

Gestão sustentável do saneamento

Nota Técnica 1 - Avaliação da sustentabilidade em sistema de esgotamento sanitário

Sustainable management of sanitation
Technical Note 1 - Sustainability assessment in sewage system

**Fernando Henrique Garayo Junior¹, Hugo Henrique de Simone Souza²,
Karina Guedes Cubas do Amaral³, Katia Gonçalves Gutierrez⁴,
Priscila de Moraes Lima⁵, Paula Loureiro Paulo^{6*}**

RESUMO

Como escolher a alternativa de esgotamento sanitário mais sustentável? Técnicos e tomadores de decisão da área de saneamento normalmente encontram dificuldades na escolha dos critérios a serem avaliados para sistemas de esgotamento sanitário. Para guiar este processo, esta Nota Técnica, com base em pesquisa bibliográfica, apresenta cinco dimensões da sustentabilidade (ambiental, econômica, social, técnica e institucional) e os indicadores/critérios mais utilizados para cada dimensão. Também são elencadas as principais ferramentas de agregação destes indicadores, o que possibilita a criação de um índice único para auxiliar no processo de escolha da alternativa mais sustentável adequada ao contexto local.

Palavras-chave: análise multicritério; estação de tratamento de esgoto; ferramentas de gestão; indicadores; ODS; tomada de decisão.

ABSTRACT

How to choose the most sustainable sanitation alternative? Technicians and decision makers in the sanitation field usually find it difficult to choose the dimensions of sustainability and the criteria to be evaluated for sewage systems. To guide this process, this technical note, based on bibliographic research, presents five dimensions of sustainability and the most used indicators/criteria for each dimension. The main tools for aggregating these indicators are also listed, which makes it possible to create a single index to assist in the process of choosing the most sustainable alternative appropriate to the local context.

Keywords: multicriteria analysis; wastewater treatment plant; management tools; indicators management; SDG; decision making

¹Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-CAMP). Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Gerente de Meio Ambiente e Qualidade na Aegea Saneamento.

²Engenheiro Ambiental pela UFMS. Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutor em Tecnologias Ambientais pela UFMS. Pesquisador na Universidade de Malta.

³Engenheira Ambiental pela Faculdade Educacional Araucária (FACEAR). Química Ambiental e Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Especialista em Gestão Ambiental pela FAE. Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

⁴Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora Adjunta no Instituto de Educação Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

⁵Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Mestre em Tecnologias Ambientais pela UFMS. Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Pós-doutoranda na Universidade Sueca de Ciências Agrícolas.

⁶Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Engenharia de Saúde Pública pela Universidade de Leeds, UK. Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade de Wageningen, Holanda. Professora associada da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da UFMS.

*Endereço para correspondência: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Avenida Costa e Silva, S/N, bloco 12. Campo Grande-MS. CEP: 79008-900. e-mail: paula.paulo@ufms.br

1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo de um sistema de esgotamento sanitário é proteger e promover a saúde humana, proporcionando um ambiente limpo e quebrando o ciclo das doenças relacionadas às condições sanitárias. De acordo com o artigo 11-B da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033 (BRASIL, 2020). No entanto, sabe-se que somente os sistemas centralizados não levarão à universalização desse serviço, seja por inviabilidade econômica, técnica ou financeira, principalmente para áreas rurais e de difícil acesso à redes coletoras de esgoto.

Além disso, deve-se considerar o atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Nesse contexto, os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário são considerados fundamentais, auxiliando na redução da pobreza, no crescimento econômico e na sustentabilidade ambiental (UNITED NATIONS, 2015). Dessa forma, a avaliação da sustentabilidade em sistemas de saneamento se torna imprescindível para que as metas de universalização se alinhem com as metas de desenvolvimento sustentável. Para tanto, a aplicação do conceito de sustentabilidade em sistemas de saneamento implica que as estações de tratamento de esgoto (ETEs) sejam vistas como uma fonte de recursos e não somente como mitigadoras de impactos ambientais. De acordo com Paulo *et al.* (2019), é necessário pensar as ETEs como sistemas integrados que visem, além do tratamento do esgoto, a recuperação e valorização dos subprodutos.

Os estudos relacionados à sustentabilidade de sistemas de saneamento geralmente se baseiam nas dimensões ambiental, social e econômica, consideradas as três componentes essenciais do desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 2005). No Brasil, ainda são escassos os estudos usando indicadores que contemplem mais de uma dessas dimensões, sendo que os primeiros estudos combinando diferentes ferramentas para avaliação de sustentabilidade em ETEs foram realizados pela Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados (RENTED)

(PAULO *et al.*, 2019). Os pesquisadores consideraram estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) e Análise de Viabilidade Econômica (AVEC).

A Aliança para o Saneamento Sustentável (SuSanA, do inglês *Sustainable Sanitation Alliance*) define que, para ser qualificado como **sustentável**, um **sistema de saneamento deve ser economicamente viável, socialmente aceitável e tecnicamente e institucionalmente adequado, enquanto protege o meio ambiente, a saúde humana e a base de recursos naturais**. Dentro desse contexto, os critérios para o desenvolvimento de sistemas de saneamento urbano sustentáveis, considerando as cinco dimensões de sustentabilidade propostas pela SuSanA – ambiental, social, econômica, técnica e institucional – são apresentados a seguir (SUSANA, 2017)¹:

1. **Saúde e higiene (dimensão social)**: inclui o risco de exposição a patógenos e substâncias perigosas que podem afetar a saúde pública em todos os pontos do sistema de saneamento, desde as peças sanitárias, passando pelo sistema de coleta e tratamento, até o ponto de reúso ou disposição final e populações a jusante. Este tópico também cobre aspectos como higiene, nutrição e melhoria dos meios de subsistência alcançados pela aplicação de um determinado sistema de saneamento, bem como seus efeitos.
2. **Meio ambiente e recursos naturais (dimensão ambiental)**: envolve a energia, água e outros recursos naturais necessários para a construção, operação e manutenção do sistema, bem como as emissões potenciais para o meio ambiente decorrentes do uso desses recursos. Inclui também o grau de reciclagem e reutilização praticado e seus efeitos (por exemplo, água pra reúso; retorno de nutrientes e material orgânico para a agricultura), e a proteção de outros recursos não renováveis, por exemplo, por meio da produção de energias renováveis, como o biogás.
3. **Tecnologia e operação (dimensão técnica)**: incorpora a funcionalidade e a facilidade com que todo o sistema, incluindo a coleta, transporte, tratamento, reutilização e

1 Para fins desta nota técnica entende-se por: (i) **dimensão** - categoria que engloba diversos indicadores/critérios de avaliação de um mesmo tema, por exemplo: dimensão ambiental, social, econômica etc.; (ii) **indicador/critério**: item ou variável específica considerada dentro de cada dimensão, por exemplo: aquecimento global, geração de empregos.

disposição final, pode ser construído, operado e monitorado pela comunidade local e pelas equipes técnicas de serviços públicos locais. Além disso, a robustez do sistema, ou seja, a sua vulnerabilidade a cortes de energia, falta de água, inundações etc., e a flexibilidade e adaptabilidade dos seus elementos técnicos à infraestrutura existente e à evolução demográfica e socioeconômica são aspectos importantes a serem avaliados.

4. Questões financeiras e econômicas (dimensão econômica): relacionam-se com a capacidade das famílias e comunidades de pagar pelo saneamento, incluindo a construção, operação, manutenção e reinvestimentos necessários no sistema. Além da avaliação desses custos diretos, também benefícios diretos, como os produtos reciclados (biossólido, energia e água para reúso), e os custos e benefícios externos devem ser levados em consideração. Esses custos externos são, por exemplo, a poluição ambiental e os riscos à saúde, enquanto os benefícios incluem o aumento da produtividade agrícola e da economia de subsistência, criação de empregos, melhoria da saúde e redução dos riscos ambientais.
5. Aspectos socioculturais e institucionais (dimensões social e institucional): os critérios desta categoria avaliam a aceitação e adequação sociocultural do sistema, conveniência, percepções do sistema, questões de gênero e impactos na dignidade humana, a contribuição para a segurança alimentar, cumprimento da legislação e cenários institucionais estáveis e eficientes.

