

ARTIGO**ANÁLISE DO CUSTO EVITADO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ – PA****ANALYSIS OF AVOIDED COST FOR WATER TREATMENT IN THE MUNICIPALITY OF TUCURUÍ – PA****AIRA LUCINDA DE SOUSA BARROSO¹****RICARDO OLIVEIRA QUINTANILHA²****CARLOS EDUARDO AGUIAR DE SOUZA COSTA³****MARIA LUIZA RODRIGUES MOREIRA⁴****RESUMO**

A água é um bem essencial, entretanto, este recurso tem enfrentado desafios com o crescimento populacional desenfreado, aumento do consumo e falhas no planejamento urbano. Adicionalmente, o crescimento populacional traz consigo a necessidade de melhorias nos sistemas sanitários, sobretudo da qualidade da água. Desta forma, este estudo foi realizado no município de Tucuruí, estado do Pará, baseado na Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no km 04 da rodovia "TransCametá" (BR-422), a fim de realizar a valoração econômica através do método de custo evitado. Para isso, foram estimados os custos com insumos, funcionários, energia elétrica e manutenção e limpeza dos filtros e bombas utilizadas no sistema, totalizando R\$ 157.060,75 e, além disso, foi realizada uma projeção populacional pelo cálculo aritmético para o ano de 2024 para que fosse obtido o custo a ser pago por habitante por mês, que resultou no mínimo de R\$ 1,66. Por fim, foram propostos diferentes valores a fim de obter excedente financeiro que visem a implantação de melhorias na ETA.

Palavras-chave: valoração econômica; abastecimento de água; ETA.

ABSTRACT

Water is an essential commodity; however, this resource has faced challenges due to unbridled population growth, increased consumption, and flaws in urban planning. In addition, population growth brings with it the need for improvements in sanitation systems, especially water quality. Therefore, this study was carried out in the municipality of Tucuruí, state of Pará, based on the Water Treatment Plant (ETA) located at km 04 of the "TransCametá" highway (BR-422) in order to perform

1. Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário de Tucuruí.
aira.barroso@tucuruí.ufpa.br

2. Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário de Tucuruí.
ricardo.quintanilha@tucuruí.ufpa.br

3. Doutor, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário de Tucuruí.
cecosta@ufpa.br

4. Mestra, Faculdade de Administração, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. luizaraiteru@gmail.com

the economic valuation using the avoided cost method. To this end, the costs of inputs, employees, electricity, and maintenance and cleaning of the filters and pumps used in the system were estimated, totaling R\$ 157,060.75. In addition, a population projection was made using arithmetic calculation for the year 2024 to obtain the cost to be paid per inhabitant per month, which resulted in a minimum of R\$ 1.66. Finally, different values were proposed in order to obtain profits aimed at implementing improvements in the ETA.

Keywords: economic valuation; water supply; water treatment station.

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial, sendo um dos recursos naturais de suma importância para a sobrevivência humana e de outros seres vivos, entretanto, este recurso tem enfrentado desafios com o crescimento populacional desenfreado, aumento do consumo e falhas no planejamento urbano, tornando necessário maiores investimentos para garantir o abastecimento público de água de qualidade (Jain; Singh, 2024; Babel *et al.*, 2020).

Destarte, o aumento da demanda por recursos hídricos, devido ao crescimento populacional, tem gerado pressão sobre os sistemas de abastecimento de água das cidades. O tratamento adequado da água é fundamental para garantir a saúde pública e a preservação dos ecossistemas. No entanto, além dos aspectos técnicos, o tratamento da água envolve questões econômicas, políticas e ambientais que exigem uma abordagem integrada, especialmente no que diz respeito à valoração ambiental (Saravanan *et al.*, 2021).

O bom gerenciamento dos recursos hídricos e do saneamento básico são indispensáveis para manter a água em boas condições para atendimento de abastecimento, recreação, pesca entre outros diversos usos deste recurso (Khilchevskyi; Karamushka, 2021; Mushtaq, 2020). Nesse âmbito, a Lei Nº 9433, de 8 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos que visa trazer providências em prol do gerenciamento e proteção de recursos hídricos. Um dos objetivos dessa lei é “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Brasil, 1997, p. 1), mostrando o alinhamento que as diretrizes legais têm com o que a sociedade almeja.

A resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 estabelece padrões de potabilidade a serem atendidos. No entanto, Elliott *et al.* (2025) nos alertam que uma água considerada potável ainda pode causar contaminações por substâncias não legisladas, tendo em vista a complexidade de detecção de certos contaminantes na água. É necessário ter uma boa qualidade nos serviços de abastecimento de água, pois a proliferação de doenças de veiculação hídrica pode acarretar internações e consequentemente o sobrecarregamento nos serviços de saúde pública do município.

