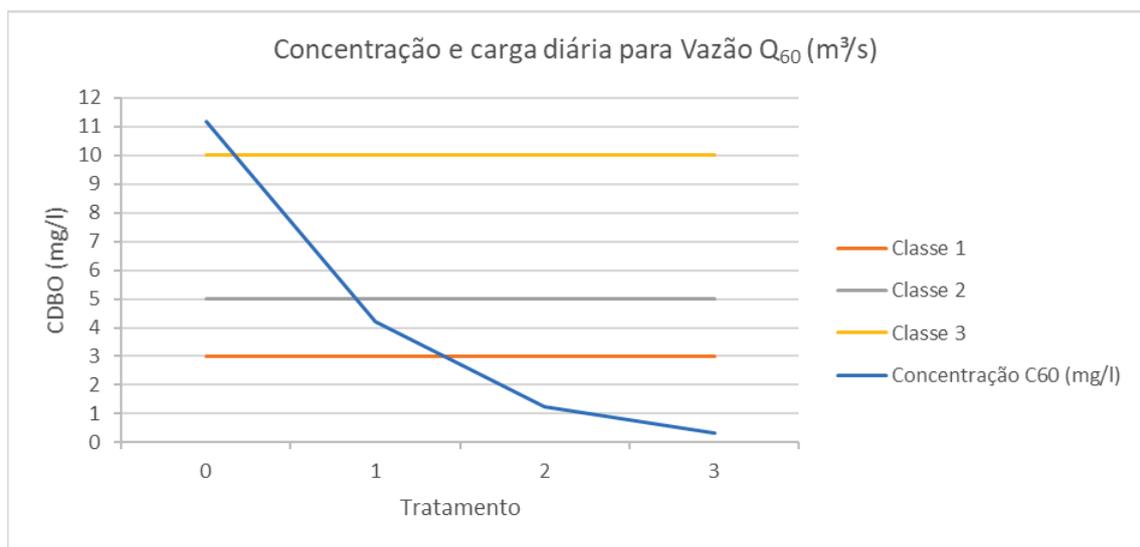
FONTE: O autor (2024).

Tabela 64 - Resumo do balanço de massa da simulação – 60% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	1,61	0,32	27,32	11,17	10,72	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	3,23	0,32	24,29	11,17	10,21	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	4,84	0,32	21,25	11,17	9,65	13,6%

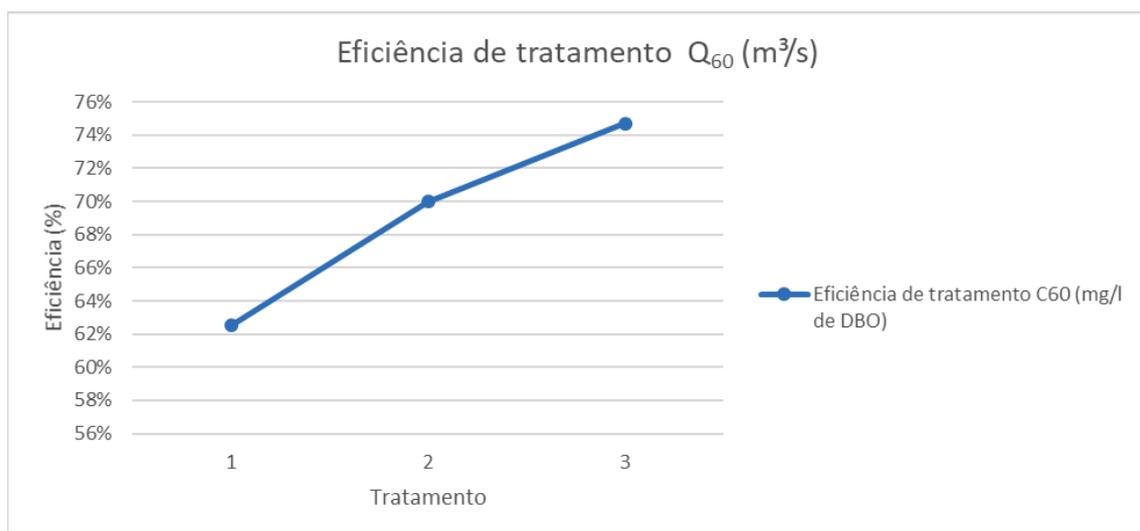
FONTE: O autor (2024).

Figura 76 - Concentração de DBO e carga diária para 60% de vazão da curva de permanência (EE2)



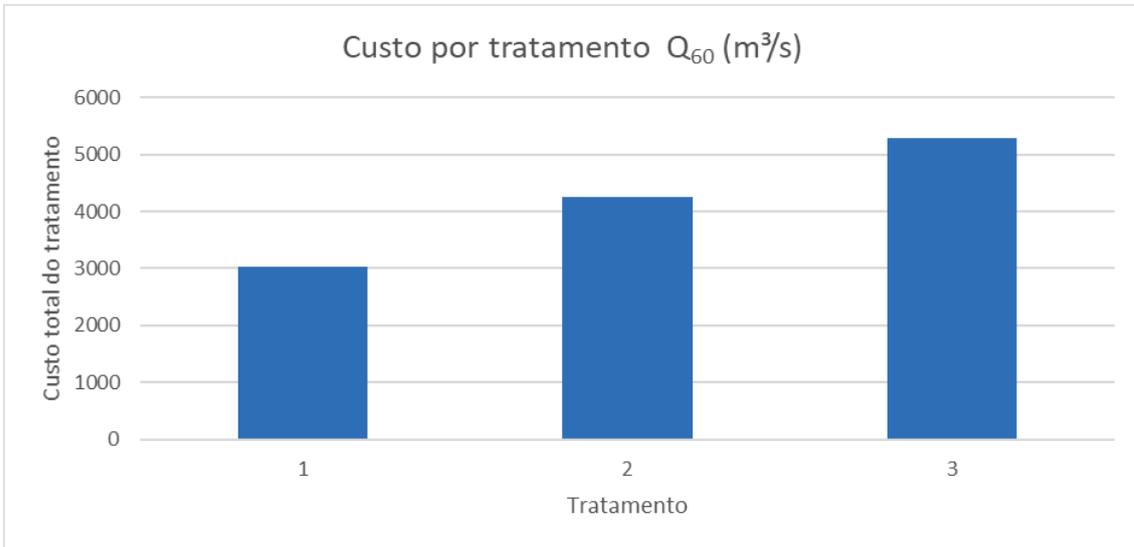
FONTE: O autor (2024).

Figura 77 - Eficiências de tratamentos para 60% de vazão da curva de permanência (EE2)



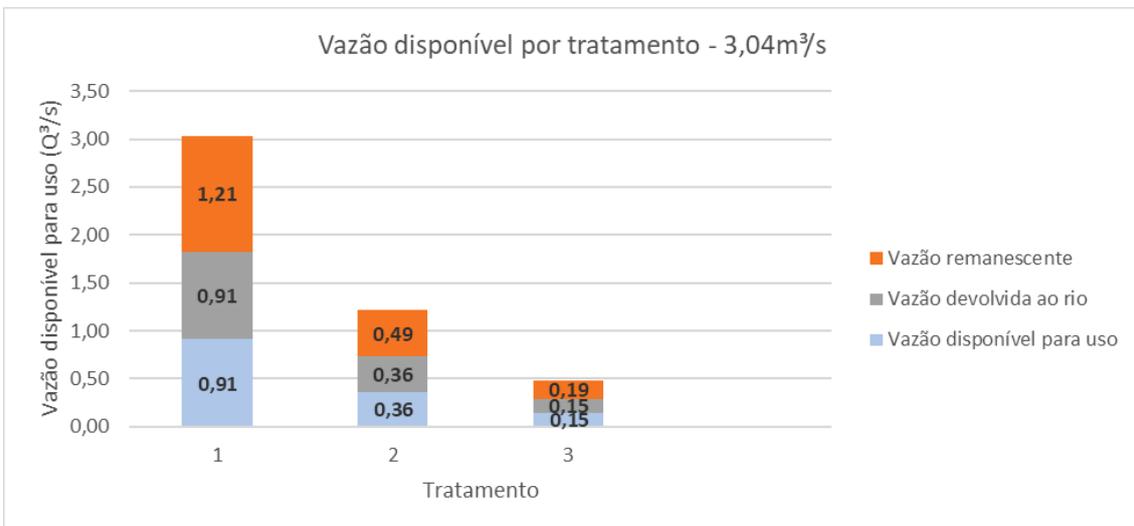
FONTE: O autor (2024).

Figura 78 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 60% de vazão da curva de permanência (EE2)



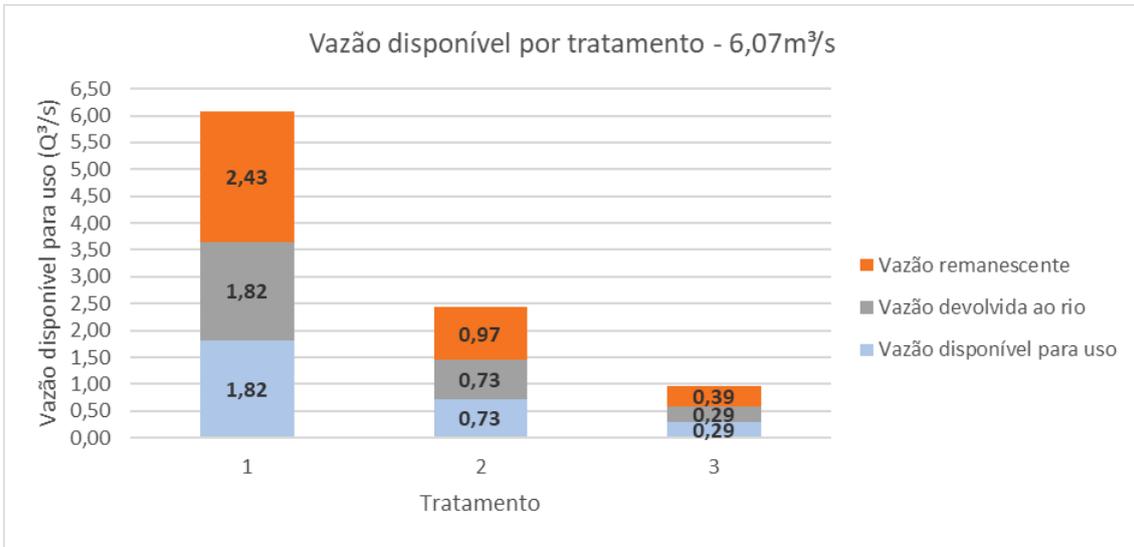
FONTE: O autor (2024).

Figura 79 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 60% (EE2)



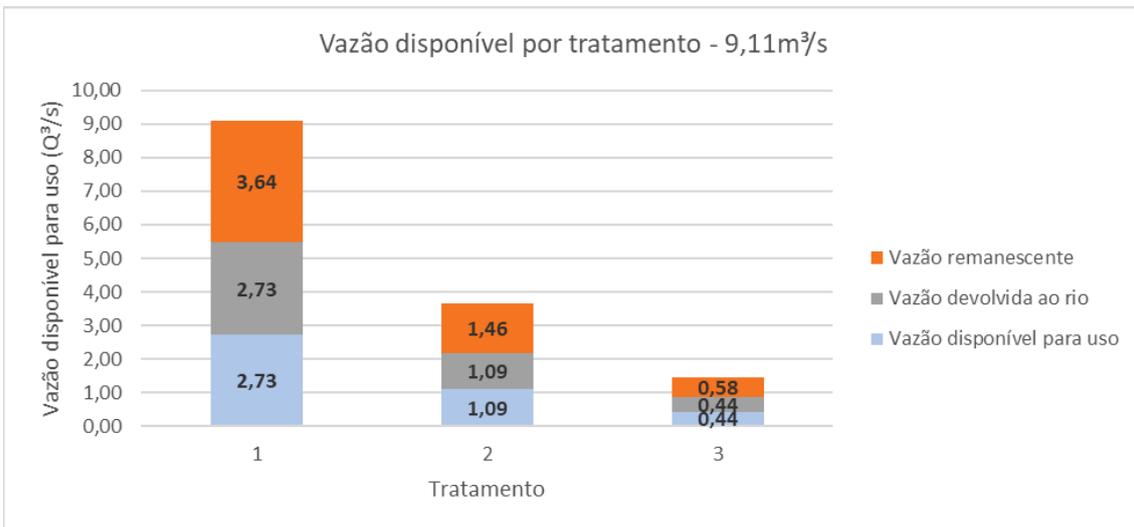
FONTE: O autor (2024).

Figura 80 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 60% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 81 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 60% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 65 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 70% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
23,82	5	10% Q	2,38	8,49	1746,35
		20% Q	4,76	8,49	3492,69
		30% Q	7,15	8,49	5239,04

FONTE: O autor (2024).

Tabela 66 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 70% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 1 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	3,18	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	3,18	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	3,18	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 67 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 70% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 2 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,95	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,95	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,95	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 68 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 70% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 3 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,24	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,24	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,24	Classe 1

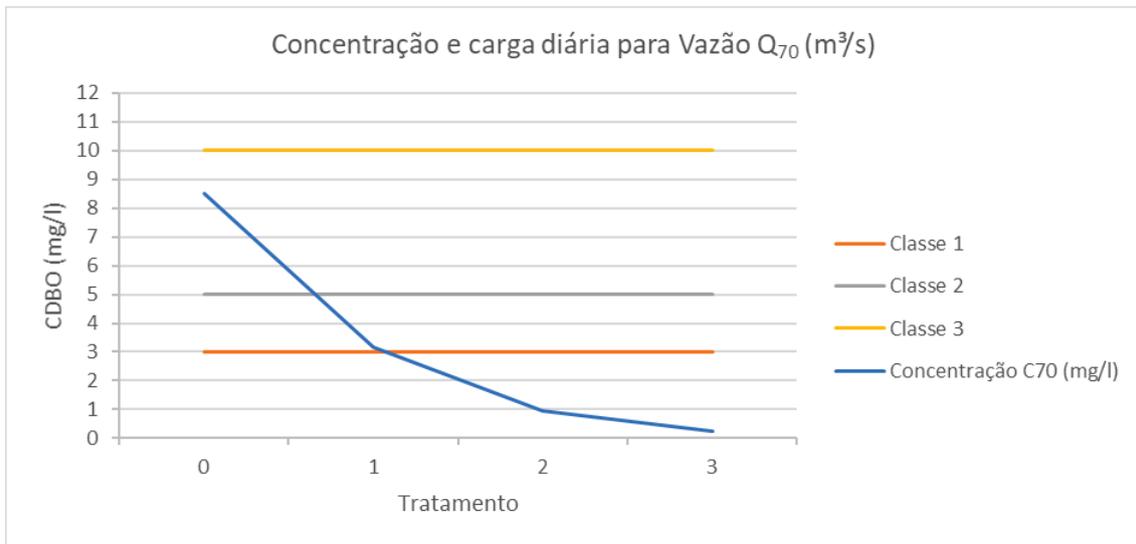
FONTE: O autor (2024).

Tabela 69 - Resumo do balanço de massa da simulação – 70% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	1,27	0,24	21,44	8,49	8,14	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	2,53	0,24	19,05	8,49	7,76	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	3,80	0,24	16,67	8,49	7,33	13,6%

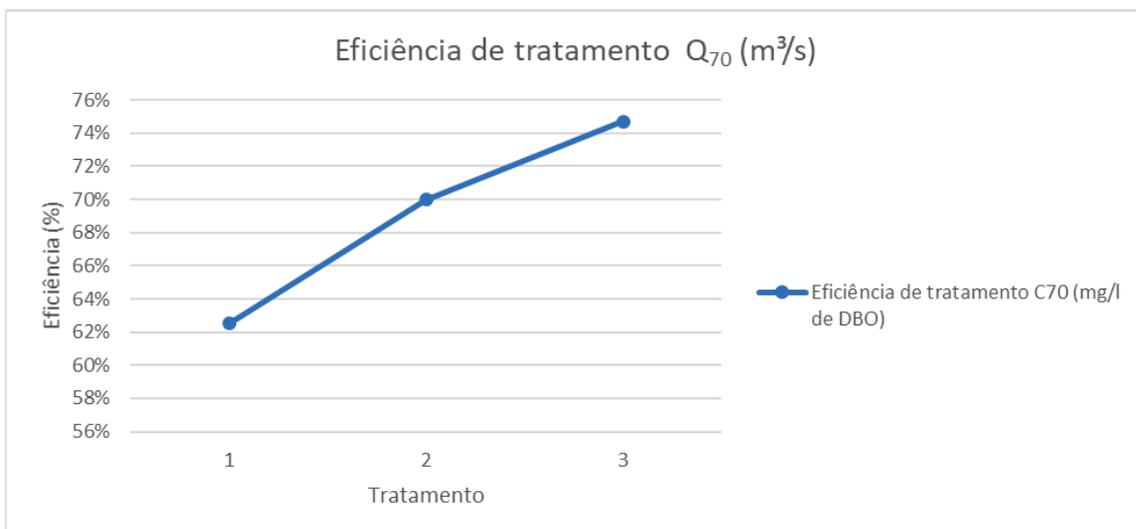
FONTE: O autor (2024).

Figura 82 - Concentração de DBO e carga diária para 70% de vazão da curva de permanência (EE2)



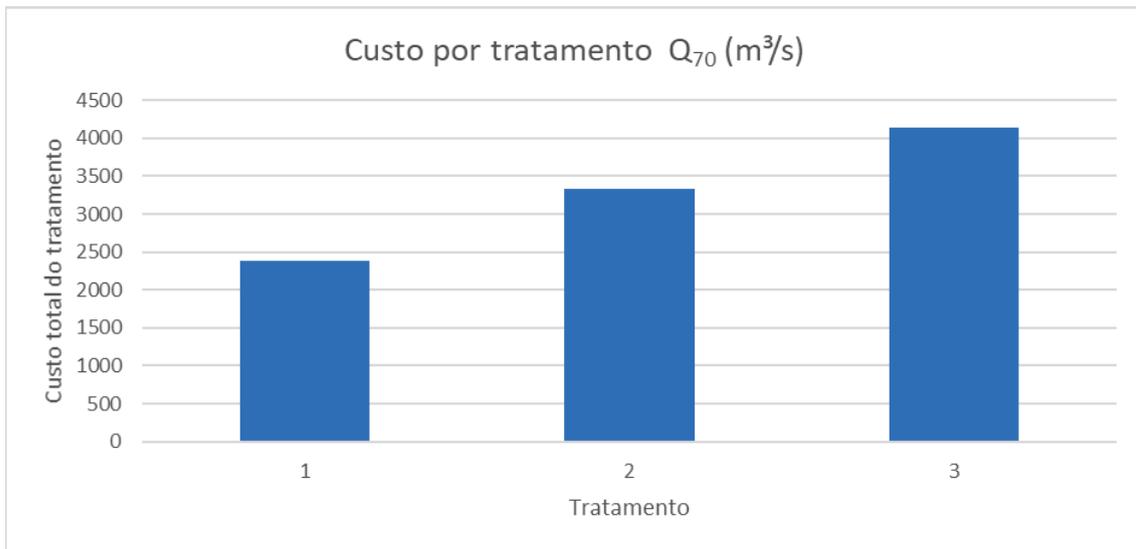
FONTE: O autor (2024).

Figura 83 - Eficiências de tratamentos para 70% de vazão da curva de permanência (EE2)



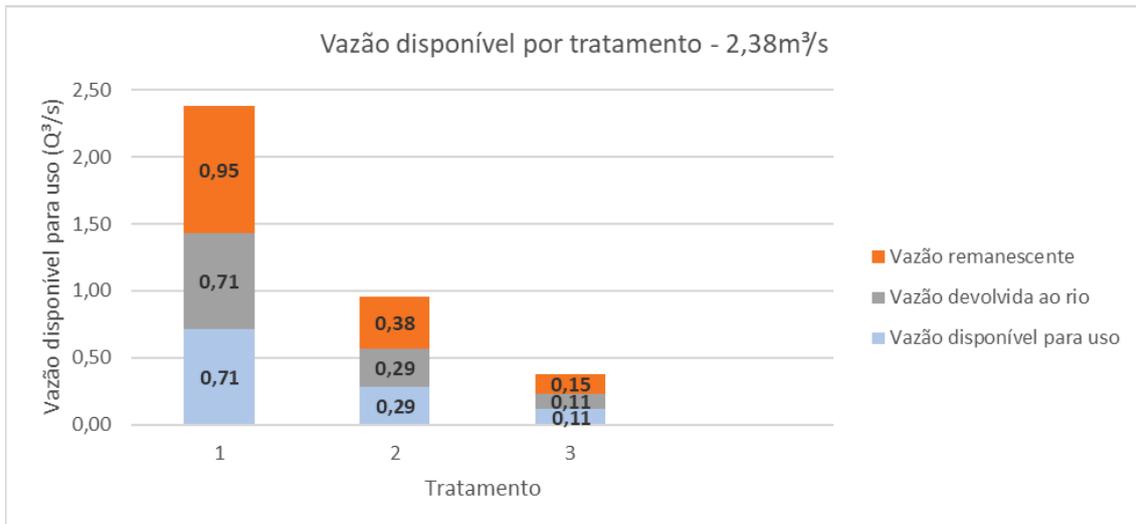
FONTE: O autor (2024).

Figura 84 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 70% de vazão da curva de permanência (EE2)



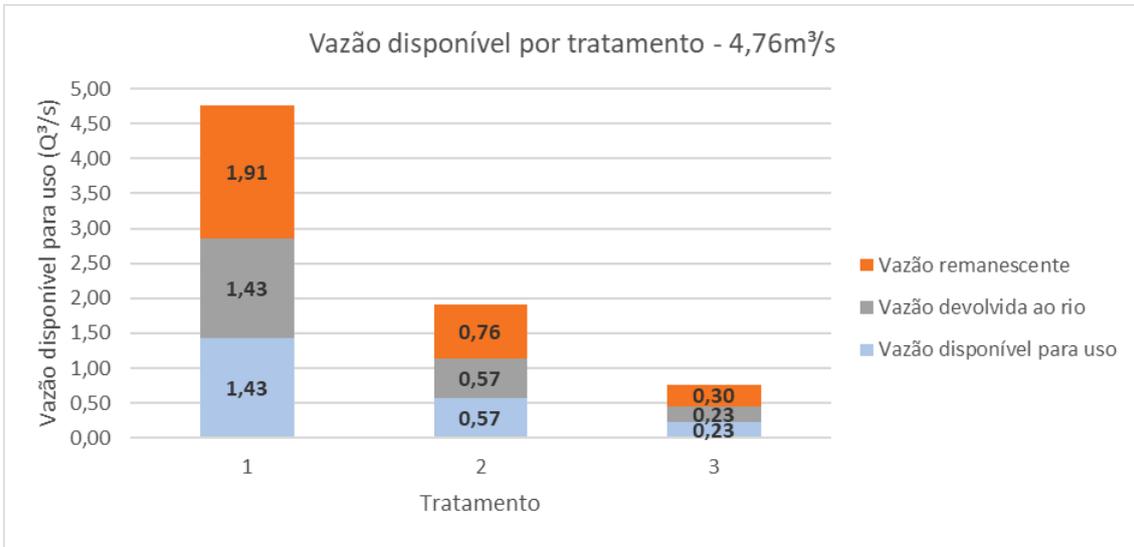
FONTE: O autor (2024).

Figura 85 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 70% (EE2)



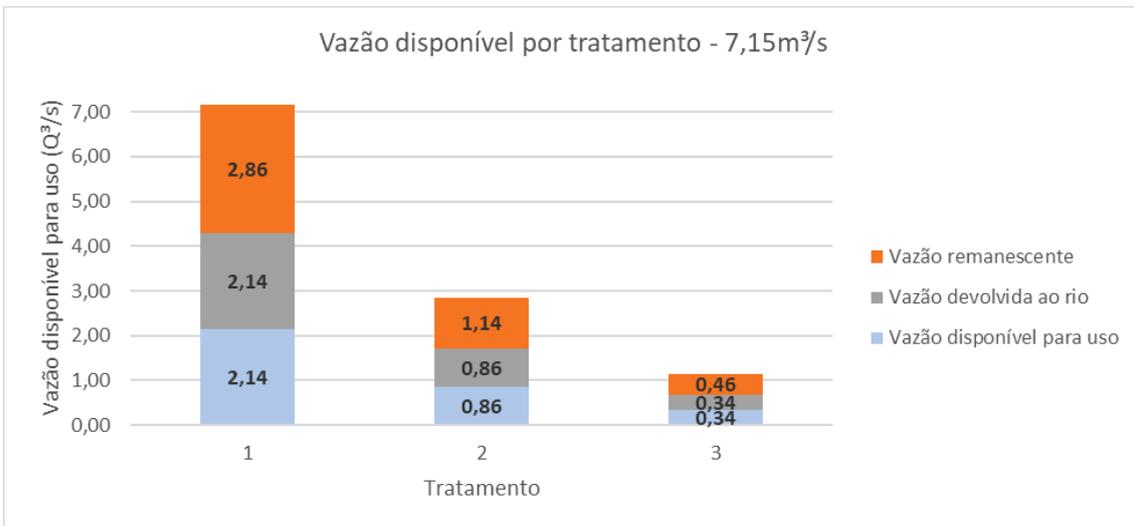
FONTE: O autor (2024).

Figura 86 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 70% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 87 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 70% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 70 - Dados de vazão do Rio Iguazu e de entrada no sistema de tratamento – 80% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
18,69	5	10% Q	1,87	6,45	1040,84
		20% Q	3,74	6,45	2081,68
		30% Q	5,61	6,45	3122,51

FONTE: O autor (2024).