A identificação dos critérios de sustentabilidade traz um maior detalhamento e clareza dos aspectos e indicadores que devem ser considerados quando se projeta ou

amplia um sistema de esgotamento sanitário. É importante ressaltar que existe uma forte interligação entre as dimensões de sustentabilidade. Assim, o mais importante é ter em mente as fronteiras do sistema em estudo e selecionar os critérios adequados ao contexto local. Em países em desenvolvimento, o foco maior é na cobertura por coleta e tratamento de esgoto do que na sustentabilidade do sistema de esgotamento sanitário em si. Mesmo quando um sistema é projetado considerando critérios técnicos e operacionais adequados (desempenho, operação e manutenção, entre outros), falhas na gestão podem levar ao não atendimento desses critérios. Dificilmente existirá um sistema que atenda todas as dimensões. Ainda de acordo com SuSanA (2017), o conceito de sustentabilidade é mais um caminho do que uma posição a ser alcançada. Uma vez que a adequação ao contexto é um critério fundamental para o saneamento sustentável, não existe uma solução de saneamento que sirva para todos.

Essa NT apresenta um leque de critérios e métodos, discutindo a possibilidade de atendimento aos cinco critérios de sustentabilidade propostos pela SuSanA, visando auxiliar no processo decisório na fase de planejamento para elaboração de estudos e projetos de esgotamento sanitário. Os tópicos e conceitos apresentados, subsidiam a abertura da coletânea “Gestão sustentável do saneamento”, que traz três NTs mais aprofundadas na Dimensão Ambiental, focadas na Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) que, notadamente, é a ferramenta mais utilizada nessa dimensão, e uma NT na Dimensão Social, voltada para a importância da avaliação de risco microbiológico em sistemas de esgotamento sanitário (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Correspondência entre as notas técnicas desta coletânea e o conceito de sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário envolvendo as dimensões definidas pela Aliança de Saneamento Sustentável (SuSanA).

Dimensão	Nota técnica correspondente	Referência
Panorama geral	NT 1 - Avaliação da sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário.	Garayo-Junior <i>et al.</i> (2022)
Ambiental	NT 2 - Avaliação de ciclo de vida como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para a escolha de estações sustentáveis de tratamento de esgoto.	Fernandes <i>et al.</i> (2022a)
	NT 3 - Inventários de ciclo de vida aplicado para o aproveitamento dos subprodutos do tratamento de esgoto: sua utilização como auxílio à tomada de decisão.	Fernandes <i>et al.</i> (2022b)
	NT 4 - A aplicação da avaliação do ciclo de vida em diferentes níveis de tratamento de esgoto.	Gutierrez <i>et al.</i> (2022)
Social	NT 5 - Uso e disposição segura de esgoto doméstico, água cinza e excreta: a abordagem do plano de segurança do saneamento da Organização Mundial da Saúde.	Paulo <i>et al.</i> (2022)

2. DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE E INDICADORES APLICADOS EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A partir de um levantamento bibliográfico das publicações referentes à sustentabilidade de sistemas de esgotamento sanitário, observou-se que os trabalhos identificados na literatura apresentaram critérios relacionados de diferentes formas à uma ou à combinação de algumas das dimensões da sustentabilidade. Como exemplo de estudo em que foram consideradas as cinco dimensões propostas pela SuSanA, apresenta-se a **Figura 1**, adaptada de Cossio *et al.* (2020), que avaliaram a sustentabilidade de sistemas de tratamento de esgoto de pequena escala em países de baixa-média renda.

Nos tópicos a seguir são apresentados os principais critérios encontrados na bibliografia atual para as dimensões propostas pela SuSanA. Ressalta-se que cada uma das dimensões apresentadas na Figura 1 foi relacionada com os critérios comumente utilizadas em estudos de sustentabilidade, sendo que os critérios de saúde e higiene foram inseridos na Dimensão Social.

2.1. Dimensão ambiental

A avaliação de impactos ambientais pode ser definida como um procedimento que visa identificar, descrever, avaliar e desenvolver meios para reduzir impactos potenciais causados no meio ambiente por uma determinada atividade (UNEP/SETAC, 2011). Maceno (2015) descreve diversas ferramentas para a avaliação de desempenho ambiental e dos impactos ambientais. Estas ferramentas analíticas podem ser classificadas quanto à três aspectos: (i) impacto considerado; (ii) objeto de estudo; e (iii) situação real ou de previsão. Carvalho *et al.* (2014) classificou as ferramentas analíticas em três diferentes grupos, referentes aos tipos de análises realizadas: (i) ferramentas de indicador único, como, por exemplo, o IPCC (do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*), que utiliza apenas o indicador de aquecimento global; (ii) ferramentas de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida de produtos (AICV); e (iii) ferramentas aplicadas a processos industriais, utilizadas com o objetivo de avaliar os impactos ambientais desses processos, sendo que o limite de análise encontra-se na fronteira da indústria.

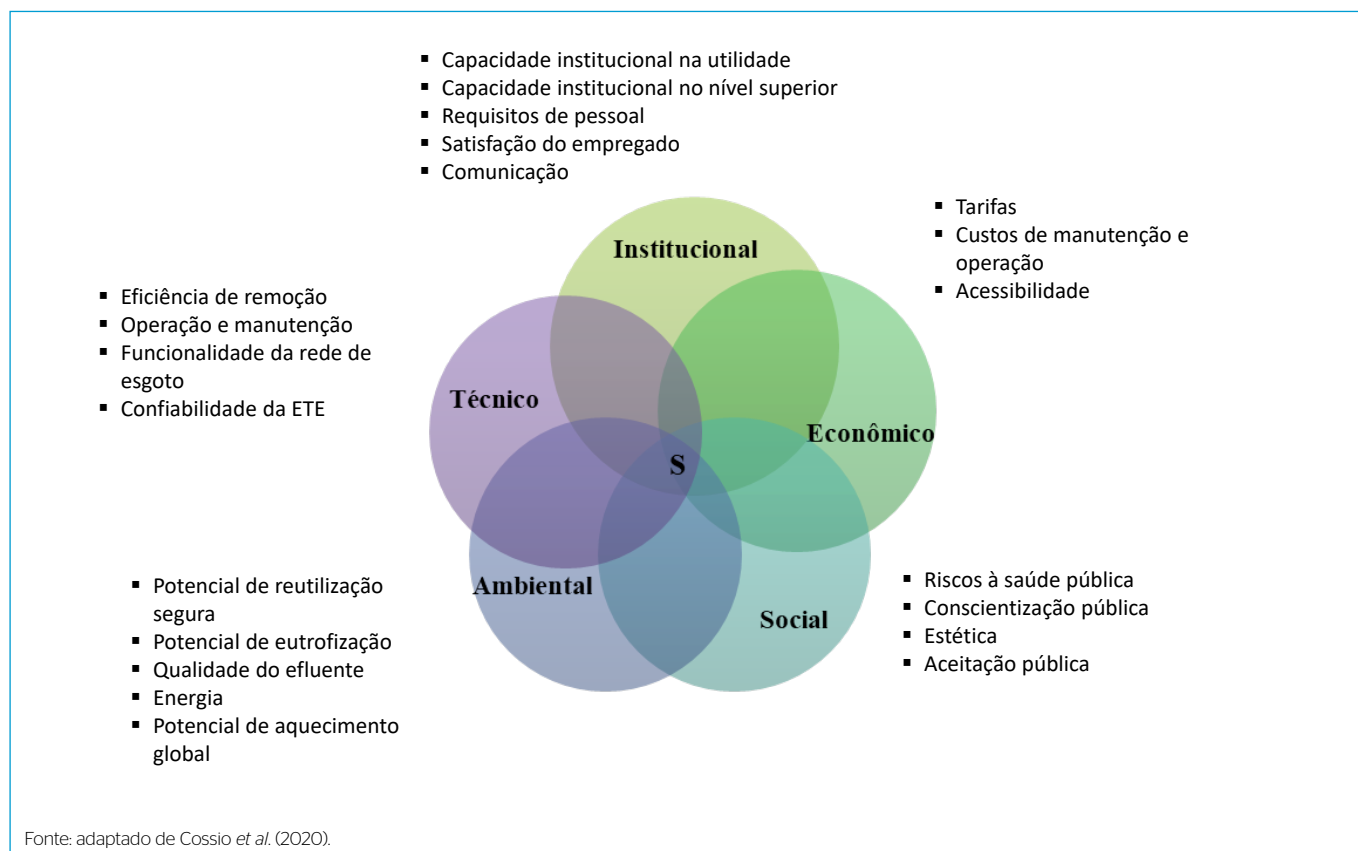


Figura 1 – Dimensões da sustentabilidade e os respectivos critérios considerados.

Em se tratando de ETEs, diversos estudos avaliam somente o processo considerado, ou seja, as emissões e consumo no decorrer da ETE, enquanto outros envolvem uma abordagem de ciclo de vida, considerando os impactos das matérias primas utilizadas e destinação dos subprodutos e resíduos.