Em relação a dados mais abrangentes sobre saneamento o Instituto Trata Brasil informa que 32.037.802 brasileiros não dispõem de acesso à água (SNIS, 2022). Além disso, também há a população que não recebe água tratada, acarretando 191.418 internações devido doenças de veiculação hídrica e 2.306 óbitos devido a tais enfermidades (DATASUS, 2022). Tucuruí por sua vez conta abastecimento de água e atende 94,79% da população (SNIS, 2021). Porém, a qualidade da água ainda é um desafio na cidade, pois o tratamento é feito de forma simplificada. Com base em tantos indicadores negativos sobre a qualidade do saneamento, é notória a importância do comprometimento das gestões públicas em oferecer serviços eficientes para fomentar o bem-estar da população atendida, além de trazer benefícios à economia atrelados à boa administração.

Para facilitar a compensação dos danos ambientais causados por fontes antrópicas, ou para uma melhor qualidade de serviços prestados para a população, são adotados alguns métodos de valoração ambiental (Zhai; Zhang; Zhao, 2021). Essa abordagem se constitui em um conjunto de técnicas e métodos objetivando atribuir valor a um ativo ambiental ou serviços ambientais que a natureza fornece, da mesma forma aos impactos e alterações no meio resultantes de fontes antrópicas (Arias-Arévalo *et al.*, 2018). Ela é essencial para a gestão sustentável dos recursos naturais, pois possibilita quantificar economicamente os benefícios ambientais, facilitando a incorporação desses valores nas decisões de investimento e políticas públicas.

Desta forma, devido a defasagem do saneamento básico, em especial o de tratamento de água no município de Tucuruí, o presente trabalho busca por meio dos métodos de valoração que a literatura fornece, escolher o mais adequado para o estudo de caso e realizar estimativas de valor econômico atribuído a um serviço que o meio ambiente nos fornece.

2 VALORAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A água, um recurso essencial para a vida, a produção agrícola, a indústria e a manutenção dos ecossistemas, possui um papel central no desenvolvimento econômico e social (Weerasooriya *et al.*, 2021). No entanto, a sua importância transcende as simples aplicações econômicas, uma vez que os serviços ecossistêmicos associados aos sistemas hídricos incluem a regulação do clima, a manutenção da biodiversidade aquática, a purificação natural e o suporte a processos ecológicos fundamentais (Coelho *et al.*, 2021; Young; Spanholi, 2020). Devido à dificuldade de precificar esses benefícios não tangíveis e muitas vezes invisíveis, a água tem sido historicamente subvalorizada, o que leva à sua exploração excessiva, à degradação ambiental e à má gestão dos recursos hídricos (Sitoula, 2020).

A valoração de recursos hídricos é essencial para corrigir essas falhas de mercado e orientar a alocação eficiente e sustentável da água. Para isso, o processo de valoração utiliza métodos que buscam capturar o valor total do recurso hídrico, incluindo os usos comerciais, agrícolas, industriais e domésticos, bem como os serviços ambientais associados, como o controle de enchentes, a recarga de aquíferos, a manutenção de habitats aquáticos e os benefícios recreativos e culturais (De Medeiros; Fontgalland, 2024). A importância de uma valoração precisa se tornar evidente quando consideramos que, sem essa abordagem, os custos ambientais da degradação e poluição dos recursos hídricos permanecem invisíveis, e a tomada de decisões sobre o uso e a distribuição da água frequentemente favorece interesses de curto prazo em detrimento da sustentabilidade de longo prazo (Feng, 2021).

A valoração de recursos hídricos está fortemente ligada ao conceito de externalidades, que ocorrem quando o impacto do uso ou poluição de um recurso não é totalmente internalizado nos custos de produção ou consumo (Bellanger *et al.*, 2021). No caso da água, essa externalidade é particularmente evidente em regiões onde os custos da contaminação ou do esgotamento das fontes hídricas não são refletidos no preço da água, o que incentiva o uso excessivo ou irresponsável. Como resultado, muitas bacias hidrográficas enfrentam a escassez de água, e os sistemas aquáticos são degradados pela poluição e pela sobrecarga de demanda. A valoração ambiental surge, portanto, como uma forma de internalizar essas externalidades, ajudando a refletir os verdadeiros custos sociais e ambientais

associados ao uso da água (Selofite, 2024).

Os métodos de valoração de recursos hídricos podem ser divididos em categorias baseadas em mercado e em preferências declaradas ou reveladas (Baldim, 2022). Os métodos baseados no mercado incluem, por exemplo, o método de custo de reposição, que avalia o quanto custaria substituir ou restaurar um serviço hídrico natural degradado por uma solução tecnológica ou artificial. Esse método é útil quando há alternativas tecnológicas viáveis, mas muitas vezes subestima o valor total dos serviços ambientais, pois não consegue capturar os valores intangíveis ou os benefícios sociais e culturais associados aos recursos hídricos (Da Cunha *et al.*, 2020).

