

METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DE ÍNDICE COMPOSTO DE SUSTENTABILIDADE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

NAYHARA WOLKARTTE COSTA SILVA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO - IFES

MARIÂNGELA DUTRA DE OLIVEIRA

DEJANYNE PAIVA ZAMPROGNO

MÁRCIA REGINA PEREIRA LIMA

Introdução

A declaração da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável destacou o saneamento como alguns dos maiores problemas ambientais e de saúde pública. O lançamento de esgotos nos corpos d'água é um dos principais motivos de poluição no Brasil. As Estações de Tratamento de Esgoto consomem energia, produzem subprodutos líquidos e sólidos, além de produzirem gases nocivos. A sustentabilidade das ETE está vinculada à minimização destes impactos ambientais. Para avaliar a sustentabilidade das ETE é fundamental criar instrumentos de mensuração da sustentabilidade.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Tendo em vista a necessidade de elaboração de instrumentos capazes de avaliar a sustentabilidade dos sistemas de tratamento de esgoto, este estudo propõe uma metodologia de cálculo de um Índice Composto de Sustentabilidade de ETE (ICS-ETE) que agrega e parametriza, por meio de uma metodologia de análise multicritério, as três dimensões da sustentabilidade, gerando uma planilha eletrônica de fácil uso, prática, visual, adaptável e que auxilie na gestão da operação dos sistemas e no estabelecimento de metas de melhoria.

Fundamentação Teórica

A ETE gera subprodutos líquidos (efluente tratado), subprodutos sólidos (areia, lodo e escuma) e gasosos (biogás e emissões voláteis). É necessário desenvolver metodologias de avaliação da sustentabilidade com integração das três abordagens: a econômica, a ambiental e a social (SANCHES, 2009). O desafio na construção destas metodologias é englobar, por meio de uma escala comparável aspectos quantitativos e qualitativos. Nessa perspectiva, adquire relevância a teoria de apoio multicritério à decisão – AMD (GOMES et al., 2009).

Metodologia

A amostra das ETE que foram utilizadas no estudo foi selecionada após a realização de análise estatística descritiva de todas as ETE operadas pela Companhia Espírito Santense de Saneamento. A metodologia de construção do ICS-ETE utiliza o fundamento de análise multicriterial por meio do método dos pesos médios. Para construir o indicador proposto foi programada uma planilha com base na utilizada por Zamprogno (2004). Os dados utilizados para o teste da planilha são referentes a média do ano de 2021.

Análise dos Resultados

O levantamento realizado evidenciou que o UASB representa 48% da amostra sendo definido tipologia utilizada no estudo. A análise evidenciou uma distribuição em quatro faixas de vazão. Foram selecionadas oito ETE, localizadas no interior, sendo duas em cada faixa de vazão. Os critérios de composição do ICS-ETE foram definidos pelos pesquisadores com base na literatura, na legislação ambiental e em função da tipologia selecionada. Os dados das ETE foram lançados na planilha programada. A análise geral demonstrou que a medida que a vazão aumenta há uma queda da condição de sustentabilidade.

Conclusão

A metodologia proposta foi eficaz para construir uma ferramenta visual de análise da sustentabilidade de ETE, considerando critérios ambientais, sociais e econômicos. A análise da sustentabilidade por simetria do triângulo formado pela demonstração gráfica tridimensional do ISA, ISS e ISE permite uma avaliação adequada uma vez que uma maior sustentabilidade está ligada ao equilíbrio entre fatores ambientais, econômicos e sociais. Por ser uma ferramenta desenvolvida utilizando planilha eletrônica pode ser adaptada a outras tecnologias de tratamento.