Com relação aos estudos que avaliam somente o processo, os critérios selecionados, em sua maioria, são referentes à qualidade do efluente final e às emissões de gases de efeito estufa (COSSIO *et al.*, 2020). Muga e Mihelcic (2008) avaliaram a sustentabilidade de diferentes processos de tratamento. Para a dimensão ambiental, consideraram os critérios de uso de energia, desempenho da tecnologia na remoção de constituintes convencionais presentes no esgoto sanitário, como demanda bioquímica de oxigênio, amônia, fósforo e patógenos. Garrido-Baserba *et al.* (2015) avaliaram diferentes tecnologias de tratamento de lodo em relação ao aquecimento global, considerando as emissões diretas e indiretas dos processos. Sun *et al.* (2020) avaliaram a sustentabilidade de sistemas de tratamento centralizados e híbridos. Para a dimensão ambiental, consideraram a intensidade de emissão de carbono e eutrofização.

Ren e Liang (2017) consideraram, para a dimensão ambiental, o efeito na melhoria da qualidade da água, sendo este critério utilizado para medir a capacidade de diferentes processos de tratamento para remover os constituintes (p. ex.: nitrogênio e fósforo e compostos orgânicos) e materiais perigosos existentes no esgoto sanitário.

No entanto, muitos estudos, que avaliam sustentabilidade em ETEs, utilizam a técnica de ACV para a avaliação da dimensão ambiental. Essa técnica possui a vantagem da existência padronização e engloba os impactos ambientais da fabricação dos insumos utilizados nas ETEs e a destinação dos subprodutos e resíduos. Dos 28 estudos selecionados que realizaram a avaliação da sustentabilidade, 16 utilizaram a técnica de ACV. Destes, 8 focaram no tratamento e destinação do lodo biológico.

A ACV é uma técnica, entre as várias de gestão ambiental (p. ex.: avaliação de risco, avaliação de desempenho ambiental, auditoria ambiental e avaliação de impacto ambiental), com o objetivo de identificar os possíveis impactos associados aos produtos/serviços, tanto na sua fabricação quanto

no consumo. É uma metodologia utilizada para o estudo das cargas ambientais associadas aos diversos estágios de um sistema ou produto, pelo levantamento e quantificação da energia e dos materiais necessários (entradas) e dos resíduos e emissões liberados ao meio ambiente (saídas). Como instrumento de gestão, a ACV permite ao responsável pela decisão escolher uma alternativa considerando seus aspectos técnicos e seu desempenho ambiental, além de auxiliar na identificação de oportunidades de melhoria no ciclo de vida em estudo. Um estudo de ACV é composto de quatro fases: (1) definição de objetivo e escopo; (2) inventário de ciclo de vida; (3) avaliação de impactos de ciclo de vida; e (4) interpretação.

Quando aplicada ao tratamento de efluentes, a ACV é uma ferramenta que pode auxiliar tanto na etapa de definição do projeto, na escolha da melhor tecnologia de tratamento a ser aplicada, quanto no gerenciamento dos subprodutos, por meio da definição de tratamento e destinação final a ser aplicada.

Dentre os estudos que utilizaram a ACV, os critérios mais avaliados são o de aquecimento global e eutrofização, sendo critérios importantes para descrever as emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), visto que emissões de gases de efeito estufa (GEE) ocorrem tanto em ETEs aeróbias, pela liberação de N_2O no processo de nitrificação e desnitrificação, como em ETEs anaeróbias, pela liberação de CH_4 no processo de digestão anaeróbia e lançamento de fósforo e nitrogênio no meio ambiente.

A dimensão ambiental, dentre as dimensões da sustentabilidade, é a que possui maior destaque por ser mais fácil a quantificação e levantamento dos indicadores. Normalmente, as ETEs já possuem monitoramento dos parâmetros do lançamento de efluente para atendimento aos requisitos legais, caracterização e quantificação dos subprodutos e resíduos gerados.

A ACV como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para a escolha de ETEs sustentáveis será mais bem descrita na NT 2 desta coletânea (FERNANDES *et al.*, 2022a).

2.2. Dimensão econômica

A análise de viabilidade econômica é um dos pilares mais difundidos nos estudos de sustentabilidade de ETEs,

contribuindo no processo de tomada de decisão, principalmente entre as alternativas de investimentos de longo prazo. É importante destacar que há diferenças entre a análise econômica propriamente dita e a análise financeira. A análise econômica considera os benefícios e custos de um projeto para a sociedade como um todo. Por outro lado, a análise financeira leva em consideração principalmente a capacidade de um projeto de gerar receitas o suficiente para reembolsar os custos financeiros incorridos na construção e operação das instalações. Ambas as análises são úteis para identificar se o projeto proposto será um investimento viável, porém, a análise econômica considera todos os benefícios e custos, independentemente de quem é afetado diretamente pela execução deste projeto.

Desta maneira, uma análise financeira da gestão dos sistemas de esgotamento sanitário considera os custos e benefícios monetários diretos, podendo apoiar a tomada de decisão do ponto de vista de uma empresa de saneamento, por exemplo, enquanto uma análise econômica avalia os custos e benefícios mais amplos para a sociedade, fornecendo informações para as decisões de políticas públicas no intuito de apoiar melhorias na gestão do setor (HERNÁNDEZ-SANCHO et al., 2015). Pode ser que uma alternativa para produção de água para reúso, por

exemplo, não alcance a recuperação dos custos em termos financeiros, mas seja viável sob uma perspectiva econômica. Na **Figura 2** são apresentados os componentes de uma análise financeira comparados a uma análise econômica em relação às soluções de recuperação de recursos e produção de água para reúso em ETEs.

A recuperação de recursos em ETEs requer uma análise econômica que incorpore todos os custos e benefícios financeiros, ambientais e sociais para a tomada de decisão. É importante notar que, embora os custos financeiros sejam maiores do que os benefícios financeiros, os benefícios econômicos e sociais são inúmeros, incluindo a redução da pobreza, melhoria da segurança alimentar, melhoria da nutrição e saúde, gerenciamento dos recursos naturais de forma mais sustentável, maior proteção dos ecossistemas, construção de resiliência climática das comunidades etc. (HANJRA et al., 2015).

Em economia, efeitos indiretos decorrentes de decisões econômicas são chamados de “externalidades”. As externalidades ocorrem quando os efeitos de uma transação não se refletem no preço de mercado dos bens e/ou recursos. Assim, os custos diretos são os custos decorrentes da construção e operação da instalação, sendo suportados pela empresa de saneamento ou cliente.

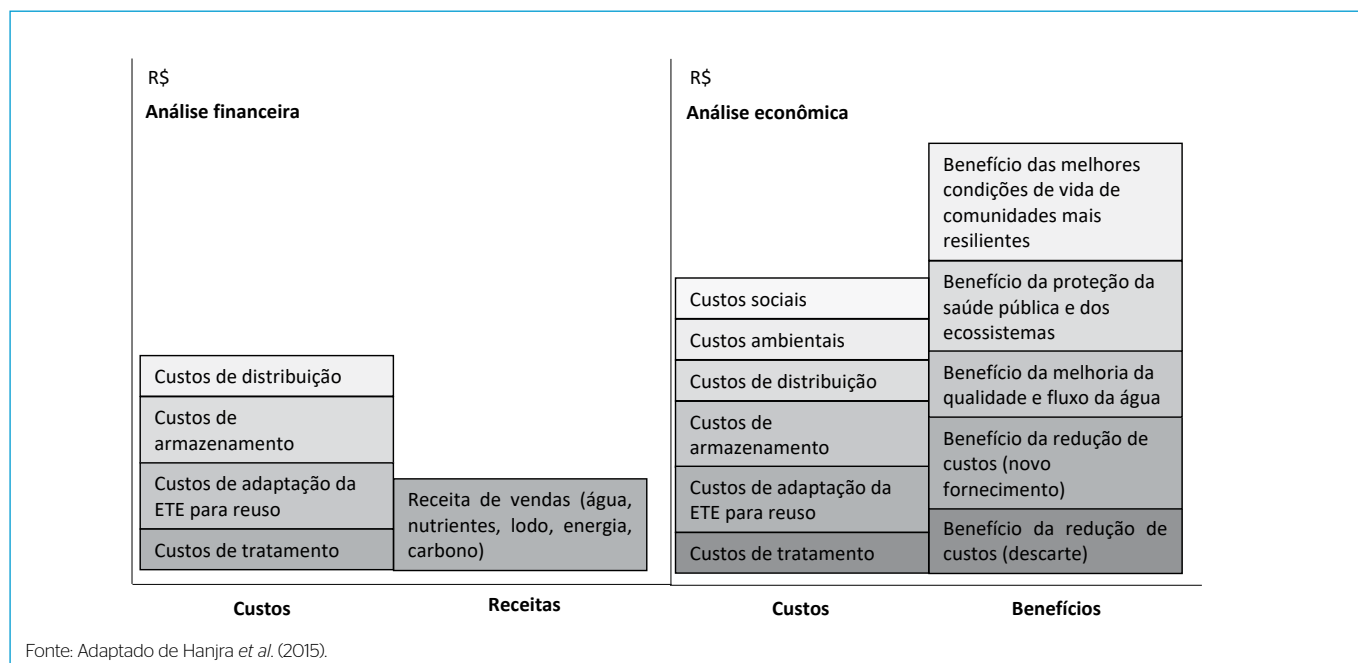


Figura 2 – Análise financeira versus econômica de soluções de recuperação de recursos e produção de água para reúso.