Os métodos de preferências declaradas, como o método de valoração contingente (MVC), são usados quando os recursos hídricos fornecem benefícios que não estão diretamente refletidos nos mercados (Silva *et al.*, 2021). O MVC envolve a criação de cenários hipotéticos nos quais as pessoas são questionadas sobre o quanto estariam dispostas a pagar pela melhoria ou preservação da qualidade da água. Embora eficaz para captar o valor dos usos não mercadológicos da água, como a sua importância estética, cultural e ecológica, esse método enfrenta desafios relacionados a vieses de resposta, como o viés estratégico, em que os entrevistados podem inflacionar ou subestimar suas respostas de acordo com suas crenças ou interesses (Haab; Lewis; Whitehead, 2020).

Em resumo, a valoração de recursos hídricos é uma ferramenta essencial para integrar o valor dos serviços hídricos nas decisões econômicas, ambientais e políticas. Ao fornecer uma medida econômica dos benefícios e custos associados à água, essa abordagem contribui para uma gestão mais sustentável e eficiente, ao mesmo tempo em que promove a conservação dos ecossistemas aquáticos. No entanto, é fundamental que a valoração seja aplicada de forma holística, reconhecendo tanto os aspectos econômicos quanto os valores culturais e sociais da água, para garantir que as políticas de gestão hídrica promovam a equidade, a justiça e a sustentabilidade a longo prazo (Figueiredo, 2024).

3 CUSTO EVITADO E RECURSOS HÍDRICOS

O conceito de custo evitado aplicado à infraestrutura hídrica é um elemento central na economia ambiental e na engenharia de recursos hídricos, servindo como uma abordagem metodológica para quantificar os benefícios econômicos advindos de

investimentos em estratégias de prevenção, conservação e modernização. Ele se refere aos custos que deixam de ser incorridos devido a intervenções antecipatórias que evitam a degradação ou falhas no sistema, prevenindo assim gastos maiores no futuro (Diagne *et al.*, 2020).

No contexto da infraestrutura hídrica, que abrange sistemas de abastecimento, tratamento de água, esgotamento sanitário, controle de enchentes e drenagem urbana, o custo evitado é fundamental para justificar economicamente ações que visam a garantir a sustentabilidade e a resiliência desses sistemas frente a pressões crescentes (Giammar *et al.*, 2021).

A infraestrutura hídrica está exposta a múltiplos riscos, incluindo degradação física, pressões demográficas, crescimento urbano desordenado e, mais recentemente, impactos decorrentes das mudanças climáticas (Fernández *et al.*, 2020). Esses riscos demandam soluções que transcendam o modelo tradicional de manutenção corretiva, movendo-se em direção a abordagens preventivas e adaptativas. O custo evitado reflete o valor potencial que se economiza ao adotar medidas preventivas, que podem ser infraestruturais, ecológicas ou tecnológicas, em vez de arcar com os gastos elevados de intervenções corretivas e emergenciais após a ocorrência de falhas (Ćetković *et al.*, 2022).

No que tange à manutenção preventiva das infraestruturas hídricas, o custo evitado pode ser observado, por exemplo, nas redes de distribuição de água e nas estações de tratamento. A falha de uma tubulação principal em um sistema de distribuição de água pode acarretar uma série de custos elevados: desde o conserto emergencial e a substituição de componentes danificados até a interrupção no fornecimento, que pode afetar diretamente a vida cotidiana da população e as operações industriais e comerciais (Yerri *et al.*, 2017).

Assim, eventos como vazamentos não apenas resultam em desperdício de água, mas também podem causar erosão do solo e danificar infraestruturas circunvizinhas. Assim, o investimento em monitoramento contínuo e manutenção preventiva dessas redes representa um custo evitado ao impedir colapsos sistêmicos que demandariam reparos emergenciais custosos e que poderiam desencadear outros problemas secundários, como a contaminação do sistema por infiltrações ou colapsos de estradas (Vineyard *et al.*, 2020).

Na esfera da modernização tecnológica, o conceito de custo evitado é aplicável

à implementação de tecnologias mais eficientes e sustentáveis nos processos de tratamento de água e esgoto. Tecnologias avançadas, como membranas filtrantes, sistemas de osmose reversa e desinfecção por radiação ultravioleta, podem exigir um investimento inicial mais elevado, mas evitam custos futuros relacionados ao tratamento inadequado de contaminantes emergentes, como metais pesados, resíduos farmacêuticos ou produtos químicos persistentes. Além de assegurar a qualidade da água tratada, essas tecnologias podem prolongar a vida útil das estações de tratamento e reduzir a necessidade de atualizações constantes, gerando economias substanciais ao longo do tempo (Bhojwani *et al.*, 2019).

A proteção de bacias hidrográficas é outro ponto crucial no cálculo do custo evitado em infraestruturas hídricas. A degradação desses ecossistemas leva ao aumento da carga de poluentes nos corpos hídricos, o que exige tratamentos mais complexos e dispendiosos nas estações de tratamento de água. A manutenção e recuperação dessas áreas garantem que os serviços ecossistêmicos prestados pelos ecossistemas sejam preservados, evitando custos associados à filtração artificial, ao tratamento avançado de água e à remediação de corpos d'água contaminados. Assim, a proteção de áreas naturais é uma estratégia de custo evitado que gera benefícios econômicos, ambientais e sociais de longo prazo (Barrial-Lujan *et al.*, 2023).

