

## **PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA MENSURAÇÃO ECONÔMICA DOS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA MELHORIA DE PEQUENOS SISTEMAS DE ESGOTO**

### **Eduardo Borges Lied<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Doutor em Engenharia Química. Bolsista no Itaipu Parquetec. Docente no curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Medianeira. Docente e pesquisador no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), da UTFPR, câmpus Curitiba.

### **Jéssica Froes de Brito Wendt<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental e Mestre em Tecnologias Ambientais. Analista Ambiental no Itaipu Parquetec.

### **Murilo Duma<sup>(3)</sup>**

Químico, Especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento, Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar)

### **Daniel Bartiko<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Ambiental na Itaipu Binacional. Mestre e Doutor na área de Recursos Hídricos e Saneamento.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Tancredo Neves, 6731. CEP: 85867-900 • Foz do Iguaçu, Paraná/Brasil - Tel: +55 (45) 3576 2714 - e-mail: [eduardo.bl@bolsista.pti.org.br](mailto:eduardo.bl@bolsista.pti.org.br)

## **RESUMO**

A valoração econômica dos benefícios ambientais gerados pela implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) é essencial para subsidiar políticas públicas e decisões de investimento. Este estudo apresenta uma metodologia estruturada para mensuração desses benefícios, baseada na definição de escopos analíticos, mapeamento de impactos ambientais positivos, definição de indicadores e aplicação de metodologias de valoração econômica ambiental. Os escopos foram definidos em três categorias principais: (i) novas ligações à rede coletora de esgoto, (ii) implantação ou otimização de estações de tratamento de esgoto e (iii) diminuição da carga poluidora lançada em corpos hídricos. Para cada escopo, foram identificados benefícios ambientais mensuráveis, como redução de nutrientes, sólidos suspensos e patógenos, aumento da disponibilidade de água de qualidade, mitigação de gases de efeito estufa e proteção de águas subterrâneas. A valoração econômica foi realizada com base nas categorias propostas pela literatura, incluindo consequências econômicas, custos de remediação, disposição a pagar e ações equivalentes. A última categoria compara os benefícios do tratamento de esgoto com práticas conservacionistas, como matas ciliares e wetlands urbanos. A metodologia também incorpora fatores de conversão monetária obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e documental, possibilitando a extrapolação dos resultados. Foram identificados diversos benefícios ambientais, como a redução de nutrientes, sólidos suspensos, patógenos e gases de efeito estufa, além da proteção de águas subterrâneas e aumento da provisão hídrica. Indicadores específicos foram definidos como métricas de cálculo para viabilizar a monetização dos impactos positivos associados a cada benefício.

**PALAVRAS-CHAVE:** valoração ambiental, custos evitados, esgotamento sanitário, indicadores ambientais, valor monetário e não monetário.

## **INTRODUÇÃO**

É de conhecimento geral que os serviços de saneamento básico trazem melhorias à qualidade de vidas das pessoas, sobretudo na saúde, com a redução de internações e de custos hospitalares, mas também em avanços na educação, na expansão do turismo, na valorização dos imóveis, na renda do trabalhador, na despoluição dos rios e na preservação dos recursos hídricos, entre muitos outros (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023).

No entanto, os benefícios ambientais gerados por esses investimentos são frequentemente subestimados devido à falta de sistematização nos trabalhos de quantificação, o que dificulta a elaboração de políticas públicas baseadas em evidências e a alocação eficiente de recursos. Segundo Dubeux (1999) um investimento público ambiental pode ser melhor configurado se precedido de uma avaliação econômica que evidencie os ganhos e as perdas sociais decorrentes da execução dos projetos.

Portanto, a ausência de ferramentas adequadas para mensurar os ganhos econômicos e ambientais advindos da  
**ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**

implantação e otimização de Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) constitui um desafio importante. Esse contexto exige o desenvolvimento de abordagens estruturadas e integradas que permitam quantificar os impactos positivos, fornecendo subsídios para a formulação de estratégias de sustentabilidade. De acordo com Sena et al. (2020), destacam-se três metodologias principais para valoração econômica e ambiental: (i) Custos de remediação, que calculam os investimentos necessários para mitigar impactos ambientais; (ii) Consequências econômicas, que analisam os efeitos positivos em setores como turismo e mercado imobiliário; e (iii) Disposição a pagar, que avalia o valor que a população atribui à melhoria ambiental.

## OBJETIVOS

Diante da lacuna existente na sistematização dessas informações, o presente trabalho propõe uma metodologia que integra indicadores ambientais e técnicas de valoração econômica para quantificar os benefícios associados à implementação, ampliação e otimização de SES.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia de valoração ambiental foi desenvolvida com o objetivo de mensurar, de maneira sistemática e estruturada, os benefícios ambientais associados à implantação dos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES). Inicialmente, torna-se fundamental definir os escopos de análise que direcionarão o estudo, estabelecendo os limites e objetivos específicos da avaliação.

Com base na escolha do escopo de análise, foi elaborado um roteiro metodológico (Figura 1) para garantir reprodutibilidade nos resultados:

1. Mapeamento de benefícios ambientais: identificação dos impactos positivos gerados pela implantação dos SES, tais como melhoria da qualidade da água e redução de cargas poluidoras.
2. Definição de indicadores ambientais: seleção de métricas que permitam quantificar os benefícios de forma objetiva e mensurável. Os valores de cada indicador ambiental serão quantificados com base na análise de dois cenários: (i) Situação anterior à implantação do SES e (ii) Situação posterior à implantação do SES. A diferença entre os dois cenários corresponde à poluição evitada ou carga poluidora reduzida, resultante dos benefícios gerados pela adoção do SES. Assim, os custos de despoluição evitados foram identificados como benefícios econômicos
3. Aplicação de metodologias de valoração econômica ambiental: utilização de técnicas reconhecidas para atribuir valor econômico aos benefícios ambientais identificados.

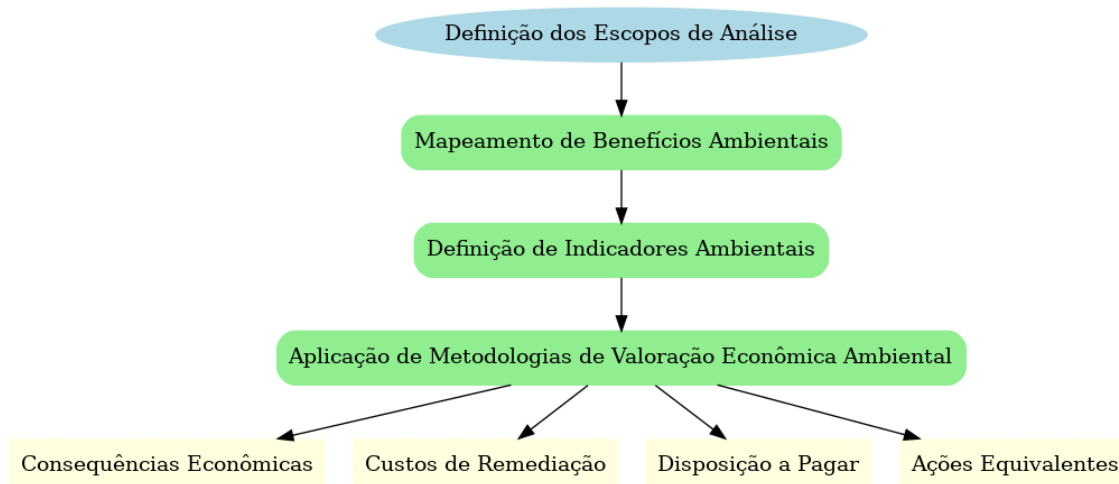
O desenvolvimento do item "3. Aplicação de metodologias de valoração econômica ambiental" baseia-se nas categorias de valoração econômica propostas por Sena et al. (2020) e USEPA (2015), as quais incluem:

1. Consequências econômicas: avaliação dos impactos financeiros diretos e indiretos gerados pela implantação dos SES, incluindo por exemplo, a redução de custos de mitigação dos danos causados pela emissão de CO<sub>2</sub>.
2. Custos de remediação: despesas associadas à mitigação de danos ambientais, como intervenções necessárias para restaurar ecossistemas degradados.
3. Disposição a pagar: quantificação do valor que a sociedade estaria disposta a investir para assegurar os benefícios ambientais proporcionados pelos SES.
4. Ações (ou impactos) equivalentes: estimativas de ganhos relacionados à redução de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P), considerando, por exemplo, práticas conservacionistas de solo e manejo de águas pluviais urbanas.