Tabela 71 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 80% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 1 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Decantador primário	33%	4,35	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 72 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 80% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 2 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,73	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,73	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,73	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 73 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 80% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 3 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,18	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,18	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,18	Classe 1

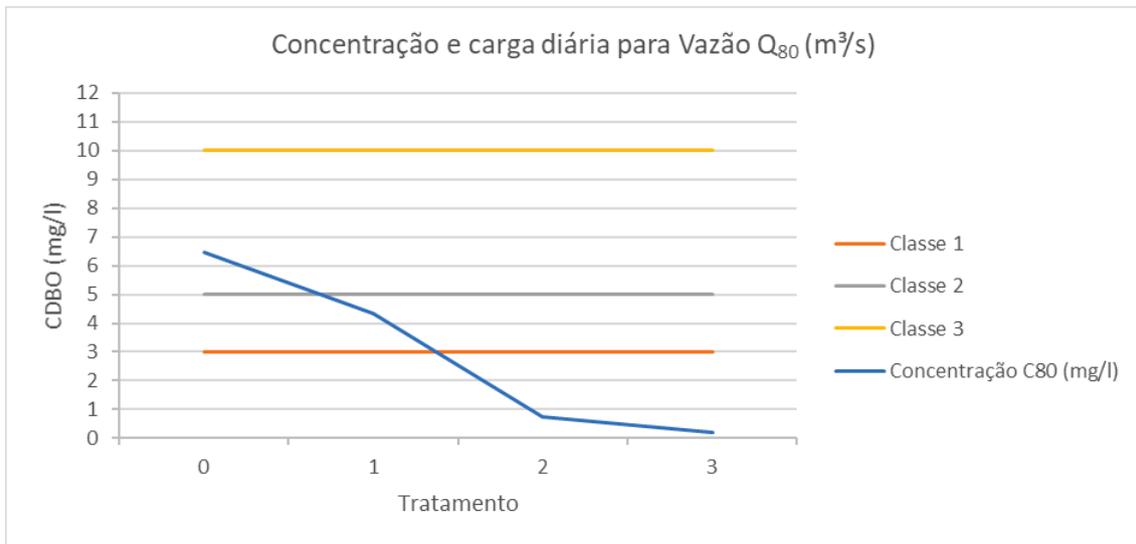
FONTE: O autor (2024).

Tabela 74 - Resumo do balanço de massa da simulação – 80% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	0,99	0,18	16,82	6,45	6,24	3,1%
Q <sub>20</sub>	20%	1,99	0,18	14,95	6,45	6,02	6,6%
Q <sub>30</sub>	30%	2,98	0,18	13,08	6,45	5,77	10,5%

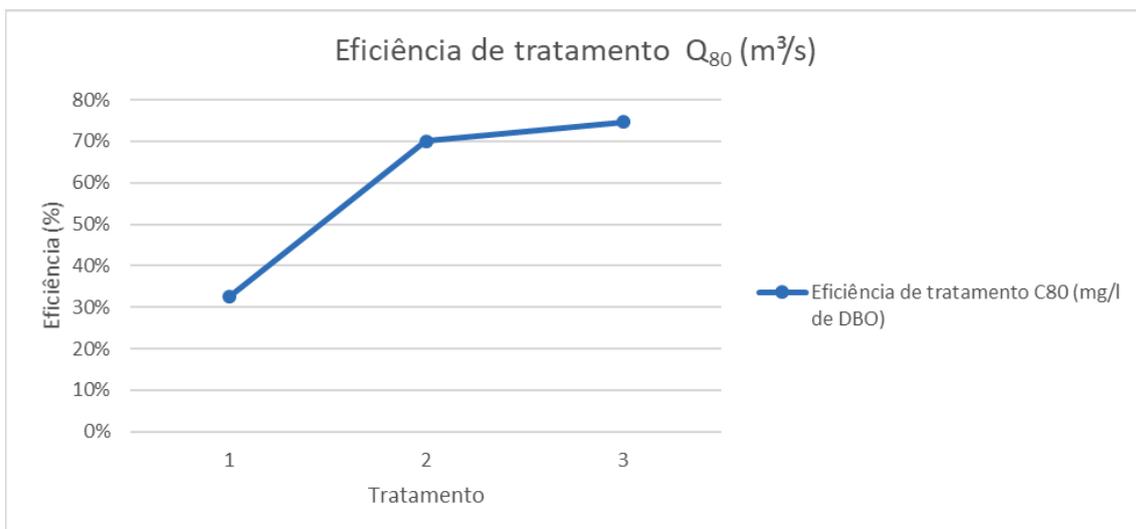
FONTE: O autor (2024).

Figura 88 - Concentração de DBO e carga diária para 80% de vazão da curva de permanência (EE2)



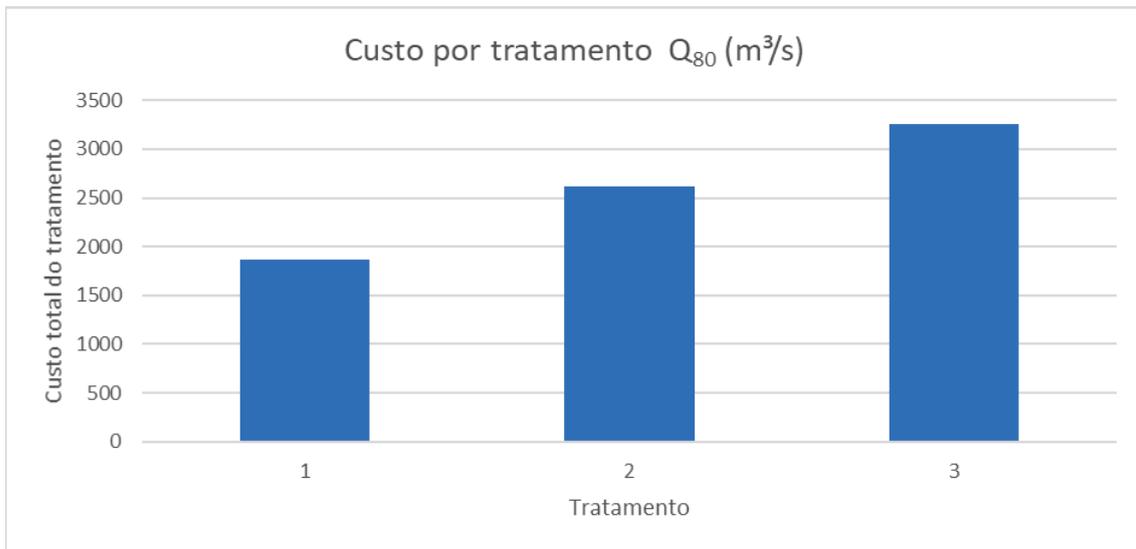
FONTE: O autor (2024).

Figura 89 - Eficiências de tratamentos para 80% de vazão da curva de permanência (EE2)



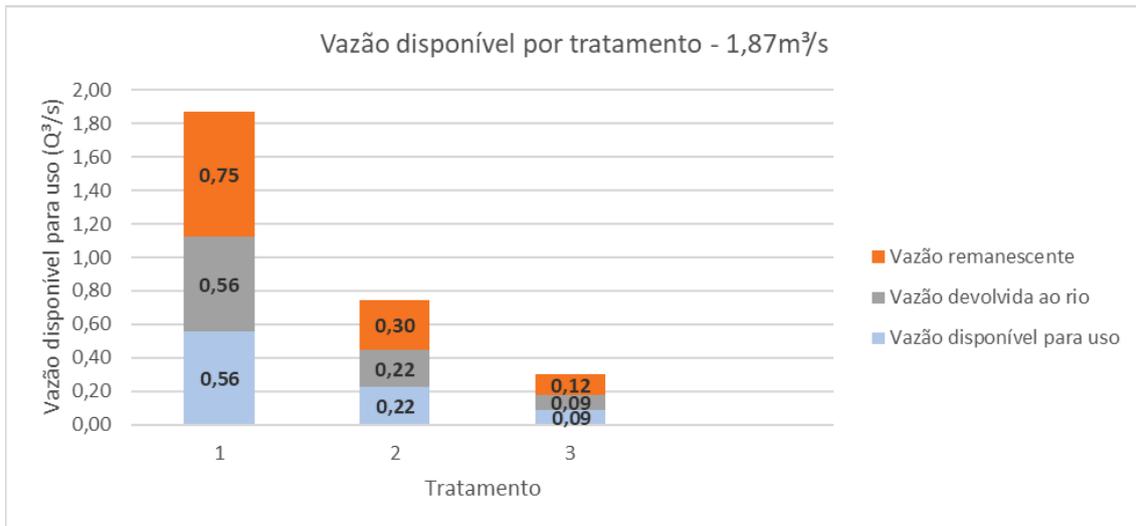
FONTE: O autor (2024).

Figura 90 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 80% de vazão da curva de permanência (EE2)



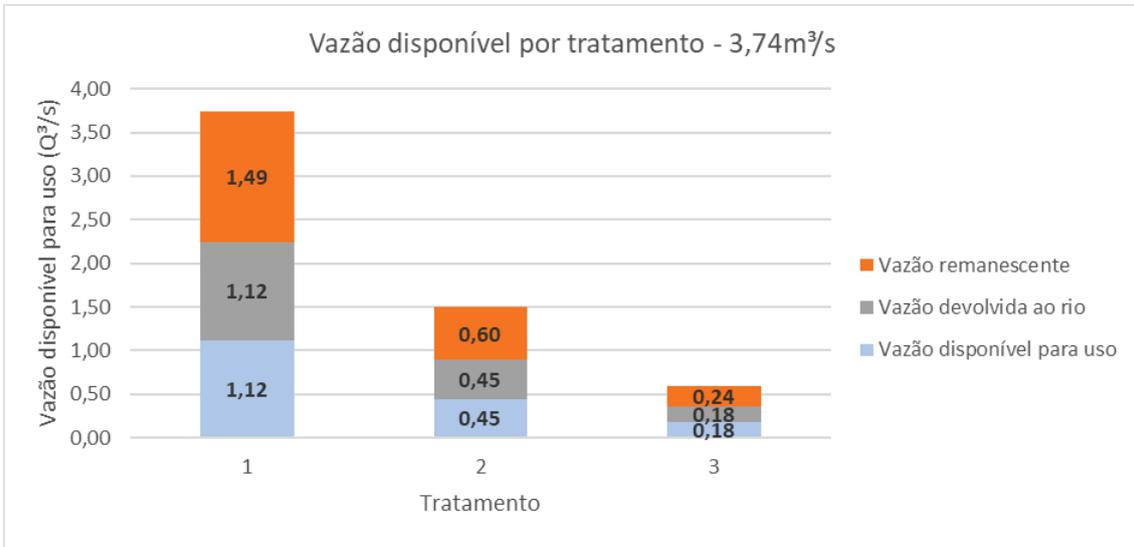
FONTE: O autor (2024).

Figura 91 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 80% (EE2)



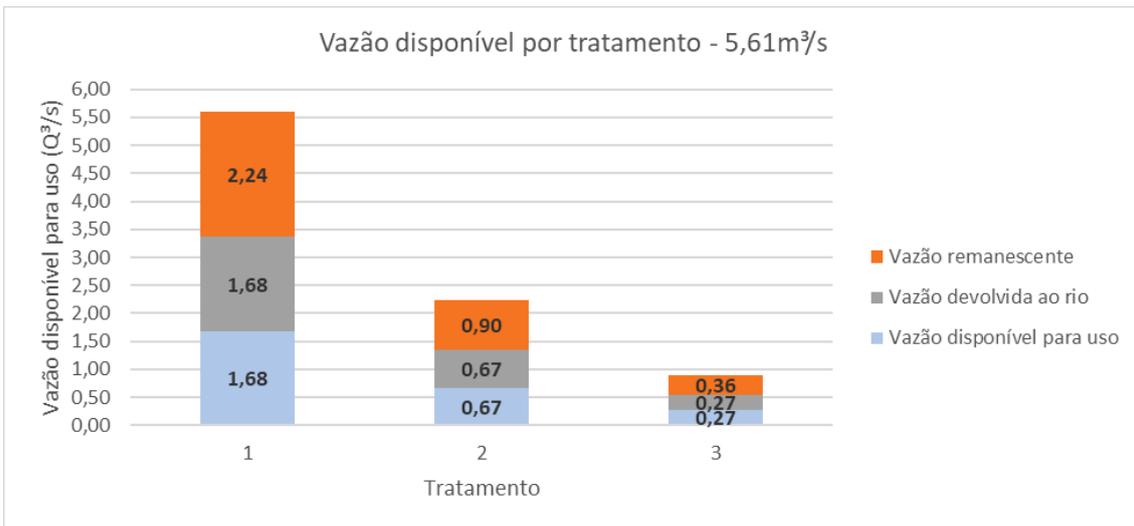
FONTE: O autor (2024).

Figura 92 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 80% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 93 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 80% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 75 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 90% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
14,66	5	10% Q	1,47	4,90	620,35
		20% Q	2,93	4,90	1240,70
		30% Q	4,40	4,90	1861,05

FONTE: O autor (2024).

Tabela 76 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 90% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Decantador primário	33%	3,31	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 77 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 90% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,55	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,55	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,55	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 78 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 90% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,14	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,14	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,14	Classe 1

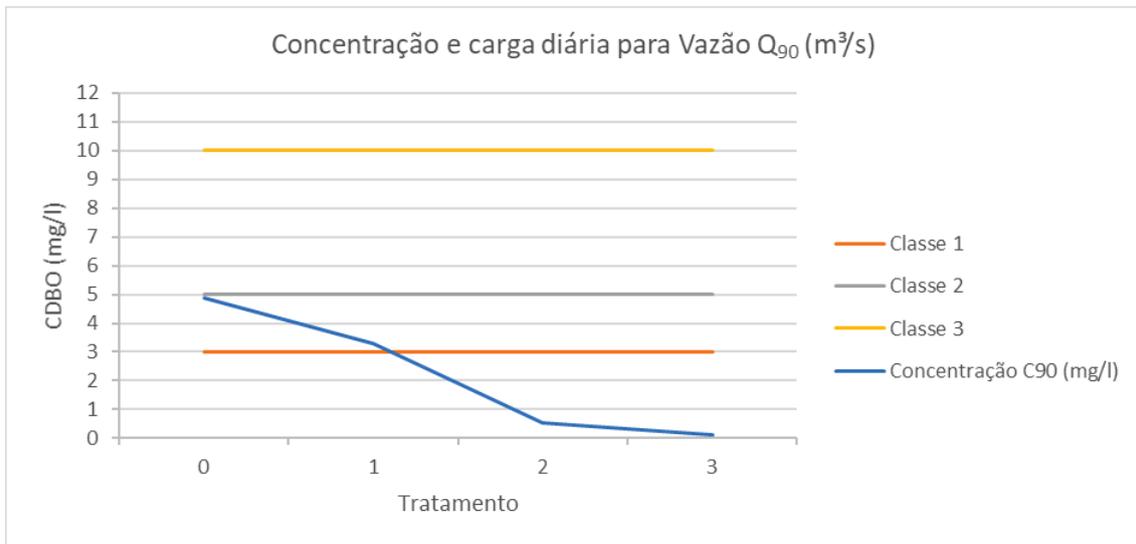
FONTE: O autor (2024).

Tabela 79 - Resumo do balanço de massa da simulação – 90% de vazão da curva de permanência (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	0,78	0,14	13,20	4,90	4,74	3,1%
Q <sub>20</sub>	20%	1,56	0,14	11,73	4,90	4,57	6,6%
Q <sub>30</sub>	30%	2,34	0,14	10,26	4,90	4,39	10,5%

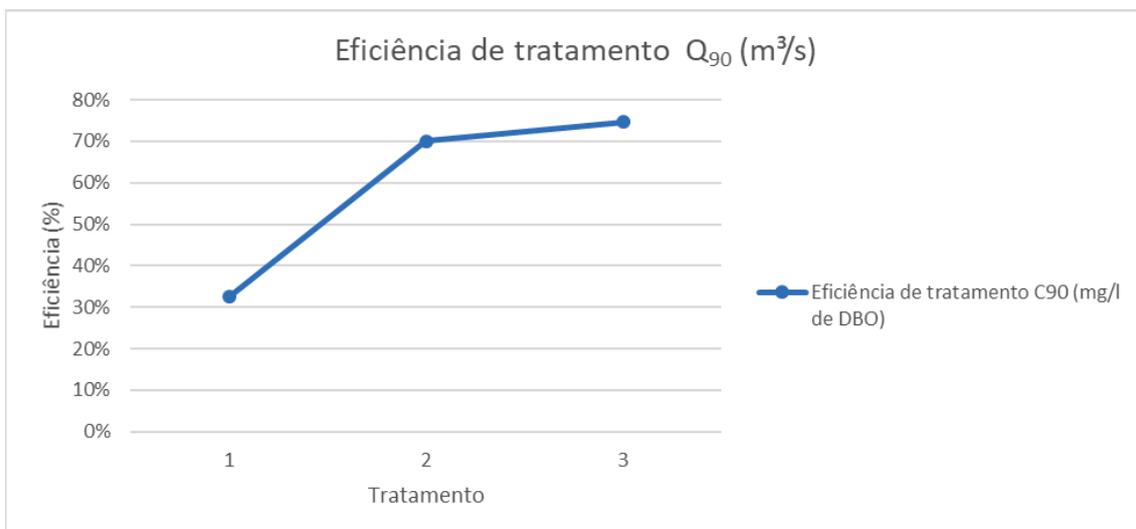
FONTE: O autor (2024).

Figura 94 - Concentração de DBO e carga diária para 90% de vazão da curva de permanência (EE2)



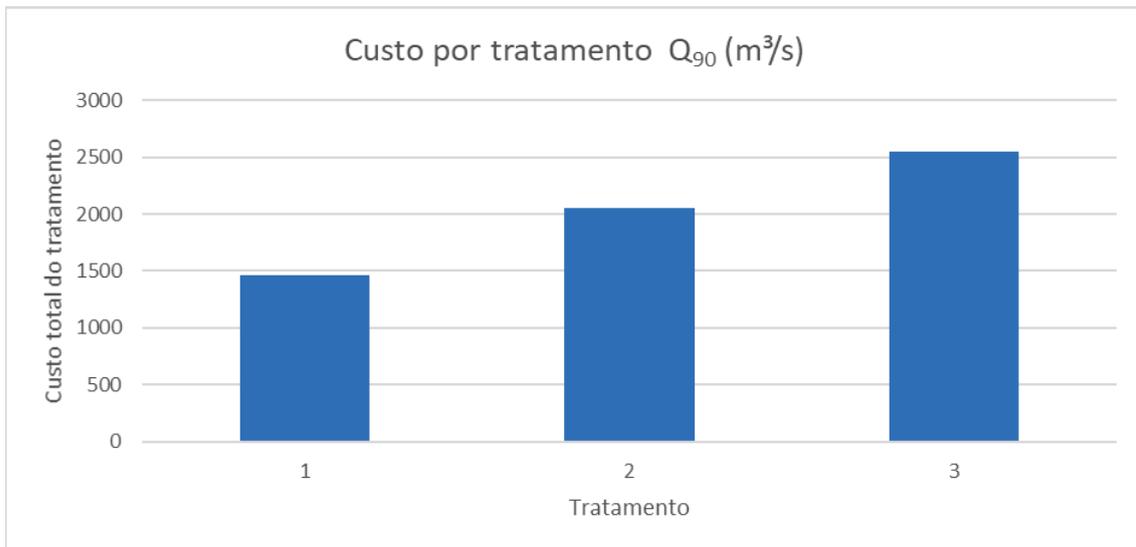
FONTE: O autor (2024).

Figura 95 - Eficiências de tratamentos para 90% de vazão da curva de permanência (EE2)



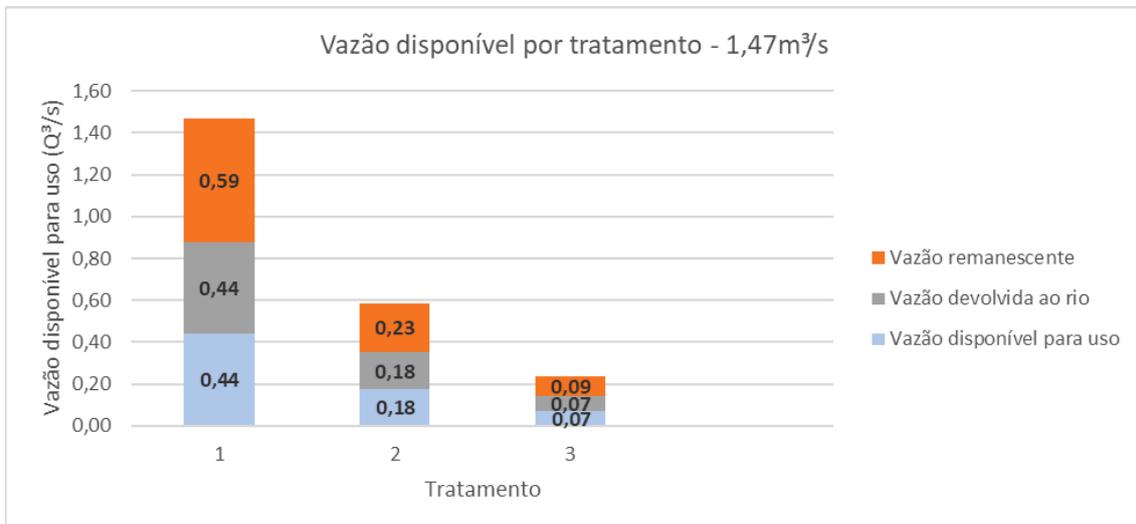
FONTE: O autor (2024).

Figura 96 - Custo DE CADA TECNOLOGIA DE TRATAMENTO PARA 90% DE VAZÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA (EE2)



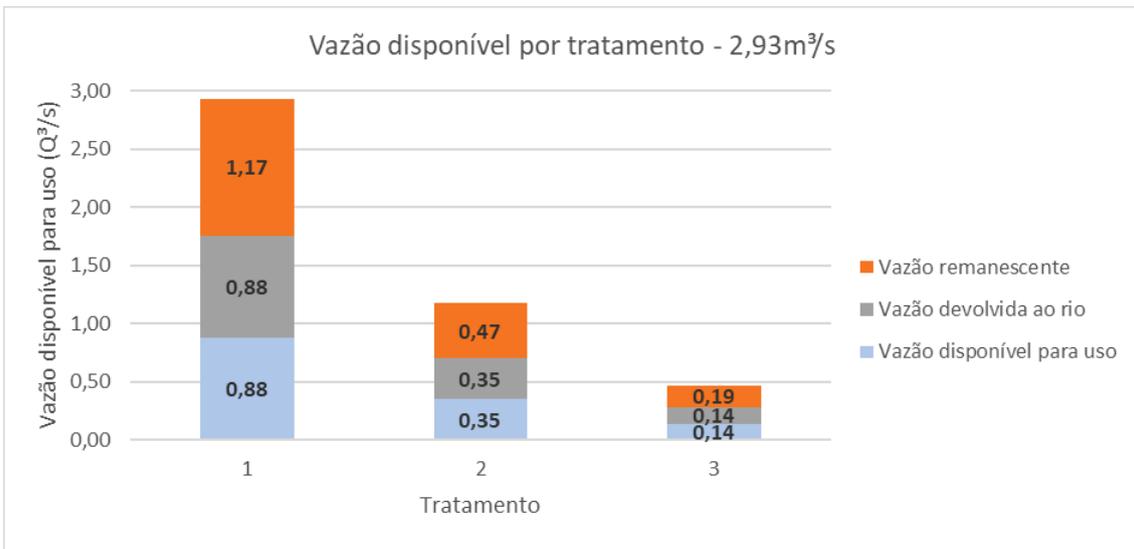
FONTE: O autor (2024).

Figura 97 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 90% (EE2)



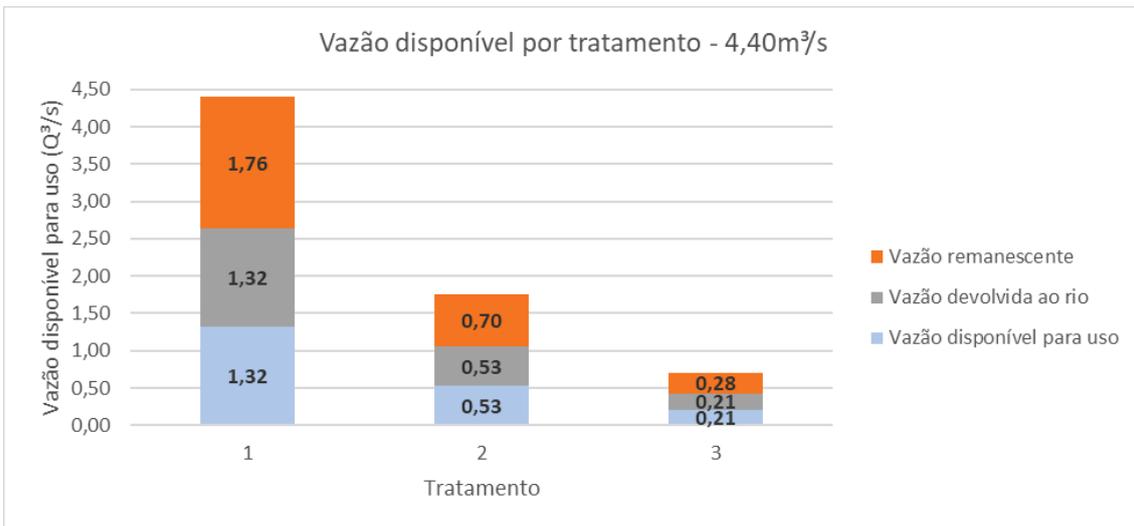
FONTE: O autor (2024).