A gestão de águas residuais também é um campo onde o conceito de custo evitado é amplamente aplicável. Sistemas de tratamento de esgoto que funcionam de forma eficaz não apenas evitam a contaminação de corpos d'água, mas também impedem a propagação de doenças de veiculação hídrica. Em regiões onde os sistemas de saneamento são insuficientes, os custos com saúde pública, perda de produtividade e impacto ambiental são elevados. Investir em redes de coleta e estações de tratamento de esgoto adequadas gera custos evitados significativos, prevenindo tanto danos à saúde pública quanto à economia local, especialmente em setores como turismo e pesca, que dependem da qualidade dos recursos hídricos (Lokhande; Kalbar, 2024).

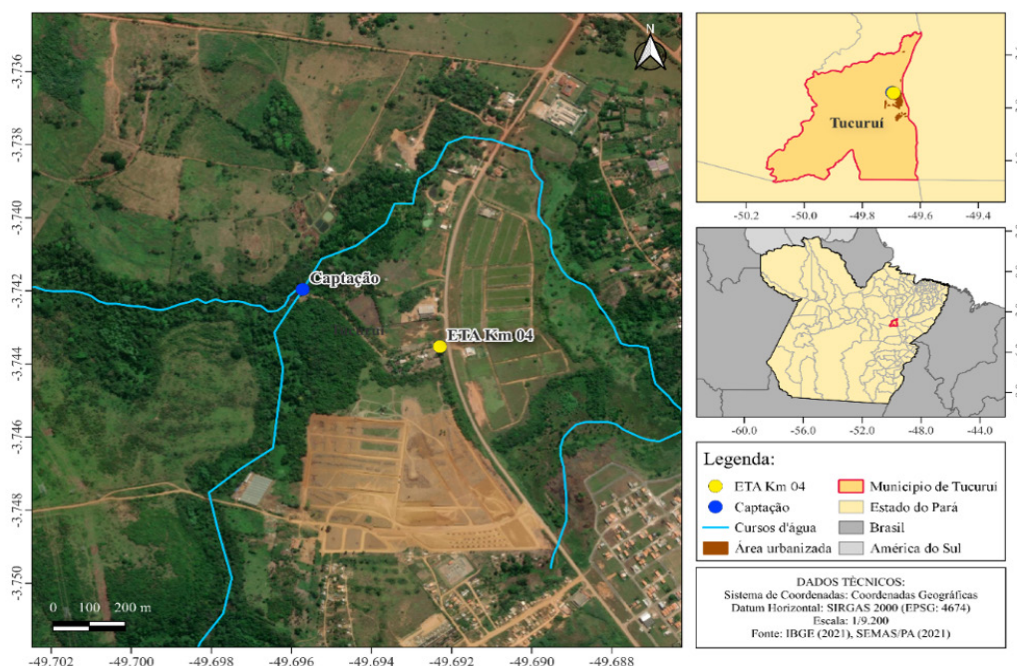
4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

O município de Tucuruí fica localizado na região Sudoeste do Estado do Pará, com uma área territorial de 2.084,289 km², população de 91.306 habitantes e densidade

demográfica de 43,81 hab./km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022). O rio Tocantins é o principal recurso hídrico desta região, onde se situa a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, considerada uma das maiores usinas hidrelétricas do território nacional.

Figura 1 - Mapa de localização da ETA do km 04 e sua Captação no Igarapé Santos



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com base em informações obtidas por meio de consulta técnica junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto “Nossa Água”, responsável pelo abastecimento público de água do município de Tucuruí, verificou-se que o sistema conta com uma unidade localizada no km 04 da rodovia TransCametá (BR-422), responsável pelo atendimento de 25 bairros, com produção estimada de aproximadamente 25.000 m³/dia. Segundo os dados fornecidos pela concessionária, a unidade realiza a captação de água no Igarapé Santos e a conduz a um sistema composto por 12 filtros, cada um com capacidade de 90 m³, operados por três conjuntos de motobombas de 60 CV. O tratamento da água é realizado por meio da aplicação de sulfato de alumínio e hipoclorito de cálcio, caracterizando o processo adotado na Estação como filtração direta.

4.2 Método de Valoração

No presente trabalho, em função do estudo de caso e de suas especificidades, foi definida uma estratégia de valoração ambiental voltada à análise da ineficiência do tratamento de água, por meio da estimativa de valores econômicos. Optou-se pela utilização de um método da função da produção, por empregar técnicas mais simplificadas de definição de valores, nas quais o recurso ambiental é tratado como insumo ou fator de produção. Nessa perspectiva, foi adotado o método de custos evitados, entendido como a estimativa dos gastos necessários para substituir o bem original de modo a garantir a satisfação do usuário (Soares; Diniz; Silva, 2020).