A categoria "Ações Equivalentes" foi criada para comparar os benefícios ambientais e econômicos de diferentes medidas de redução da poluição. Essa abordagem é fundamentada em documentos de agências de proteção ambiental dos Estados Unidos, que detalham os BMPs (Best Management Practices), e práticas desenvolvidas pela Environmental Protection Agency (EPA). Essas práticas visam controlar os impactos de fontes difusas de poluição em corpos d'água, reduzindo a carga de poluentes em águas pluviais e cursos d'água. Os BMPs fazem parte do Programa National Pollutant Discharge Elimination System (USEPA, 2025).

Um exemplo prático é a comparação entre a remoção de nutrientes por meio do tratamento de esgoto e a redução alcançada com a implantação de matas ciliares. Essas áreas de vegetação, situadas ao longo de rios e lagos, atuam como barreiras naturais, filtrando o escoamento superficial da água da chuva. Sem controle, o escoamento pode carrear nutrientes em excesso, como nitrogênio e fósforo, além de sólidos, para os corpos d'água. Assim, as matas ciliares são consideradas práticas conservacionistas, pois protegem o solo, preservam a qualidade da água e mitigando impactos

semelhantes aos tratados pelo sistema de esgoto.



**Figura 1: Fluxograma da metodologia de valoração ambiental associada aos Sistemas de Esgotamento Sanitário.**

### Fatores de Conversão Monetária e Não Monetária

A definição dos fatores de conversão monetária utilizados na valoração econômica dos benefícios ambientais representou uma etapa central do procedimento metodológico adotado neste estudo. Esses fatores viabilizam a extrapolação dos resultados e permitem a monetização dos impactos positivos identificados nos diferentes escopos analisados. Para isso, foi realizada uma ampla pesquisa documental e bibliográfica, reunindo informações de fontes técnicas e científicas, como artigos, livros, dissertações, teses e relatórios de instituições de referência, incluindo o Ipea, USEPA, IISD, Instituto Trata Brasil, entre outros.

Esses fatores foram associados diretamente aos indicadores ambientais definidos para cada escopo de análise, sendo utilizados como parâmetros para converter os impactos físicos (como redução de carga de nutrientes, remoção de sólidos, ou mitigação de gases de efeito estufa) em valores econômicos. Em situações em que a mensuração direta dos benefícios é complexa — como no caso da carga poluidora — foram adotados indicadores substitutos (proxys) baseados em custos evitados. Por exemplo, embora a remoção de fósforo do esgoto seja de difícil quantificação direta, é possível estimar seu valor com base nos custos que seriam necessários para remediar os impactos ambientais decorrentes da sua presença em corpos hídricos. Esse custo evitado reflete, de forma indireta, o benefício gerado pela remoção do poluente.

Por outro lado, em escopos onde os impactos possuem valor de mercado bem definido, como tarifas, preços de serviços ou custos operacionais, os cálculos foram realizados de forma direta, com base em dados consolidados. Um exemplo é a valoração da redução nas emissões de CO<sub>2</sub> associada ao menor consumo de energia elétrica nos processos de tratamento, cuja mensuração utiliza fatores reconhecidos internacionalmente para precificação das emissões evitadas.

Dessa forma, a integração dos fatores de conversão ao conjunto de indicadores consolida uma etapa metodológica essencial para transformar os benefícios ambientais em valores econômicos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Delimitação do Escopo

Este estudo propôs uma metodologia para a mensuração dos benefícios ambientais e econômicos associados à implantação e otimização de pequenos sistemas de esgotamento sanitário (SES). A proposta baseia-se na definição de escopos analíticos, delimitando parâmetros e objetivos específicos para avaliação (Quadro 1).

**Quadro 1: Escopos de análise e respectivas delimitações na avaliação dos benefícios ambientais e econômicos associados à implantação e otimização de SES.**

Escopo	Delimitação
1. Novas ligações na rede de esgoto	Análise dos benefícios ambientais e econômicos gerados pela ampliação da rede de

	esgoto e sua conexão a novas áreas
2. Planta de tratamento de esgoto: 2.1 Otimização da planta 2.2 Implementação da planta	Avaliação dos benefícios alcançados com a melhoria da eficiência operacional ou a implantação de estações de tratamento de esgoto
3. Diminuição da carga poluidora lançada no corpo hídrico	Quantificação dos impactos positivos associados à diminuição de poluentes nos recursos hídricos

Os três escopos propostos estruturam a análise benefícios ambientais e econômicos em áreas estratégicas dos SES. O escopo de “**Novas ligações na rede de esgoto**” avalia os impactos positivos da expansão da coleta em áreas não atendidas. Já o escopo de “**Planta de tratamento de esgoto**” foca na eficiência operacional das plantas existentes e na implementação de novas plantas em municípios não contemplados com SES. Por fim, o escopo de “**Diminuição da carga poluidora lançada no corpo hídrico**” quantifica os ganhos ambientais associados à redução de poluentes nos recursos hídricos, como a recuperação de ecossistemas e o cumprimento de padrões legais de qualidade da água.

### Benefícios ambientais

A implantação dos SES proporciona benefícios ambientais significativos, que foram mapeados para garantir que os ganhos sejam mensurados de maneira abrangente. Os principais benefícios são descritos no Quadro 2.

**Quadro 2: Benefícios ambientais identificados e seus respectivos significados para o escopo Diminuição da Carga Poluidora.**

Escopo	Benefício ambiental	Descrição
Diminuição da carga poluidora lançada no corpo hídrico	1. Redução da depleção de oxigênio no corpo hídrico	A diminuição de poluentes orgânicos reduz o consumo de oxigênio dissolvido, essencial para a sobrevivência de organismos aquáticos
	2. Redução da carga de sólidos suspensos	A diminuição da carga sólidos suspensos evita o assoreamento dos corpos hídricos e favorece a preservação dos habitats aquáticos.
	3. Redução de nutrientes	Nutrientes como fósforo e nitrogênio, ao serem controlados, previnem a eutrofização e a proliferação excessiva de algas e cianobactérias, que podem gerar zonas mortas e prejudicar o uso recreativo e ecológico dos corpos hídricos.
	4. Redução da contaminação por patógenos	O tratamento adequado do esgoto diminui a presença de microrganismos causadores de doenças, melhorando a qualidade sanitária das águas e protegendo a saúde pública.
	5. Melhoria do valor recreativo, turístico e paisagístico, além da biodiversidade aquática	Com a melhoria da qualidade da água, os corpos hídricos se tornam mais atrativos para atividades recreativas, promovem o turismo sustentável, embelezam as paisagens naturais e favorecem a conservação da biodiversidade local
	6. Diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEEs)	O tratamento eficiente do esgoto reduz emissões de GEE <sup>1</sup> provenientes de resíduos orgânicos em decomposição (carga poluidora remanescente), contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas
	7. Aumento de disponibilidade de água em melhor qualidade	A redução da carga poluidora contribui para a melhoria da qualidade da água, promovendo a maior disponibilidade de recursos hídricos em condições adequadas para diferentes usos.

**Notas:**

(1) Importante destacar que o carbono presente no esgoto doméstico é de origem biogênica, derivado de dejetos humanos relacionados à alimentação e processos metabólicos. Por isso, é classificado como carbono neutro, sem contribuição líquida para o aumento de gases de efeito estufa de origem fóssil.