Referências Bibliográficas

GOMES, L. F. A. M. et al. Tomada de Decisão Gerencial – Enfoque Multicritério. Ed. Atlas. São Paulo, SP. 2009. SANCHES, A. B. Avaliação da sustentabilidade de sistemas de tratamento de Esgotos sanitários: uma proposta metodológica. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009. ZAMPROGNO, D.P. Sistema de suporte à decisão espacial para a escolha de locais e dimensionamento de reservatórios. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo. 203 p. São Paulo. 2004

Palavras Chave

Tratamento de Esgoto, Indicadores, Desenvolvimento Sustentável

Agradecimento a órgão de fomento

Agradeço ao Instituto Federal de Tecnologia do ES - IFES pelo apoio institucional na participação deste congresso.

METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DE ÍNDICE COMPOSTO DE SUSTENTABILIDADE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

1. Introdução

Em 2012, a declaração final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, denominada “O Futuro Que Queremos” destacou a água e o saneamento como uma de suas “áreas temáticas”, evidenciando-os como alguns dos maiores problemas ambientais e de saúde pública mundial ainda no século XXI (UNITED NATIONS, 2012).

O lançamento de esgotos in natura nos corpos d’água é um dos principais motivos de poluição ambiental no Brasil. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o indicador médio nacional de tratamento dos esgotos gerados, que é calculado a partir do volume de água consumido, mostrou que, em 2019, apenas 49,1% dos esgotos gerados tiveram tratamento (BRASIL, 2020).

Von Sperling (2005) afirma que se deve entender a estação de tratamento de esgoto (ETE) como uma indústria, transformando uma matéria-prima (esgoto bruto) em um produto final (esgoto tratado). Por isso, embora a necessidade do processo de tratamento de esgotos seja inegável, este também gera impactos ambientais, seja na fase de construção, operação ou desativação. As ETE consomem energia, produzem subprodutos líquidos e sólidos, além de produzirem gases nocivos para a atmosfera (LINS, 2010; MUGA e MIHELICIC, 2008).

Sendo assim, a sustentabilidade nos sistemas de tratamento de esgotos está vinculada à minimização destes impactos ambientais (SANCHES, 2009). Porém, em geral, durante a escolha e concepção de projetos de Sistemas de Tratamento de Esgoto levam-se em conta preferencialmente aspectos econômicos. Além deste aspecto, é importante que se pondere as dimensões sociais e ambientais contemplando problemas de degradação ambiental, saúde e qualidade de vida (ABREU e RODRIGUES, 2011).

Para auxiliar a avaliação da sustentabilidade das estações de tratamento de esgoto é fundamental criar instrumentos de mensuração da sustentabilidade que monitorem as tendências e auxiliem na definição de metas de melhoria (POLAZ e TEIXEIRA, 2009).

2. Problema de Pesquisa e Objetivo

Tendo em vista a necessidade de elaboração de instrumentos capazes de avaliar a sustentabilidade dos sistemas de tratamento de esgoto, este estudo propõe uma metodologia de cálculo de um Índice Composto de Sustentabilidade de Estações de Tratamento de Esgoto (ICS-ETE) que agrega e parametriza, por meio de uma metodologia de análise multicritério, as três dimensões da sustentabilidade, gerando uma planilha eletrônica de fácil uso, prática, visual, adaptável e que auxilie na gestão da operação dos sistemas e no estabelecimento de metas de melhoria para atingir a meta de universalização do saneamento de forma sustentável.

3. Fundamentação Teórica

Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Compõem-se essencialmente da água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão detergentes, águas de lavagem (JORDÃO e PESSOA, 2011). Curtarelli *et al.* (2018) ressaltam que o ciclo de contaminação nas cidades é produzido quando o esgoto não é tratado, a poluição da drenagem não é controlada, produzindo erosão e contaminação.

Segundo o relatório do Sistema nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, o atendimento por redes de esgotos alcançou, em 2019, 108,1 milhões de habitantes, um incremento de 2,6 milhões de novos habitantes atendidos, crescimento de 2,5%, na comparação com 2018. Já o índice de atendimento é de 61,9% nas áreas urbanas das cidades brasileiras, destacando-se a região Sudeste, com média de 83,7%. Quanto ao tratamento dos esgotos, observa-se que o índice do país chega a 49,1% para a estimativa dos esgotos gerados e 78,5% para os esgotos que são coletados. Cabe ressaltar que o volume de esgotos tratados foi de 4,30 bilhões de m³ em 2018 para 4,52 bilhões de m³ em 2019, correspondendo a um incremento de 5,1% (BRASIL, 2020).