No caso de benefícios indiretos ou externos, mesmo que a empresa de saneamento seja a responsável pelo investimento, ela não recebe o valor real da ação, pois seus benefícios são mais amplos do que o retorno direto. Os custos e benefícios indiretos também deverão ser estimados em termos econômicos, como, por exemplo, o aumento da produtividade no trabalho devido à diminuição da incidência de uma doença.

Para a aplicação das metodologias de análise financeira e econômica, é necessário o entendimento de conceitos como fluxo de caixa, custos, despesas, receitas, investimentos, taxa de desconto, entre outros. Considerando que os custos ou benefícios ocorrem em um período futuro, é importante que esses custos e benefícios sejam descontados para torná-los completamente comparáveis, o que resulta no valor presente dos custos e benefícios futuros. Assim, o valor presente líquido (VPL)² de um projeto de investimento pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. O método consiste em calcular o VPL do fluxo de caixa (saldo das entradas e saídas de caixa) do investimento a partir da taxa de atratividade (GITMAN, 2010). A viabilidade de um projeto analisado pelo método do VPL é indicada pela diferença positiva entre receitas e custos, atualizada a determinada taxa especificada (REZENDE E OLIVEIRA, 1993).

O cálculo do VPL consiste em encontrar uma série anual uniforme que se equipare aos fluxos de caixa (tanto receitas quanto despesas) dos investimentos descontados a uma taxa mínima de atratividade (TMA). Como critério de decisão, o melhor projeto é aquele que tiver o maior saldo positivo, ou seja, a maior receita líquida. Assim, a análise financeira emprega procedimentos contábeis para avaliar estratégias de financiamento e fluxos de caixa para determinar a viabilidade e estabilidade de um projeto.

Os conceitos de despesas de capital (CAPEX, do inglês *capital expenditure*) e operacionais (OPEX, do inglês *operational expenditure*) também são bastante utilizados em análises econômicas, sendo comumente adotados por

empresas. O CAPEX ocorre quando a empresa necessita de adquirir bens para a melhoria de sua produção, estando relacionado ao investimento em máquinas, equipamentos e instalações das empresas. O OPEX está relacionado aos custos operacionais, como manutenção, salários dos funcionários, contratação de serviços, despesas de consumo etc. Os cálculos de CAPEX e OPEX são utilizados para representar o investimento e a parte do fluxo de caixa referente às despesas numa análise de viabilidade.

Garrido-Baserba *et al.* (2018) avaliou a viabilidade econômica de três diferentes tipos de sistemas de separação na fonte (com diferentes níveis de descentralização), usando os conceitos de CAPEX e OPEX, em comparação ao processo centralizado de tratamento de esgoto por lodos ativados. Os resultados mostram que a mudança para sistemas com separação na fonte sairia de um cenário com maior OPEX e menor CAPEX (sistema de lodos ativados) para um cenário com maior CAPEX e menor OPEX (considerando o tratamento separado da água fecal e da água cinza). Neste caso, a redução do OPEX foi da ordem de 26% nos sistemas com separação na fonte, devido principalmente à redução do consumo de energia para a aeração do processo de lodos ativados (GARRIDO-BASERBA *et al.*, 2018).

Uma outra metodologia que merece destaque é a avaliação de custos do ciclo de vida (*life cycle costs*), que se baseia em um método de cálculo do custo total de propriedade ao longo de toda a vida útil de um ativo, utilizada para garantir a classificação de diferentes alternativas de investimento, indo além do preço de compra de um bem ou serviço e utilizando uma abordagem de longo prazo para o processo de tomada de decisão (TONIOLO *et al.*, 2020). Nesse conceito, além do custo inicial, são considerados todos os custos subsequentes esperados, bem como o valor residual e quaisquer outros benefícios quantificáveis a serem auferidos. Nesse sentido, pode-se concluir que, do ponto de vista econômico, pode ser preferível pagar um custo inicial elevado, mas incorrer em custos subsequentes menores devido à manutenção da propriedade de qualquer ativo (SWARR *et al.*, 2011).

Já a análise de custo-benefício será a opção desejada principalmente se o objeto da pesquisa tratar de programas

² $VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0$ Na qual: VPL - valor presente líquido; FCj - fluxo de caixa no período j; i - custo de capital; j - prazo.

de investimento de longo prazo ou projetos a nível nacional. Essa análise, correspondente ao lucro líquido (diferença entre receita total e custo total), se destaca por não levar em conta somente os impactos internos, caracterizados pelo balanço entre as receitas e os custos internos, mas também as chamadas externalidades decorrentes do sistema em análise (diferença entre externalidades positivas e externalidades negativas). Para um determinado projeto, se o resultado do cálculo do lucro líquido for maior que zero, o projeto é economicamente viável, de forma que se considera a melhor opção aquela que oferece o maior lucro líquido (MOLINOS-SENANTE *et al.*, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2014; DJUKIC *et al.*, 2016). Neste sentido, Hernandez-Sancho *et al.* (2015) desenvolveu um estudo analítico comparando os custos de nenhuma ação *versus* os custos da gestão eficaz do serviço de esgotamento sanitário. Os custos de nenhuma ação podem ser categorizados em três grupos: (i) efeitos adversos à saúde humana associados à redução da qualidade da água potável e de banho/recreação; (ii) efeitos ambientais negativos devido à degradação de corpos d'água e ecossistemas em que o esgoto não tratados ou tratados inadequadamente são despejados; e (iii) os potenciais efeitos sobre as atividades econômicas que usam água poluída para a produção agrícola, pesca, aquicultura ou turismo. O resultado desta comparação foi capaz de demonstrar a lucratividade de atuar contra a poluição decorrente do despejo de esgoto não tratado nos corpos d'água, confirmando que a implementação de sistemas de tratamento de esgoto é economicamente viável, com benefícios de valores superiores aos custos, conforme apresentado na **Tabela 2**.

A gestão adequada sistemas de esgotamento sanitário é socialmente desejável e economicamente compensadora, fornecendo muitos benefícios públicos, incluindo aqueles relacionados à saúde e ao meio ambiente, e que

devem ser considerados no processo de tomada de decisão, principalmente em relação às políticas públicas em países em desenvolvimento (HERNANDEZ-SANCHO *et al.*, 2015).

2.3. Dimensão social e institucional

O uso de indicadores sociais, quando no processo de tomada de decisão, pode atender diversas funções, como por exemplo, avaliação comparativa de desempenho (*benchmarking*), acompanhamento do progresso ao longo do tempo, avaliação de processos alternativos para a fabricação de um determinado produto etc. Sendo assim, a Avaliação de Impacto Social (AIS) garante que o desenvolvimento maximize seus benefícios e minimize seus custos, colocando em prática medidas de mitigação para lidar com impactos sociais adversos e, ao mesmo tempo, garantir a sustentabilidade geral do projeto (TAKYI, 2014).

A AIS contempla os processos de análise, monitoramento e gestão das consequências sociais das intervenções planejadas, sejam elas quais forem, que transitam entre diversos campos como estético, cultural, demográfico, da pobreza, do capital social, entre outros. Deve consistir na relação causa-efeito das intervenções, a partir da identificação das fontes dos impactos sociais e dos processos e atividades que irão afetar a sociedade positiva ou negativamente, além da proposição de medidas para potencialização dos impactos positivos e mitigação dos negativos (TAKYI, 2014).

A condução da AIS deve ser baseada na coleta de dados confiáveis, que pode se tornar um ponto crítico quando dependente da sociedade. Sendo assim, deve-se acessar a opinião pública e utilizar metodologias para auxiliar na precisão dos resultados a serem obtidos, como aqueles mencionados por Takyi (2014) como formas mais tradicionais de AIS: opinião de especialistas; consultas e questionários; lista de controle (*checklists*); análise espacial; matrizes; análise de capacidade de carga; e modelagem.

Tabela 2 – Benefícios totais, custos totais e valor presente líquido da implementação dos dois diferentes sistemas de tratamento de esgoto em países em desenvolvimento (taxa de desconto = 2,5%).