Os benefícios ambientais destacados, principalmente aqueles relacionados a redução de nutrientes e DBO, estão associados à redução de passivos ambientais, como a minimização de possíveis multas por descumprimento das condicionantes da outorga e demais aspectos do licenciamento ambiental. Por esse motivo, indicadores legais e jurídicos não foram incluídos na pesquisa, considerando que esses aspectos já estão implicitamente abordados na mitigação dos passivos relacionados aos demais benefícios identificados.

No Quadro 3 são apresentados os resultados do mapeamento de benefícios ambientais que foram identificados para os escopos Novas ligações na rede de esgoto e Planta de tratamento de esgoto.

**Quadro 3: Benefícios ambientais identificados e seus respectivos significados para os escopos Novas ligações na rede de esgoto e Planta de tratamento de esgoto.**

Escopo	Benefício ambiental	Descrição
Planta de tratamento de esgoto	1. Produção de energia por sistema fotovoltaico	A produção de energia por sistema fotovoltaico, por ser uma fonte renovável, reduz a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.
	2. Produção de energia por biogás resultante da digestão do lodo	A produção de energia por biogás resultante da digestão do lodo reduz a emissão de metano na atmosfera..
	3. Redução de consumo de energia em operações da ETE	A redução do consumo de energia em operações da ETE diminui a demanda por eletricidade da rede, contribuindo para a redução das emissões associadas à geração convencional de energia.
	4. Redução de emissões do transporte de lodo pela frota	A redução de emissões do transporte de lodo pela frota diminui

		a liberação de poluentes atmosféricos, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e a mitigação das mudanças climáticas.
	5. Redução das emissões de CH <sub>4</sub> pela adoção de tratamento predominantemente aeróbio	A adoção de tratamento predominantemente aeróbio reduz as emissões de CH <sub>4</sub> , um gás de alto potencial de aquecimento global, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.
	6. Redução de CH <sub>4</sub> pela queima de biogás (conversão em CO <sub>2</sub> )	A queima do biogás converte o CH <sub>4</sub> em CO <sub>2</sub> , reduzindo o potencial de aquecimento global das emissões e contribuindo para o controle dos gases de efeito estufa.
	7. Redução de custos com disposição de lodo de tratamento de esgoto	A redução de custos com a disposição de lodo diminui a necessidade de transporte e descarte em aterros, promovendo ganhos econômicos e benefícios ambientais relacionados à menor pressão sobre áreas de disposição final.
Novas ligações na rede de esgoto	1. Redução de consumo de energia em operações da RCE	A otimização do sistema de coleta de esgoto reduz o uso de energia elétrica, especialmente em processos de bombeamento, diminuindo as emissões associadas à geração convencional de energia.
	2. O encerramento de fossas rudimentares diminui a pressão sobre águas subterrâneas	O encerramento de fossas rudimentares diminui a pressão sobre as águas subterrâneas, reduzindo os riscos de contaminação e promovendo a proteção dos recursos hídricos.
	3. Redução da necessidade de caminhões limpa-fossa	A ampliação das ligações à rede de esgoto diminui a dependência de sistemas individuais de esgotamento, como fossas sépticas, reduzindo a demanda por serviços de caminhões limpa-fossa. Isso implica menor consumo de combustível, redução de emissões atmosféricas e menor custo operacional para os usuários.
	4. Redução dos custos de fiscalização ambiental relacionados a ligações clandestinas de esgoto ou caminhões e empresas limpa-fossa	A redução dos custos de fiscalização ambiental relacionados a ligações clandestinas e ao transporte irregular de esgoto diminui a demanda por ações de controle, permitindo o direcionamento mais eficiente de recursos e fortalecendo a gestão ambiental.
	5. Substituição da RCE diminui vazamentos no solo e subsolo	A substituição da rede coletora de esgoto diminui vazamentos no solo e subsolo, reduzindo a contaminação ambiental e protegendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas.

O Quadro 3 resume os benefícios ambientais mensuráveis relacionados à implantação ou melhoria de estações de tratamento de esgoto e à ampliação das ligações à rede coletora. Esses benefícios incluem a redução de emissões de gases de efeito estufa, economia de energia, menor pressão sobre águas subterrâneas e redução de custos operacionais e de fiscalização. A identificação e descrição desses efeitos positivos são parte fundamental da estruturação metodológica deste trabalho, pois permitem associar indicadores específicos aos escopos definidos.

### Indicadores ambientais

Para cada benefício ambiental, foram estabelecidos indicadores específicos que possibilitam sua mensuração econômica, conforme descrito no Quadro 4.

**Quadro 4: Indicadores de benefícios ambientais e suas métricas para obtenção de valores monetários e não monetários, utilizados para avaliar os impactos positivos associados à implantação de SES.**

Escopo	Indicador	Definição e Métricas utilizadas
Diminuição da carga poluidora lançada no corpo hídrico	1. DBO evitada	<p><b>Definição:</b> Economia de oxigênio obtida pela redução da carga orgânica lançada no corpo d'água após o tratamento de efluentes. Esse indicador reflete o benefício ambiental ao diminuir a necessidade de consumo de oxigênio, favorecendo a qualidade da água e prevenindo condições de anoxia.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) consumo de oxigênio evitado (kg O<sub>2</sub>); (b) economia em operações de aeração na piscicultura (\$/kg O<sub>2</sub>); (c) produção de oxigênio por espécies arbóreas como referência proporcional à economia de oxigênio (kg O<sub>2</sub>/árvore/ano)</p>
	2. Sólidos suspensos evitados	<p><b>Definição:</b> Economia com ações de recuperação e prevenção do assoreamento, obtida pela redução da carga de sedimentos no corpo d'água. Esse indicador expressa o benefício ambiental e operacional ao reduzir a necessidade de intervenções para remoção ou controle de sedimentos, prevenindo o assoreamento.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) custos de operações de dragagem/desassoreamento, (b) custos de por práticas conservacionistas de solo e manejo de águas pluviais urbanas, evitando o aporte de sedimentos pelo escoamento superficial de áreas rurais</p>