O subproduto mais comum do processo de tratamento de esgoto doméstico é o efluente tratado que, além de cumprir o papel de sanear o ambiente retornando para o corpo hídrico, pode servir como insumo. O reuso de água pode ser definido como o aproveitamento de águas residuárias previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana para suprir a necessidade de outros usos. Essa alternativa pode ser direta ou indireta (MOURA *et al.*, 2020).

Para realização do reuso é importante um adequado entendimento técnico sobre a prática e as normas que o regulam, considerando suas três principais regras: i) assegurar o eficiente tratamento das águas residuárias de modo a satisfazer as normas vigentes para o uso planejado; ii) não se constituir em ameaça à saúde dos usuários; e iii) conquistar a aceitação da população. A esses, devem se associar aspectos legais que considerem os tipos de reuso e valores máximos permissíveis para os parâmetros de qualidade de água de acordo com maior ou menor possibilidade de contaminação, envolvendo metodologias de gestão do risco (SANTOS *et al.*, 2020).

Alguns dos reusos mais recentes reportados na literatura são: i) alternativa de convívio com a seca no semiárido brasileiro; ii) produção de concreto com fins estruturais e/ou não estruturais; iii) manutenção de rede coletora de esgoto, irrigação de grama e lavagem de pisos numa ETE; iv) melhora nutricional de solo de área degradada além de outras formas de reuso já consolidadas como irrigação de vias públicas e uso industrial no qual a água não é insumo da produção (COSTA *et al.*, 2020; TORRES e DANTAS, 2019; POLEZ *et al.*, 2018; RIBEIRO E GONÇALVES, 2017)

Os subprodutos sólidos (areia, lodo e espuma) e gasosos (biogás e emissões voláteis) gerados durante o tratamento de esgoto doméstico apresentam rotas de destinação final que usualmente são os aterros sanitários e a queima para a atmosfera, respectivamente. Embora sejam rotas de destinação de subprodutos aceitas no Brasil, sabidamente não são as mais adequadas, face aos impactos ambientais que podem ser causados na atmosfera, no solo e nas águas subterrâneas (INCT, 2021).

Duarte (2021) realizou estudo que propôs um procedimento para tratamento da areia removida nas ETE utilizando um resíduo siderúrgico com características alcalinizantes com o objetivo de utilizá-la para compor o lastro na construção de redes de esgoto

O tratamento do lodo visa principalmente a redução do volume, pela desidratação, e a sua estabilização para facilitar seu manuseio e, conseqüentemente, reduzir os custos nos processos subsequentes. Os tratamentos necessários envolvem processos de adensamento, desaguamento, condicionamento, estabilização e higienização, dependendo do destino final (BARBOSA, 2018).

Urban, Isaac e Morita (2019) apresentaram e discutiram o estado da arte dos diversos usos de lodos de Estações de Tratamento de água e esgoto. Os principais usos levantados e avaliados para o lodo de esgoto são o uso no solo e na agricultura, uso em materiais de construção e o uso para produção de energia.

O biogás é um gás inflamável gerado por meio da degradação da matéria orgânica por microrganismos em condições de anaerobiose, sob determinadas condições de umidade, temperatura e pH (SANTIAGO e SANTIAGO, 2019).

A queima direta para aquecimento e a geração de energia elétrica são os dois usos principais para o biogás. Mas também podem ser citados outros dois tipos de uso: a cogeração de eletricidade e calor e o uso como gás combustível alternativo (gás de cozinha e combustível veicular) (PROSAB, 2003; BORGES, 2016)

Um dos objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos na Agenda 2030 é assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. Especificamente está definido para, até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso (IBGE, 2021).