Figura 98 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 90% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 99 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 90% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 80 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 95% de vazão da curva de permanência (EE2)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
12,99	5	10% Q	1,30	4,27	478,92
		20% Q	2,60	4,27	957,84
		30% Q	3,90	4,27	1436,76

FONTE: O autor (2024).

Tabela 81 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 95% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Decantador primário	33%	2,88	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 82 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 95% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,48	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,48	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,48	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 83 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 95% de vazão da curva de permanência (EE2)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1

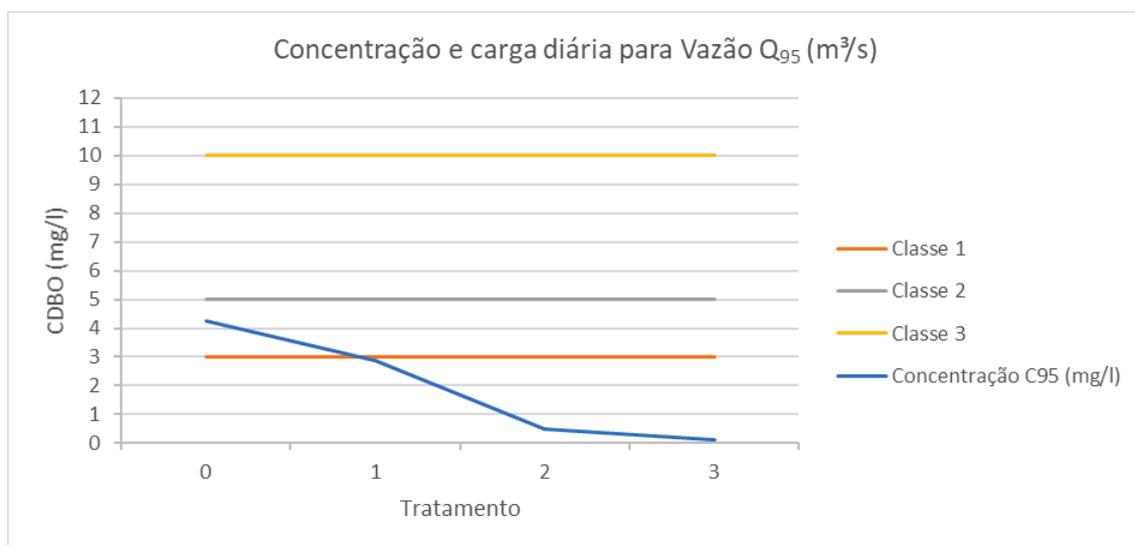
FONTE: O autor (2024).

Tabela 84 - Resumo DO BALANÇO DE MASSA DA SIMULAÇÃO – 95% DE VAZÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA (EE2)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	0,69	0,12	11,69	4,27	4,13	3,1%
Q <sub>20</sub>	20%	1,38	0,12	10,39	4,27	3,99	6,6%
Q <sub>30</sub>	30%	2,07	0,12	9,09	4,27	3,82	10,5%

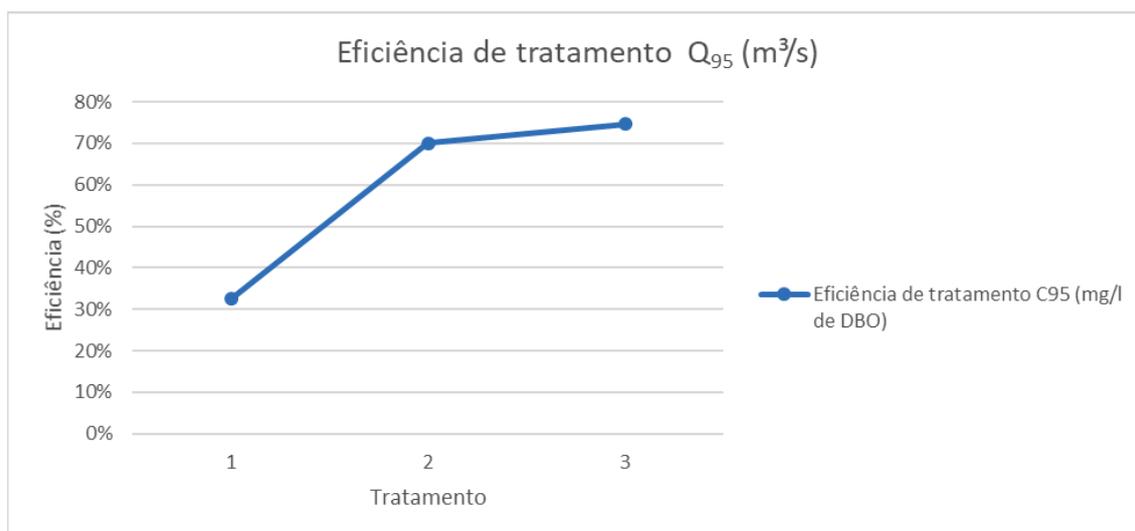
FONTE: O autor (2024).

Figura 100 - Concentração de DBO e carga diária para 95% de vazão da curva de permanência (EE2)



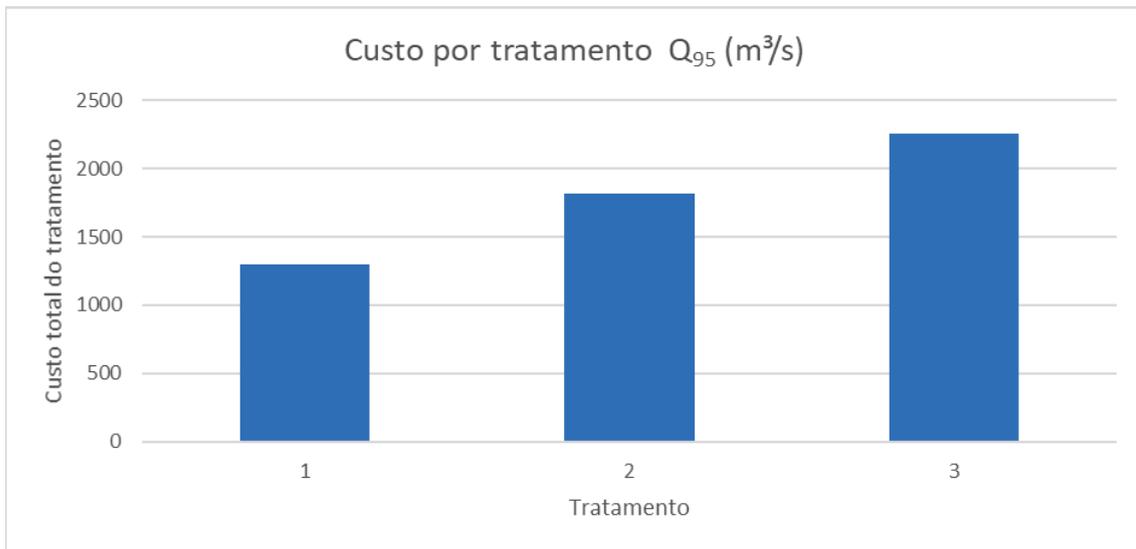
FONTE: O autor (2024).

Figura 101 - Eficiências de tratamentos para 95% de vazão da curva de permanência (EE2)



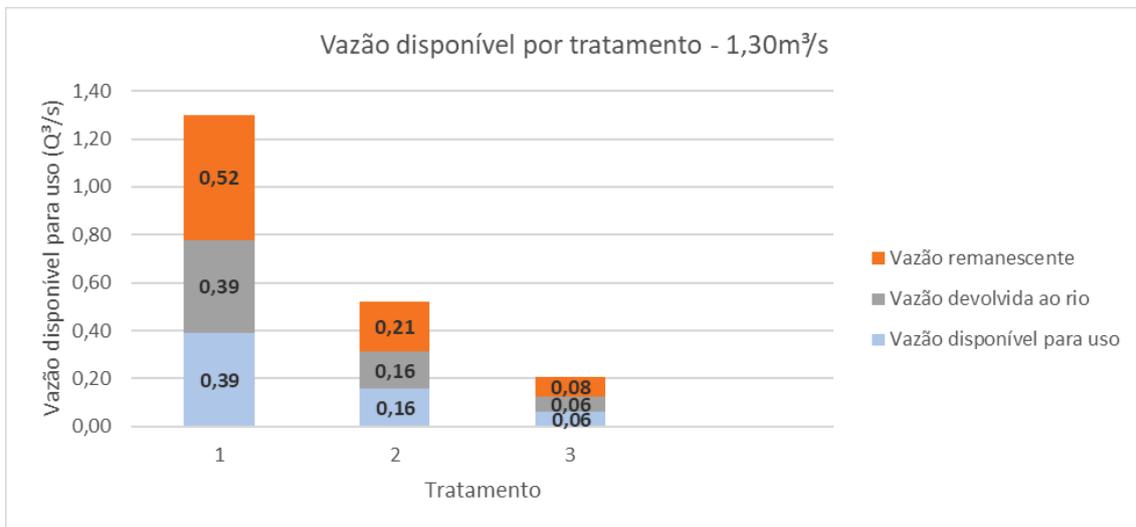
FONTE: O autor (2024).

Figura 102 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 95% de vazão da curva de permanência (EE2)



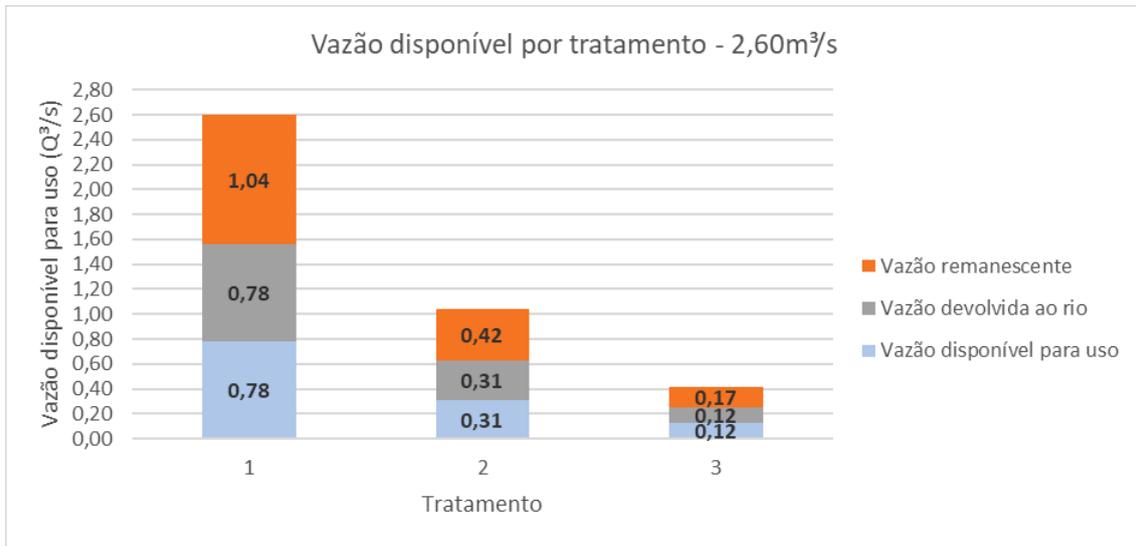
FONTE: O autor (2024).

Figura 103 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 95% (EE2)



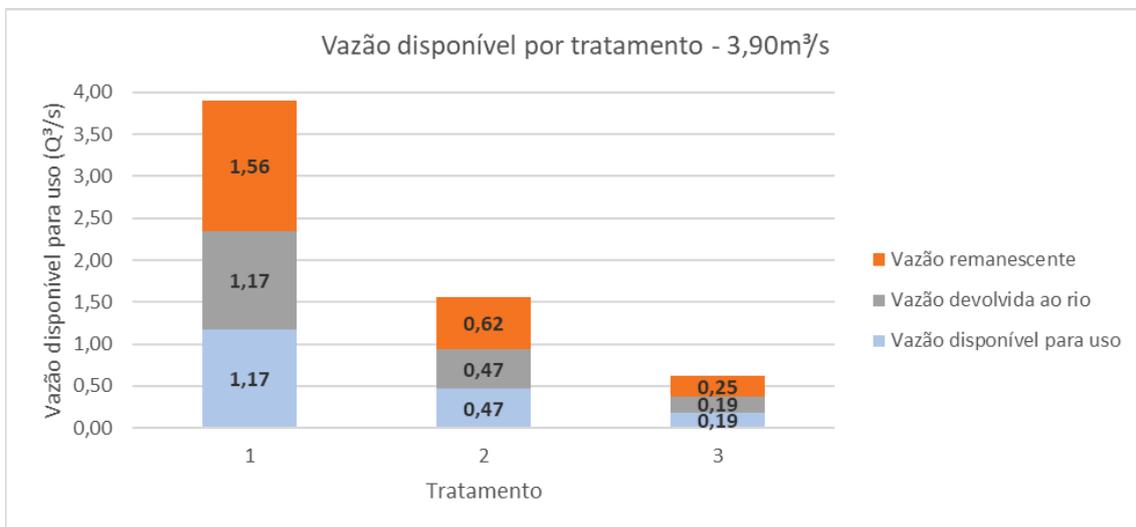
FONTE: O autor (2024).

Figura 104 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 95% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Figura 105 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 95% (EE2)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 85 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 20% de vazão da curva de permanência (EE3)

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)		Dados de entrada no sistema		
		Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
Q <sub>10</sub>	52,20	10,44	48,00	43293,45
Q <sub>20</sub>	29,32	5,86	56,00	50509,02
Q <sub>30</sub>	46,76	9,35	17,78	16036,61
Q <sub>40</sub>	24,70	4,94	26,00	23450,62
Q <sub>50</sub>	7,58	1,52	66,00	59528,49
Q <sub>60</sub>	15,89	3,18	28,00	25254,51
Q <sub>70</sub>	21,18	4,24	18,00	16235,04
Q <sub>80</sub>	30,16	6,03	10,56	9524,56
Q <sub>90</sub>	54,48	10,90	4,00	3607,79
Q <sub>95</sub>	17,03	3,41	8,53	7693,61

FONTE: O autor (2024).

Tabela 86 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 20% de vazão da curva de permanência (EE3)

Tratamento Primário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 1 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4
Q <sub>20</sub>	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4
Q <sub>30</sub>	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3
Q <sub>40</sub>	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3
Q <sub>50</sub>	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4
Q <sub>60</sub>	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4
Q <sub>70</sub>	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3
Q <sub>80</sub>	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2
Q <sub>90</sub>	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 87 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de vazão da curva de permanência (EE3)

Tratamento Secundário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	4,05	Classe 2
Q <sub>20</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	4,73	Classe 2
Q <sub>30</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,03	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,97	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Faixa de Eficiência 2	80%	4,95	Classe 2
Q <sub>60</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,20	Classe 2
Q <sub>70</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,06	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,21	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,46	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,98	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 88 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de vazão da curva de permanência (EE3)

Tratamento Terciário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Nano CaO2	75%	1,02	Classe 1
Q <sub>20</sub>	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q <sub>30</sub>	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q <sub>60</sub>	Nano CaO2	75%	0,81	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Nano CaO2	75%	0,52	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Nano CaO2	75%	0,31	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1

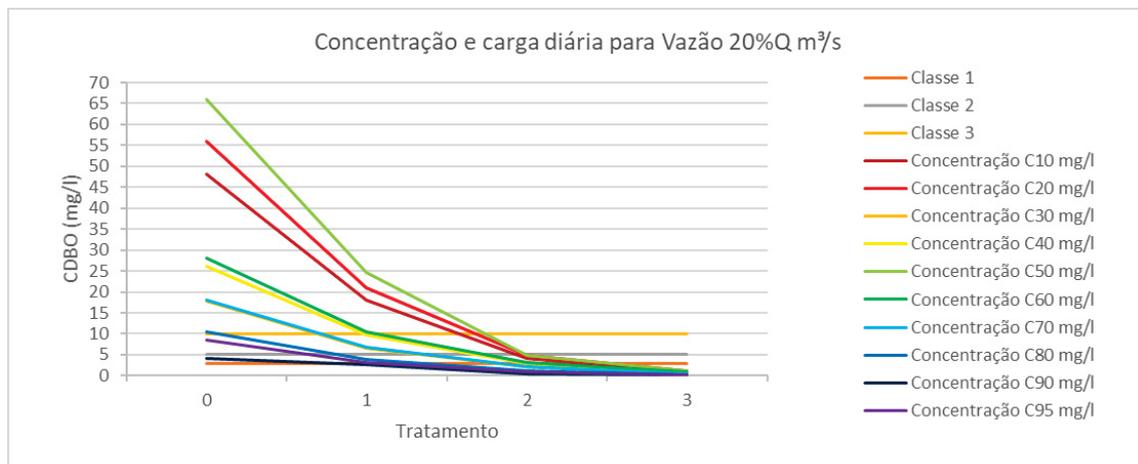
FONTE: O autor (2024).

Tabela 89 - Resumo do balanço de massa da simulação – 20% de vazão da curva de permanência (EE3)

Dados Finais						
Permanência	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	5,55	1,02	41,76	48,00	43,80	8,8%
Q <sub>20</sub>	3,12	1,20	23,46	56,00	51,09	8,8%
Q <sub>30</sub>	4,98	0,51	37,41	17,78	16,25	8,6%
Q <sub>40</sub>	2,63	0,75	19,76	26,00	23,77	8,6%
Q <sub>50</sub>	0,81	1,25	6,06	66,00	60,18	8,8%
Q <sub>60</sub>	1,69	0,81	12,71	28,00	25,60	8,6%
Q <sub>70</sub>	2,25	0,52	16,95	18,00	16,46	8,6%
Q <sub>80</sub>	3,21	0,31	24,13	10,56	9,65	8,6%
Q <sub>90</sub>	5,80	0,12	43,58	4,00	3,74	6,6%
Q <sub>95</sub>	1,81	0,25	13,62	8,53	7,80	8,6%

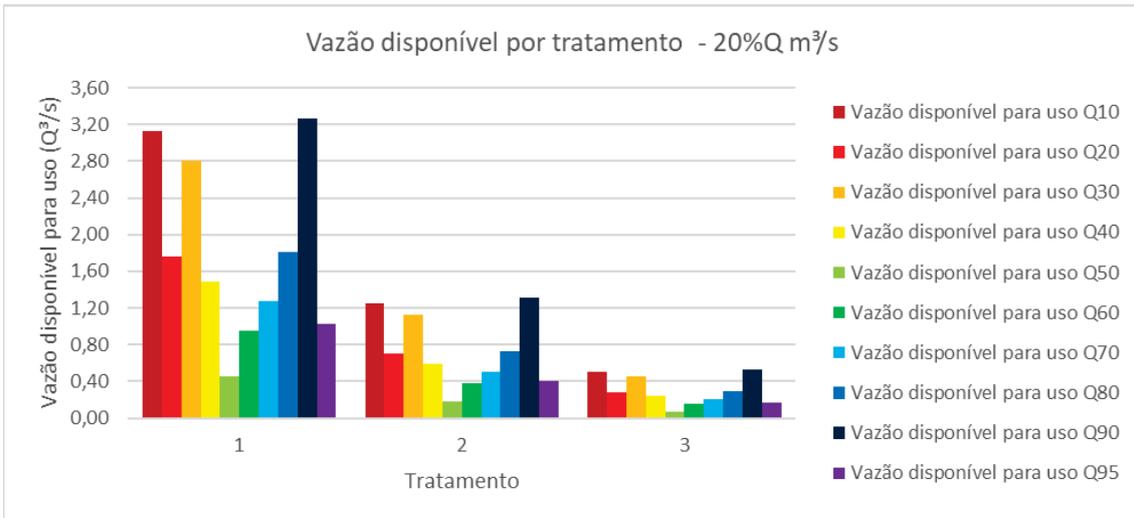
FONTE: O autor (2024).

Figura 106 - Concentração de DBO e carga diária para 20% de vazão da curva de permanência (EE3)



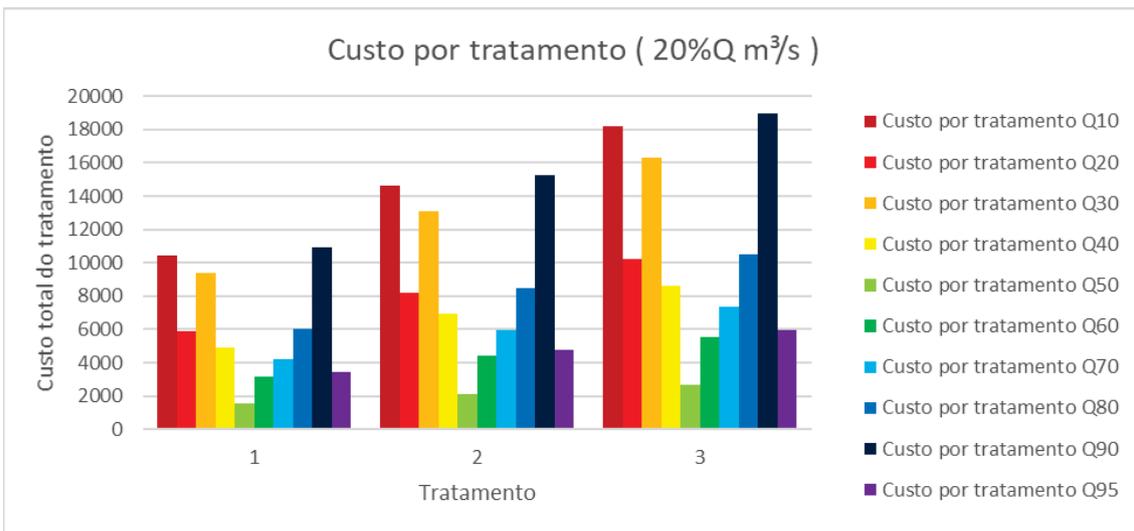
FONTE: O autor (2024).

Figura 107 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de vazão da curva de permanência (EE3)



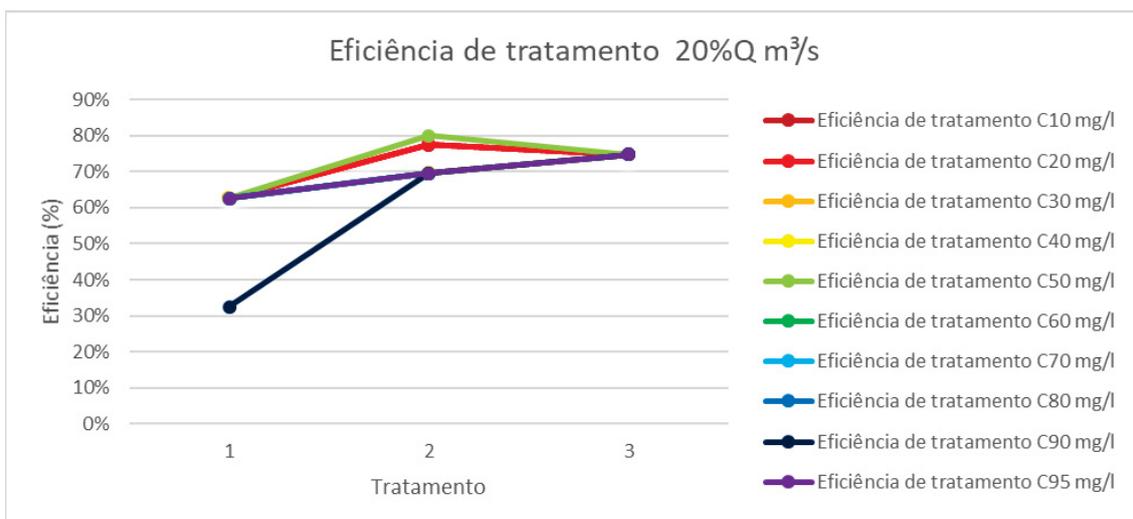
FONTE: O autor (2024).

Figura 108 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 20% de vazão da curva de permanência (EE3)



FONTE: O autor (2024).

Figura 109 - Eficiências de tratamentos para 20% de vazão da curva de permanência (EE3)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 90 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 30% de vazão da curva de permanência (EE3)

Vazão do Rio (m³/s)		Dados de entrada no sistema		
		Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
Q <sub>10</sub>	52,20	15,66	48,00	64940,17
Q <sub>20</sub>	29,32	8,80	56,00	75763,53
Q <sub>30</sub>	46,76	14,03	17,78	24054,92
Q <sub>40</sub>	24,70	7,41	26,00	35175,92
Q <sub>50</sub>	7,58	2,27	66,00	89292,73
Q <sub>60</sub>	15,89	4,77	28,00	37881,77
Q <sub>70</sub>	21,18	6,35	18,00	24352,56
Q <sub>80</sub>	30,16	9,05	10,56	14286,84
Q <sub>90</sub>	54,48	16,34	4,00	5411,68
Q <sub>95</sub>	17,03	5,11	8,53	11540,41

FONTE: O autor (2024).