	3. Fósforo evitado	<p><b>Definição:</b> Economia gerada pela redução da carga de fósforo lançada nos corpos d'água após o tratamento de efluentes, contribuindo para a prevenção da poluição e a diminuição da necessidade de intervenções para remoção ou controle desse nutriente. O indicador também permite estimar o impacto ambiental de forma proporcional a outras fontes difusas, como a agropecuária.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) custos evitados de mitigação e recuperação (\$/kg P), (b) custos de por práticas conservacionistas de solo e manejo de águas pluviais urbanas, evitando o aporte de sedimentos pelo escoamento superficial de áreas rurais (\$/kg P), (c) impacto ambiental em termos proporcionais aos dejetos da agropecuária (kg P/animal/dia)</p>
	4. Nitrogênio evitado	<p><b>Definição:</b> Economia gerada pela redução da carga de nitrogênio lançada nos corpos d'água após o tratamento de efluentes, contribuindo para a prevenção da poluição e para a diminuição da necessidade de intervenções para remoção ou controle desse nutriente. O indicador também permite estimar o impacto ambiental de forma proporcional a outras fontes difusas, como a agropecuária.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) custos evitados de mitigação e recuperação (\$/kg N), (b) custos evitados por práticas conservacionistas de solo e manejo de águas pluviais urbanas, que reduzem o aporte de nitrogênio pelo escoamento superficial de áreas rurais e urbanas (\$/kg N), (c) impacto ambiental em termos proporcionais à geração de dejetos da piscicultura (kg N/animal/dia).</p>
	5. Patógenos evitados	<p><b>Definição:</b> Economia gerada pela redução da carga de patógenos lançada nos corpos d'água após a melhoria no tratamento de efluentes, evitando ações adicionais de prevenção à contaminação. O indicador reflete o benefício ambiental ao reduzir a necessidade de práticas conservacionistas de solo e manejo de águas pluviais, que controlam o aporte de patógenos por escoamento superficial em áreas urbanas e rurais.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) custos evitados por práticas conservacionistas de solo e manejo de animais, que reduzem o aporte de patógenos (\$/% de redução)</p>
	6. Provisão de água	<p><b>Definição:</b> O indicador de provisão de água azul representa o volume de água que permanece livre de contaminação devido a ações voltadas à melhoria da qualidade hídrica. Esse parâmetro reflete benefícios econômicos associados ao aumento da disponibilidade desse recurso para múltiplos usos, incluindo consumo humano, irrigação agrícola e atividades industriais.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) tarifa da cobrança de água; (b) potencial de remuneração a partir da liberação do recurso hídrico para outros usos e finalidades</p>
	7. GEEs evitados	<p><b>Definição:</b> Mede a redução de emissões de GEE, como CO<sub>2</sub> e metano, devido à menor decomposição de material orgânico putrescível em corpos d'água, refletindo benefícios ambientais e econômicos ligados à mitigação climática</p> <p><b>Métricas:</b> (a) Valor monetário dos impactos negativos das mudanças climáticas, como os efeitos sobre o clima, a saúde pública e a economia (US\$/ton CO<sub>2</sub>) (b) Mercado (regulado ou voluntário) de créditos de carbono (c) Preço baseados em resultados específicos (goals-driven analysis)</p>
Planta de tratamento de esgoto	GEEs evitados	<p><b>Definição:</b> Quantifica a redução nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) obtida por meio da produção de energia renovável (como energia fotovoltaica e biogás), da redução do consumo energético nas operações da ETE e da adoção de práticas operacionais mais sustentáveis. O indicador considera tanto a substituição de fontes fósseis quanto a diminuição de emissões associadas a processos e insumos da estação de tratamento.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) Emissão de CO<sub>2</sub> associada à geração de energia elétrica de fontes fósseis no Brasil (t CO<sub>2</sub>/MWh) (b) Valor monetário dos impactos negativos das mudanças climáticas, como os efeitos sobre o clima, a saúde pública e a economia (US\$/ton CO<sub>2</sub>)</p>
	Lodo evitado	<p><b>Definição:</b> Economia obtida pela diminuição da quantidade de lodo gerado no tratamento de esgoto e/ou pela adoção de alternativas mais eficientes para sua disposição final. O indicador reflete os benefícios operacionais e econômicos associados à otimização de processos, redução de volume e transporte, ou reaproveitamento do lodo.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) Redução de volume ou massa de lodo (m<sup>3</sup> ou t/mês) (b) Custo evitado com transporte e disposição final (\$/m<sup>3</sup> ou \$/t)</p>
Novas ligações na rede de esgoto	Proteção de águas subterrâneas	<p><b>Definição:</b> Reflete os ganhos ambientais, sanitários e econômicos decorrentes do encerramento de fossas rudimentares e da substituição de redes coletoras existentes, reduzindo a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas, desta forma promovendo a proteção dos aquíferos.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) Número de fossas rudimentares desativadas</p>

		(b) Redução na demanda por caminhões limpa-fossa (número de viagens ou volume removido/mês) (c) Redução de vazamentos registrados no solo/subsolo após substituição de redes (ocorrências/ano)
	GEEs evitados	<p><b>Definição:</b> Quantifica a redução nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrente da realização de novas ligações à rede de esgoto, substituindo sistemas individuais como fossas sépticas e reduzindo a demanda por caminhões limpa-fossa. O indicador considera a menor emissão de metano (CH<sub>4</sub>) proveniente da decomposição anaeróbia em fossas e a redução de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) associada ao transporte de lodo.</p> <p><b>Métricas:</b> (a) Valor monetário dos impactos negativos das mudanças climáticas, como os efeitos sobre o clima, a saúde pública e a economia (US\$/ton CO<sub>2</sub>)</p>

Os indicadores e métricas do Quadro 4 têm como objetivo quantificar, de forma técnica e econômica, os benefícios ambientais da melhoria do esgotamento sanitário. Cada indicador representa um aspecto da qualidade ambiental, como a redução de poluentes, o aumento da disponibilidade de água ou a diminuição de emissões de gases de efeito estufa. As métricas associadas permitem expressar esses benefícios em valores monetários e não monetários, oferecendo dados objetivos que podem ser usados em análises e tomadas de decisão baseadas em números e evidências mais tangíveis.

### Fatores de conversão monetária e não monetária

O Quadro 5 exibe os indicadores e os fundamentos e métricas (proxys) utilizadas como base de cálculo de valoração. No caso do escopo da Carga Poluidora, as proxys são representações de benefícios cuja mensuração direta é complexa. Para contornar essa dificuldade, utilizam-se indicadores ou métricas que permitam estimar esses ganhos de forma indireta. Por exemplo, a redução da carga remanescente de fósforo no esgoto tratado é um benefício ambiental importante, mas sua mensuração direta é de difícil determinação. Nesse caso, uma alternativa é avaliar os custos ambientais evitados, ou seja, os gastos que seriam necessários para mitigar os impactos desse fósforo no ambiente. Assim, esses custos evitados passam a representar, indiretamente, o valor do benefício gerado.

Após a definição dos indicadores e métricas utilizados para calcular os valores monetários e não monetários, foi realizada a prospecção dos fatores de conversão correspondentes. Esses fatores foram identificados com base nas métricas estabelecidas anteriormente e servem como ferramentas para converter os resultados ambientais em estimativas de valor.

O objetivo desse mapeamento é estabelecer um fator de extrapolação que permita transformar a carga poluidora evitada em benefícios ambientais mensuráveis, tanto em termos financeiros quanto não financeiros. O resultado desse levantamento está organizado e apresentado no Quadro 5.

**Quadro 5: Mapeamento de proxys (métricas) e fatores de conversão para valores monetários e não monetários para o escopo Diminuição da Carga Poluidora.**

Indicador	Abordagem	Rios	Lagos	Proxy	Fator	Unidade	Autor
Fósforo evitado	Ações de Mitigação e Restauração		x	Inativação por argila modificada	340	US\$/kg P	Pereira e Mulligan (2023)
			x	Inativação por sais de alumínio	70,92	US\$/kg P	Chandler (2013)
			x	Manejo de macrófita aquática	24	US\$/kg P	Sano et al. (2004)
			x		670	US\$/kg P	Bartodziej et al. (2017)
			x		0,0045	kg P/kg macrófita	
		x	x	Preço-sombra para outputs indesejáveis do tratamento do esgoto	30,94	Euros/kg P	Hernandez-Sancho et al. (2010)
	Ações equivalentes	x	x	Mata Ciliar	169,5	US\$/kg P	Qiu (2013)
		x	x		4,19	kg P/ha/ano	
		x	x	Agricultura de contorno	0,57	US\$/kg P	Wortmann et al. (2011)