Foi realizada uma estimativa dos custos de operação da ETA do km 04 através do contato com funcionários responsáveis pelo tratamento. Desta forma, foi feito o levantamento da quantidade de produtos utilizados por dia, sendo este, posteriormente, estimado para um mês (30 dias), quantidade de funcionários, gasto com energia elétrica e gastos com limpeza e manutenção dos filtros e bombas utilizados no sistema. Ressalta-se que os custos de pessoal considerados no estudo se referem aos salários-base, não incluindo encargos trabalhistas indiretos, como contribuições previdenciárias, Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), férias e 13º salário, de modo que os valores estimados representam uma aproximação conservadora do custo total.

Os valores de mercado para o sulfato de alumínio e hipoclorito de cálcio foram consultados na plataforma do governo Painel de Preços e obtidos o custo unitário por kg utilizado, sendo assim, foi multiplicado a quantidade utilizada por mês pelo custo unitário, conforme estabelecido na Equação 1.

$$C_i = C_u * q \quad \text{Equação 1}$$

Onde: C_i : Custo do insumo (R\$/mês); C_u : Custo unitário (R\$/kg); q : Quantidade de insumo (kg/mês).

Para a quantificação da energia consumida foi utilizada a equação proposta por Lima, Santos e Mensah (2019) disposta abaixo (Equação 2), que estima valores gastos de energia elétrica conforme o tipo de tratamento aplicado na Estação de Tratamento de Água, adotando o intervalo de 0,004 a 0,009 para o tratamento por sedimentação por coagulação. Neste trabalho, foi utilizado o valor limite para o consumo de energia (C_e) igual a 0,009 por se tratar de um sistema de filtração direta. O resultado da energia total consumida no tratamento de água foi multiplicado pelo preço do KWh, que, segundo a Equatorial Pará (2024) é igual a R\$ 0,962.

$$E_t = Q \cdot C_e$$

Equação 2

Onde: E_t : Energia total consumida no tratamento de água (KWh/mês); Q : Vazão de água tratada (m³/mês); C_e : Consumo de energia (KWh/m³).

Quanto aos gastos com manutenção e limpeza dos filtros e das bombas, foram considerados 10% da somatória dos gastos anteriores (MPB Engenharia, 2021). Por fim, foram somados todos os gastos encontrados para obtenção do Custo total gasto na unidade para a realização do tratamento.

Foi realizado um levantamento populacional e demográfico do local, onde foi projetada a população para o ano de 2024, empregando o cálculo aritmético proposto por Von Sperling (2005) ilustrado nas Equações 3 e 4, utilizando os dados da Tabela 1.

$$P_f = P_0 + K_a \cdot (t_f - t_0)$$

Equação 3

Sendo:

$$K_a = (P_5 - P_0) / (t_5 - t_0)$$

Equação 4

Onde: P_f : População final (habitantes); P_0 : População do primeiro censo (habitantes); P_5 : População do último censo (habitantes); K_a : Taxa constante; t_f : Ano final (2024); t_0 : Ano do primeiro censo; t_5 : Ano do último censo.

Tabela 1 - Dados populacionais do município de Tucuruí - PA

POPULAÇÃO		
Índice	Ano - t	População - P (hab)
0	1970	9921
1	1980	61123
2	1991	81623
3	2000	73798
4	2010	97128
5	2022	91306

Fonte: Adaptado IBGE (2024).

Desta forma, o Custo total foi dividido pela população projetada para o ano

de 2024, para alcançar o valor a ser pago por habitante para receber a água tratada e com qualidade, propondo diferentes valores com diferentes excedentes financeiros para investimentos futuros na ETA.

Neste estudo, o método de custo evitado foi aplicado sob uma abordagem operacional simplificada, considerando os custos necessários para garantir o tratamento adequado da água como *proxy* dos custos que seriam incorridos em cenários de degradação da qualidade da água, tais como aumento de gastos com saúde pública, necessidade de tratamentos mais avançados ou perdas associadas à distribuição de água inadequadamente tratada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o levantamento de insumos realizado, estima-se que são utilizados diariamente, na unidade de tratamento do km 04, seis sacos de 25 kg de sulfato de alumínio e um saco de 10 kg de hipoclorito de cálcio, totalizando aproximadamente 160 kg de insumos por dia. A partir dos preços dos insumos e da aplicação da Equação 1, obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 2 - Custos de insumos por mês

Insumo	Quantidade (kg/mês)	Custo unitário (R\$/kg)	Custo total (R\$/mês)
Sulfato de alumínio	4500	R\$ 26,29	R\$ 118.305,00
Hipoclorito de cálcio	300	R\$ 27,00	R\$ 8.100,00