Tabela 91 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 30% de vazão da curva de permanência (EE3)

Tratamento Primário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Primário avançado	63%	18,00	Classe 4
Q <sub>20</sub>	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4
Q <sub>30</sub>	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3
Q <sub>40</sub>	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3
Q <sub>50</sub>	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4
Q <sub>60</sub>	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4
Q <sub>70</sub>	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3
Q <sub>80</sub>	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2
Q <sub>90</sub>	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 92 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de vazão da curva de permanência (EE3)

Tratamento Secundário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	4,05	Classe 2
Q <sub>20</sub>	Faixa de Eficiência 1	78%	4,73	Classe 2
Q <sub>30</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,03	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,97	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Faixa de Eficiência 2	80%	4,95	Classe 2
Q <sub>60</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	3,20	Classe 2
Q <sub>70</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	2,06	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	1,21	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,46	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Faixa de Eficiência 1	70%	0,98	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 93 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de vazão da curva de permanência (EE3)

Tratamento Terciário				
Permanência	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 3 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	Nano CaO2	75%	1,02	Classe 1
Q <sub>20</sub>	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q <sub>30</sub>	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q <sub>40</sub>	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q <sub>50</sub>	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q <sub>60</sub>	Nano CaO2	75%	0,81	Classe 1
Q <sub>70</sub>	Nano CaO2	75%	0,52	Classe 1
Q <sub>80</sub>	Nano CaO2	75%	0,31	Classe 1
Q <sub>90</sub>	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1
Q <sub>95</sub>	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1

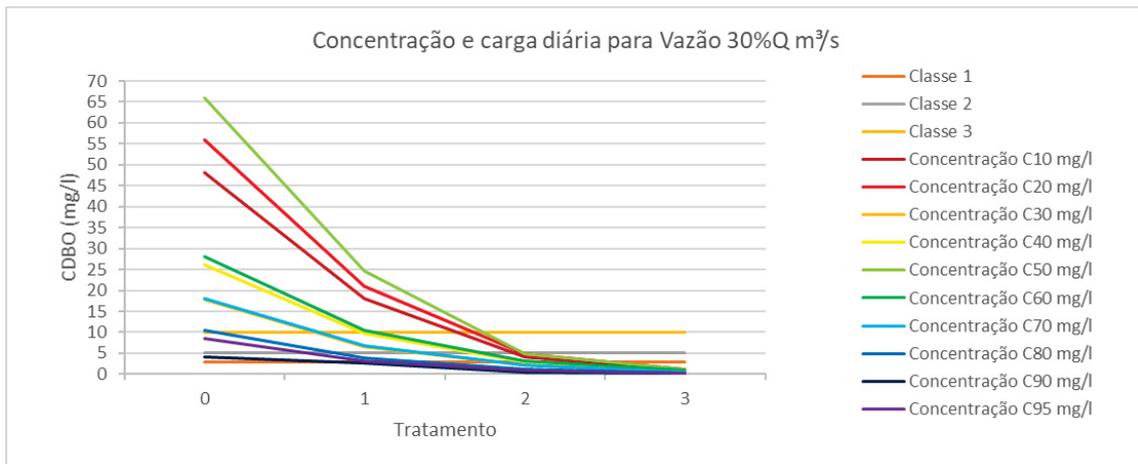
FONTE: O autor (2024).

Tabela 94 - Resumo do balanço de massa da simulação – 30% de vazão da curva de permanência (EE3)

Dados Finais						
Permanência	Q <sub>tratado</sub> (m³/s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m³/s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	5,55	1,02	41,76	48,00	43,80	8,8%
Q <sub>20</sub>	3,12	1,20	23,46	56,00	51,09	8,8%
Q <sub>30</sub>	4,98	0,51	37,41	17,78	16,25	8,6%
Q <sub>40</sub>	2,63	0,75	19,76	26,00	23,77	8,6%
Q <sub>50</sub>	0,81	1,25	6,06	66,00	60,18	8,8%
Q <sub>60</sub>	1,69	0,81	12,71	28,00	25,60	8,6%
Q <sub>70</sub>	2,25	0,52	16,95	18,00	16,46	8,6%
Q <sub>80</sub>	3,21	0,31	24,13	10,56	9,65	8,6%
Q <sub>90</sub>	5,80	0,12	43,58	4,00	3,74	6,6%
Q <sub>95</sub>	1,81	0,25	13,62	8,53	7,80	8,6%

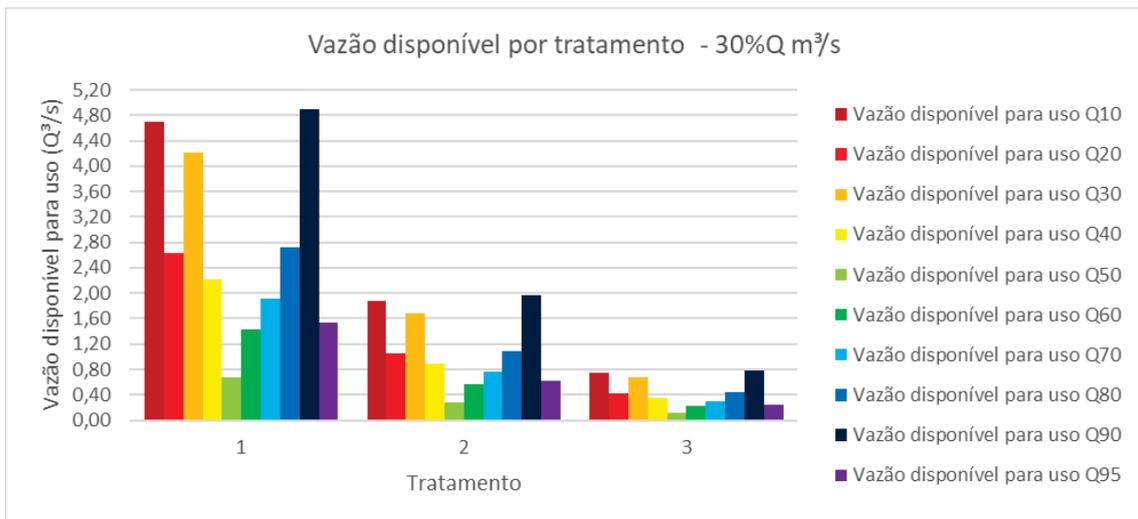
FONTE: O autor (2024).

Figura 110 - Concentração de DBO e carga diária para 30% de vazão da curva de permanência (EE3)



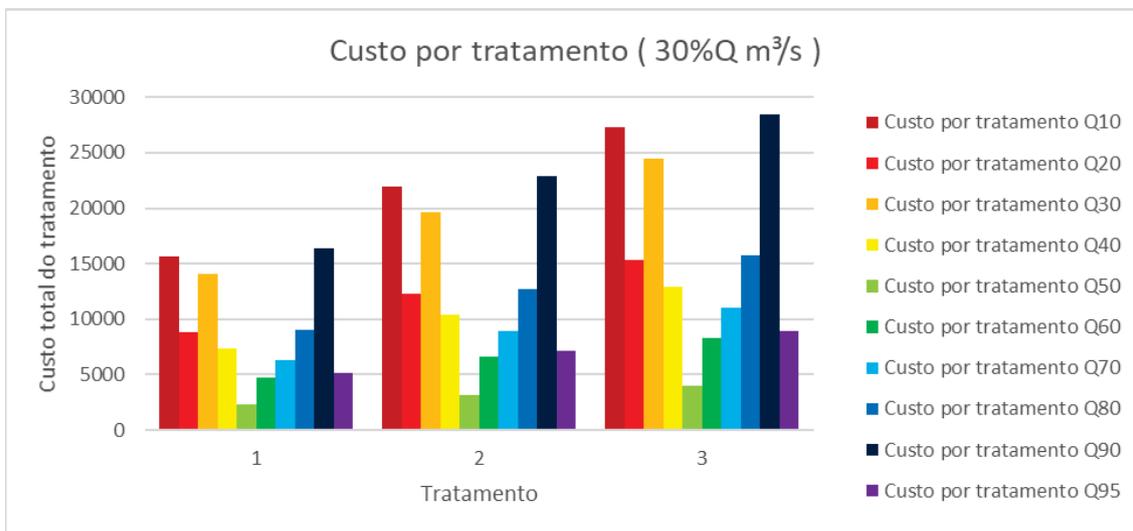
FONTE: O autor (2024).

Figura 111 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de vazão da curva de permanência (EE3)



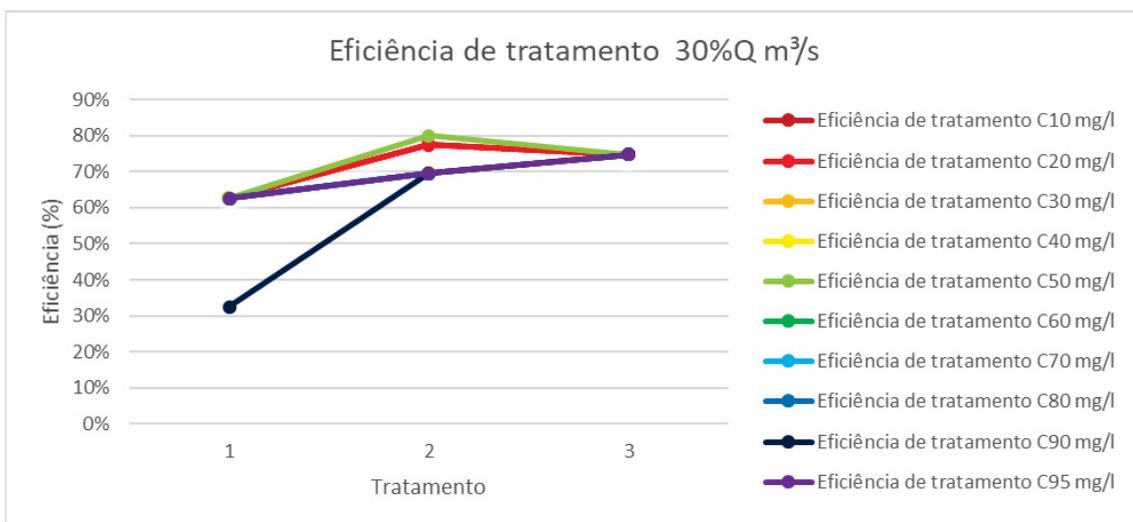
FONTE: O autor (2024).

Figura 112 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 30% de vazão da curva de permanência (EE3)



FONTE: O autor (2024).

Figura 113 - Eficiências de tratamentos para 30% de vazão da curva de permanência (EE3)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 95 - Dados de vazão do Rio Iguazu e de entrada no sistema de tratamento – 20% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
29,32	5	10% Q	2,93	56,00	14188,10
		20% Q	5,86	56,00	28376,21
		30% Q	8,80	56,00	42564,31

FONTE: O autor (2024).

Tabela 96 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 20% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	21,00	Classe 4

FONTE: O autor (2024).

Tabela 97 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	78%	4,73	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	78%	4,73	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	78%	4,73	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 98 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 20% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	1,20	Classe 1

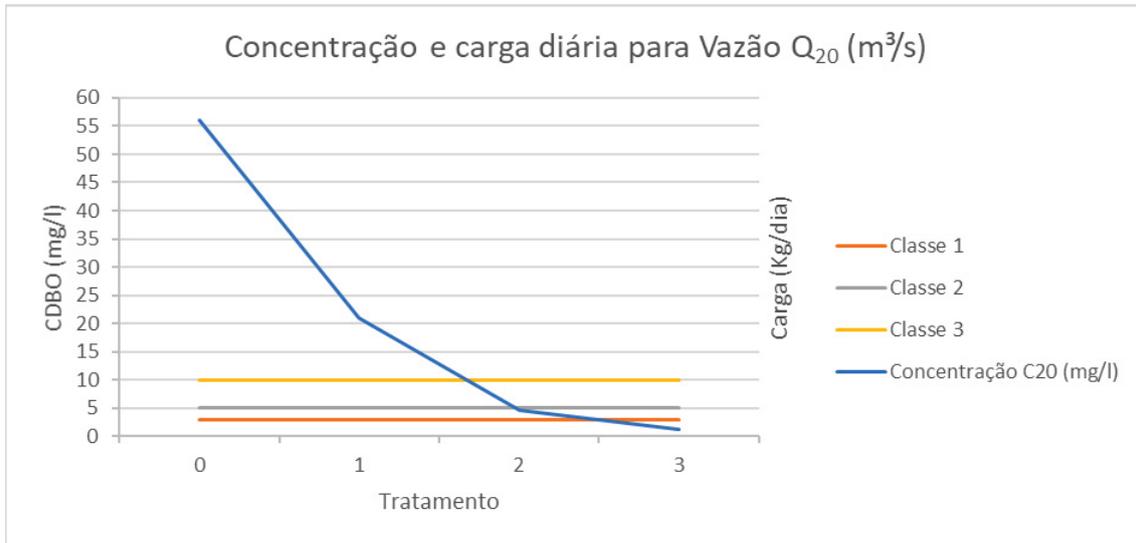
FONTE: O autor (2024).

Tabela 99 - Resumo do balanço de massa da simulação – 20% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	1,56	1,20	26,39	56,00	53,67	4,2%
Q <sub>20</sub>	20%	3,12	1,20	23,46	56,00	51,09	8,8%
Q <sub>30</sub>	30%	4,68	1,20	20,53	56,00	48,24	13,9%

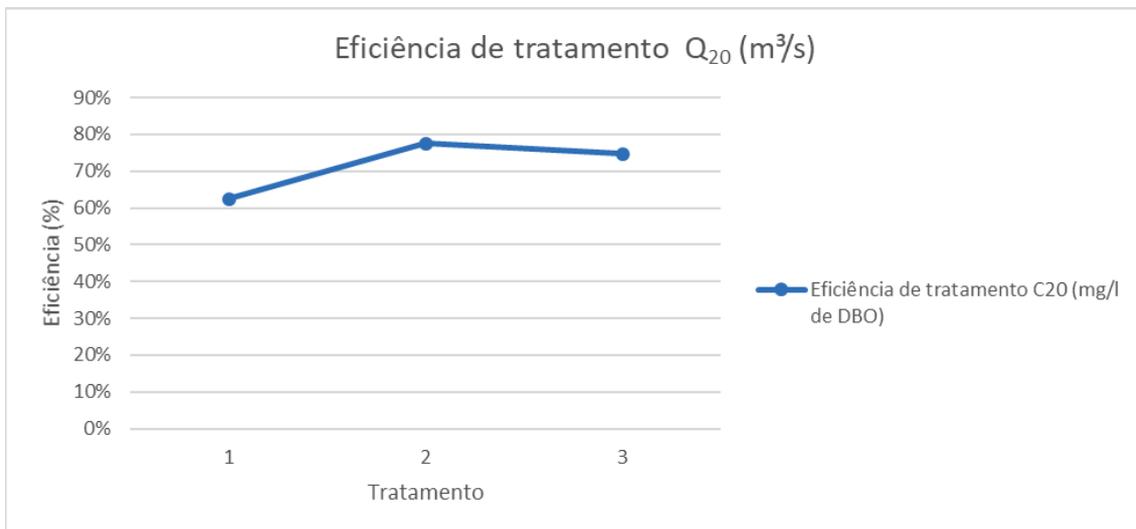
FONTE: O autor (2024).

Figura 114 - Concentração de DBO e carga diária para 20% de vazão da curva de permanência (EE4)



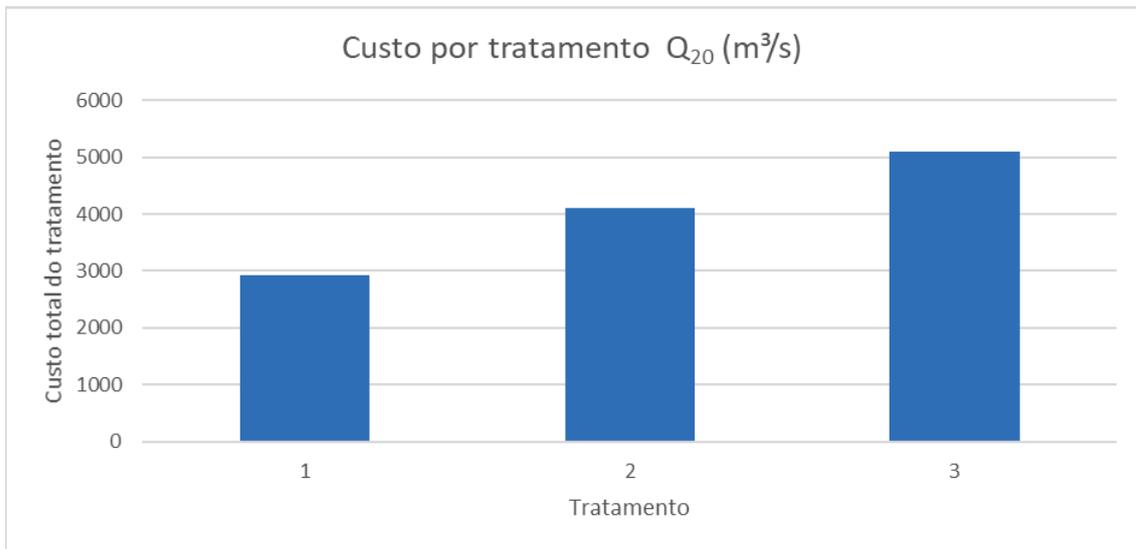
FONTE: O autor (2024).

Figura 115 - Eficiências de tratamentos para 20% de vazão da curva de permanência (EE4)



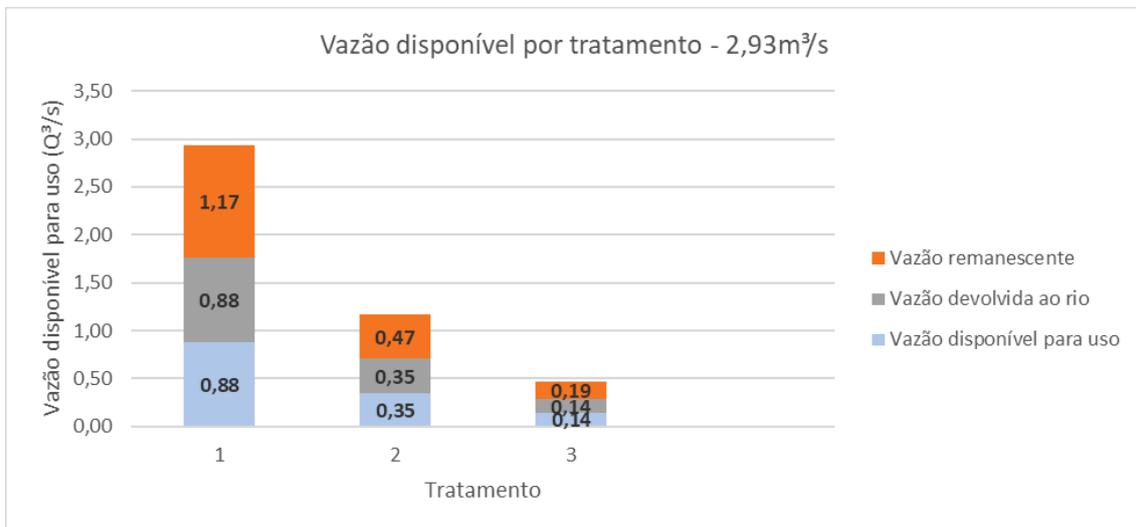
FONTE: O autor (2024).

Figura 116 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 20% de vazão da curva de permanência (EE4)



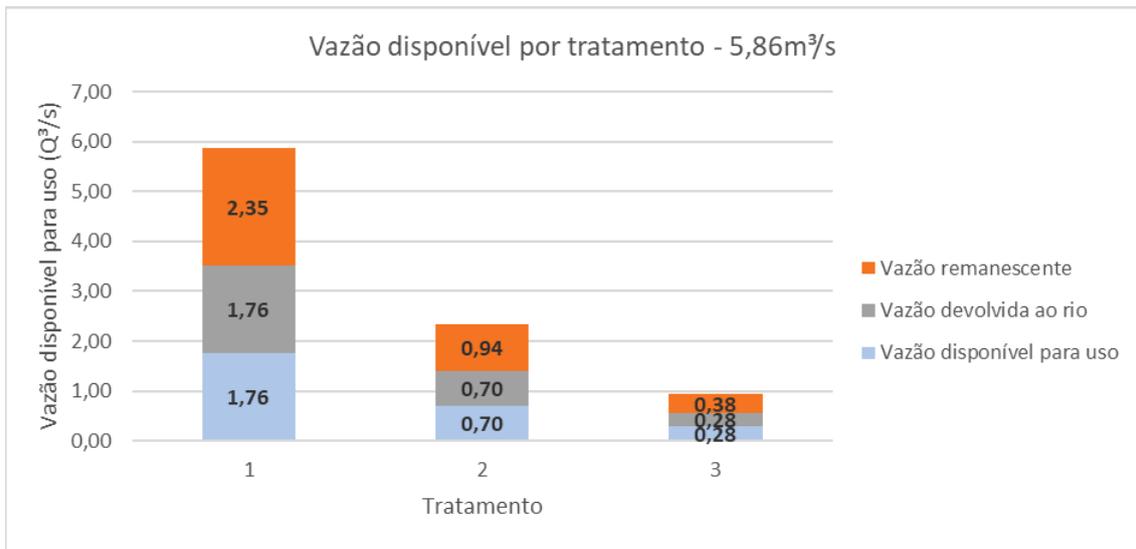
FONTE: O autor (2024).

Figura 117 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% (EE4)



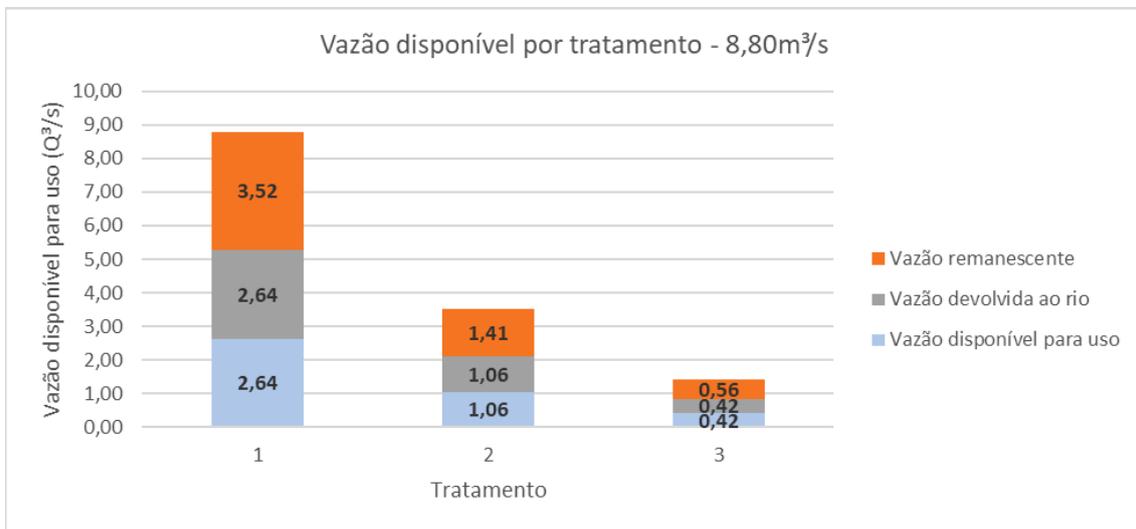
FONTE: O autor (2024).

Figura 118 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 10% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 119 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 20% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 100 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 30% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
46,76	5	10% Q	4,68	17,78	7183,59
		20% Q	9,35	17,78	14367,19
		30% Q	14,03	17,78	21550,78

FONTE: O autor (2024).

Tabela 101 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 30% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	6,67	Classe 3

FONTE: O autor (2024).

Tabela 102 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,03	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,03	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,03	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 103 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 30% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,51	Classe 1

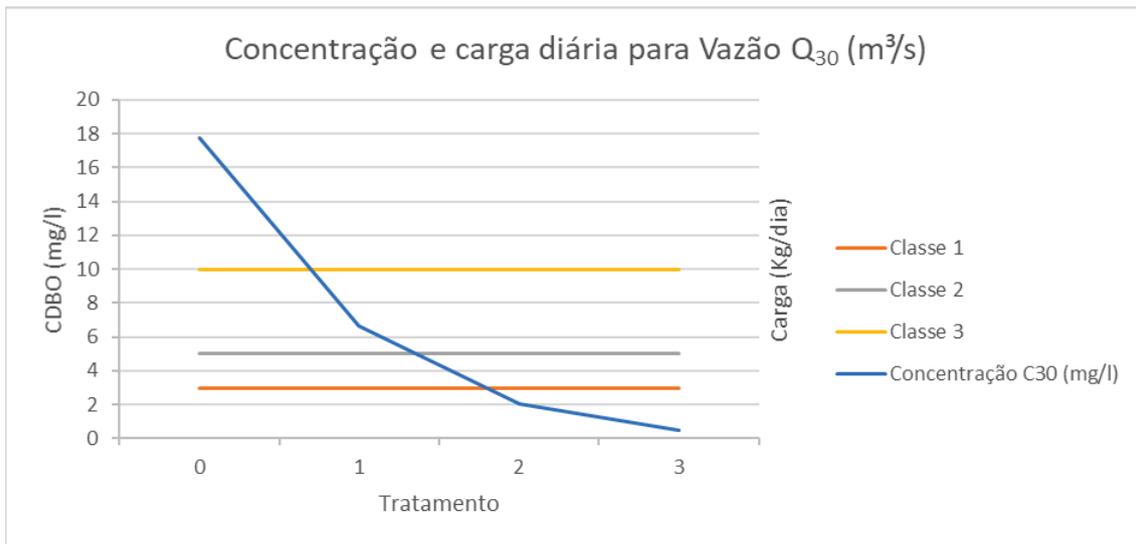
FONTE: O autor (2024).