		x	x	Bacia de detenção	23203	US\$/kg P	USEPA (2015)
		x	x	Redução da área de superfície impermeável	16140	US\$/kg P	
		x	x	Varrição de ruas	7626	US\$/kg P	
		x	x	Pavimentação porosa	27581	US\$/kg P	
		x	x	Wetlands em áreas urbanas	77	US\$/kg P	Sano et al. (2004)
		x	x	Dejetos da avicultura	0,154	kg P/animal/dia	Correa e Miele (2011)
		x	x	Dejetos da suinocultura	0,0162	kg P/animal/dia	Oliveira et al. (1993)
		x	x	Dejetos da bovinocultura	0,0759	kg P/animal/dia	Santos e Nogueira (2012)
		x	x	Dejetos da piscicultura	0,033	kg P/kg peixe	Assunção et al. (2020)
	Disposição a pagar	x	x	Valoração contingente	0,03	US\$/kg P	Stumborg et al. (2001)
Nitrogênio evitado	Ações de Mitigação e Restauração	x	x	Preço-sombra para outputs indesejáveis do tratamento do esgoto	16,3	Euros/kg N	Hernandez-Sancho et al. (2010)
	Ações equivalentes	x	x	Terraceamento	2,45	US\$/kg N	Wortmann et al. (2011)
		x	x	Dejetos da piscicultura	0,025	kg N/kg peixe	Assunção et al. (2020)
Sólidos evitados	Ações de Mitigação e Restauração	x	x	Dragagem	1 a 30	US\$/m3	Lewtas et al. (2015)
					104,66	R\$/m3	Presente estudo
					28	R\$/m3	Costa et al. (2013)
		x	x	Preço-sombra para outputs indesejáveis do tratamento do esgoto	0,05	Euros/kg SST	Hernandez-Sancho et al. (2010)
	Ações equivalentes	x	x	Mata Ciliar	1,25	US\$/kg SST	Qiu (2013)
		x	x	Agricultura de contorno	0,83	US\$/kg SST	
		x	x	Plantio direto	0,01	US\$/kg SST	Yuan et al. (2002)
		x	x		19,4	ton/ha.ano	Zhou et al. (2009)
		x	x	Controle de acesso de animais ao curso d'água	0,4	US\$/kg SST	Qiu (2013)
DBO evitada	Ações de Mitigação e Restauração	x	x	Aeração na piscicultura	0,27	US\$/kg O2	Lewtas et al. (2015)
					0,17	R\$/kg DBO	Presente estudo
		x	x	Preço-sombra para outputs indesejáveis do tratamento do esgoto	0,033	Euros/kg DBO	Hernandez-Sancho et al. (2010)
	Ações equivalentes	x	x	Produção de O2 por árvores	120	kg O2/árvore/ano	UFV (2022)



Patógenos evitados	Ações equivalentes	x	x	Manejo de biofertilizantes (dejetos) na agricultura	3112	US\$/%	NJIT (2011)
		x	x	Controle de acesso de animais ao curso d'água	1497	US\$/%	
GEEs evitados	Consequências econômicas	x	x	Custo social do carbono	12,89	US\$/ton CO2	Campoli e Feijó (2022)
		x	x	Preço baseados em resultados específicos (goals-driven analysis)	40 a 80	US\$/ton CO2	Brasil (2022)
		x	x	Mercado (regulado ou voluntário) de créditos de carbono	19,31	R\$/ton CO2	Kralingen (2021)
	Ações equivalentes	x	x	Captura de CO2 por pastagens	3,79	ton CO2e/ha/ano	Epagri (2024)
Provisão de água azul	Consequências econômicas	x	x	Setor de captação, tratamento e distribuição de água	0,33	R\$/m3	IBGE (2021)
		x	x	Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	1,46	R\$/m3	IBGE (2023)
		x	x	Cobrança do uso da água	0,1	R\$ /kg DBO	COALIAR (2013)
		x	x		0,003	Euros/kg SST	Cobrança da água - França
					0,35	Euros/kg N	
					1	Euros/kg P	
					0,12	Euros/kg DQO	
DAP-MQA	Disposição a pagar	x	x	Balneabilidade	7,2	US\$/famflia/mês	Dubeux (1999)
		x	x	Pesca esportiva, navegação e estética	0,15	US\$/famflia/mês	
		x		Valores de não-uso	29672	R\$/km/ano	Brasil (2020)

O Quadro 6 apresenta o mapeamento realizado para os escopos relacionados à planta de tratamento de esgoto e às novas ligações à rede coletora. Diferentemente do que ocorre no escopo de Diminuição da Carga Poluidora, em que os benefícios precisam ser estimados por meio de proxys e fatores de conversão, neste caso, alguns indicadores e benefícios já possuem valores econômicos definidos diretamente pelo mercado.

Isso significa que, para esses itens, não é necessário aplicar fatores de conversão. Os benefícios são calculados de forma direta, utilizando valores de referência consolidados, como custos evitados, tarifas ou preços praticados no setor. Assim, a valoração econômica é mais objetiva, pois se baseia em precificações já estabelecidas comercialmente.

**Quadro 6: Mapeamento de fatores de conversão para valores monetários e não monetários para os escopos Novas ligações na rede de esgoto e Planta de tratamento de esgoto.**

Indicador	ETE <sup>1</sup>	RCE <sup>2</sup>	Benefício ambiental	Métrica	Fator	Unidade	Autor
Eficiência energética e Uso de Energia Renovável	x		Produção de energia por sistema fotovoltaico (autogeração)	Produção de energia renovável	**	MWh	*
	x		Produção de energia por biogás resultante da digestão do lodo		**	MWh	*

	x		Redução de consumo de energia em operações da ETE	Economia de energia	**	MWh	*
		x	Redução de consumo de energia em operações da RCE		**	MWh	*
GEEs evitados	x		Redução da emissão de CO2 associada à geração de energia elétrica de fontes fósseis no Brasil	Emissão de CO2	0,0385	t CO2/MWh	MCTI (2024)
	x		Redução de emissões do transporte de lodo pela frota	Custo social do carbono	12,89	US\$/ton CO2	Campoli e Feijó (2022)
	x		Redução das emissões de CH4 pela adoção de tratamento predominantemente aeróbio				
		x	Redução da necessidade de caminhões limpa-fossa, diminuindo emissões de CO2 associadas ao transporte de lodo				
	x		Redução de CH4 pela queima de biogás (conversão em CO2)				
	x		Menor emissão de gases associados à produção e transporte dos insumos/produtos químicos				
		x	Menor emissão de CH4 provenientes de fossas sépticas				
Lodo evitado	x	x	Redução de custos com disposição de lodo de tratamento de esgoto	Transporte do lodo + Destinação final em aterro	155	R\$/ton	Movimento Viva Água (2022)
Proteção de águas subterrâneas		x	O encerramento de fossas rudimentares diminui a pressão sobre águas subterrâneas.	Volume de esgoto evitado	**	m3	*
		x	Redução da necessidade de caminhões limpa-fossa	Custo de capital e manutenção de fossas	**	R\$/m3	*
		x	Substituição da RCE diminui vazamentos no solo e subsolo	Volume de esgoto evitado	**	m3	*
		x	Redução dos custos de fiscalização ambiental relacionados a ligações clandestinas de esgoto ou caminhões e empresas limpa-fossa	Custos de fiscalização	**	R\$	*

\* Não se aplica

\*\* A definir conforme cada estudo

<sup>1</sup> ETE (estação de tratamento de esgoto)

<sup>2</sup> RCE (rede coletora de esgoto)

### Metodologia de cálculo

A partir dos dados fornecidos pelos Quadros 5 e 6, o primeiro passo consiste na definição de cenários de avaliação, comparando a situação antes e depois da intervenção, para estimar a carga poluidora evitada e os custos evitados. Em seguida, são selecionados as métricas/proxys de valoração, que permitem a mensuração direta e indireta dos benefícios econômicos, conforme fluxograma da Figura 2.

Figura 2: Fluxograma das etapas da análise da valoração ambiental.



Partindo do princípio de que os benefícios ambientais ultrapassam as transações e operações financeiras da companhia, o uso de proxys torna-se uma estratégia eficaz para atribuir valor econômico a impactos que, de outra

forma, não seriam diretamente precificados. Para cada proxy, são identificados e aplicados fatores de conversão (monetários ou não monetários), com base na extrapolação de dados disponíveis na literatura.