Sendo assim, é alinhado com os objetivos da Agenda 2030 e com os preceitos da sustentabilidade aceitos internacionalmente, considerar sustentável uma Estação de Tratamento de Esgoto que reduz ou elimina o seu impacto ambiental destinando adequadamente os seus resíduos, mas que também considera uma melhor utilização e aproveitamento dos subprodutos gerados no processo.

O desenvolvimento de metodologias de avaliação da sustentabilidade com integração das três abordagens de sustentabilidade: a econômica, a ambiental e a social, é imprescindível nas diferentes atividades da sociedade para fornecer aos tomadores de decisão e governantes uma avaliação de ordem global e local de forma a ajudá-los na definição de ações que devem ou não devem ser tomadas na busca da sociedade sustentável (SANCHES, 2009).

O desafio na construção destas metodologias é englobar, por meio de uma escala comparável aspectos quantitativos (exemplo, custos) e qualitativos (exemplo, bem-estar de uma população).

Nessa perspectiva, adquire relevância a teoria de apoio multicritério à decisão – AMD, que, na lição de Gomes *et al.* (2009), é um conjunto de procedimentos e métodos de análise que procuram assegurar a coerência, a eficácia e a eficiência das decisões tomadas em função das informações disponíveis, antevendo cenários possíveis. Para tal, essa teoria pode usar

ferramentas matemáticas ou não; é uma teoria que trata, entre outros, de escolhas entre alternativas.

Um dos métodos AMD para combinação dos valores de subcritérios e critérios de uma alternativa num único valor fim (grau de preferência) é o chamado Método dos Pesos Médios (MPM). Neste, o grau de preferência de uma alternativa é definido pelo somatório dos produtos do peso normalizado vezes o valor obtido através da escala adotada para cada critério. Zamprogno (2004) aplicou diversos métodos AMD no suporte à decisão espacial para a escolha de locais e dimensionamento de reservatórios e avaliou que a aplicação do MPM se mostrou bastante vantajosa, tanto em agilidade como em eficiência, para determinação dos resultados.

4. Metodologia

A amostra das ETE que foram utilizadas no estudo para construção da metodologia proposta foi selecionada após a realização de análise estatística descritiva de todas as ETE operadas pela Companhia Espírito Santense de Saneamento no Estado do Espírito Santo com base em condições específicas de: faixa de vazão média de operação, tecnologia de tratamento, variabilidade de localização e tipo de gestão variando entre gestão direta e por parceria público-privada. A partir desta análise foi selecionada uma amostra com variabilidade em todas as condições avaliadas que balizou a construção do método e da ferramenta.

A metodologia de construção do ICS-ETE utiliza o fundamento de análise multicriterial por meio do método dos pesos médios. Para construir o indicador proposto foi programada uma planilha com base na utilizada por Zamprogno (2004).

A planilha programada é composta pelas seguintes abas:

ENTRADA: aba para inclusão das informações sobre as ETE para aplicação do método; Foram definidos critérios nas dimensões social, ambiental e econômica com base nas informações estudadas na revisão bibliográfica, na legislação ambiental correlata e em função da tipologia selecionada a partir da análise descritiva da amostra selecionada.

DADOS BÁSICOS: aba para definição da tendência do critério, se é de maximização ou de minimização considerando o cenário mais sustentável. A aba lê os dados inseridos na aba “ENTRADA” e classifica numa escala de 1 a 5 os valores de cada ETE a ser comparada, sendo 1 o “pior” valor e 5 o “melhor” valor na comparação com base na legislação específica, no consumo de insumo, no impacto ambiental, o que for mais adequado ao critério. O valor 1 equivale a condição ruim/difícil/muito suscetível e o valor 5 equivale a condição excelente/muito fácil/não suscetível. Caso o critério esteja numa condição de minimização, quanto menor for o valor do dado da ETE inserido, maior será o valor na escala. Numa condição de maximização, quanto maior for o valor do dado da ETE inserido, maior será o valor na escala. A planilha realiza então a interpolação dos demais valores que estiverem entre os dois extremos.