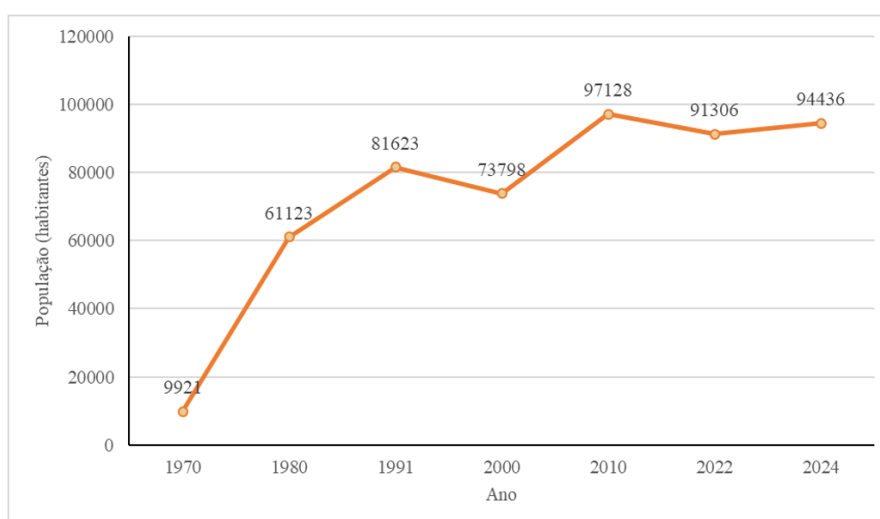
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Quanto aos funcionários, resultou em três funcionários com salário-mínimo e um engenheiro sanitaria e ambiental recebendo 4 salários-mínimos, totalizando R\$ 9.884,00 gastos com essa categoria. A energia elétrica total consumida no tratamento de água foi igual a 6750 KWh/mês, que resultou em R\$6.493,50 gastos por mês. O adicional de 10% referente a manutenção e limpeza dos filtros e bombas foi de R\$ 14.278,25. Em síntese, o Custo total alcançado foi igual a R\$ 157.060,75 por mês.

Considerando o cálculo realizado para a projeção populacional, obtivemos o valor da taxa constante (K_a) igual a 1.565,10 e o de população para o ano de 2024 igual a 94.436 habitantes. A Figura 2 mostra um gráfico da variação populacional obtida

para a área de estudo. Para fins de comparação, a estimativa populacional oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indica que o município de Tucuruí possui população de 96.238 habitantes. Registra-se que essa estimativa foi oficialmente divulgada após o período de realização do estudo, motivo pelo qual não foi utilizada como dado de entrada nos cálculos. Observa-se que esse valor é próximo ao obtido pelo método aritmético empregado nesta pesquisa (94.436 habitantes), correspondendo a uma diferença relativa inferior a 2%, o que reforça a adequação do método adotado para os objetivos da análise e indica que tal diferença não altera de forma significativa os resultados e as conclusões apresentadas.

Figura 2 - Variação populacional do município de Tucuruí - PA



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Antes da construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHT) a população do município era de 9.921 habitantes no ano de 1970. Caramelo e Cidade (2004) apontam que a construção provocou grande estímulo de migrantes originários de áreas próximas e também de outras regiões empobrecidas, incluindo Norte e Nordeste, em busca de emprego. Isso resultou na alteração territorial, urbana, populacional e ambiental do município.

Além das mudanças demográficas, a UHT teve significativos impactos ambientais, incluindo a alteração de ecossistemas e desmatamento, afetando diretamente as comunidades locais. Embora a usina tenha proporcionado oportunidades econômicas, como novos empregos, também trouxe desafios, como a competição

por recursos e o aumento da desigualdade social. A discussão sobre os efeitos da usina deve incluir uma análise abrangente dos benefícios e desafios, enfatizando a importância de um desenvolvimento sustentável e inclusivo para a região.

Por fim, a divisão do Custo total pela população atendida foi de R\$ 1,66 por habitante por mês. Os valores propostos foram de R\$ 1,70, R\$ 1,75, R\$ 1,85 e R\$ 2,00, com seus respectivos excedentes financeiros apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores propostos e excedentes financeiros obtidos por mês

Valor proposto	Excedente Financeiro
R\$ 1,70	R\$ 3.480,78
R\$ 1,75	R\$ 8.202,59
R\$ 1,85	R\$ 17.646,21
R\$ 2,00	R\$ 31.811,63

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O valor recebido no excedente financeiro poderá ser utilizado para investimentos em melhorias, como a aquisição de equipamentos adequados para realizar o monitoramento da água, contratação de mão de obra especializada, investimento de tecnologias de análises de vazamentos ou qualidade das tubulações utilizadas para eventual manutenção ou troca e futuras ampliações do sistema.

A margem para reinvestimento da Usina Hidrelétrica de Tucuruí em melhorias é crucial para a sustentabilidade do sistema hídrico. Alocar recursos para a aquisição de equipamentos de monitoramento da água e a contratação de mão de obra especializada garante a qualidade e eficiência das operações. Além disso, investir em tecnologias para detectar vazamentos e avaliar a qualidade das tubulações pode prevenir problemas críticos, reduzir custos de manutenção e assegurar um fornecimento contínuo e eficaz. Contudo, as perdas associadas a vazamentos não foram incorporadas aos cálculos deste estudo, em razão da ausência de dados operacionais sistematizados e confiáveis sobre o volume de água perdido na rede de distribuição da unidade analisada. Dessa forma, a análise concentrou-se nos custos diretamente observáveis do processo de tratamento, de modo que os valores estimados representam uma aproximação conservadora do custo total.