Por fim, com a estimativa da carga poluidora reduzida, os valores dos benefícios ambientais são calculados, proporcionando uma base sólida para a valoração econômica dos impactos positivos da intervenção, conforme Equação (1):

$$BEA = \sum_{i=1}^n (CPE_i \times FC_i) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

- BEA = Benefício Econômico Ambiental total (em \$, por exemplo)
- i = índice de categoria de impacto/proxy (ex: oxigênio, nitrogênio, fósforo, macrófitas)
- CPE<sub>i</sub> = Carga Poluidora Evitada associada ao proxy i (em kg, m<sup>3</sup>, etc.)
- FC<sub>i</sub> = Fator de Conversão aplicado ao proxy i, responsável por atribuir o valor monetário (em \$/kg, \$/m<sup>3</sup>, etc.)
- O proxy é representado implicitamente pelo índice i, categorizando os tipos de impacto, mas não entra numericamente na equação

A CPE é obtida a partir da diferença entre a carga lançada no cenário sem intervenção e a carga lançada no cenário com intervenção, conforme Equação (2):

$$CPE_i = (C_{\text{antes},i} - C_{\text{depois},i}) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

- CPE<sub>i</sub> = Carga Poluidora Evitada do poluente ou parâmetro i (kg/ano, por exemplo)
- C<sub>antes,i</sub> = Carga lançada no cenário antes da intervenção
- C<sub>depois,i</sub> = Carga lançada no cenário depois da intervenção

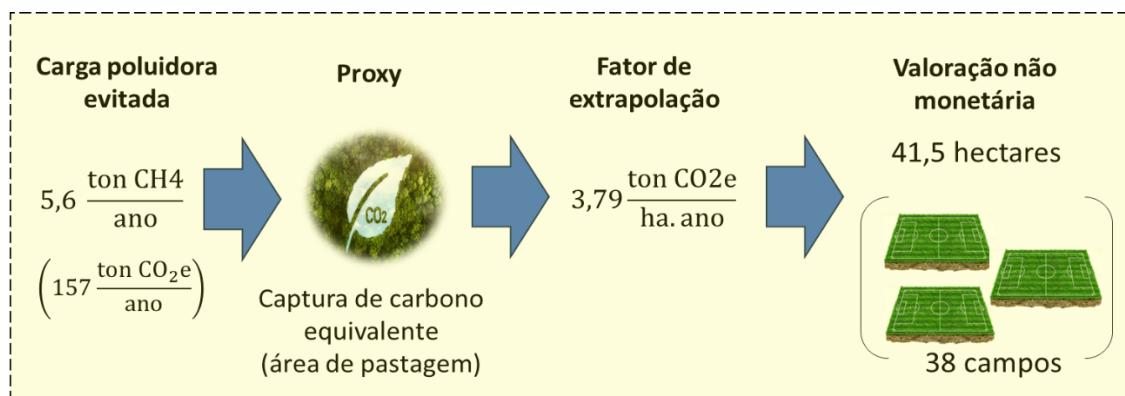
E cada carga (C) pode ser calculada como:

$$C_i = C_{\text{concentração},i} \times Q \times k \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

- C<sub>concentração,i</sub> = Concentração do poluente i no efluente (mg/L)
- Q = Vazão média do lançamento (L/s ou m<sup>3</sup>/dia, convertida para o período analisado, como L/ano ou m<sup>3</sup>/ano)
- k = Fator de conversão para obter a carga em kg (por exemplo, k = 10<sup>-6</sup> para mg/L × L → kg)

A Figura 3 apresenta um exemplo de aplicação da metodologia de valoração econômica com foco na redução de gases de efeito estufa (GEE) no contexto da diminuição da carga poluidora. Especificamente, o exemplo trata do benefício ambiental associado à menor emissão de metano (CH<sub>4</sub>), decorrente da redução da carga remanescente de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) após a intervenção.



**Figura 3: Exemplo de cálculo dos valores de mensuração monetária e não monetária.**

No cenário hipotético apresentado (Figura 3), a carga poluidora evitada corresponde a 5,6 toneladas de CH<sub>4</sub> por ano, o que equivale a aproximadamente 157 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2e</sub>) por ano. Para atribuir valor a esse benefício ambiental, foi selecionado um proxy baseado na capacidade de sequestro de carbono de áreas de pastagem. Essa abordagem permite estabelecer uma relação de equivalência simbólica, comparando a redução de metano com a quantidade de carbono que seria removida da atmosfera por uma determinada extensão de pastagens. Com base nessa equivalência, a redução estimada de CH<sub>4</sub> no exemplo apresentado corresponderia ao sequestro de carbono promovido por cerca de 42 hectares de pastagem, o que equivale, proporcionalmente, a aproximadamente 38 campos de futebol.

No caso dos indicadores Provisão de Água Azul e DAP-MQA, a metodologia de cálculo diferencia-se dos demais indicadores, os quais se baseiam diretamente na carga poluidora evitada. Especificamente, o indicador de Provisão de Água Azul segue o conceito estabelecido pelo IBGE (2023), que define esse indicador como o volume de recurso hídrico liberado para outros usos econômicos. Esse volume corresponde à água que deixa de ser necessária para a diluição de esgoto, em função da melhoria na qualidade do efluente tratado. Ou seja, quanto melhor o tratamento do esgoto, menor a necessidade de diluição no corpo receptor, liberando assim mais água com qualidade adequada para outros fins.

Para estimar esse volume de água “liberada”, aplica-se um cálculo de mistura, que permite determinar quanto de água seria necessário para diluir um efluente até que ele atinja uma determinada concentração de qualidade ambiental exigida. A melhoria no tratamento reduz essa necessidade, e a diferença entre os volumes antes e depois da intervenção é interpretada como água azul provida. Essa abordagem permite quantificar, em termos práticos, o benefício ambiental e econômico da redução da pressão sobre os recursos hídricos, especialmente em regiões com escassez ou múltiplos usos da água.

A estimativa do volume de água necessário para diluição é feita pela Equação (4):

$$Q_d = \frac{Q_e \cdot (C_e - C_d)}{C_d - C_a} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$Q_d$ : Vazão de diluição necessária (L/s ou m<sup>3</sup>/s);

$Q_e$ : Vazão do esgoto lançado (L/s ou m<sup>3</sup>/s);

$C_e$ : Concentração do poluente no esgoto (mg/L);

$C_d$ : Concentração desejada após a mistura (padrão de qualidade, mg/L);

$C_a$ : Concentração do poluente no corpo hídrico antes do lançamento (mg/L).

Com essa equação, calcula-se o volume de diluição necessário em dois cenários:

- Antes da intervenção ( $Q_1$ ): com o esgoto bruto ou com menor tratamento;
- Depois da intervenção ( $Q_2$ ): com o esgoto tratado, apresentando melhor qualidade.

A Provisão de Água Azul é dada pela diferença entre os volumes de diluição, conforme Equação (5):

$$\text{Provisão de água} = Q_1 - Q_2 \quad \text{Equação (5)}$$

Esse volume representa a água que deixa de ser comprometida com a diluição de poluentes e pode ser direcionada para outros usos produtivos ou ambientais. Além disso, esse benefício pode ser monetizado com base em:

- Valores de potencial de remuneração do uso da água em diferentes setores econômicos;
- Tarifas públicas (instrumento da cobrança do uso da água).

No caso do indicador DAP-MQA (Disposição a Pagar pela Manutenção da Qualidade Ambiental), a estimativa é fundamentada em métodos de valoração contingente, os quais consistem na coleta da percepção dos usuários e na quantificação da disposição a pagar (DAP) para preservar ou manter determinado benefício ambiental. Quando não é possível realizar esse tipo de pesquisa diretamente em campo — por limitações de tempo, orçamento ou acesso —, este trabalho adota uma abordagem alternativa: o uso de valores transferidos de estudos anteriores, geralmente expressos em unidades como US\$/família/mês.

Essa abordagem baseia-se na Transferência de Benefício (TB), que permite utilizar coeficientes já obtidos em contextos semelhantes. Para adaptar esses valores ao presente estudo, aplica-se um fator de extrapolação sobre o

contingente populacional afetado pelo projeto (por exemplo, número de famílias beneficiadas). A fórmula é expressa na Equação (6):

$$\text{DAP (total anual)} = \text{DAP unitária} \times \text{N}^\circ \text{famílias afetadas} \times 12 \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

DAP (total anual): Valor total anual da disposição a pagar pela manutenção da qualidade ambiental;

DAP unitária: Valor da disposição a pagar por família por mês (ex.: US\$/família/mês), extraído de estudos anteriores;

Nº de famílias afetadas: Quantidade de famílias impactadas positivamente pelo projeto;

12: Fator de conversão para o valor anual (meses por ano).