PESOS: definição de possíveis cenários e pesos para cada dimensão: ambiental social e econômica e para cada critério definido nas dimensões. Os pesos foram definidos pelos pesquisadores com base no trabalho de Zamprogno (2004) para as dimensões e para os critérios selecionados. A escala utilizada variou de 1 a 5 sendo 1 pior/menos importante e 5 melhor/mais importante. Tanto para as dimensões da sustentabilidade quanto para os critérios ambientais,

sociais e econômicos foram definidos dois cenários sendo o primeiro em que os pesos são iguais para todos e o segundo variando os pesos a critério dos pesquisadores. Neste estudo os pesos foram definidos pelos pesquisadores para teste.

CÁLCULO: aba programada para realizar a aplicação do método dos pesos médios, calculando o Indicador de Sustentabilidade Ambiental (ISA), Indicador de Sustentabilidade Econômica (ISE) e o Indicador de Sustentabilidade Social (ISS) que compõem o ICS-ETE e ranqueando as ETE da amostra em função do nível de sustentabilidade calculada. O ISA, ISE e ISS variam entre 0 e 5, sendo 0 representativo de um cenário menos sustentável e 5 mais sustentável.

RESULTADO: aba que permite visualizar os resultados calculados na aba “cálculo” para cada ETE num gráfico tridimensional conforme proposto por Kellner *et al.* (2009). Cada eixo do gráfico representa um dos três indicadores calculados, variando de 0 a 5. Sendo possível avaliar o ICS-ETE de cada ETE ao analisar a simetria do triângulo formado pelo cálculo dos indicadores, além de perceber disparidade entre qual indicador é mais ou menos sustentável permitindo uma análise que transforma a metodologia numa ferramenta para intervenção e melhoria dos sistemas de tratamento de esgoto na busca da sustentabilidade.

Os dados utilizados para o teste da planilha são referentes a média do ano de 2021.

5. Resultados e Discussão

Em levantamento realizado junto a concessionária evidenciou-se que das 92 ETE existentes, 44 utilizam reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) como tratamento secundário, representando 48% da amostra. Em segundo lugar tem-se o sistema de tratamento do tipo lagoas anaeróbias que correspondem a 27% das unidades de tratamento do estado. Ao analisar pela localização, UASB representa 61% dos sistemas do interior e 37% dos sistemas da região metropolitana. Sendo assim, em função da representatividade desta tecnologia de tratamento e das características operacionais, ambientais e sociais, foi definido o UASB como tecnologia de tratamento utilizada neste estudo para desenvolvimento da metodologia de cálculo do ICS-ETE.

Em relação as vazões, a análise estatística evidenciou uma distribuição homogênea em quatro faixas de vazão sendo elas: Menor que 5 L/s; 5 a 10 L/s; 10 a 20 L/s e acima de 20 L/s.

Para construção e aplicação da ferramenta proposta por esse estudo foram selecionadas oito ETE, localizadas no interior, sendo duas em cada faixa de vazão, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 – Amostra de ETE selecionada

MUNICÍPIO	LOCALIDADE / ETE	TIPO DE TRATAMENTO		VAZAO MÉDIA
Domingos Martins	Vila De Pedra Azul	UASB	Biofiltro Aerado Submerso	1,66
Ecoporanga	Ecoporanga	UASB	Biofiltro Aerado Submerso	3,19
Vila Valério	Vila Valério	UASB	Biofiltro Aerado Submerso	6,93
Mantenópolis	Mantenópolis	UASB	Biofiltro Aerado Submerso	8,12
Afonso Cláudio	Afonso Cláudio	UASB	Lagoa Facultativa	11,39
Santa Teresa	Santa Teresa	UASB	Flotação	12,82
Venda Nova Do Imigrante	Venda Nova Do Imigrante	UASB	Biofiltro Aerado Submerso	20,93
Castelo	Castelo	UASB	Biofiltro Aerado Submerso	23,62

Dentre elas, além da vazão também há uma variabilidade na tecnologia utilizada para complementação do tratamento secundário sendo seis UASB seguidos de biofiltro aerado submerso (BAS), um UASB seguido de lagoa facultativa e um UASB seguido de flotor.