Como medidas futuras, propõe-se implementar a cobrança da taxa de acordo

com a variabilidade da renda, como exemplo: usuários com renda familiar inferior a um salário-mínimo pagariam a taxa de R\$1,50 mensal; usuários com renda familiar entre 1 a 3 salários-mínimos, pagariam a taxa de R\$ 1,75 mensal; enquanto que usuários com renda familiar acima de 3 salários mínimos, pagariam a taxa de R\$ 2,00 mensal. Portanto, recomenda-se a realização de um levantamento de dados acerca da renda familiar, aceitação e adequação dos valores propostos.

Além da proposta de cobrança diferenciada da taxa, é fundamental garantir que o sistema de tarifas seja acompanhado por campanhas de conscientização e educação ambiental. Tais iniciativas podem ajudar a informar a população sobre a importância da contribuição para a manutenção dos serviços e a preservação dos recursos hídricos. A comunicação clara sobre como os valores arrecadados serão utilizados para melhorias na infraestrutura e no monitoramento da água também pode aumentar a aceitação e a colaboração dos usuários. Dessa forma, a implementação da taxa não apenas promoverá justiça social, mas também incentivará um maior engajamento da comunidade em práticas sustentáveis.

6 CONCLUSÃO

Portanto, com base nas estimativas realizadas na valoração do custo evitado, foi possível observar que se cada indivíduo que é contemplado pelo abastecimento de água municipal arcar com mais de R\$ 1,70 por mês é possível melhorar a qualidade de tratamento de água na ETA. Porém, mesmo que a água saia com ótima qualidade da estação, ainda há outros desafios a serem enfrentados, como a rede de tubulação antiga e encrustada prejudicando a qualidade de água que chega nas torneiras dos usuários.

Seguindo a mesma linha, em termos de serviços ecossistêmicos proporcionados pela água, é essencial reconhecer que os ecossistemas aquáticos desempenham funções cruciais para o equilíbrio ecológico e para o bem-estar humano. Rios, lagos, zonas úmidas e aquíferos atuam como reguladores de fluxos hídricos, mitigando os impactos de enchentes, secas e outros eventos extremos. Adicionalmente, esses sistemas fornecem habitat para uma vasta gama de espécies, promovendo a biodiversidade e sustentando cadeias alimentares que vão desde pequenos invertebrados aquáticos até predadores de topo, como aves e mamíferos. A destruição ou degradação desses ecossistemas, muitas vezes resultante da má gestão dos recursos hídricos, pode levar à perda irreparável de serviços ecossistêmicos essenciais, cujos custos dificilmente podem ser totalmente

quantificados ou substituídos por soluções tecnológicas.

Da mesma forma, o conceito de custo evitado aplicado à infraestrutura hídrica é essencial para um planejamento eficiente e sustentável. Ele demonstra que os investimentos em prevenção, resiliência e modernização tecnológica, bem como na preservação de ecossistemas naturais, geram economias substanciais a longo prazo, tanto em termos financeiros quanto ambientais e sociais. Ao se antecipar às falhas e aos impactos das mudanças climáticas, o custo evitado não apenas preserva os recursos hídricos e as infraestruturas que os sustentam, mas também assegura a continuidade de serviços essenciais à população e à economia, minimizando os gastos com soluções corretivas e emergenciais.

O excedente financeiro alcançado com a proposta de cobrança iria contemplar os gastos com as problemáticas do sistema, desde a captação, até a chegada da água nas torneiras dos habitantes, melhorando assim a satisfação do usuário com o serviço, além de melhorar a saúde da população com a diminuição dos casos de doenças por veiculação hídrica. Ressalta-se que os valores estimados representam uma aproximação conservadora do custo evitado, baseada nos custos operacionais do sistema, não abrangendo integralmente externalidades econômicas e ambientais associadas à degradação da qualidade da água.

REFERÊNCIAS

ARIAS-ARÉVALO, Paola et al. Widening the evaluative space for ecosystem services: A taxonomy of plural values and valuation methods. **Environmental values**, v. 27, n. 1, p. 29-53, 2018.

BABEL, Mukand S. et al. Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. **Environmental Research**, v. 185, p. 1-12, 2020.

BALDIM, Matheus Morganti. **Valoração dos serviços ecossistêmicos como instrumento para a criação de unidades de conservação: um estudo de caso no Distrito do Saí (São Francisco do Sul/SC)**. 2022. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

BARRIAL-LUJAN, Abel Isaias. et al. Economic valuation of the ecosystem of the high Andean hydrographic basin tributary of the Chumbao River, through multicriteria

analysis. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-11, 2023.