Tabela 104 - Resumo do balanço de massa da simulação – 30% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	2,49	0,51	42,09	17,78	17,05	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	4,98	0,51	37,41	17,78	16,25	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	7,46	0,51	32,73	17,78	15,37	13,6%

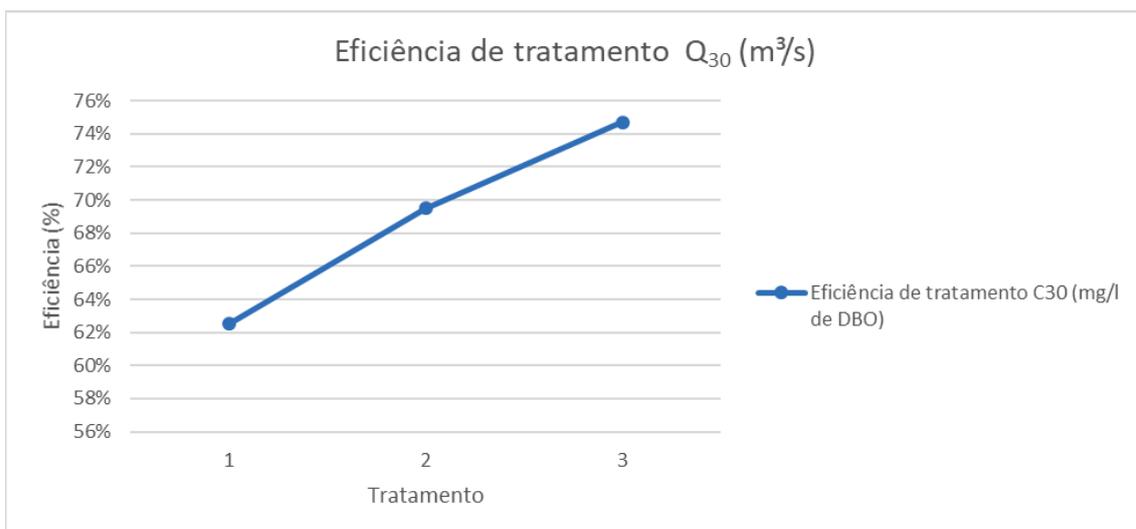
FONTE: O autor (2024).

Figura 120 - Concentração de DBO e carga diária para 30% de vazão da curva de permanência (EE4)



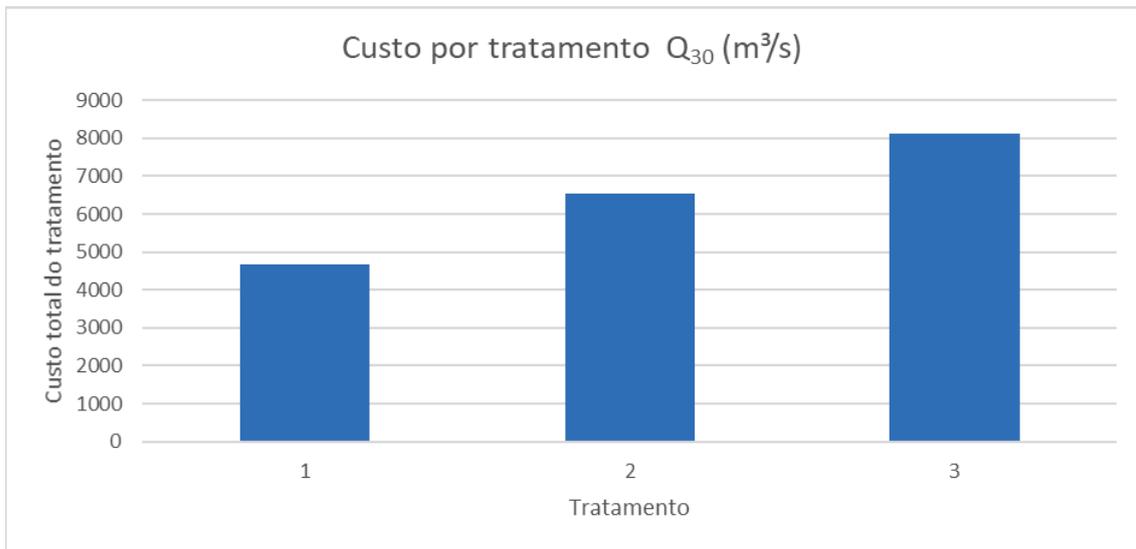
FONTE: O autor (2024).

Figura 121 - Eficiências de tratamentos para 30% de vazão da curva de permanência (EE4)



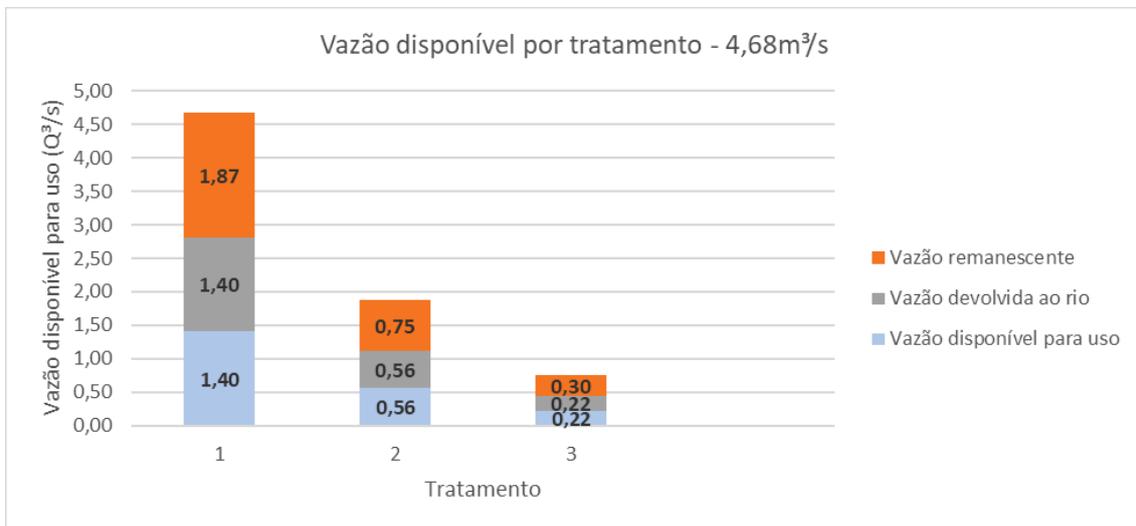
FONTE: O autor (2024).

Figura 122 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 30% de vazão da curva de permanência (EE4)



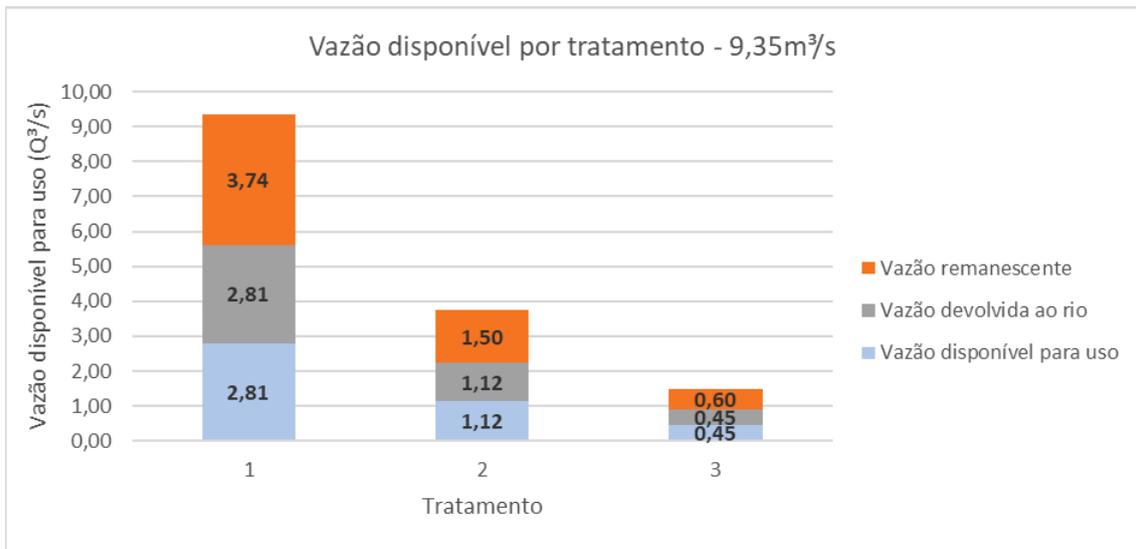
FONTE: O autor (2024).

Figura 123 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 30% (EE4)



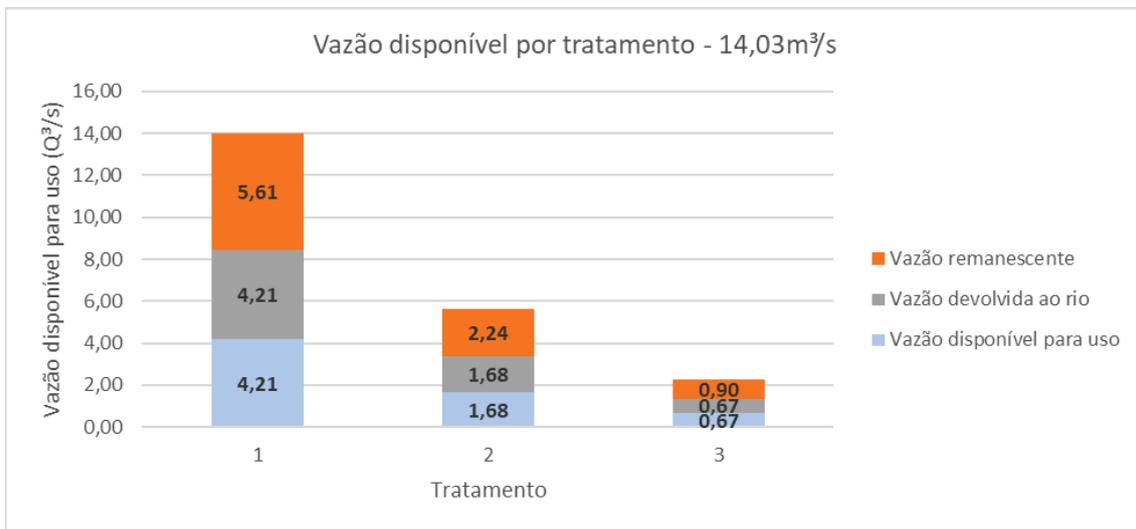
FONTE: O autor (2024).

Figura 124 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 30% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 125 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 30% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 105 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 40% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m <sup>3</sup> /s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
24,70	5	10% Q	2,47	26,00	5548,25
		20% Q	4,94	26,00	11096,51
		30% Q	7,41	26,00	16644,76

FONTE: O autor (2024).

Tabela 106 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 40% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	9,75	Classe 3

FONTE: O autor (2024).

Tabela 107 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 40% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,97	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,97	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,97	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 108 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 40% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,75	Classe 1

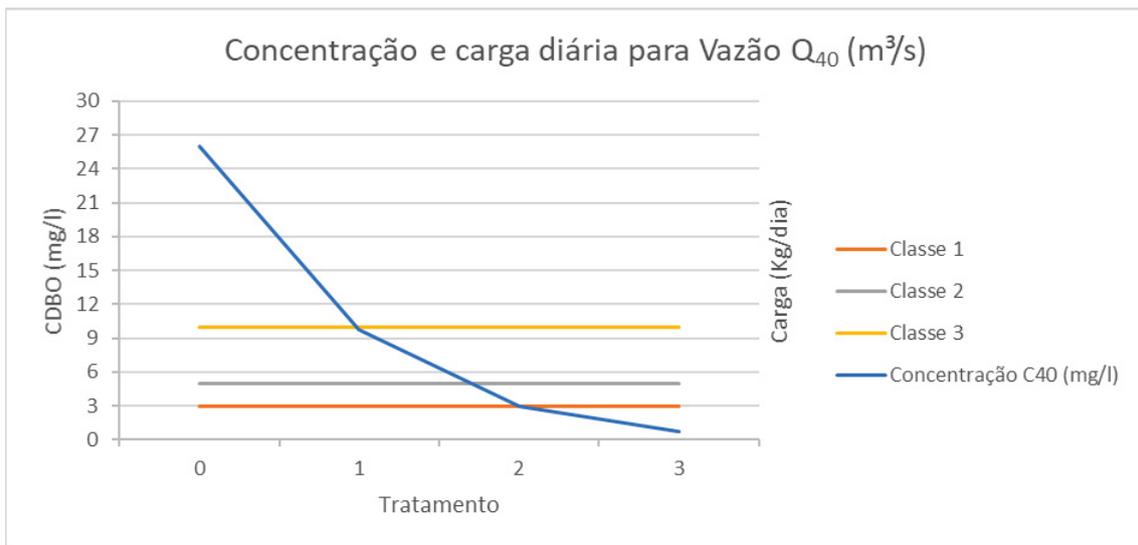
FONTE: O autor (2024).

Tabela 109 - Resumo do balanço de massa da simulação – 40% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	1,31	0,75	22,23	26,00	24,94	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	2,63	0,75	19,76	26,00	23,77	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	3,94	0,75	17,29	26,00	22,47	13,6%

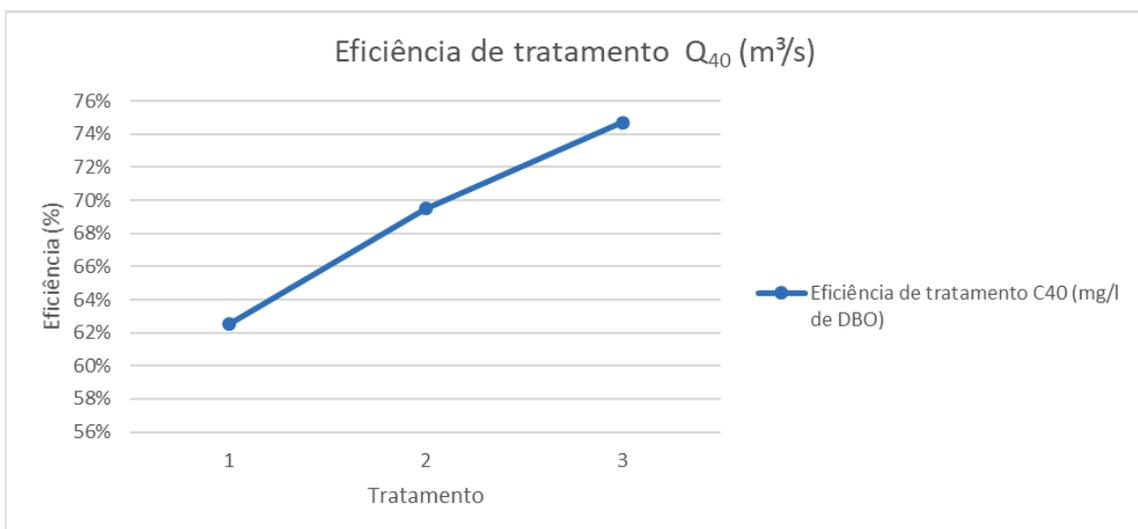
FONTE: O autor (2024).

Figura 126 - Concentração de DBO e carga diária para 40% de vazão da curva de permanência (EE4)



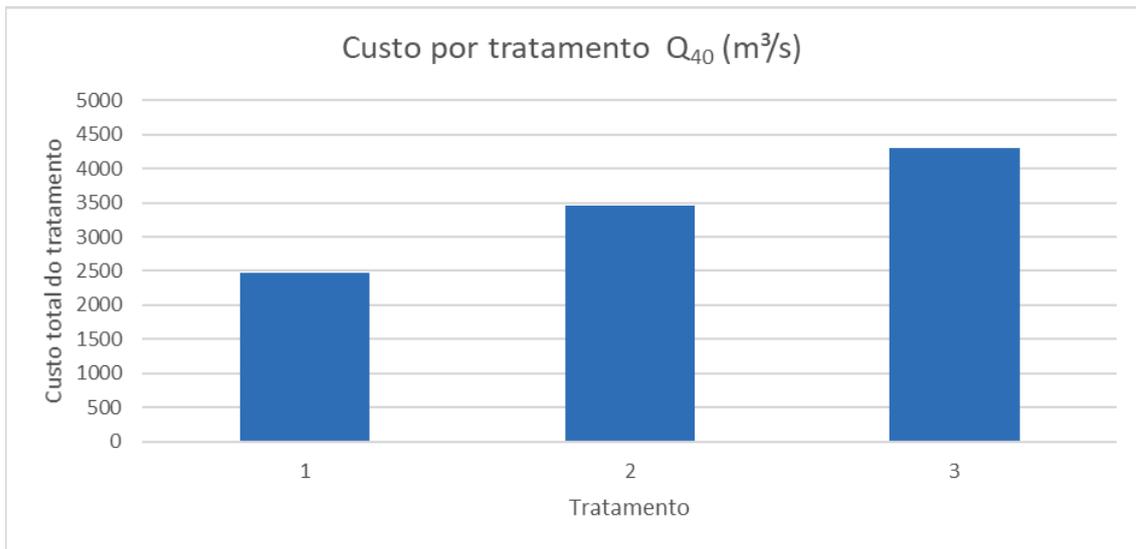
FONTE: O autor (2024).

Figura 127 - Eficiências de tratamentos para 40% de vazão da curva de permanência (EE4)



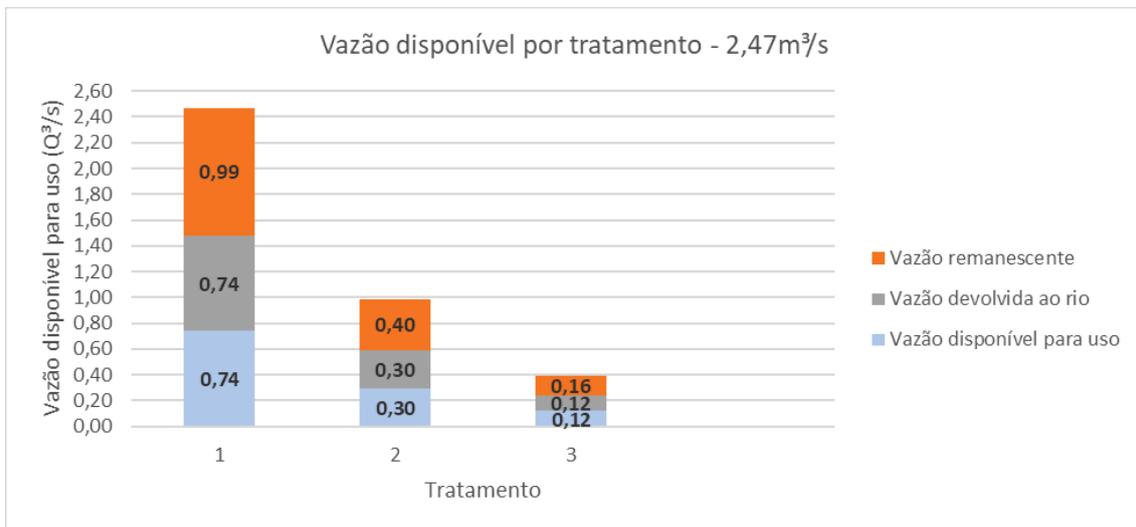
FONTE: O autor (2024).

Figura 128 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 40% de vazão da curva de permanência (EE4)



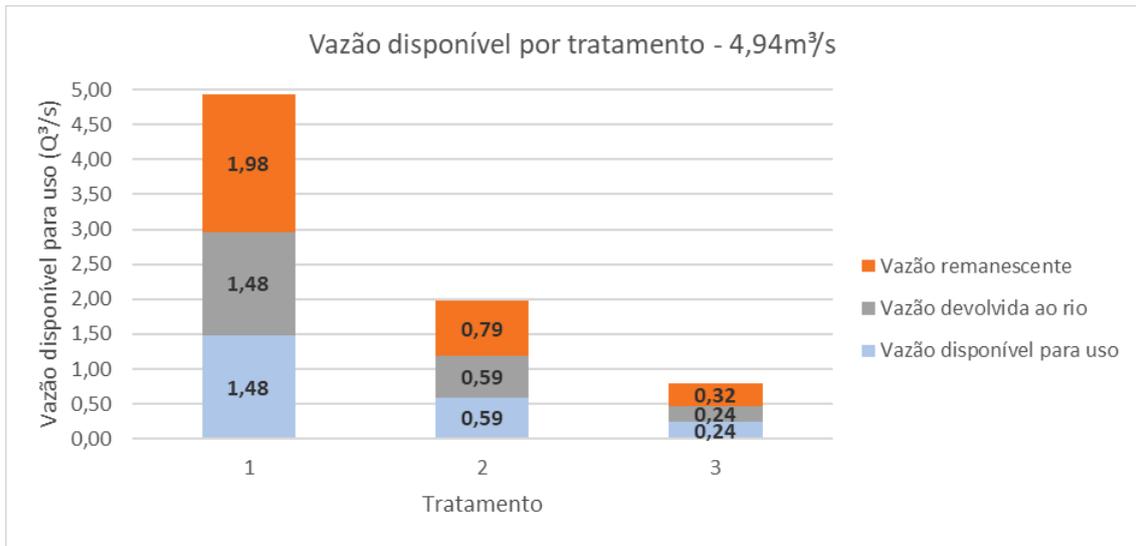
FONTE: O autor (2024).

Figura 129 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 40% (EE4)



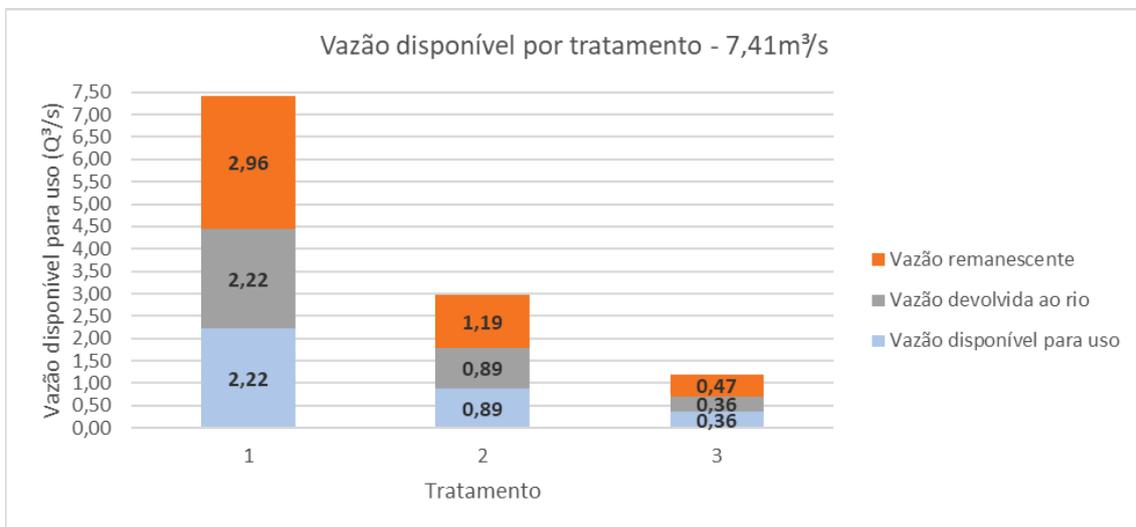
FONTE: O autor (2024).

Figura 130 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 40% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 131 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 40% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 110 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 50% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
7,58	5	10% Q	0,76	66,00	4322,42
		20% Q	1,52	66,00	8644,84
		30% Q	2,27	66,00	12967,26

FONTE: O autor (2024).

Tabela 111 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 50% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	24,75	Classe 4

FONTE: O autor (2024).

Tabela 112 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 50% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 2	80%	4,95	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 2	80%	4,95	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 2	80%	4,95	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 113 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 50% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	1,25	Classe 1

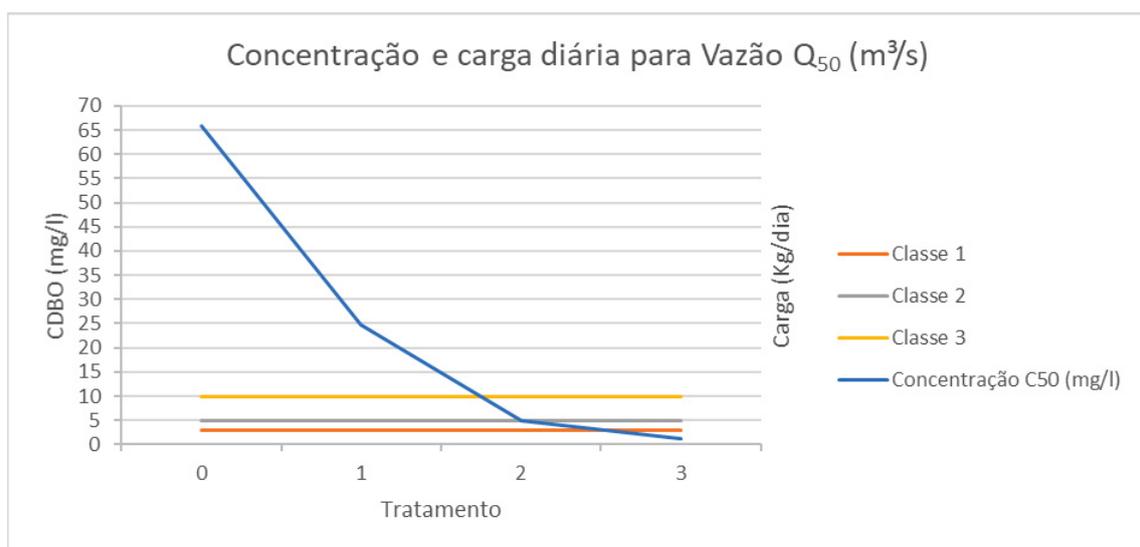
FONTE: O autor (2024).