	Benefícios totais para toda a vida útil (€)	Custos totais para toda a vida útil (€)	Valor presente líquido (€)
Sistema de lagoas	1.280.000	838.000	442.000
Sistema de alagados construídos	1.530.000	1.186.000	344.000

Fonte: Adaptado de Hernandez-Sancho *et al.* (2015).

Com o maior desenvolvimento e aplicação dos conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, novas metodologias foram surgindo e sendo aprimoradas. Ibáñez-Forés *et al.* (2014) e Garcia e Pargament (2015) citam, além dessas, as metodologias apresentadas a seguir, que por muitas vezes se sobrepõem à dimensão econômica:

- Avaliação de risco: determinação do valor do risco associado a um certo sistema ou processo, a partir do cálculo da magnitude das possíveis perdas e a possibilidade da ocorrência de danos.
- Avaliação de Desenvolvimento Financeiro (DFA, do inglês *Development Finance Assessment*): processo analítico que identifica e analisa os processos que possuem emissões poluidoras que podem ser perigosas ou produzir algum dano específico ao meio ambiente, e os avalia economicamente.
- Monetização e custo externo: utilizado para avaliar monetariamente os efeitos positivos e negativos de um sistema no meio ambiente e na sociedade.
- Avaliação de custo-benefício: pode ser usada como uma ferramenta de apoio à decisão para avaliar os ganhos e perdas dos projetos, considerando o valor econômico das externalidades sociais e ambientais.

Apesar da variedade de alternativas e possibilidades existentes, a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV) é uma das metodologias mais utilizadas para a avaliação do pilar social da sustentabilidade, uma vez que está atrelada à ACV. Trata-se de uma técnica para coletar, analisar e comunicar informações sobre as condições sociais e impactos associados à produção e ao consumo em todo o ciclo de vida de um produto e/ou serviço. Sendo assim, a ASCV é uma ferramenta que auxilia os tomadores de decisão a escolherem alternativas com as consequências sociais mais favoráveis (HUERTAS-VALDIVIA *et al.*, 2020).

Ao contrário do que acontece nas dimensões ambiental e econômica, para a dimensão social não são encontrados muitos estudos específicos de aplicação de avaliação de impactos sociais para sistemas de esgotamento sanitário. Sendo assim, quando essa dimensão é considerada, ela está relacionada a pelo menos uma das outras dimensões em uma avaliação mais complexa voltada à tomada de decisão.

Neste sentido, as Análises Multicritério são amplamente aplicadas, já que conseguem facilmente agregar indicadores sociais à análise. Como na pesquisa de Muga e Mihelcic (2008), em que os indicadores sociais captaram a aceitação cultural da tecnologia por meio da participação pública e, também, mediram se havia melhorias na comunidade a partir de tecnologia específica por meio de maiores oportunidades de emprego, melhor educação ou um ambiente local aprimorado. Cossio *et al.* (2020) utilizaram os seguintes critérios para a dimensão social: risco para a saúde pública, conscientização pública, estética e aceitação pública. Ainda, o estudo demonstrou como as dimensões se sobrepuseram, uma vez que vários indicadores originalmente listados como sociais foram movidos para a dimensão institucional, incluindo satisfação do funcionário, participação, experiência e requisitos da equipe.

Nessa mesma linha, Amaral *et al.* (2019) utilizaram o Painel de Sustentabilidade, em tradução livre (DoS, do inglês *dashboard of sustainability*) para integrar as três dimensões, avaliando os seguintes indicadores sociais: salários pagos aos trabalhadores, nível de ruído, uso de produtos químicos perigosos, emissão de odores (H_2S e NH_3), riscos biológicos (bactérias, fungos, vírus), teores de nitrogênio fósforo e patógenos presentes no lodo, e a capacidade de gerar empregos. Sanches (2009) desenvolveu sua própria metodologia para verificação da sustentabilidade de sistemas, a partir dos cálculos individualizados dos impactos ambientais, econômicos e sociais. Para o cálculo do impacto social, a autora baseou-se no conceito de matriz social da tecnologia. Em suma, quantificou-se o impacto social baseado no ciclo de vida do sistema proposto, dentro do conceito de Estudo de Concepção ou de Alternativas. Os indicadores utilizados foram: riscos ambientais associados ao processo (físico, químico ou biológico), benefício à comunidade (lodo, gás), ruído, odor, disponibilização de áreas, flexibilidade do processo, confiabilidade, imagem do produto, e manutenção e operação.

A lógica *Fuzzy* também é uma metodologia amplamente utilizada na agregação dos indicadores, tendo sido utilizada por Padilla-Rivera e Güereca (2019) e Ren e Liang (2017) por meio de indicadores relativos à comunidade e sociedade (aceitação e participação pública, empregos

locais, condições de vida seguras e saudáveis, apoio governamental), aos consumidores (mecanismos de *feedback*), aos trabalhadores (jornada de trabalho, salário justo, saúde e segurança), e à cadeia de suprimentos (promoção da responsabilidade social). Sun *et al.* (2020) aplicaram o Processo de Hierarquia Analítica (AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*) para sistemas de gerenciamento de águas residuárias, utilizando os seguintes indicadores: requisitos institucionais, aceitação, experiência, custo com a taxa paga pelo usuário, volume de tratamento, reúso de água, complexidade do sistema, aceitação pública, odores, ruído, impactos visuais, e resiliência (robustez e rapidez). De forma semelhante, Padilla-Rivera *et al.* (2016) desenvolveram uma metodologia que propôs o uso de 25 indicadores como marco de medição do desempenho social para avaliar o andamento da caminhada rumo à sustentabilidade. Os indicadores foram separados entre quatro diferentes partes interessadas (*stakeholders*): comunidade e sociedade, trabalhadores, consumidores e cadeia de suprimento. O trabalho se apresentou, então, como uma abordagem semiquantitativa, que utilizou os seguintes indicadores: participação pública, aceitação, trabalho infantil, salários justos, qualidade do efluente, saúde e proteção, competição justa, entre outros.

Verifica-se assim que diferentes formas de análise vêm sendo aplicadas para a dimensão social da sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário. Em síntese, a dimensão representa a preocupação com a população direta e indiretamente afetada pelas intervenções previstas. Os usos e costumes dos habitantes e a cultura local influenciam diretamente na implantação de sistemas de esgotamento sanitário, sendo assim, tais aspectos devem ser considerados em todo o processo de tomada de decisão, levando em consideração diversos fatores, como: participação comunitária, geração de empregos, aceitação, qualidade do efluente e do lodo, e os riscos à saúde pública.

2.4. Dimensão técnica

Desde o século XIX, muitas tecnologias foram desenvolvidas para o tratamento de esgoto. Algumas delas amplamente difundidas, como os lodos ativados, reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB, do inglês

upflow anaerobic sludge blanket reactor), lagoas de estabilização, filtros biológicos e *wetlands* construídos, evidenciando a variedade e diferenciação tecnológica dos sistemas de tratamento de esgoto. Desenvolvimentos recentes nos sistemas de esgotamento sanitário têm fornecido várias possibilidades tecnológicas no processo decisório. Neste sentido, a análise de viabilidade técnica e operacional de um sistema de esgotamento sanitário é um componente chave para guiar o processo de decisão da alternativa tecnológica (KALBAR *et al.*, 2012).

A dimensão “técnica e operacional” em muito se confunde com a dimensão “ambiental” nos estudos de avaliação de sustentabilidade, isto, pois, o desempenho tecnológico das ETEs se relaciona diretamente com a eficiência na remoção dos poluentes e seu consequente impacto no meio ambiente. Por conta desta forte inter-relação técnica e ambiental, são poucos os estudos que consideram separadamente a “dimensão técnica e operacional”.

O pilar da viabilidade técnica, na análise de sustentabilidade, normalmente está vinculado ao desempenho requerido do sistema, que depende de variáveis como local da estação, legislações e corpo receptor dos efluentes. Desta forma, a maioria dos trabalhos desenvolvidos avaliam os aspectos técnicos sob a ótica do desempenho ou eficiência do sistema de esgotamento sanitário. No entanto, alguns autores trazem outros critérios técnicos passíveis de avaliação, conforme os propostos por Bottero *et al.* (2011), Ren e Liang (2017) e Cossio *et al.* (2020), que são apresentados na **Tabela 3**.

Nota-se que os indicadores apresentados na Tabela 3 são aplicáveis e estão alinhados com a definição “Tecnologia e Operação” da SuSanA. Por exemplo, os critérios “operação e manutenção”, “operabilidade e simplicidade”, “maturidade” e “atividades de gerenciamento” corroboram para a avaliação da funcionalidade e facilidade de operação do sistema. Já o critério “confiabilidade” pode avaliar a resiliência do sistema a falhas de operação e desastres naturais.