Essa estimativa permite monetizar os benefícios associados à percepção social sobre a melhoria da qualidade ambiental, mesmo na ausência de dados primários locais, desde que os valores transferidos sejam devidamente ajustados ao novo contexto.

### Correção e ajustes dos fatores de conversão

O Quadro 5 apresenta valores de extrapolação obtidos a partir de estudos realizados em diferentes países e contextos, que variam em termos geográficos, sociais, econômicos, biofísicos e temporais. Como esses dados foram gerados em realidades distintas daquela em que se deseja aplicar os resultados, é necessário realizar ajustes para torná-los compatíveis com o novo contexto.

De acordo com Brasil (2020), quando se utilizam parâmetros provenientes de outros países, recomenda-se a aplicação da técnica de Transferência de Benefício (TB). Conforme explica Stivali (2023), essa técnica foi originalmente desenvolvida no campo da economia ambiental com o objetivo de estimar valores como a disposição a pagar (DAP) ou preços sombra em regiões onde esses dados não estão disponíveis, especialmente no caso de bens e serviços ambientais que não são comercializados diretamente no mercado. Neste trabalho, propõe-se a adaptação dos valores internacionais com base em três etapas principais:

- (a) Correção pela inflação do período (no país de origem dos dados),
- (b) Ajuste pela taxa cambial vigente,
- (c) Cálculo da TB, por meio da adaptação das DAPs ou outros valores à realidade socioeconômica e ambiental do contexto estudado.

Essa abordagem permite utilizar dados secundários com maior confiabilidade e coerência, viabilizando análises de custo-benefício (ACB) mesmo em cenários onde dados locais são escassos ou inexistentes. Para esses ajustes, sugere-se a Equação (7) utilizando a técnica de transferência de benefícios:

$$V_p = V_e \times \left(\frac{R_p}{R_e}\right) \times \left(\frac{Y_p}{Y_e}\right)^{\beta} \times \left(\frac{P_p}{P_e}\right)^{\gamma} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

$V_p$ : Valor ajustado para o local de aplicação

$V_e$ : Valor original do estudo

$\frac{R_p}{R_e}$ : Razão entre as características biofísicas locais e as do estudo

$\frac{P_p}{P_e}$ : Razão entre a população ou a área beneficiada do local e a do estudo.

$\frac{Y_p}{Y_e}$ : Razão entre os rendimentos econômicos (ex.: PIB per capita ou renda média) locais e do estudo.

$\gamma$ : Elasticidade populacional (geralmente 1, assumindo proporcionalidade linear)

$\beta$ : Elasticidade renda (usualmente entre 0,5 e 1, dependendo do tipo de serviço ecossistêmico)

Outra estratégia recomendada para ajustar a acurácia dos fatores de conversão é a utilização de meta-análises, ou seja, a combinação de resultados de diversos estudos secundários. Essa abordagem permite obter valores médios mais robustos, além de identificar correlações consistentes entre variáveis, aumentando a confiabilidade dos fatores de conversão monetária utilizados. Para aplicar uma meta-análise de forma adequada, são sugeridas as seguintes etapas:



(a) Cálculo da média ponderada dos fatores de conversão monetária: atribua maior peso aos estudos considerados mais confiáveis, como aqueles com maior tamanho amostral, metodologias mais rigorosas ou maior aderência ao contexto analisado. Isso ajuda a refletir melhor a qualidade e representatividade dos dados.

(b) Análise de sensibilidade com exclusão de outliers: elimine os estudos que apresentam valores extremamente discrepantes (outliers) e avalie o impacto dessa exclusão nos resultados finais. Esse procedimento ajuda a verificar a robustez da média calculada e a identificar possíveis distorções.

### Proposta de apresentação de resultados

A estrutura dos tópicos a seguir busca sugerir um formato de apresentação da valoração dos benefícios ambientais sob diferentes abordagens, considerando tanto métricas monetárias quanto não monetárias.

#### Valoração Monetária

Este tópico abordará a quantificação dos benefícios ambientais em termos financeiros, permitindo a comparação entre custos e benefícios das ações implementadas. Para isso, serão aplicadas duas metodologias principais:

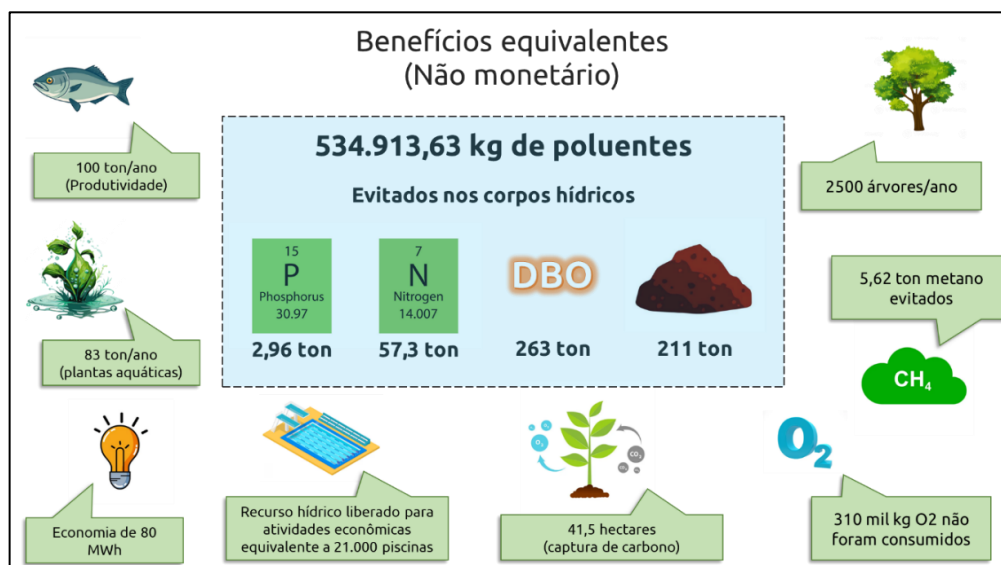
- Análise de Custo-Benefício (\$/\$): Avaliação da relação entre os custos das intervenções e os benefícios econômicos gerados, expressos em valores monetários. Essa análise auxilia na tomada de decisão ao demonstrar a viabilidade econômica das medidas adotadas.
- Análise de Custo-Efetividade (\$/kg): Método que relaciona os custos das ações ambientais à quantidade de carga poluidora evitada ou mitigada (por exemplo, custo por quilograma de fósforo ou nitrogênio removido). Essa abordagem é essencial para comparar a eficiência de diferentes estratégias de controle da poluição.

#### Valoração Não Monetária

Além da análise financeira, é fundamental considerar métricas qualitativas e quantitativas que demonstrem os impactos positivos das intervenções ambientais sem a necessidade de conversão direta para valores monetários.

- Benefícios Equivalentes (un.): Abordagem que quantifica ganhos ambientais de forma indireta, utilizando indicadores de impacto equivalentes. Exemplos incluem:
  - Redução da carga poluidora comparável à mitigação por práticas de conservação do solo.
  - Benefícios equivalentes ao manejo sustentável de águas pluviais urbanas.
  - Impacto evitado de dejetos da pecuária em corpos hídricos.

A Figura 4 apresenta um desenho esquemático com o resumo de benefícios equivalentes utilizando valores não monetários.



**Figura 4: Exemplo hipotético de apresentação dos resultados da valoração não-monetária.**

A Figura 4 apresenta, de forma hipotética, um modelo de exibição dos resultados da valoração não monetária. Nesse modelo, é possível estimar a quantidade de poluentes removidos (em kg ou toneladas) e relacioná-los a outras ações ou práticas que geram benefícios ambientais equivalentes. Por exemplo, pode-se demonstrar o impacto positivo sobre a manutenção da produtividade pesqueira (em toneladas por ano), devido à menor necessidade de reposição de oxigênio por meio de aeração, já que a água apresenta melhor qualidade.