BELLANGER, Manuel *et al.* Cross-sectoral externalities related to natural resources and ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 184, p. 1-10, 2021.

BHOJWANI, Sumay *et al.* Technology review and data analysis for cost assessment of water treatment systems. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2749-2761, 2019.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

CARAMELO, Sérgio Ulisses Jatobá; CIDADE, Lúcia Cony Faria. Gestão do Território e Conflitos Ambientais na Represa de Tucuruí Na Amazônia Brasileira. **Polígonos Revista de Geografia**, [S. L], n. 14, p. 53-77, 2004.

ĆETKOVIĆ, Jasmina *et al.* Financial and economic investment evaluation of wastewater treatment plant. **Water**, v. 14, n. 122, p. 1-23, 2022.

COELHO, Nayra Rosa *et al.* Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 409-415, 2021.

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

CUNHA, Darllan Collins da *et al.* Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 189-212, 2020.

DIAGNE, Christophe. *et al.* InvaCost, a public database of the economic costs of biological invasions worldwide. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2020.

ELLIOTT, Sarah M. *et al.* Emerging Contaminants in Source and Finished Drinking Waters Across Minnesota (US) and Potential Health Implications. **International Journal**

of Environmental Research and Public Health, v. 22, n. 7, p. 1-23, 2025.

ENGENHARIA MPB. **Valores financeiros de Referência: Aexo I**. 2021. Disponível em: https://agir.sc.gov.br/uploads/municipio/4290/JYrMQF_lxUVXvV_Y0svgVGalocCdhCvX.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

FENG, Yashuang *et al.* Review on pollution damage costs accounting. **Science of the Total Environment**, v. 783, p. 1-11, 2021.

FERNÁNDEZ, José Enrique *et al.* Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. **Agricultural Water Management**, v. 237, p. 1-13, 2020.

FIGUEIREDO, Marcelo Machado. **O impacto dos princípios ambientais, sociais e governamentais na realização do direito fundamental à habitação e na promoção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado**: um estudo de caso da BSPAR Incorporações. 04. 112 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Programa de Pós-Graduação em Direito, Centro Universitário Christus, Fortaleza, 2024.

GIAMMAR, Daniel. *et al.* Cost and energy metrics for municipal water reuse. **ACS ES&T Engineering**, v. 2, n. 3, p. 489-507, 2021.

HAAB, Tim; LEWIS, Lynne; WHITEHEAD, John. **State of the art of contingent valuation**. Oxford research encyclopedia of environmental science, 2020.

JAIN, Sharad K.; SINGH, Vijay P. **Water resources systems planning and management**. Amsterdam: Elsevier, 2024. 922 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 31 dez. 2025.

KHILCHEVSKYI, Valentyn; KARAMUSHKA, Viktor. Global water resources: distribution and demand. *In*: **Clean Water and Sanitation**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 1-11

LOKHANDE, Shweta; KALBAR, Pradip P. Economic and environmental benefits of natural treatment systems for sewage treatment: A life cycle perspective. **Water**

Research, v. 257, p. 1-13, 2024.

MEDEIROS, Maria das Graças Negreiros de; FONTGALLAND, Isabel Lausanne. Economic instruments for water conservation: Charging for water use and the Pigouvian tax for mitigating water pollution. **Revista Interdisciplinar e do Meio Ambiente (RIMA)**, v. 6, n. 1, p. 1-18, 2024.

MUSHTAQ, Basharat *et al.* Management of water resources. *In: Environmental Management: Environmental Issues, Awareness and Abatement*. 2020. p. 1-46.

SARAVANAN, Anbalagan. *et al.* Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. **Chemosphere**, v. 280, p. 1-15, 2021.

SELOFITE, Bianca Grazielli. **Sustentabilidade ambiental em exposições de arte: uma perspectiva da economia circular**. 2024. 172 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024.

SILVA, Rafael *et al.* **Valoração econômica dos danos ambientais de Mariana: uma análise a partir do método de valor contingente**. 2021. 180 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

SITOUULA, Merina Lohani. **Ecosystem services in hydropower development policy and practice in Nepal**. 2020. Tese de Doutorado. RMIT University.

VINEYARD, Donald *et al.* Economic analysis of electrodialysis, denitrification, and anammox for nitrogen removal in municipal wastewater treatment. **Journal of cleaner production**, v. 262, p. 1-9, 2020.

WEERASOORIYA, R. R. *et al.* Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: a review. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 9, p. 12661-12709, 2021.

YERRI, Sreeganesh R. *et al.* Empirical analysis of large diameter water main break consequences. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 123, p. 242-248, 2017.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann; SPANHOLI, Maira Luiza. Uma visão econômica sobre a conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. **ComCiência**, Campinas, 5 out. 2020.

ZHAI, Tianlin; ZHANG, Dou; ZHAO, Chenchen. How to optimize ecological compensation to alleviate environmental injustice in different cities in the Yellow River Basin? A case of integrating ecosystem service supply, demand and flow. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, 2021.