O grau de mecanização da tecnologia é um fator que tem influência na operação, simplicidade e confiabilidade do sistema. Uma tecnologia altamente mecanizada pode não ser apropriada para uma região, pois depende do nível de instrução da comunidade, mão de obra capacitada, disponibilidade de recursos entre outros (KALBAR *et al.*, 2012).

Tabela 3 – Critérios técnicos e operacionais que podem compor a avaliação de sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário.

Critério	Descrição	Referência
Complexidade do sistema	Complexidade envolvida na realização do projeto, levando em conta os equipamentos necessários, licenças administrativas e projetos.	Bottero <i>et al.</i> (2011)
Atividades de gerenciamento	Operações para o gerenciamento da planta.	
Desempenho	Elementos dimensionais e funcionais da unidade que determinam o desempenho final.	
Eficiência de remoção	Avalia o desempenho da estação de tratamento na remoção de DBO, SST, NT e PT.	Cossio <i>et al.</i> (2020)
Operação e manutenção	Avalia a complexidade da operação e manutenção do sistema.	
Funcionalidade da rede de esgoto	Avalia a funcionalidade ideal da rede de esgoto para reduzir impactos negativos na estação.	
Operabilidade e simplicidade	Mede a facilidade de implementação do sistema.	Ren e Liang (2017)
Maturidade	Avalia o nível de utilização da tecnologia nacionalmente e internacionalmente.	
Confiabilidade	Robustez da tecnologia em relação a falhas e desastres.	

Não é incomum, principalmente em países em desenvolvimento, haver falta de insumos para a manutenção de equipamentos de sistemas mais complexos. Além disso, é importante salientar que a escolha da tecnologia também passará pelo crivo de agências ambientais, para a obtenção das licenças administrativas, o que compõem mais uma parte interessada que pode influenciar no processo decisório.

A análise de indicadores técnicos e operacionais amplia a visão do conceito de sustentabilidade, pois aborda aspectos não incluídos na dimensão ambiental, como, por exemplo, a complexidade de operação e manutenção do sistema, maturidade e robustez a falhas e desastres. Desta forma, a inclusão desta dimensão na análise de sustentabilidade pode auxiliar os tomadores de decisão na escolha da melhor tecnologia, considerando as particularidades regionais e a complexidade do sistema desejado.

3. ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE PARA SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A multidimensionalidade é uma característica intrínseca da Avaliação de Sustentabilidade, no entanto, para a escolha da melhor alternativa de sistema de saneamento, se faz necessário a aplicação de algum método para a agregação e definição de pesos para os indicadores. Assim, previamente ao processo de agregação, é necessário a definição de quais indicadores serão utilizados em cada dimensão da sustentabilidade e a avaliação de desempenho individual.

Especialmente para esta NT, por meio de uma pesquisa no *Journal Citation Reports* (JCR), foram selecionados 28

artigos científicos publicados entre 2009 e 2020 com foco em avaliação de sustentabilidade em sistemas de saneamento. Destes artigos, foi analisado o número de ocorrências de cada critério/indicador para as dimensões de sustentabilidade – ambiental, social e econômica (**Figura 3**). Com base na frequência de ocorrência nos artigos pesquisados, propõe-se a adoção dos indicadores/critérios apresentados na **Tabela 4**. Importante ressaltar que se pode incluir mais indicadores a depender do objetivo da avaliação.

Com a definição dos critérios de avaliação, a próxima etapa é a Avaliação de Sustentabilidade. Isto pode ser realizado por meio da obtenção de um único indicador composto, normalmente denominado “Índice de Sustentabilidade”³, para que se possa escolher a melhor alternativa de esgotamento sanitário. Por outro lado, também se pode definir pesos para cada indicador escolhido, em que, por meio da soma de todos os critérios, obtêm-se a melhor alternativa. A agregação e a definição de pesos podem ser utilizadas em conjunto, dependendo do método adotado.

A Análise Multicritério para a tomada de decisão é uma ferramenta comumente utilizada para agregação e definição de pesos para os indicadores de sustentabilidade, sendo utilizadas diferentes metodologias. Ibáñez-Forés *et al.* (2014) levantaram as metodologias de análise multicritério mais utilizadas sob a perspectiva da sustentabilidade em 77 artigos. Na **Tabela 5** são apresentadas essas metodologias.

³ Para fins desta NT, entende-se por **índice**: indicador único ou totalizador obtido por alguma metodologia de agregação, considerando uma ou mais dimensões da sustentabilidade com o objetivo de visualizar a melhor alternativa.

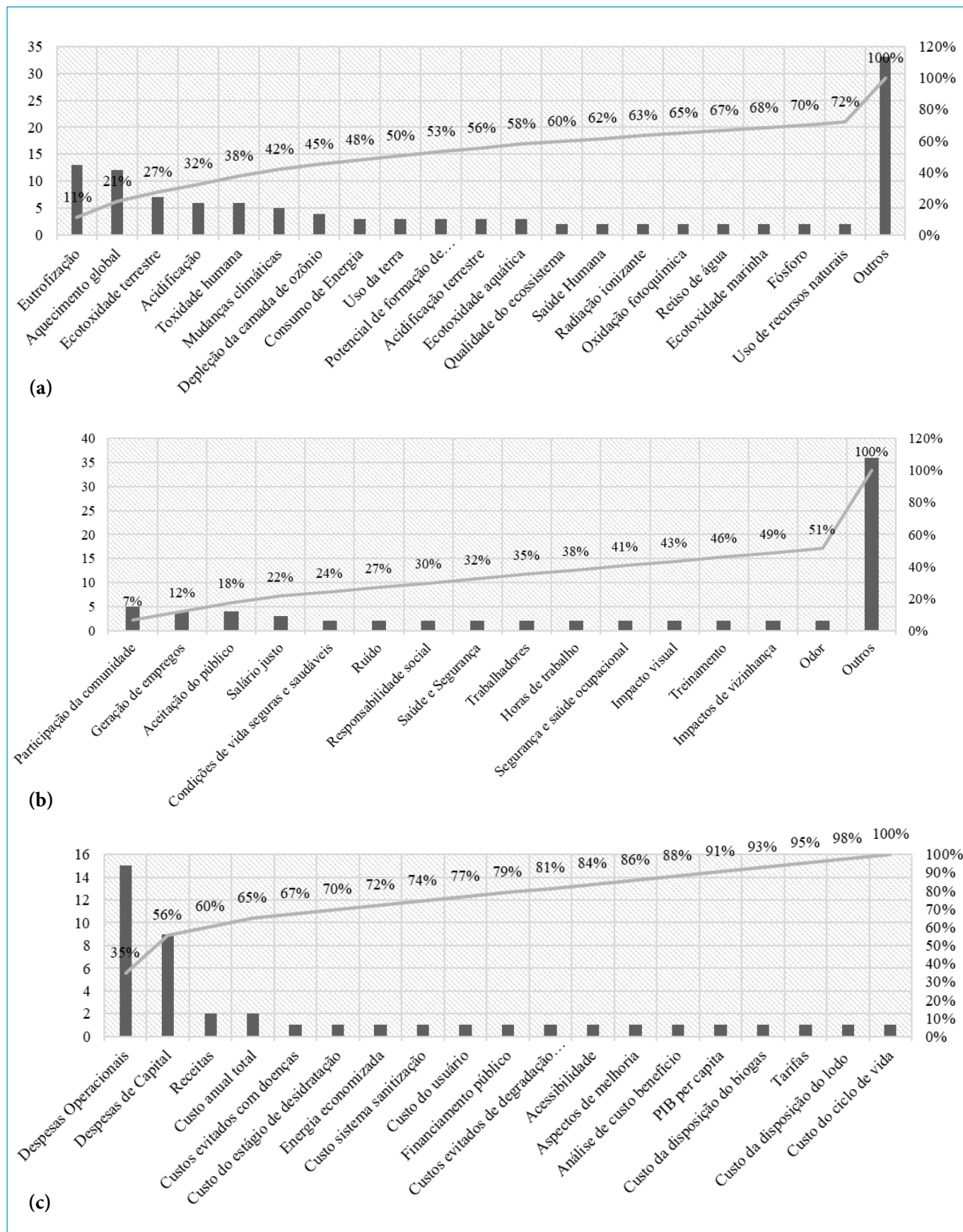


Figura 3 – Número de ocorrências de indicadores/critérios nas dimensões: (a) ambiental; (b) social; (c) econômica.