O Quadro 2 apresenta os critérios de composição do ICS-ETE definidos pelos pesquisadores com base na revisão bibliográfica, na legislação ambiental correlata e em função da tipologia selecionada, com descrição da unidade ou valor atribuído e com o indicativo da função de maximização ou minimização utilizada.

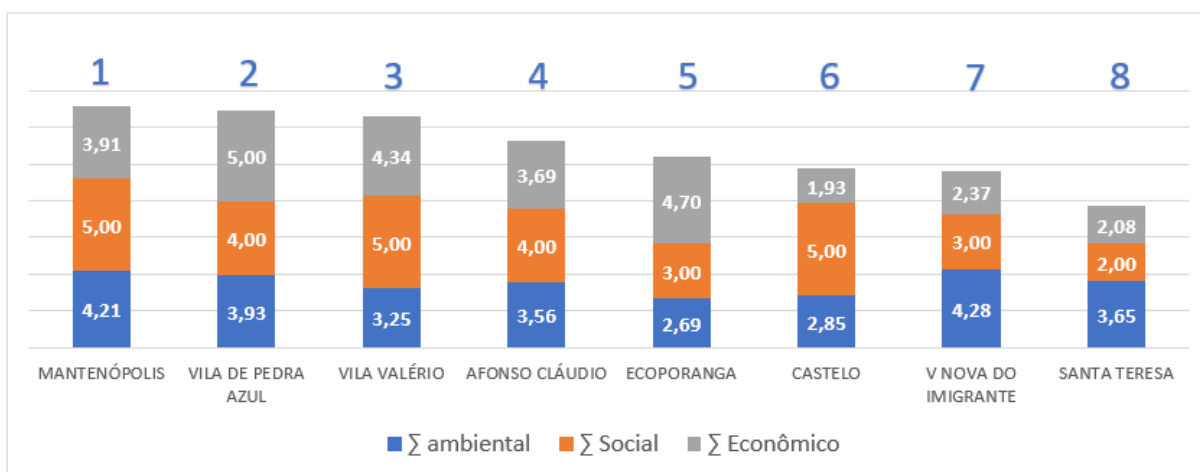
Quadro 2 – Descrição dos critérios adotados para a composição do ICS-ETE com indicação da unidade/valor e sua condição de maximização ou minimização

DIMENSÃO AMBIENTAL		
CRITÉRIO	UNIDADE/VALOR	CONDIÇÃO
DBO efluente média (mg/L)	valor médio em mg/L da DBO presente no efluente no período analisado	minimização
fósforo total (P) efluente médio (mg/L)	valor médio em NMP/100ml de E. Coli presente no efluente	minimização
nitrogênio amoniacal (NH ₄) efluente médio (mg/L)	valor médio em mg/L do nitrogênio total presente no efluente no período analisado	minimização
<i>E. Coli</i> efluente médio (nmp/100ml)	valor médio em mg/L do fosforo total presente no efluente no período analisado	minimização
Há queimador de gás instalado e em funcionamento?	SIM (1 ponto) ou NÃO (0 pontos)	maximização
Há reuso de biogás?	SIM (1 ponto) ou NÃO (0 pontos)	maximização
Há reuso de lodo?	SIM (1 ponto) ou NÃO (0 pontos)	maximização
Há reuso de efluente tratado?	SIM (1 ponto) ou NÃO (0 pontos)	maximização
Índice de atendimento de tratamento de esgoto	percentual de economias atendidas que possuem ligação à rede coletora de esgoto com sistema de tratamento	maximização
DIMENSÃO SOCIAL		
Riscos no Ambiente Laboral	somatório da pontuação S1, S2, S3 e S4	minimização
O processo é ruidoso?	S1 = SIM - 1 ponto / NÃO - 0 ponto	
Há emissão de aerossóis?	S2 = SIM - 1 ponto / NÃO - 0 ponto	
A remoção de resíduos é feita de forma manual?	S3 = SIM - 1 ponto / NÃO - 0 ponto	
Há registro de acidente de trabalho no período?	S4 = SIM - 1 ponto / NÃO - 0 ponto	
Risco de impacto de vizinhança	somatório da pontuação S5, S6, S7 e S8	minimização
Há ocupação urbana em menos de 2km de raio da ETE?	S5 = SIM - 0 ponto / NÃO - 1 ponto	
O sistema possui licença ambiental?	S6 = SIM - 1 ponto / NÃO - 0 ponto	
O sistema possui outorga de lançamento?	S7 = SIM - 1 ponto / NÃO - 0 ponto	
Há reclamações de odor registradas no SAC no período?	S8 = SIM - 0 ponto / NÃO - 1 ponto	
DIMENSÃO ECONÔMICA		
Custo de energia (R\$)	Valores em reais gastos com consumo de energia da ETE (bombas e outros equipamentos)	minimização
Custo de operação (R\$)	Valores em reais gastos com mão de obra de operação da ETE	minimização