Tabela 114 - Resumo do balanço de massa da simulação – 50% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	0,40	1,25	6,82	66,00	63,23	4,2%
Q <sub>20</sub>	20%	0,81	1,25	6,06	66,00	60,18	8,8%
Q <sub>30</sub>	30%	1,21	1,25	5,31	66,00	56,80	13,9%

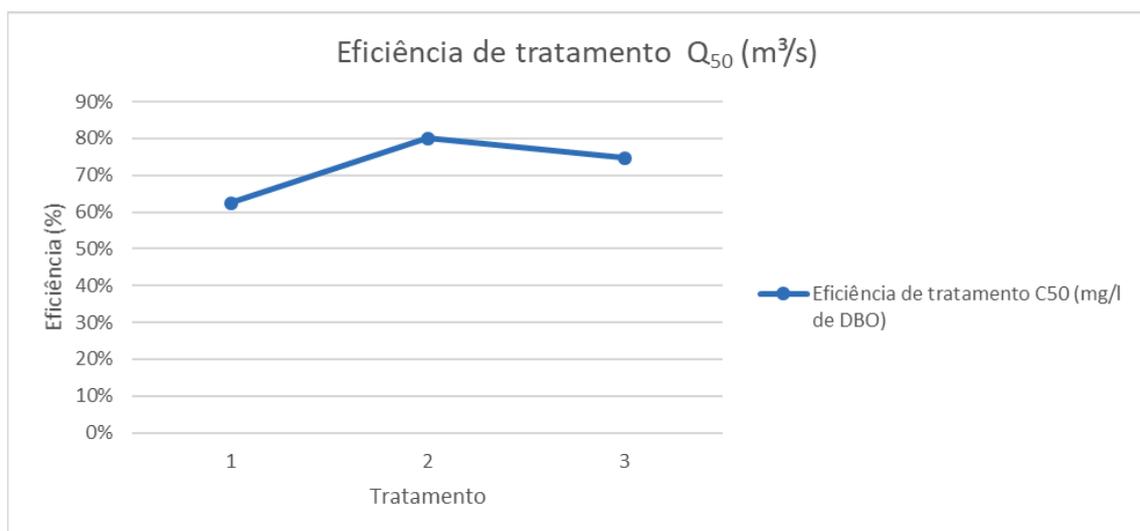
FONTE: O autor (2024).

Figura 132 - Concentração de DBO e carga diária para 50% de vazão da curva de permanência (EE4)



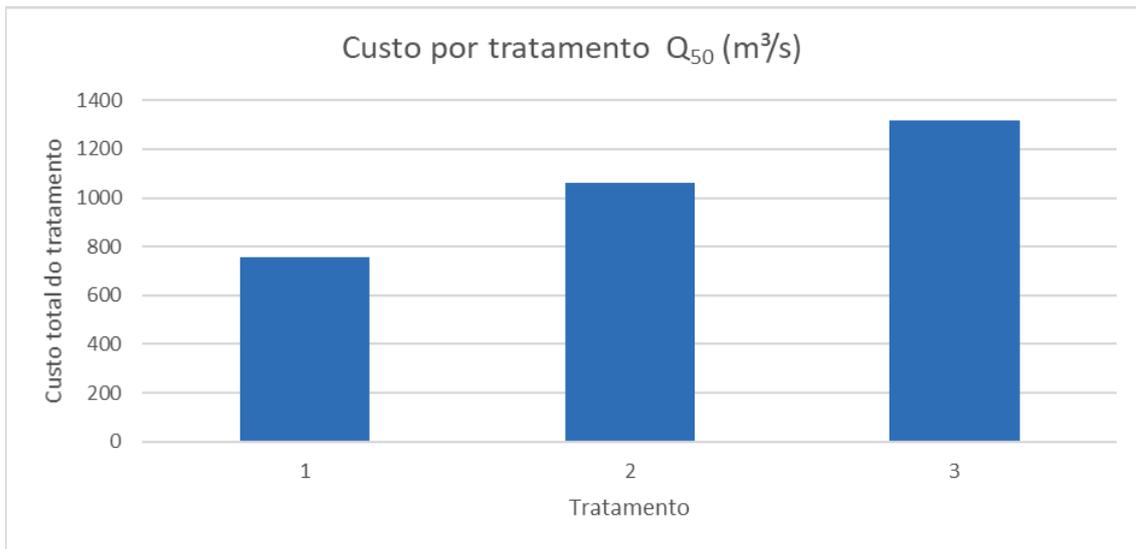
FONTE: O autor (2024).

Figura 133 - Eficiências de tratamentos para 50% de vazão da curva de permanência (EE4)



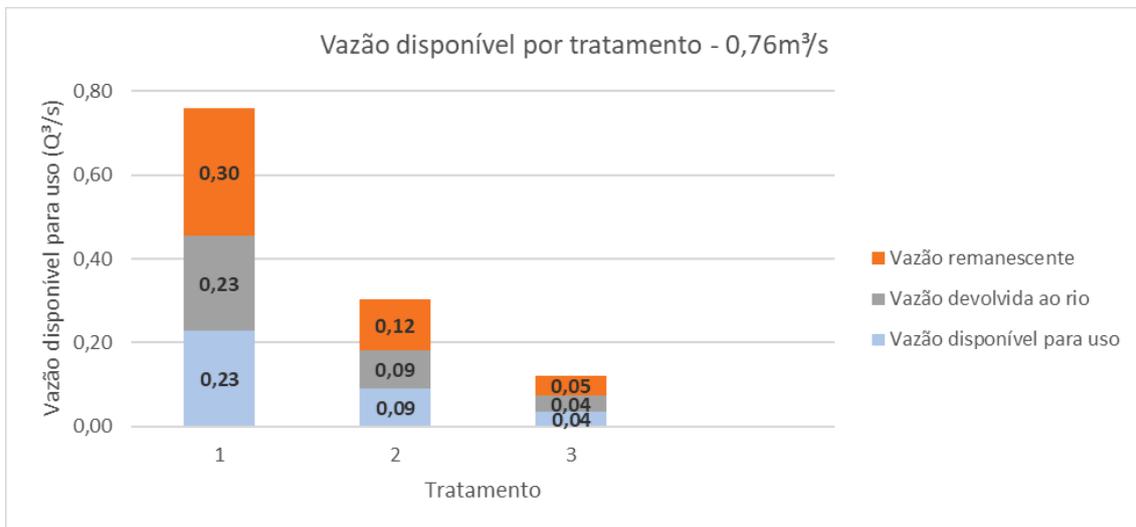
FONTE: O autor (2024).

Figura 134 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 50% de vazão da curva de permanência (EE4)



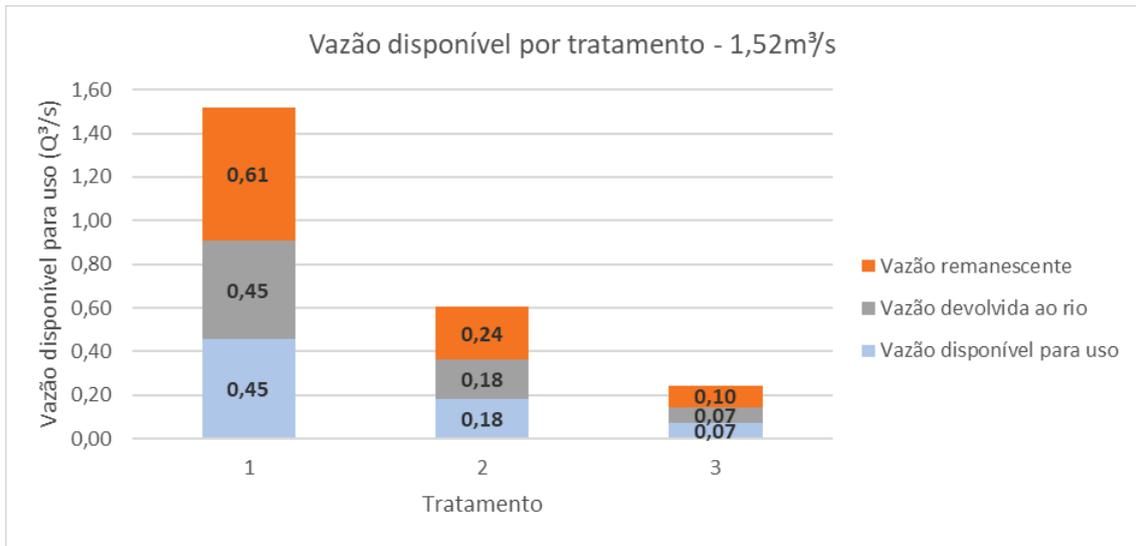
FONTE: O autor (2024).

Figura 135 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 50% (EE4)



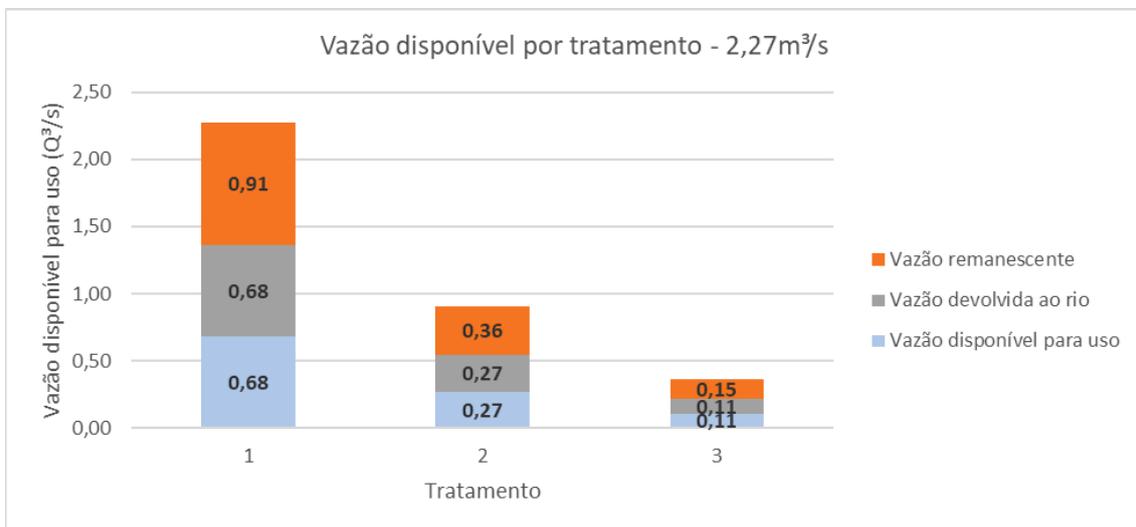
FONTE: O autor (2024).

Figura 136 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 50% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 137 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 50% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 115 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 60% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
15,89	5	10% Q	1,59	28,00	3843,94
		20% Q	3,18	28,00	7687,89
		30% Q	4,77	28,00	11531,83

FONTE: O autor (2024).

Tabela 116 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 60% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 1 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	10,50	Classe 4

FONTE: O autor (2024).

Tabela 117 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 60% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 2 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	3,20	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	3,20	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	3,20	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 118 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 60% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 3 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,81	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,81	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,81	Classe 1

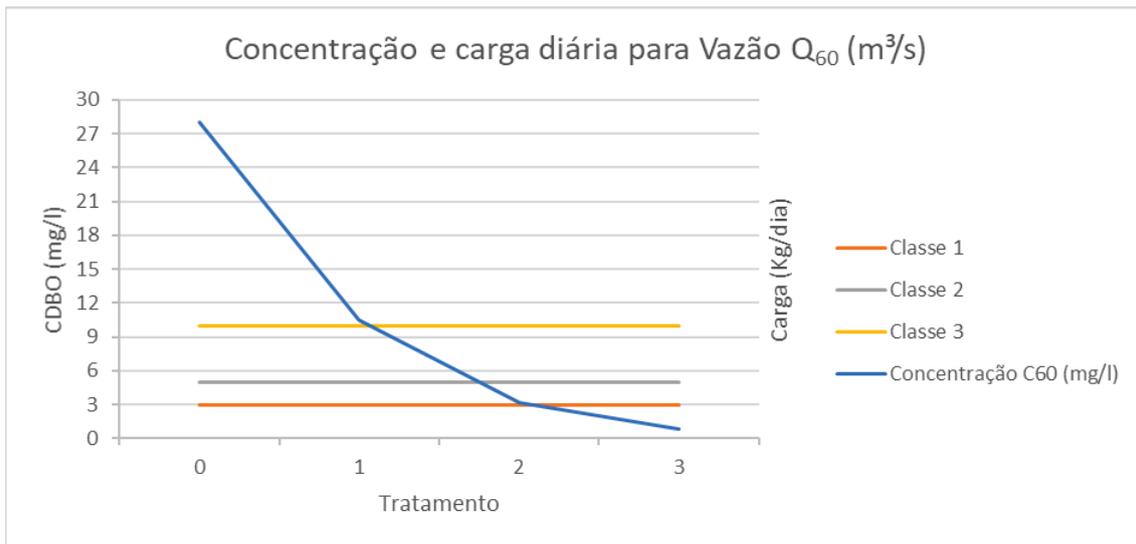
FONTE: O autor (2024).

Tabela 119 - Resumo do balanço de massa da simulação 60% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	0,85	0,81	14,30	28,00	26,86	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	1,69	0,81	12,71	28,00	25,60	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	2,54	0,81	11,12	28,00	24,20	13,6%

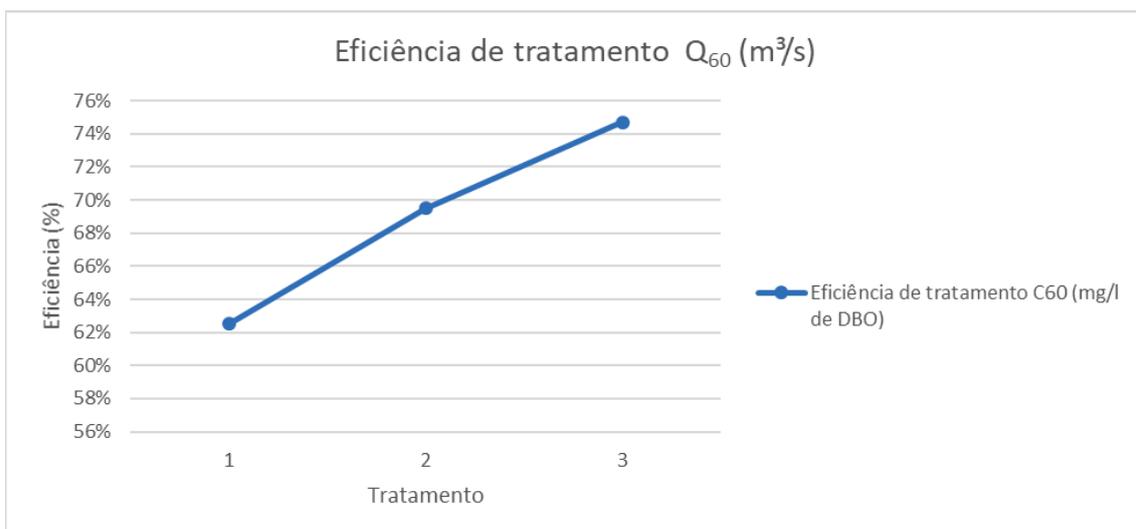
FONTE: O autor (2024).

Figura 138 - Concentração de DBO e carga diária para 60% de vazão da curva de permanência (EE4)



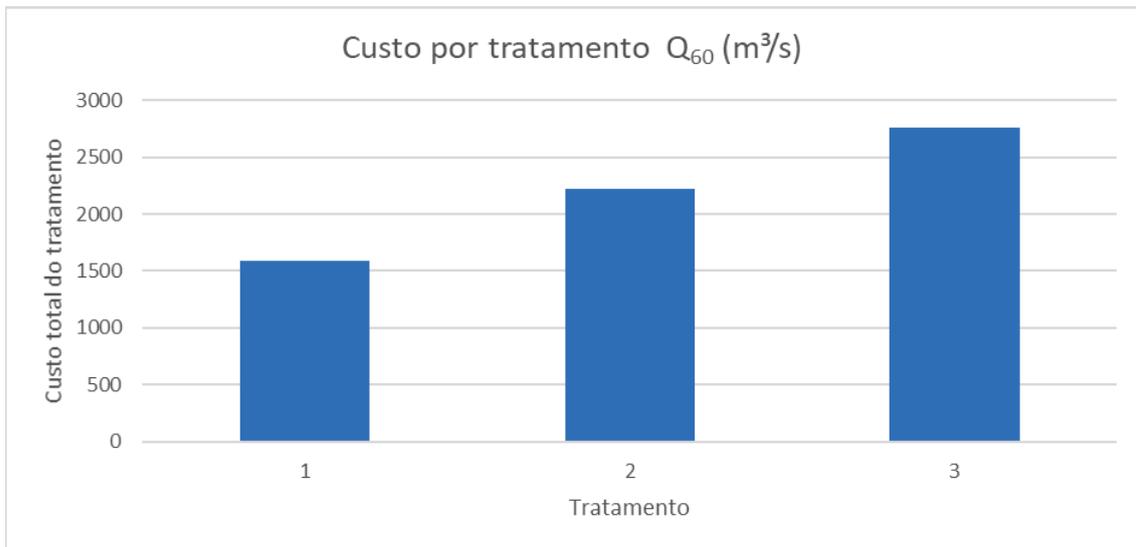
FONTE: O autor (2024).

Figura 139 - Eficiências de tratamentos para 60% de captação da vazão do RIO (EE4)



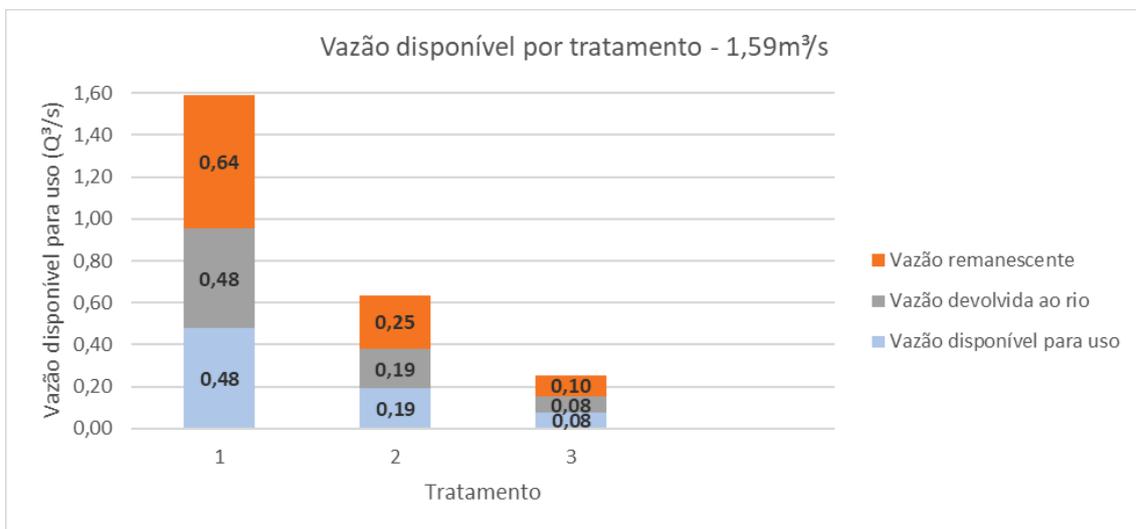
FONTE: O autor (2024).

Figura 140 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 60% de vazão da curva de permanência (EE4)



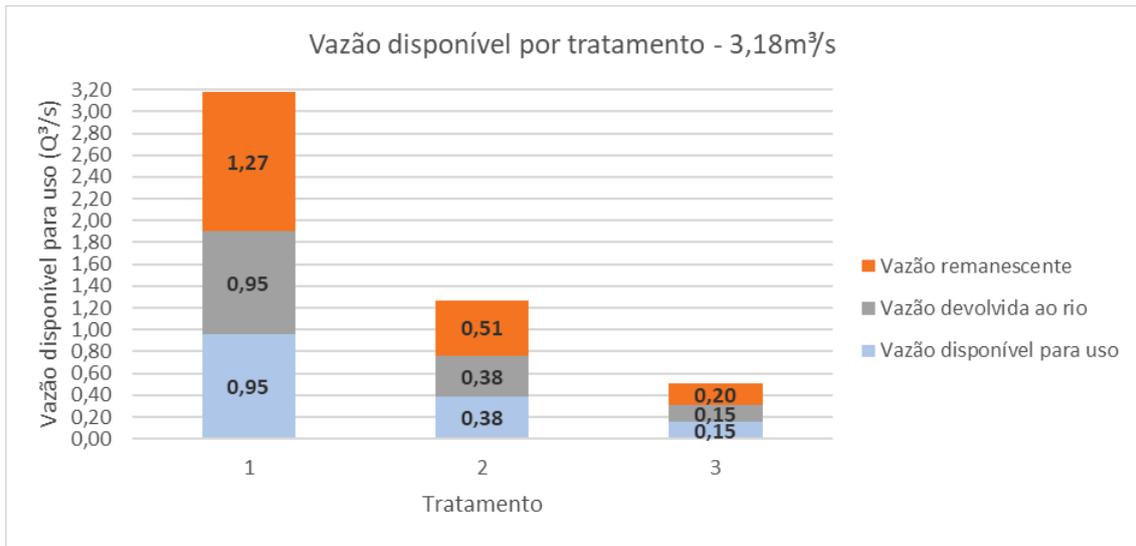
FONTE: O autor (2024).

Figura 141 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 60% (EE4)



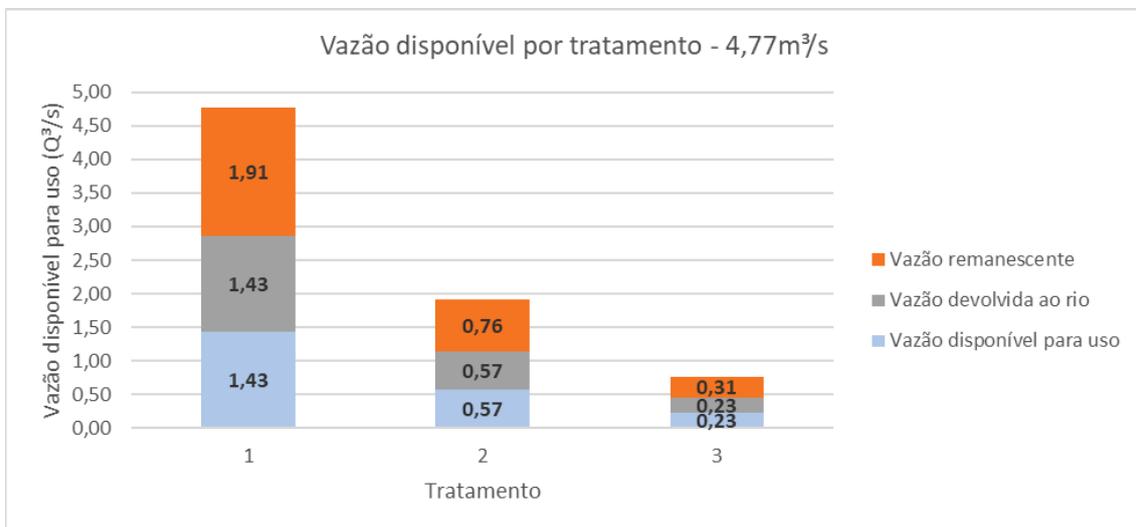
FONTE: O autor (2024).

Figura 142 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 60% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 143 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 60% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 120 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 70% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
21,18	5	10% Q	2,12	18,00	3294,32
		20% Q	4,24	18,00	6588,63
		30% Q	6,35	18,00	9882,95

FONTE: O autor (2024).

Tabela 121 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 70% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	6,75	Classe 3

FONTE: O autor (2024).

Tabela 122 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 70% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,06	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,06	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	2,06	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 123 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 70% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,52	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,52	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,52	Classe 1

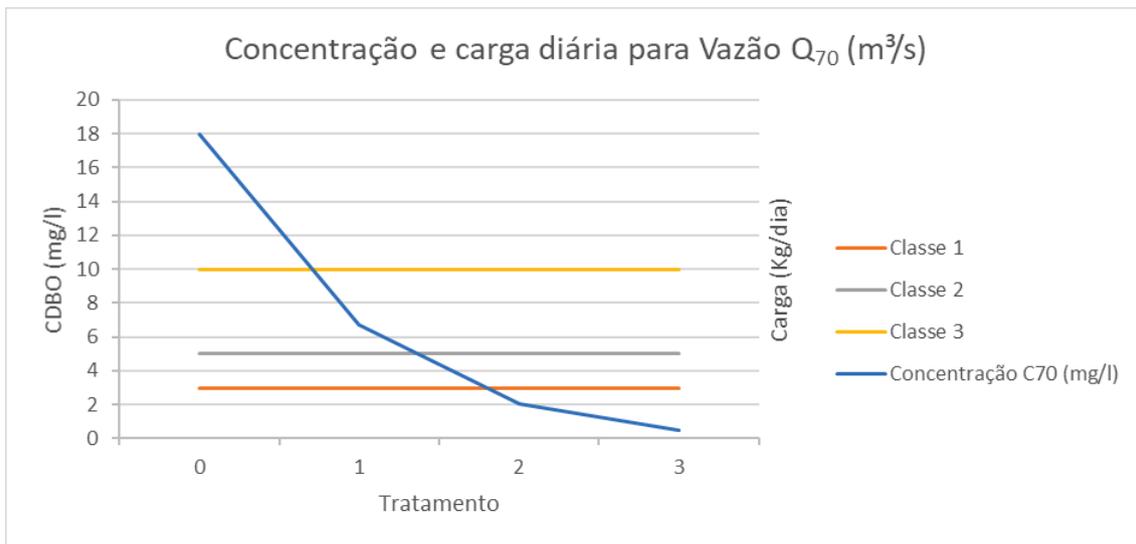
FONTE: O autor (2024).