No que concerne à avaliação de sustentabilidade em sistemas de saneamento, dos 28 artigos pesquisados, 14 deles utilizaram algum método de Análise Multicritério para a tomada de decisão. Por meio deste levantamento verificou-se que seis artigos utilizaram a atribuição de pesos para os indicadores, três utilizaram a AHP, dois utilizaram a lógica de *fuzzy* e a aplicação de pesos, um utilizou a AHP em conjunto com a *Analytic Network Process* (ANP), um utilizou a *Life Cycle Analysis* (LCA) em conjunto com a metodologia *Emergy*, e um artigo utilizou exclusivamente a LCA.

A AHP é um dos métodos mais aplicados na avaliação de sustentabilidade em sistemas de saneamento. Neste método, o problema (escolha da alternativa) é estruturado em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão e avaliação. Para a aplicação desta metodologia é necessário que tanto os critérios quanto as alternativas possam ser estruturadas de forma hierárquica (organograma), sendo que o primeiro nível da hierarquia (topo) é o problema que

se deseja resolver (qual a melhor alternativa para esgotamento sanitário?), o segundo nível representa, separadamente, as dimensões de sustentabilidade avaliadas, e no terceiro nível, abaixo de cada dimensão, os indicadores individuais. Esta forma hierárquica permite a visualização dos componentes, sua complexidade e inter-relação.

Posteriormente, é elaborada uma matriz de comparação dos pares, à luz de cada indicador. Profissionais, experts, tomadores de decisões e partes interessadas atribuem pontuações, utilizando a “escala de Saaty”, normalmente indo de 1 (ambos os indicadores são de igual importância para o problema) a 9 (extrema importância de um elemento sobre o outro para o problema). Depois que as matrizes de comparação são criadas, os pesos relativos dos elementos de cada nível com relação a um elemento no nível superior adjacente são calculados como os componentes do vetor normalizado associado ao maior valor de sua matriz de comparação (BOTTERO *et al.*, 2011).

Tabela 4 – Critérios propostos para a avaliação de sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário.

Dimensão ambiental (meio ambiente e recursos naturais)	Dimensão econômica (financeira e econômica)	Dimensão técnica (tecnologia e operação)	Dimensão social e institucional (sociocultural e institucional, saúde e higiene)
<ul style="list-style-type: none"> Aquecimento global Eutrofização Acidificação Depleção da camada de ozônio Toxicidade 	<ul style="list-style-type: none"> Despesas de capital Despesas operacionais Receitas diretas Externalidades (avaliação econômica) 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiência de Remoção Operação e Manutenção Confiabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> Participação comunitária Geração de empregos Aceitação Qualidade do efluente e do lodo Risco à saúde pública

Tabela 5 – Metodologias de Análise Multicritério utilizadas para avaliação de sustentabilidade.

Categoria	Método de Análise Multicritério	Referência da Metodologia*
Teoria da Utilidade Multiatributo/ Teoria do Valor Multiatributo Análise Hierárquica do Processo/Processo de Rede Analítica	MAUT/MAVT AHP/ANP	Fishburn (1970)/Keeney and Raiffa (1976) Saaty (1980; 1996)
Métodos de Superação	ELECTRE PROMETHEE	Roy (1968) Brans e Vincke (1985)
Métodos não clássicos	Metodologia Fuzzy	Cengiz (2008)
Programação Matemática Multiobjetivo	Programação de restrição Programação linear Programação por objetivo	Mavrotas <i>et al.</i> (2007) Steuer (1986) Charnes <i>et al.</i> (1978)
Abordagem de Distância ao Objetivo.	TOPSIS Análise Relacional Gray Análise de Envolvimento de Dados	Hwang e Yoon (1981) Deng (1989) Seiford e Thrall (1990)
Métodos Elementares de Agregação	Método de Soma Ponderada Método do Produto Ponderado	Wang <i>et al.</i> (2009)
Ranqueamento Direto (alta dependência do tomador de decisão)	Avaliação passo a passo de especialistas Delphi Métodos de Pontuação	Dijkmans (2000) Linstone e Turoff (1975)

Nota: * Citado por Ibáñez-Forés *et al.* (2014).

Fonte: Adaptado de Ibáñez-Forés *et al.* (2014).

Após a aplicação da metodologia de agregação ou definição de pesos, é possível determinar a melhor alternativa de sistema de esgotamento sanitário. Caso a decisão final não seja satisfatória do ponto de vista das partes interessadas (*stakeholders*) envolvidas no processo, deve-se revisar as etapas anteriores.

Na **Figura 4** são apresentadas as etapas necessárias para uma avaliação de sustentabilidade.

Apesar da amplitude de métodos e ampla bibliografia sobre a Análise Multicritério, segundo Ren e Liang (2017), a maioria dos estudos que a aplicam para a sustentabilidade necessitam de dados precisos para o cálculo dos indicadores e, conseqüentemente, para a escolha da melhor alternativa. Deste modo, a falta de informações e incertezas compõem uma fragilidade da ferramenta. A grande pergunta que permeia o estudo de Análise Multicritério é: qual a melhor ferramenta para a análise multicritério? De fato, considerando os aspectos relacionados à temática da sustentabilidade e a grande variedade de métodos, é aceitável dizer que não há uma única ferramenta aplicável a todos os casos e particularidades, pois uma gama de aspectos deve ser considerada, como o número de dimensões, indicadores e partes interessadas no processo e o objetivo da análise de sustentabilidade.

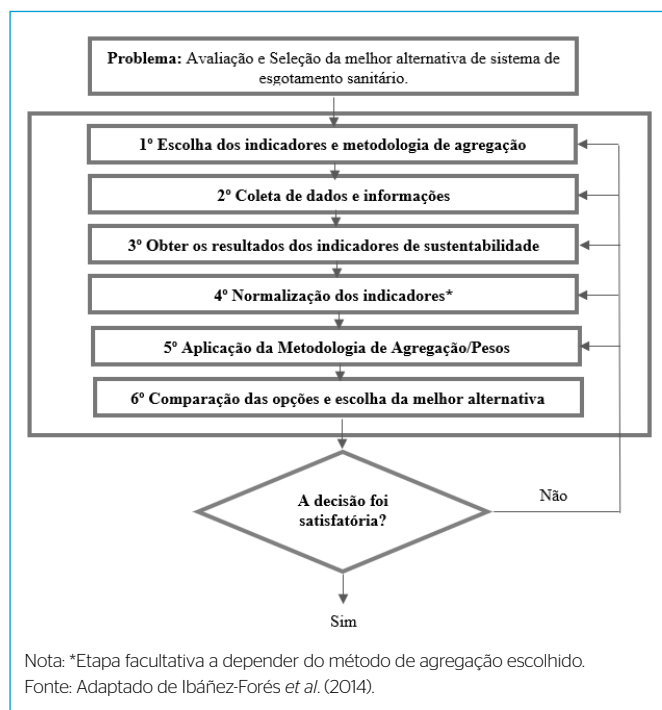


Figura 4 – Etapas da Avaliação de Sustentabilidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As partes interessadas no processo de escolha de um sistema de saneamento estão cada vez mais exigentes no atendimento aos critérios de sustentabilidade. A tendência de demanda pelo atendimento desses critérios já é realidade entre os principais financiadores mundiais de infraestrutura, fazendo que a sustentabilidade seja, muito além de uma escolha organizacional, uma obrigação para a viabilidade de projetos de saneamento.

Todavia, fica evidente, a partir da pluralidade de abordagens em relação não só ao conceito de sustentabilidade, mas especialmente quanto às dimensões que o compõe, que ainda não há um consenso sobre como efetivamente devem ser conduzidas as análises de sustentabilidade em sistemas de saneamento.

Dessa forma, este trabalho buscou apresentar como especialistas em sistemas de saneamento vêm trabalhando na construção de indicadores relacionados às dimensões ambiental, econômica, técnica, institucional e social, e como, em muitas ocasiões, a necessidade de se recorrer a sofisticados métodos de análise multicritério para que uma resposta mais holística possa ser apresentada. Com base na frequência de ocorrência no levantamento bibliográfico, foram propostos alguns critérios básicos para a avaliação de sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário. Ressalta-se que a adequação ao contexto local é fundamental.

Embora em um primeiro momento possa parecer que um estudo de avaliação de sustentabilidade em sistemas de saneamento seja muito complexo devido ao amplo universo de indicadores e metodologias, uma nova perspectiva sobre a terminologia de sustentabilidade se abre, devendo ser adaptada às realidades locais, considerando suas partes interessadas e objetivos desejados com a avaliação, lembrando que, um estudo completo de sustentabilidade em sistema de esgotamento sanitário deve abordar todas as dimensões aqui apresentadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

– CNPq, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações

Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis.