A Figura 4 também pode incluir comparações com medidas de compensação ambiental que deixam de ser necessárias com a redução da carga de nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P), lançados nos corpos hídricos. Um exemplo é a menor necessidade de remoção de macrófitas aquáticas, que participam do ciclo desses nutrientes.

Além disso, são ilustradas áreas de vegetação (em hectares) que funcionam como sumidouros de carbono e que seriam equivalentes à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) proporcionada por projetos de saneamento.

Outro exemplo apresentado é o volume de água que deixa de ser utilizado para diluição de esgoto, permitindo sua destinação a atividades econômicas. Esse ganho pode ser representado de forma didática pelo número de piscinas olímpicas que caberiam nesse volume – uma representação adotada, por exemplo, pelo Instituto Trata Brasil em seus relatórios.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso de indicadores ambientais possibilitou a definição de métricas para os impactos positivos (benefícios ambientais), servindo como base para o estabelecimento de fatores de estimativa nos cálculos de mensuração econômica, utilizando diferentes abordagens de técnicas de valoração.

Os resultados reforçam a relevância da implantação e ampliação dos Sistemas de Esgotamento Sanitário para promover a sustentabilidade e a mitigação de impactos ambientais, evidenciando o potencial da metodologia como suporte na tomada de decisões em políticas públicas e gestão ambiental.

Recomenda-se a ampliação de continuar a pesquisa documental e bibliográfica sobre fatores de conversão monetária, com o objetivo de expandir a base de dados de valores referenciais para contextos regionais específicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSUNÇÃO, A. W. A. et al. Impacto da criação de pacu na qualidade da água por meio de análise estatística multivariada: estudo de caso. *Ambiência*, v. 16, n. 1, p. 988–1001, jan./mar. 2020. DOI: 10.5935/ambiencia.2020.01.02.
- BARTODZIEJ, W. M.; BLOOD, S. L.; PILGRIM, K. Aquatic plant harvesting: an economical phosphorus removal tool in an urban shallow lake. *Journal of Aquatic Plant Management*, v. 55, p. 26–34, 2017.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Fator de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil em 2023 é o menor em 12 anos*. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/...> Acesso em: 21 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério da Economia. *Estudo de caso sobre aplicação da ACB Recursos Hídricos – Tipologia Esgotamento Sanitário: planejamento na Bacia do Rio Grande*. Brasília: SDI/ME, 2020.
- BRASIL. Ministério da Economia. *Guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura*. Brasília: SDI/ME, 2022. 169 p.
- CAMPOLI, J. S.; FEIJÓ, J. R. *Preço do carbono para projetos de investimentos de infraestrutura no Brasil*. Brasília: IPEA, 2022. (Nota Técnica, n. 102, Diset). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ntdiset102>.
- CENTER FOR WATERSHED PROTECTION. *Cost-effectiveness study of urban stormwater BMPs in the James River Basin*. Ellicott City: CWP, 2013.
- CHANDLER, K. L. *Feasibility report for water quality improvements in Twin Lake CIP Project TW-2*. Minneapolis: Barr Engineering Company, 2013.
- COMITÊ DAS BACIAS DO ALTO IGUAÇU E AFLUENTES DO ALTO RIBEIRA. Resolução nº 05, de 11 de julho de 2013. Aprova proposição de mecanismos de cobrança pelo direito de uso de recursos hídricos. 2013.
- CORREA, J. C.; MIELE, M. A. A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Ed.). *Manejo ambiental na avicultura*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125–152.
- DUBEUX, C. B. S. A valoração econômica como instrumento de gestão ambiental: o caso da despoluição da Baía de Guanabara. *Planejamento e Políticas Públicas*, n. 20, p. 44–76, dez. 1999.

EPAGRI. *Pecuária carbono zero: produção à base de pastagens é a raiz da solução*. Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2024. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: an empirical approach for Spain. *Science of the Total Environment*, v. 408, n. 4, p. 953–957, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.028>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Contas de ecossistemas: valoração do serviço do ecossistema de provisão de água azul: 2013-2017*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Contas econômicas ambientais da água: Brasil: 2018-2020*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Benefícios econômicos da expansão do saneamento no Paraná*. Ex Ante Consultoria Econômica, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/ESTUDO-TRATA-BRASIL-Beneficios-economicos-do-saneamento-no-Parana-v.-2024-03-20.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Guia do saneamento*. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2023. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Guia-do-Saneamento-2023\\_V20\\_12.11\\_Digital.pdf](https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Guia-do-Saneamento-2023_V20_12.11_Digital.pdf). Acesso em: 6 jan. 2024.

KRALINGEN. *Análise de custo-benefício das ações de adaptação à mudança do clima previstas para o Movimento Viva Água em São José dos Pinhais – PR*. Brasília: GIZ, 2021.

LEWTAS, K. et al. *Manitoba Prairie Lakes: eutrophication and in-lake remediation treatments – literature review*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development, 2015.

MOVIMENTO VIVA ÁGUA. *Soluções baseadas na natureza e seu papel na promoção da resiliência climática, segurança hídrica e geração de benefícios econômicos: Viva Água Miringuava*. [S.l.]: Fundação Grupo Boticário; SANEPAR; GIZ, 2022.

OLIVEIRA, P. A. V. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1993. 188 p.

PEREIRA, A. C.; MULLIGAN, C. N. Practices for eutrophic shallow lake water remediation and restoration: a critical literature review. *Water*, v. 15, p. 2270, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15122270>.

QIU, Z. Comparative assessment of stormwater and nonpoint source pollution best management practices in suburban watershed management. *Water*, v. 5, p. 280–291, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/w5010280>.

SANO, D.; HODGES, A.; DEGNER, R. *Economic analysis of water treatments for phosphorus removal in Florida*. Gainesville: EDIS, 2005. DOI: <https://doi.org/10.32473/edis-fe576-2005>.

SANTOS, I. A. dos; NOGUEIRA, L. A. H. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. *Revista Agrogeoambiental*, v. 4, n. 1, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v4n12012373>.

SENA, M. et al. An exploration of economic valuation of phosphorus in the environment and its implications in decision making for resource recovery. *Water Research*, v. 172, p. 115449, 2020.

STIVALI, M. Valor de uma vida estatística: uma revisão da literatura empírica para o Brasil. *Planejamento e Políticas Públicas*, n. 66, p. 193–226, abr.-jun. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppp66art7>.

STUMBORG, B. E.; BAERENKLAU, K. A.; BISHOP, R. C. Nonpoint source pollution and present values: a contingent valuation study of Lake Mendota. *Review of Agricultural Economics*, v. 23, n. 1, p. 120–132, 2001. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1349910>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *A compilation of cost data associated with the impacts and control of nutrient pollution*. EPA 820-F-15-096. Washington: Office of Water, 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)*. Disponível em: <https://www.epa.gov/npdes>. Acesso em: 12 jan. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. *O papel das florestas no ciclo do carbono*. Viçosa: UFV, 2022. Disponível em: <https://www.salveasflorestas.direito.ufv.br>. Acesso em: 21 abr. 2025.

WORTMANN, C. S. *Cost-effective water quality protection in the Midwest*. Lincoln: University of Nebraska–Lincoln Extension, 2011. Disponível em: <https://extensionpubs.unl.edu/publication/9000016366782/cost-effective-water-quality-protection-in-the-midwest/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

YUAN, Y.; DABNEY, S. M.; BINGNER, R. L. Cost effectiveness of agricultural BMPs for sediment reduction in the Mississippi Delta. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 57, n. 5, p. 259–267, set. 2002. Disponível em: <https://www.jsowconline.org/content/57/5/259>. Acesso em: 21 abr. 2025.

ZHOU, X. et al. Cost-effectiveness and cost-benefit analysis of conservation management practices for sediment reduction in an Iowa agricultural watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 64, n. 5, p. 314–323, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.64.5.314>.