Tabela 124 - Resumo do balanço de massa da simulação – 70% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	1,13	0,52	19,06	18,00	17,27	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	2,25	0,52	16,95	18,00	16,46	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	3,38	0,52	14,83	18,00	15,56	13,6%

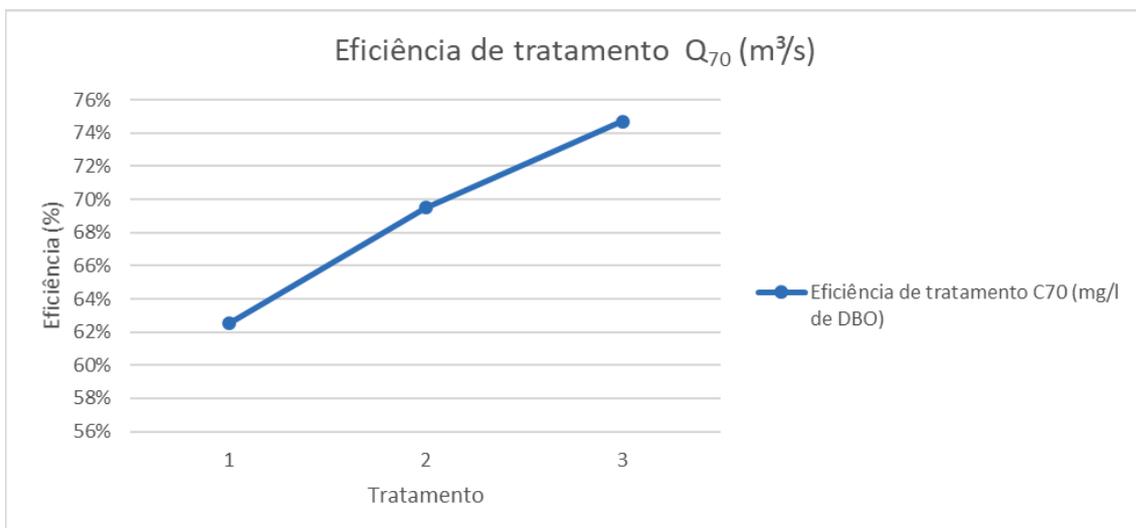
FONTE: O autor (2024).

Figura 144 - Concentração de DBO e carga diária 70% de vazão da curva de permanência (EE4)



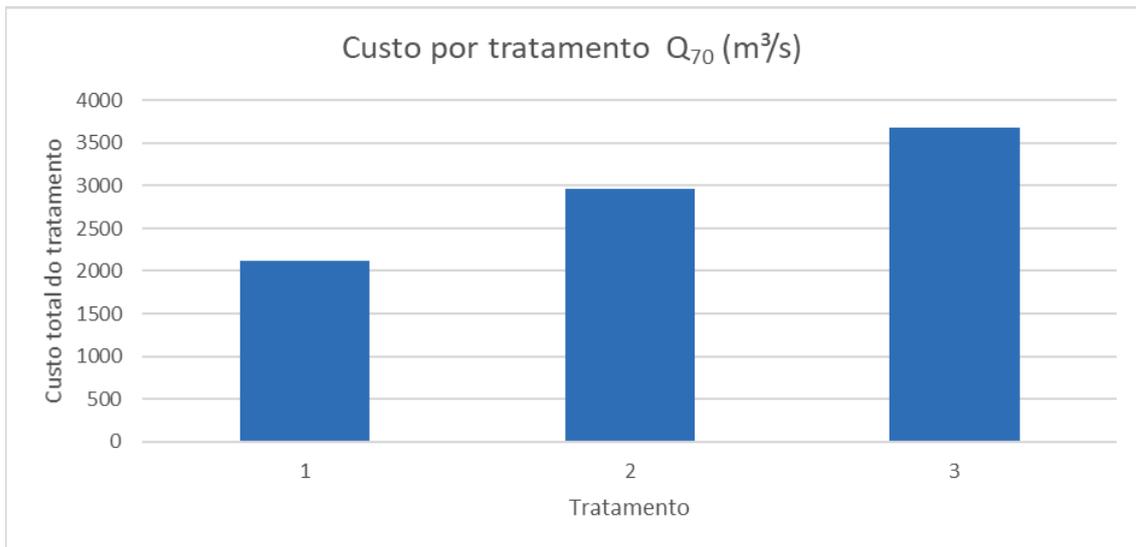
FONTE: O autor (2024).

Figura 145 - Eficiências de tratamentos para 70% de vazão da curva de permanência (EE4)



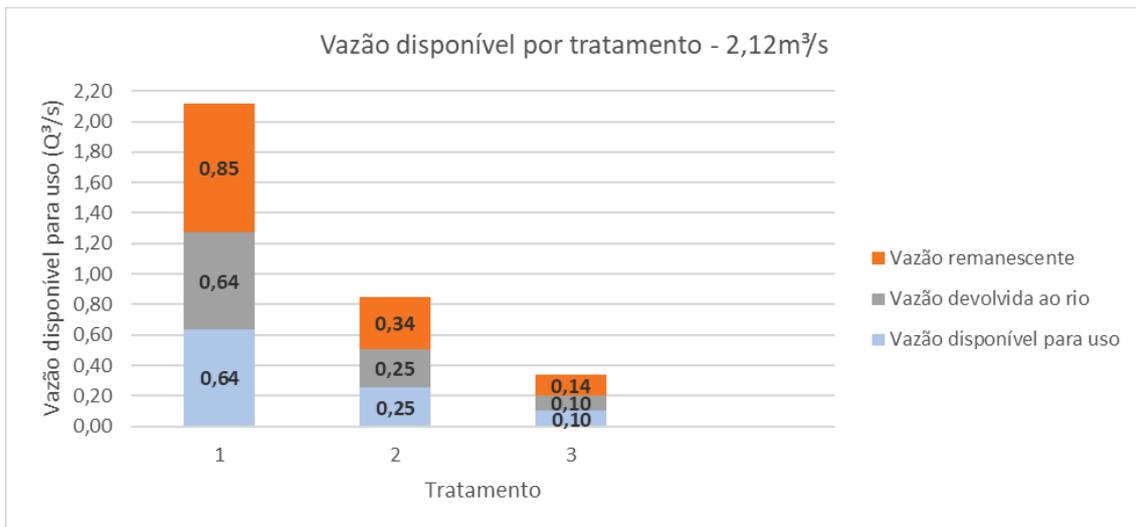
FONTE: O autor (2024).

Figura 146 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 70% de vazão da curva de permanência (EE4)



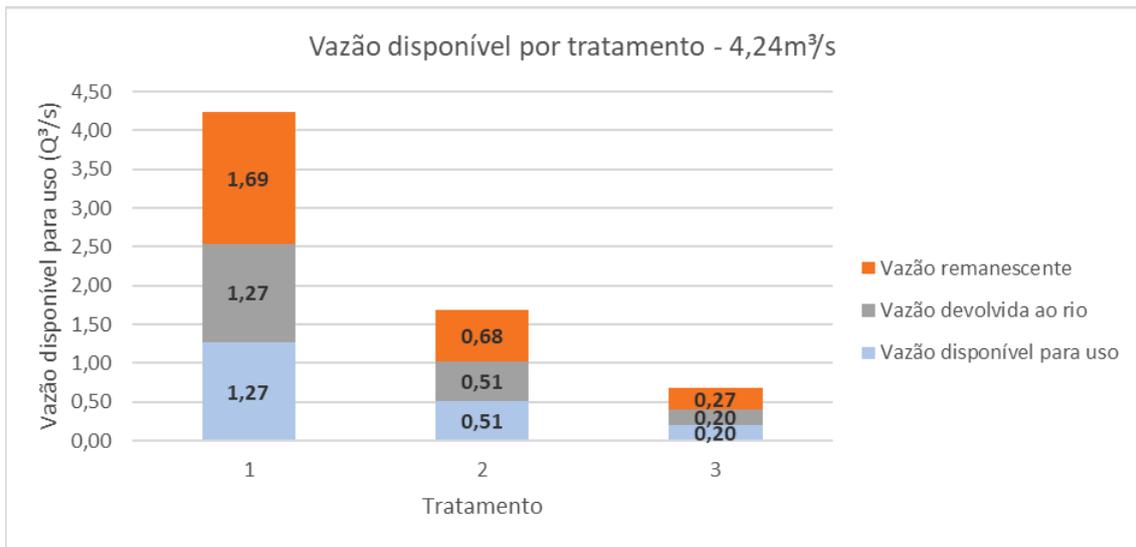
FONTE: O autor (2024).

Figura 147 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 70% (EE4)



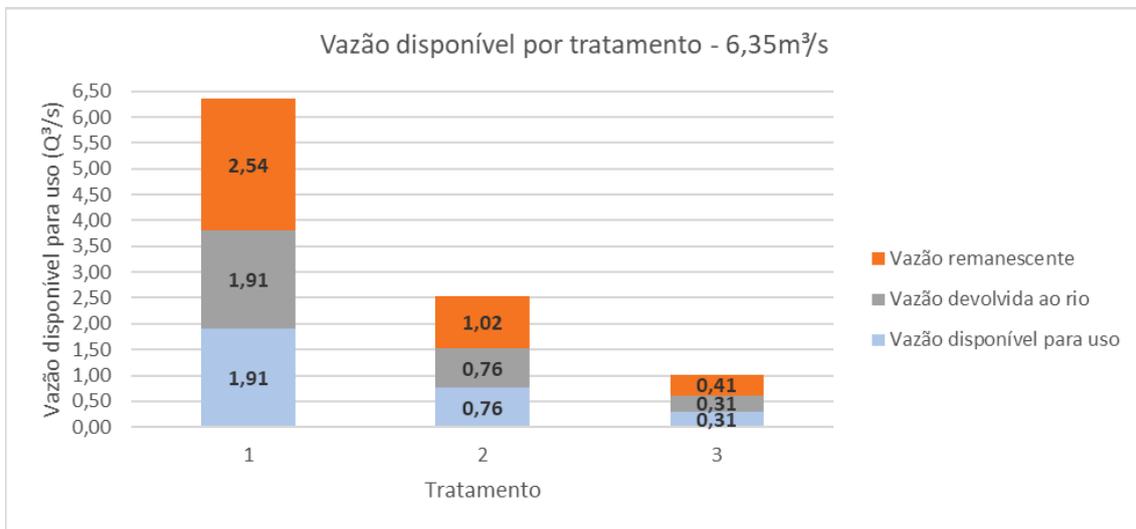
FONTE: O autor (2024).

Figura 148 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 70% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 149 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 70% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 125 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 80% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
30,16	5	10% Q	3,02	10,56	2751,75
		20% Q	6,03	10,56	5503,50
		30% Q	9,05	10,56	8255,25

FONTE: O autor (2024).

Tabela 126 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 80% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	3,96	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 127 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 80% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,21	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,21	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	1,21	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 128 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 80% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efi <sub>C<sub>DBO</sub></sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,31	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,31	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,31	Classe 1

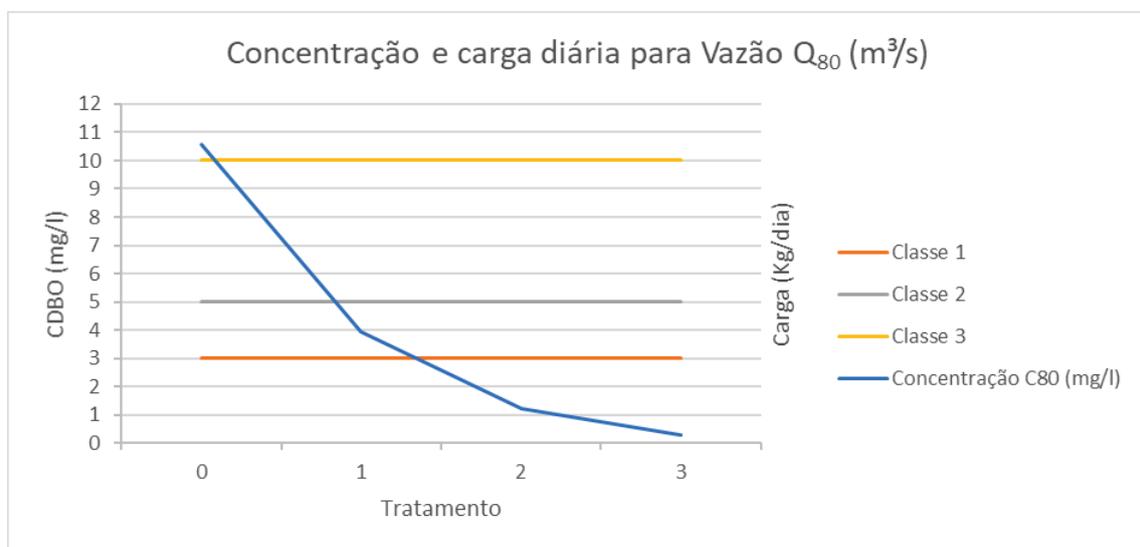
FONTE: O autor (2024).

Tabela 129 - Resumo do balanço de massa da simulação – 80% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	1,60	0,31	27,14	10,56	10,13	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	3,21	0,31	24,13	10,56	9,65	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	4,81	0,31	21,11	10,56	9,13	13,6%

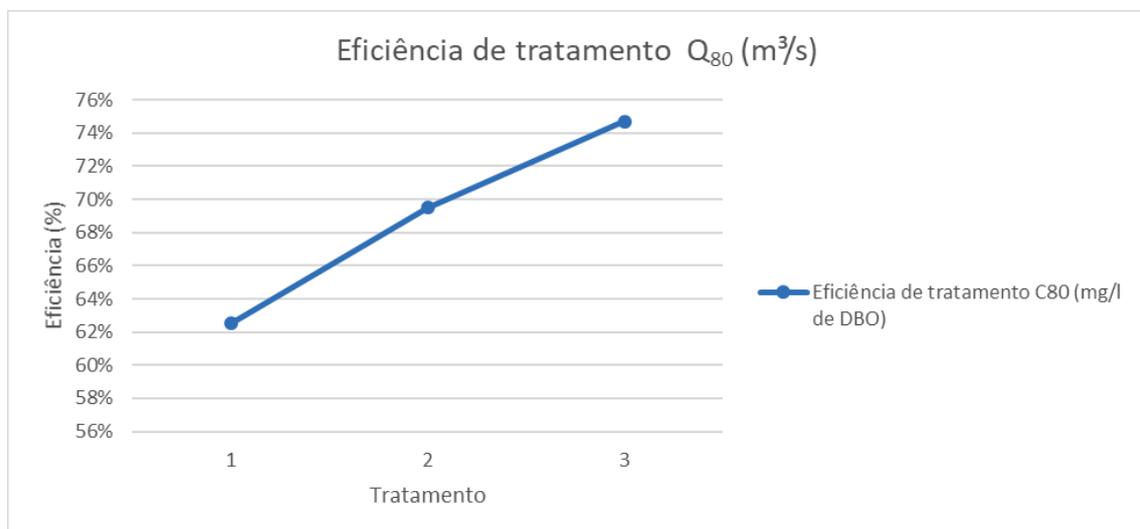
FONTE: O autor (2024).

Figura 150 - Concentração de DBO e carga diária para 80% de vazão da curva de permanência (EE4)



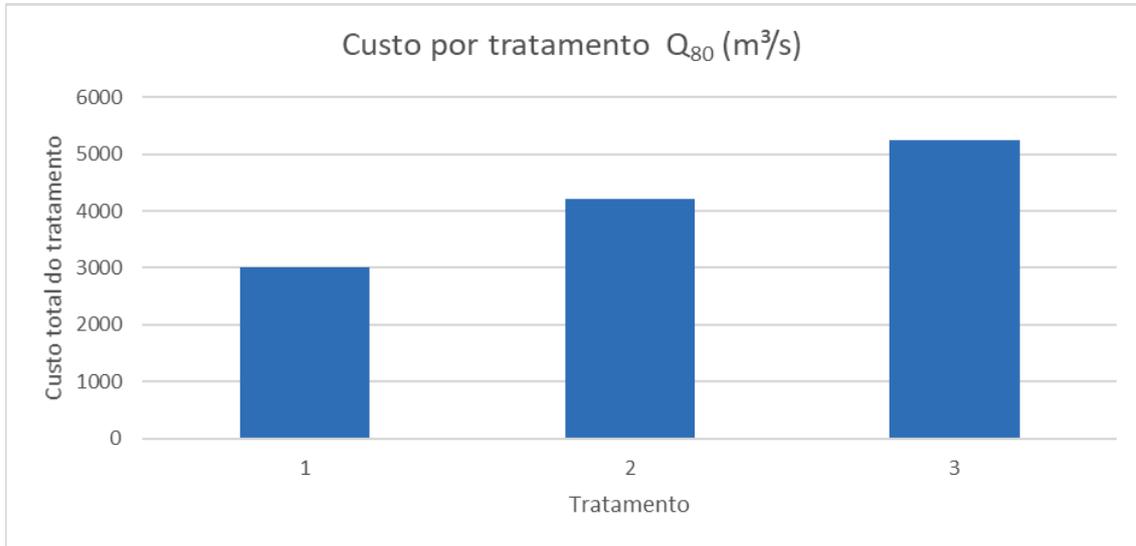
FONTE: O autor (2024).

Figura 151 - Eficiências de tratamentos para 80% de vazão da curva de permanência (EE4)



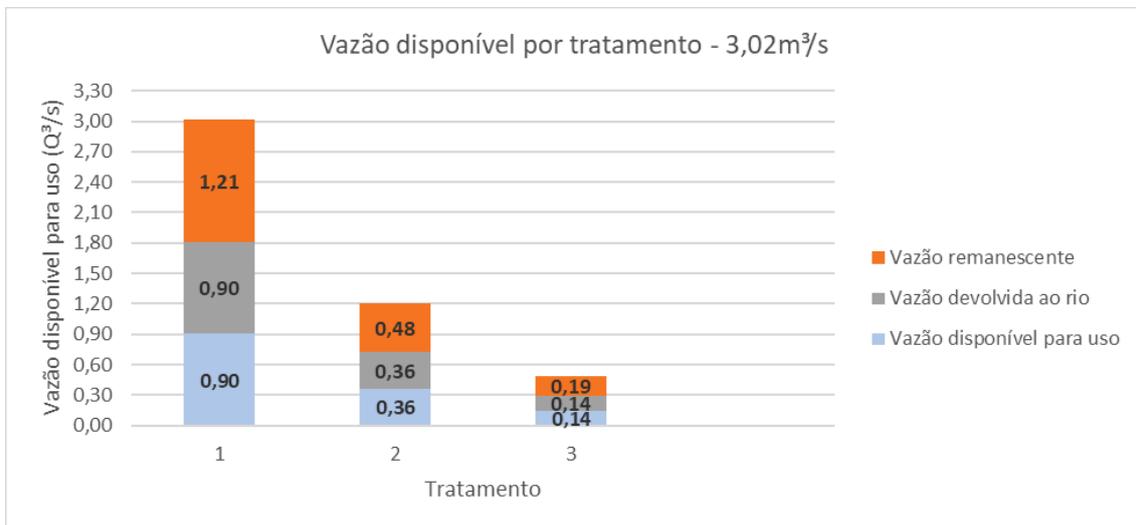
FONTE: O autor (2024).

Figura 152 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 80% de vazão da curva de permanência (EE4)



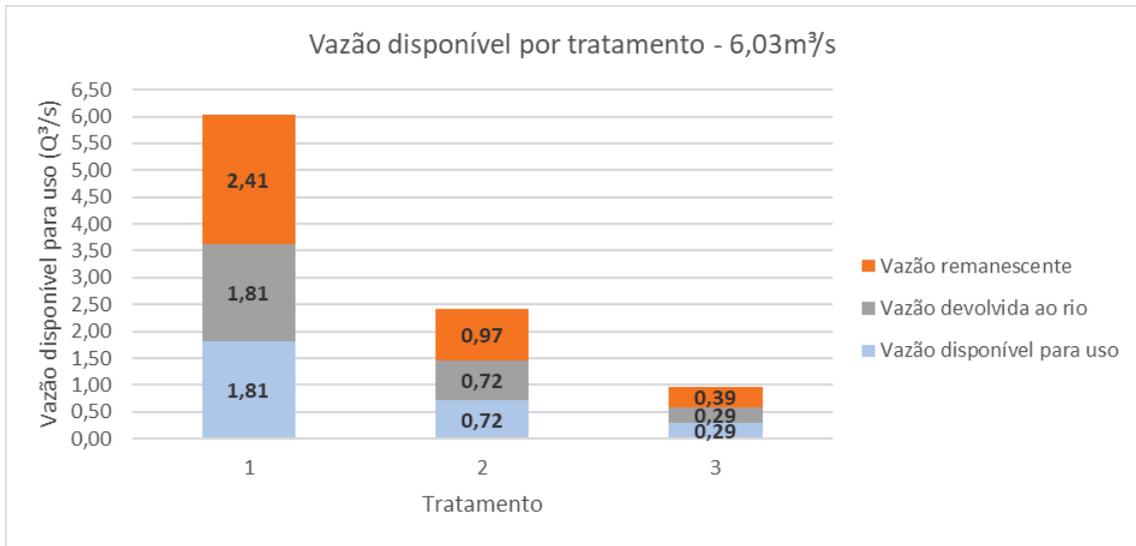
FONTE: O autor (2024).

Figura 153 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 80% (EE4)



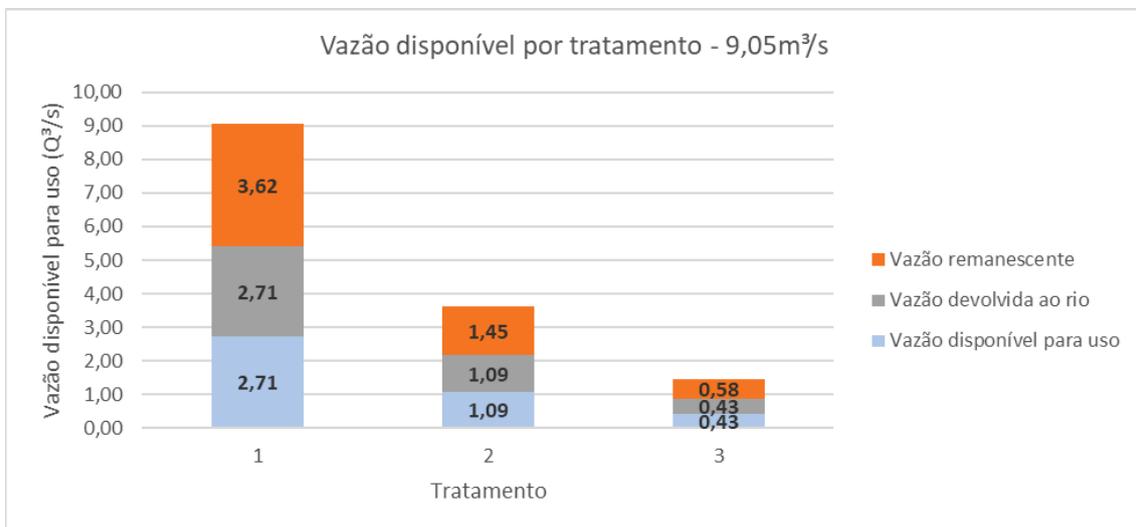
FONTE: O autor (2024).

Figura 154 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 80% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 155 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 80% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 130 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 90% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
54,48	5	10% Q	5,45	4,00	1882,67
		20% Q	10,90	4,00	3765,34
		30% Q	16,34	4,00	5648,00

FONTE: O autor (2024).

Tabela 131 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 90% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 1</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Decantador primário	33%	2,70	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 132 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 90% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 2</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,46	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,46	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,46	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 133 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 90% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO tratamento 3</sub> (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,12	Classe 1

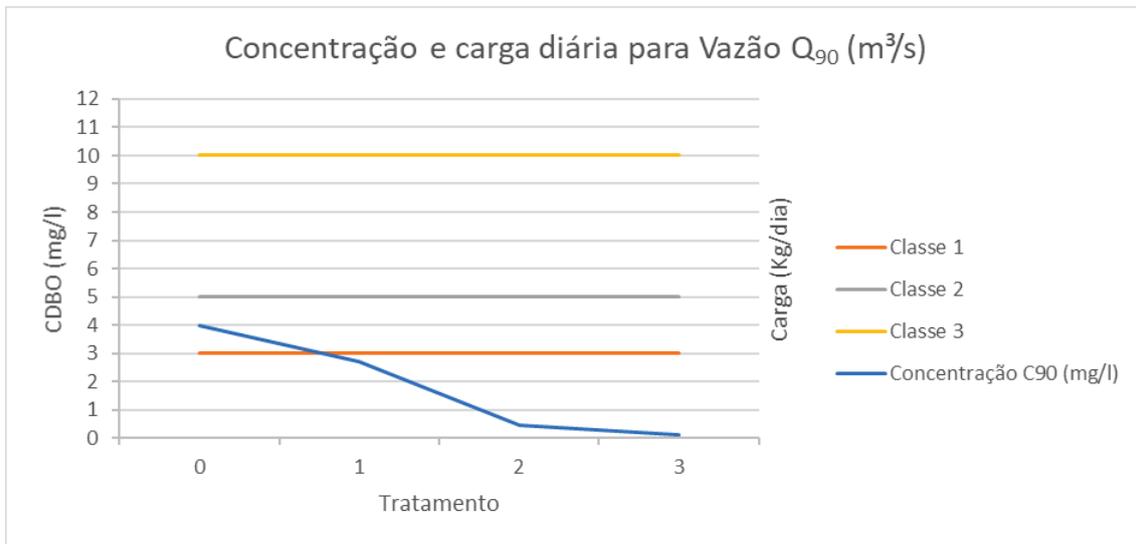
FONTE: O autor (2024).