Este trabalho faz parte da série de publicações do INCT ETEs Sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, K. G. C. DO; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Sustainability assessment of sludge and biogas management in wastewater treatment plants using the LCA technique. *Revista Ambiente e Água*, v. 14, n. 5, 2019.
- BOTTERO, M.; COMINO, E.; RIGGIO, V. Environmental Modelling & Software Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems. *Environmental Modelling and Software*, v. 26, n. 10, p. 1.211-1.224, 2011.
- BRASIL. Secretaria Geral. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera Leis relacionadas. Brasília, DF, 2020.
- CARVALHO, A.; MIMOSO, A. F.; MENDES, A. N.; MATOS, H. A. From a literature review to a framework for environmental process impact assessment index. *Journal of Cleaner Production*, v. 64, p. 36-62, 2014.
- COSSIO, C.; McCONVILLE, J. R.; MATTSON, A.; MERCADO, A.; NORRMAN, J. EVAS - a practical tool to assess the sustainability of small wastewater treatment systems in low and lower-middle-income countries. *Science of the Total Environment*, v. 746, p. 140938, 2020.
- DJUKIC, M.; JOVANOSKI, L.; IVANOVIC, O. M.; LAZIC, M.; BODROZA, D. Cost-benefit analysis of an infrastructure project and a cost-reflective tariff: A case study for investment in wastewater treatment plant in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 59, p. 1.419-1.425, 2016.
- EUROPEAN COMMISSION. *Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. Publications Office of the European Union, 2014. Disponível em: <http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2021.
- FERNANDES, M. A. O.; GUTIERREZ, K. G.; CHAMHUM-SILVA, L. A.; LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, A. L. C. Gestão Sustentável do Saneamento. Nota Técnica 2 - Avaliação de ciclo de vida como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para a escolha de estações sustentáveis de tratamento de esgoto. Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 5, p. 23-35, 2022a.
- FERNANDES, M. A. O.; GUTIERREZ, K. G.; SOUZA, H. H. S.; AMARAL, K. G. C. Gestão Sustentável do Saneamento. Nota Técnica 3 - Inventários de ciclo de vida aplicado para o aproveitamento dos subprodutos do tratamento de esgoto: sua utilização como auxílio à tomada de decisão. Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 5, p. 37-47, 2022b.
- GARAYO-JUNIOR, F. H.; SOUZA, H. H. S.; AMARAL, K. G. C.; GUTIERREZ, K. G.; LIMA, P. M.; PAULO, P. L. Gestão Sustentável do Saneamento. Nota Técnica 1 - Avaliação da sustentabilidade em sistema de esgotamento sanitário. Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 5, p. 5-21, 2022.
- GARCIA, X.; PARGAMENT, D. Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 101, p. 154-166, 2015.
- GARRIDO-BASERBA, M.; VINARDELL, S.; MOLINOS-SENANTE, M.; ROSSO, D.; POCH, MANEL. The economics of wastewater treatment decentralization: A techno-economic evaluation. *Environmental Science and Technology*, v. 52, n. 15, p. 8965-8976, 2018.
- GARRIDO-BASERBA, M.; MOLINOS-SENANTE, M.; ABELLEIRA-PEREIRA, J. M.; FDEZ-GUELFO, L. A.; POCH, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 107, p. 410-419, 2015.
- GITMAN, L. *Princípios de administração financeira*. 12ª ed. São Paulo, Brasil: Pearson Prentice Hall, 2010. 800 p.
- GUTIERREZ, K. G.; FERNANDES, M. A. O.; CHERNICHARO, A. L. C. Gestão Sustentável do Saneamento. Nota Técnica 4 - A aplicação da avaliação do ciclo de vida em diferentes níveis de tratamento de esgoto. Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 5, p. 49-62, 2022.

- HANJRA, M. A.; DRECHSEL, P.; MATEO-SAGASTA, J.; OTOO, M.; HERNANDEZ-SANCHO, F. Assessing the Finance and Economics of Resource Recovery and Reuse Solutions Across Scales. In: Drechsel, P.; Qadir, M.; Wichelns, D. (Eds.). *Wastewater economic asset in na urbanizing world*. Dordrecht, Netherlands: Springer. 2015. p. 113-136.
- HERNANDEZ-SANCHO F.; LAMIZANA-DIALLO, B.; MATEO-SAGASTA, H.; MANZOOR, Q. *Economic Valuation of Wastewater: The cost of action and the cost of no action*. Report UNEP, 2015. 68 p.
- HUERTAS-VALDIVIA, I.; FERRARI, A. M.; SETTEMBRE-BLUNDO, D.; GARCIA-MUIÑA, F. Social life-cycle assessment: A review by bibliometric analysis. *Sustainability*, v. 12, n. 15, p. 1-25, 2020.
- IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D.; PÉREZ-BELIS, V. A holistic review of applied methodologies for assessing and selecting the optimal technological alternative from a sustainability perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 70, p. 259-281, 2014.
- KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, v. 113, p. 158-169, 2012.
- MACENO, M. *Epip - Ferramenta Analítica De Desempenho Ambiental Em Processos Industriais: Desenvolvimento e Aplicações*. 2015. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- MOLINOS-SENANTE, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, R. Economic feasibility study for new technological alternatives in wastewater treatment processes: A review. *Water Science and Technology*, v. 65, n. 5, p. 898-906, 2012.
- MOLINOS-SENANTE, M.; GARRIDO-BASERBA, M.; REIF, R.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; POCH, M. Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: Environmental and economic aspects. *Science of the Total Environment*, v. 427-428, p. 11-18, 2012.
- MUGA, H. E.; MIHELICIC, J. R. Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, v. 88, n. 3, p. 437-447, 2008.
- PADILLA-RIVERA, A.; GÜERECA, L. P. A proposal metric for sustainability evaluations of wastewater treatment systems (SEWATS). *Ecological Indicators*, v. 103, p. 22-33, 2019.
- PADILLA-RIVERA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; NOYOLA, A.; GÜERECA, L. P. Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 57, p. 101-113, 2016.
- PAULO, P. L.; SOUZA, H. H. S.; LIMA, P. M.; MAGALHÃES-FILHO, F. J. C.; MAGRI, M. E. Gestão Sustentável do Saneamento. Nota Técnica 5 - Uso e disposição segura de esgoto doméstico, água cinza e excreta: a abordagem do plano de segurança do saneamento da Organização Mundial da Saúde. *Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 5, p. 63-73, 2022.
- PAULO, P. L.; KIPERSTOK, A.; SOUZA, H. H. S.; MORAIS, J. C.; OLIVEIRA, L. O. V.; QUEIROZ, L. M.; NOLASCO, M. A.; MAGRI, M. E.; LOPES, T. A. S. Ferramentas de avaliação de sustentabilidade em sistemas de tratamento de esgotos descentralizados. In: Santos, A. B. (Ed). *Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais*. Ed. Fortaleza, Brasil: Imprece, 2019. p. 746-812.
- REN, J.; LIANG, H. Multi-criteria group decision-making based sustainability measurement of wastewater treatment processes. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 65, n. April, p. 91-99, 2017.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. *Análise econômica e social de projetos florestais*. 3ª ed. Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 385 p.
- SANCHES, A. B. *Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários: uma proposta metodológica*. 2009. 258 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- SUN, Y.; GARRIDO-BASERBA, M.; MOLINOS-SENANTES, M.; DONIKIAN, N. A.; POCH, M.; ROSSO, D. A composite indicator approach to assess the sustainability and resilience of wastewater management alternatives. *Science of the Total Environment*, v. 725, p. 138286, 2020.
- SUSANA. SuSanA Joint Roadmap 2015 to 2018 - Towards More Sustainable Sanitation Systems. *Sustainable Sanitation Alliance*, version 1.3 (June, 2017), p. 1-6, 2017.
- SWARR, T. E.; HUNKELER, D.; KLOPFFER, W.; PESONEN, H. L.; CIROTH, A.; BRENT, A. C.; PAGAN, R. Environmental life-cycle costing: A code of practice. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 16, n. 5, p. 389-391, 2011.
- TAKYI, S. A. Review of Social Impacts Assessment (Sia): Approach, Importance, Challenges and Policy Implications. *International Journal of Arts & Sciences*, v. 7, n. 5, p. 217-234, 2014.
- TONIOLO, S.; TOSATO, R. C.; GAMBARO, F.; REN, J. Life cycle thinking tools: Life cycle assessment, life cycle costing and

social life cycle assessment. In: Ren, J.; Toniolo, S. (Eds.). *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*. [s.l.] Elsevier Inc, 2020. p. 39-56

UNEP/SETAC. *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making informed choices on products*. [s.l.] United Nations Environmental Programme, 2011. 86 p.

UNITED NATIONS. *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. 2015. Disponível em: < <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>>. Acesso em: 15 de março de 2021.

UNITED NATIONS. *A/RES/60/1 2005 World Summit Outcome*. n. October, p. 1-38, 2005.