Tabela 134 - Resumo do balanço de massa da simulação – 90% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	2,90	0,12	49,03	4,00	3,87	3,1%
Q <sub>20</sub>	20%	5,80	0,12	43,58	4,00	3,74	6,6%
Q <sub>30</sub>	30%	8,69	0,12	38,13	4,00	3,58	10,4%

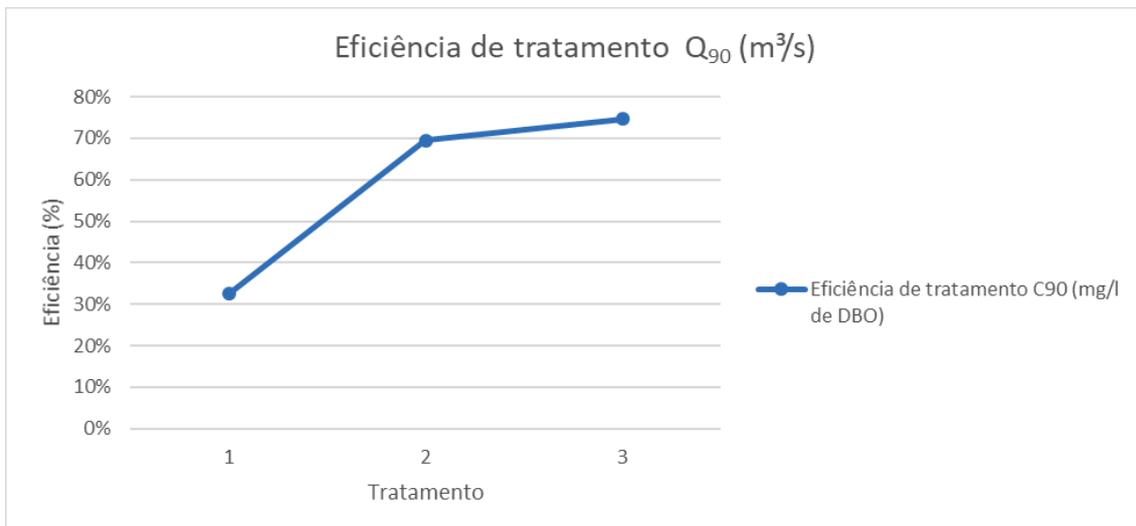
FONTE: O autor (2024).

Figura 156 - Concentração de DBO e carga diária para 90% de vazão da curva de permanência (EE4)



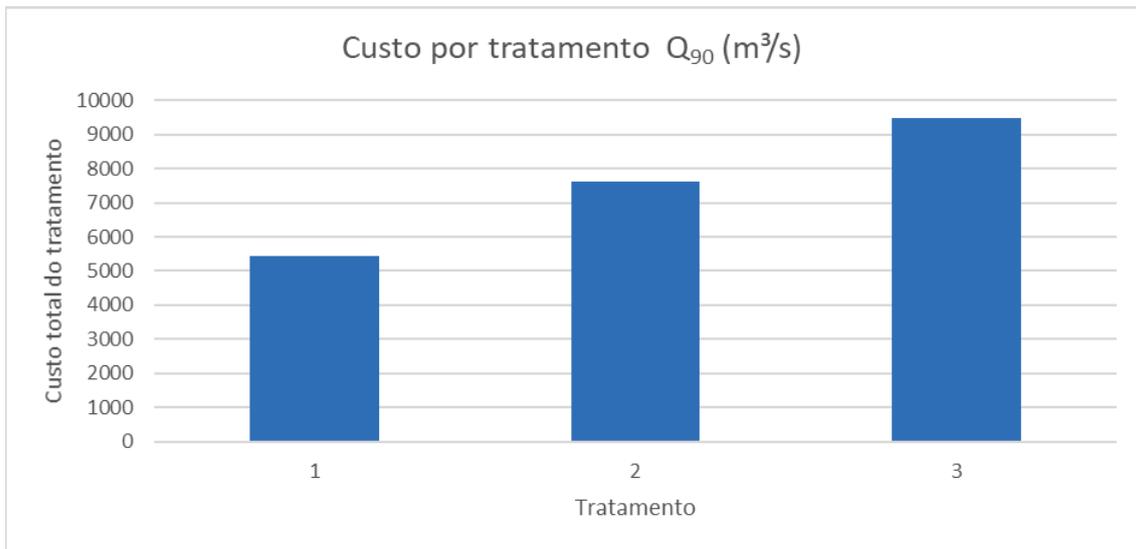
FONTE: O autor (2024).

Figura 157 - Eficiências de tratamentos para 90% de vazão da curva de permanência (EE4)



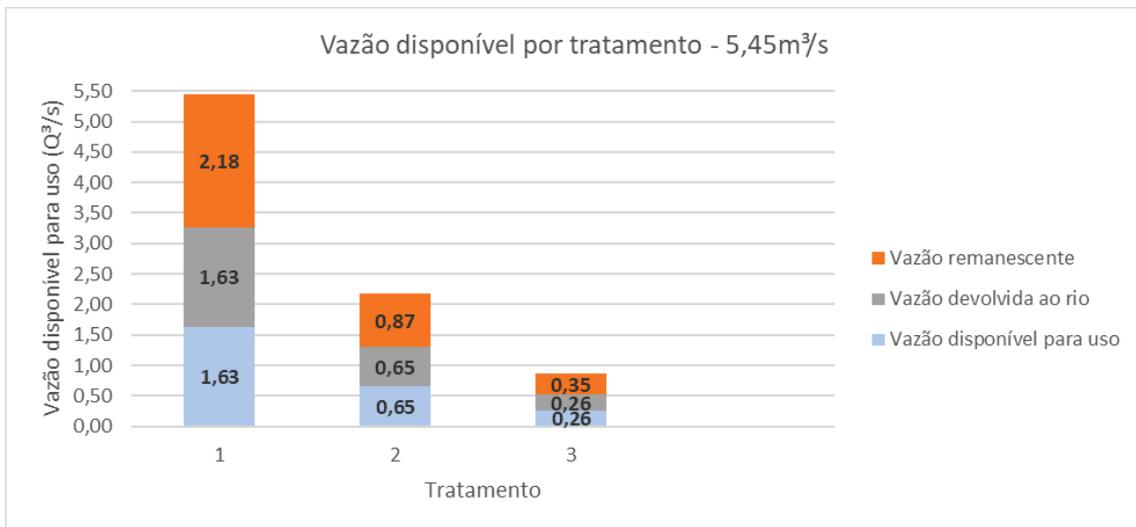
FONTE: O autor (2024).

Figura 158 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 90% de vazão da curva de permanência (EE4)



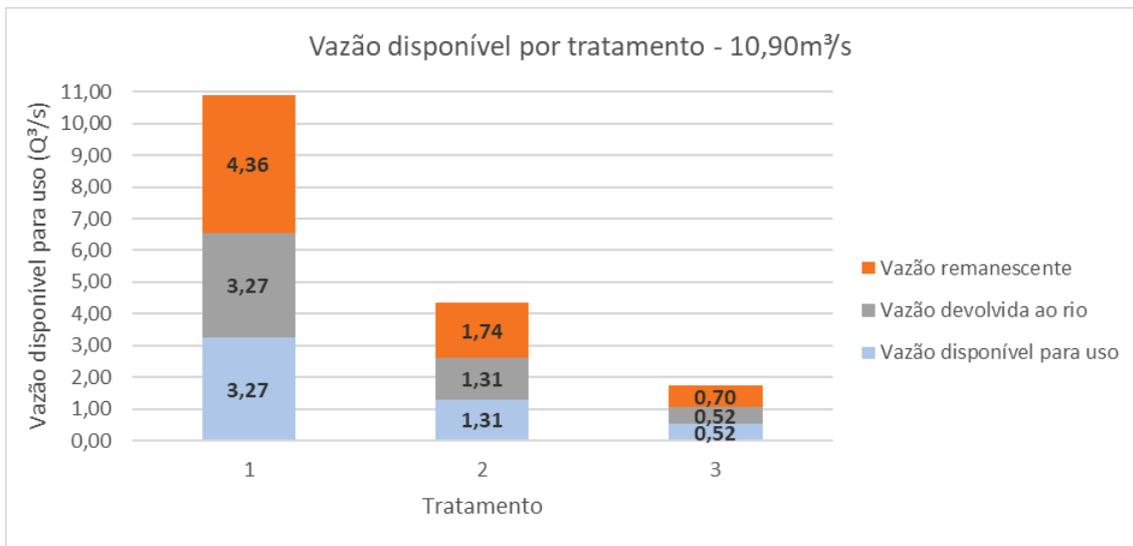
FONTE: O autor (2024).

Figura 159 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 90% (EE4)



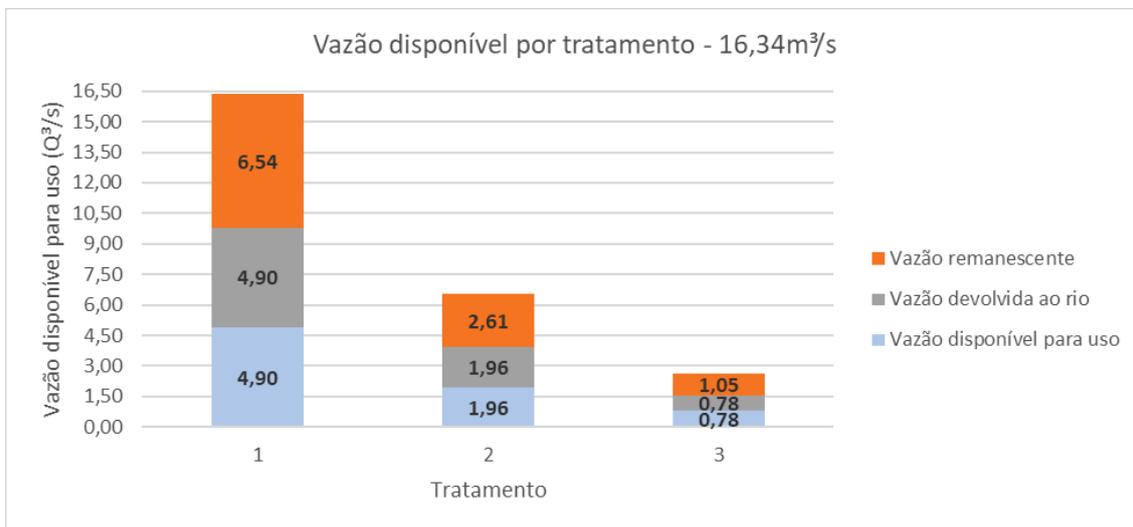
FONTE: O autor (2024).

Figura 160 - Vazão DISPONÍVEL PARA USOS DISTINTOS PARA 20% DE CAPTAÇÃO DA VAZÃO DO RIO E CURVA DE PERMANÊNCIA COM PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE 90% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 161 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 90% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Tabela 135 - Dados de vazão do Rio Iguaçu e de entrada no sistema de tratamento – 95% de vazão da curva de permanência (EE4)

Vazão do Rio (m³/s)	Concentração desejada (mg/l) conforme a classe	Dados de entrada no sistema			
		% da vazão do Rio	Q <sub>Entrada</sub> (m³/s)	C <sub>DBO</sub> (mg/l)	Carga (kg/dia)
17,03	5	10% Q	1,70	8,53	1255,10
		20% Q	3,41	8,53	2510,19
		30% Q	5,11	8,53	3765,29

FONTE: O autor (2024).

Tabela 136 - Alternativas de tratamento primário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis – 95% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Primário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 1 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2
Q <sub>20</sub>	20%	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2
Q <sub>30</sub>	30%	Primário avançado	63%	3,20	Classe 2

FONTE: O autor (2024).

Tabela 137 - Alternativas de tratamento secundário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 95% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Secundário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 2 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,98	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,98	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Faixa de Eficiência 1	70%	0,98	Classe 1

FONTE: O autor (2024).

Tabela 138 - Alternativas de tratamento terciário, concentração após o tratamento e enquadramento para possíveis usos – 95% de vazão da curva de permanência (EE4)

Tratamento Terciário					
Permanência	% da vazão do Rio	Método escolhido	Efic <sub>DBO</sub> (%)	C <sub>DBO</sub> tratamento 3 (mg/l)	Possíveis usos
Q <sub>10</sub>	10%	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1
Q <sub>20</sub>	20%	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1
Q <sub>30</sub>	30%	Nano CaO2	75%	0,25	Classe 1

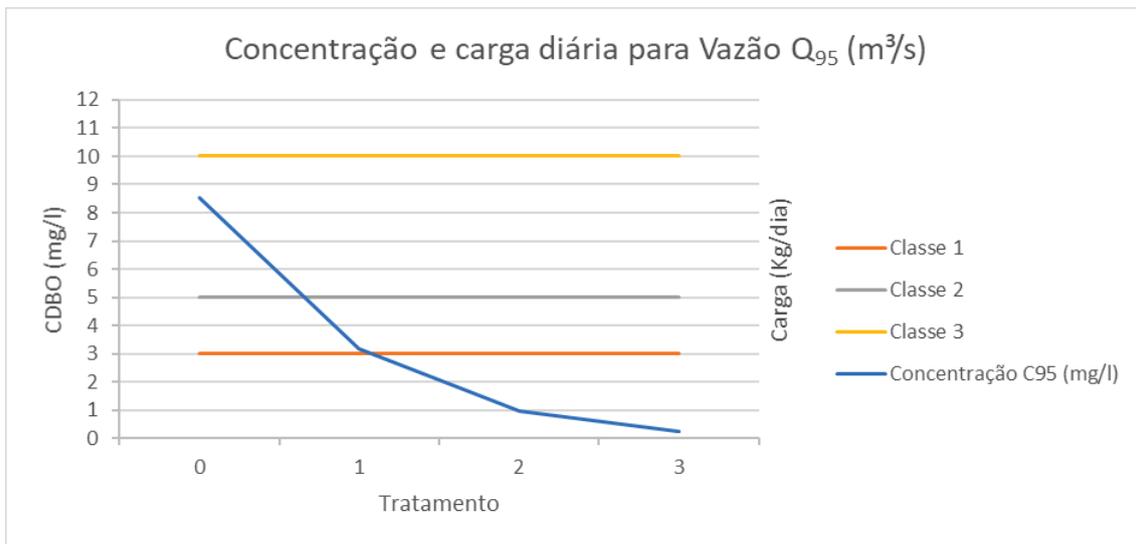
FONTE: O autor (2024).

Tabela 139 - Resumo do balanço de massa da simulação – 95% de vazão da curva de permanência (EE4)

Dados Finais							
Permanência	% da vazão do Rio	Q <sub>tratado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>tratado</sub> (mg/l)	Q <sub>rio antes do lançamento</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>rio antes do lançamento</sub> (mg/l)	C <sub>após o lançamento</sub> (mg/l)	% de redução de concentração
Q <sub>10</sub>	10%	0,91	0,25	15,33	8,53	8,18	4,1%
Q <sub>20</sub>	20%	1,81	0,25	13,62	8,53	7,80	8,6%
Q <sub>30</sub>	30%	2,72	0,25	11,92	8,53	7,37	13,6%

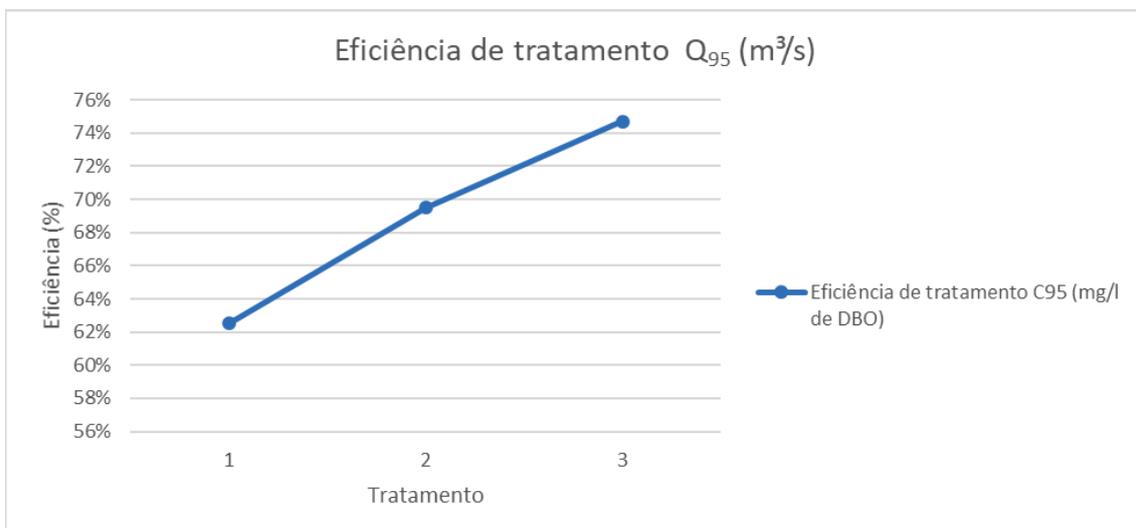
FONTE: O autor (2024).

Figura 162 - Concentração de DBO e carga diária para 95% de vazão da curva de permanência (EE4)



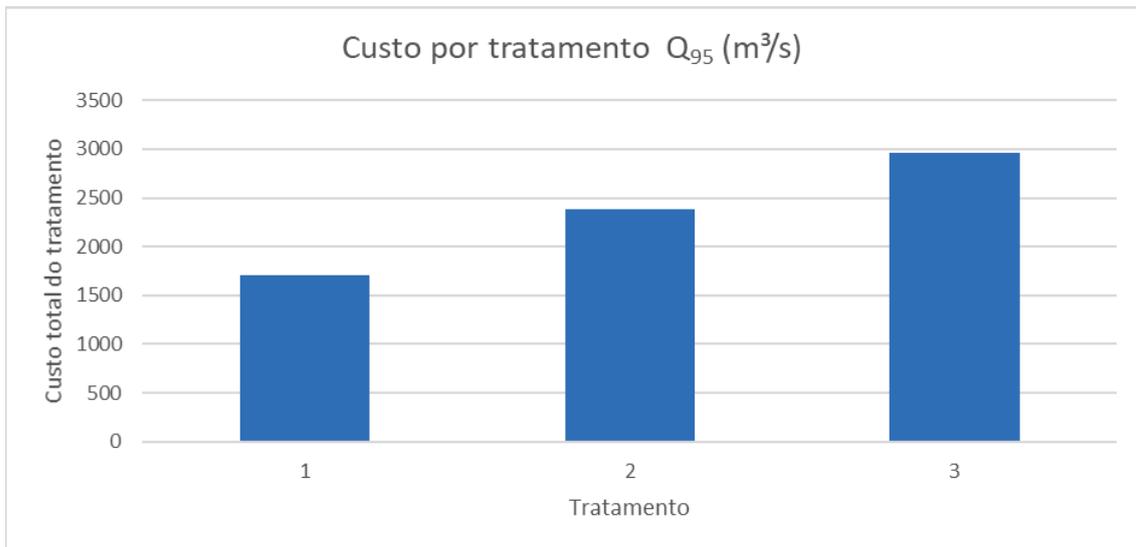
FONTE: O autor (2024).

Figura 163 - Eficiências de tratamentos para 95% de vazão da curva de permanência (EE4)



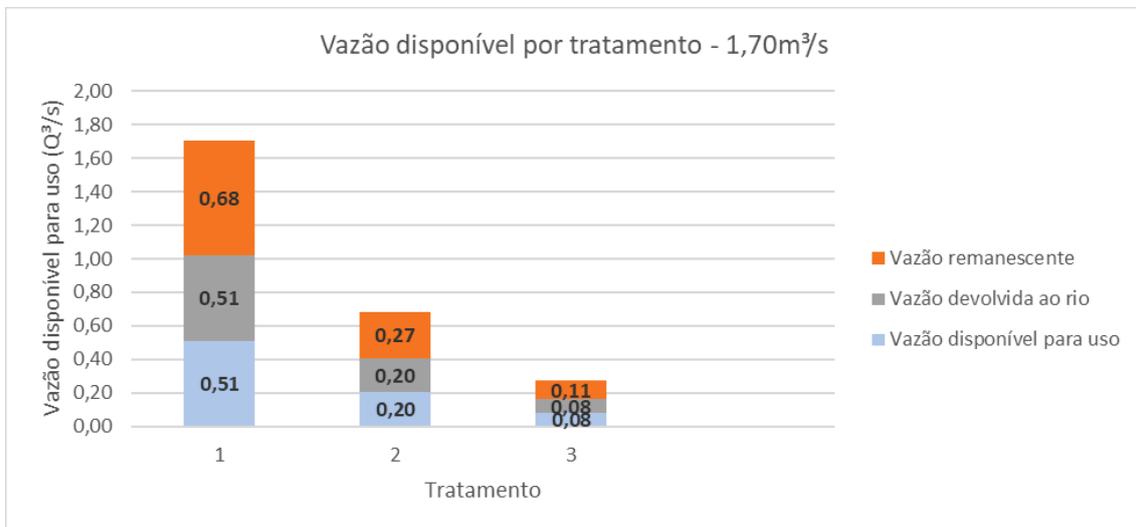
FONTE: O autor (2024).

Figura 164 - Custo de cada tecnologia de tratamento para 95% de vazão da curva de permanência (EE4)



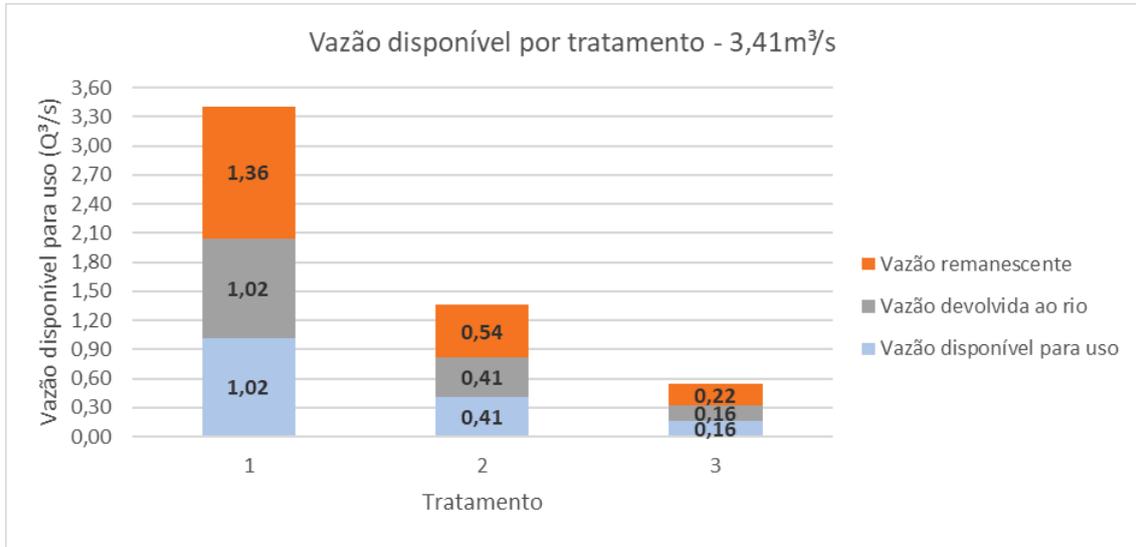
FONTE: O autor (2024).

Figura 165 - Vazão disponível para usos distintos para 10% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 95% (EE4)



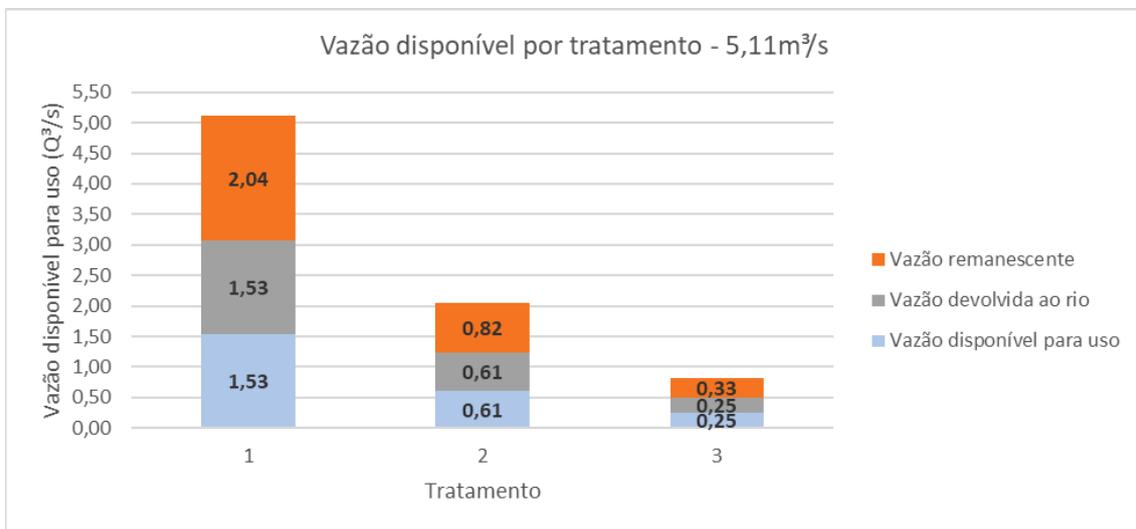
FONTE: O autor (2024).

Figura 166 - Vazão disponível para usos distintos para 20% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 95% (EE4)



FONTE: O autor (2024).

Figura 167 - Vazão disponível para usos distintos para 30% de captação da vazão do rio e curva de permanência com probabilidade de ocorrência de 95% (EE4)



FONTE: O autor (2024).