Os dados foram compilados e lançados na planilha programada para aplicação do método dos pesos médios e cálculo do ISA, ISE e ISS, gerando os gráficos que representam o ICS-ETE.

Considerando pesos iguais para todas as três dimensões da sustentabilidade: ambiental, econômica e social e também pesos iguais para todos os critérios de cada uma das dimensões já descritos, o ranking das ETE segue apresentado no gráfico 1, indo da mais para menos sustentável, da esquerda para a direita.

Gráfico 1 - Ranking de sustentabilidade das ETE da amostra com pesos iguais para dimensões e critérios

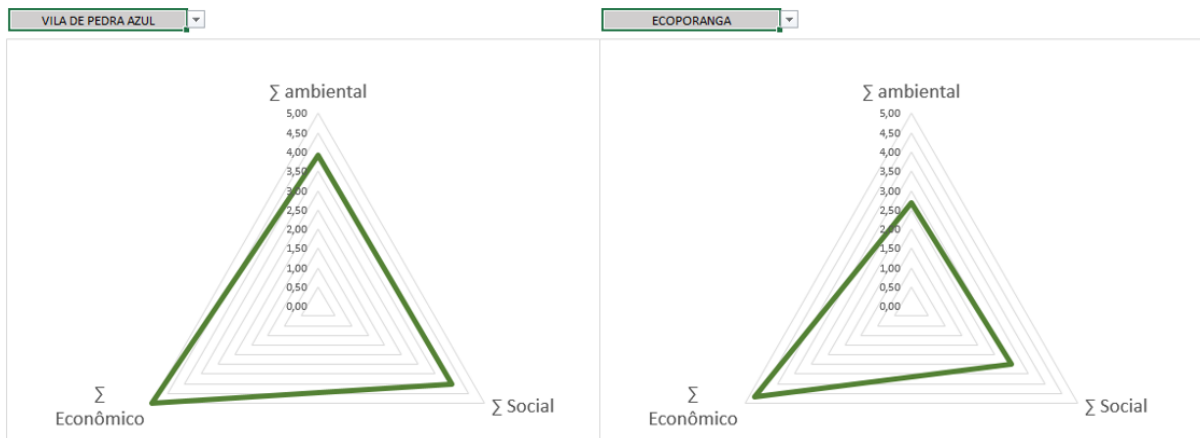


Nenhuma das ETE estudadas possuem projetos de reuso de biogás, lodo ou efluente tratado implementadas, portanto, esses critérios não influenciaram no ranking de sustentabilidade. Porém, estes critérios foram mantidos com o objetivo de compor a metodologia e demonstrar o peso que estas iniciativas poderiam proporcionar na sustentabilidade dos sistemas.

Também houve dificuldade no levantamento de dados de registros de acidentes de trabalho uma vez que a forma com que os dados são registrados pela Companhia não permite que eles sejam ligados diretamente ao sistema de tratamento de esgoto. Da mesma forma o critério foi mantido como forma de ressaltar a importância dessa informação para a sustentabilidade social das ETE.

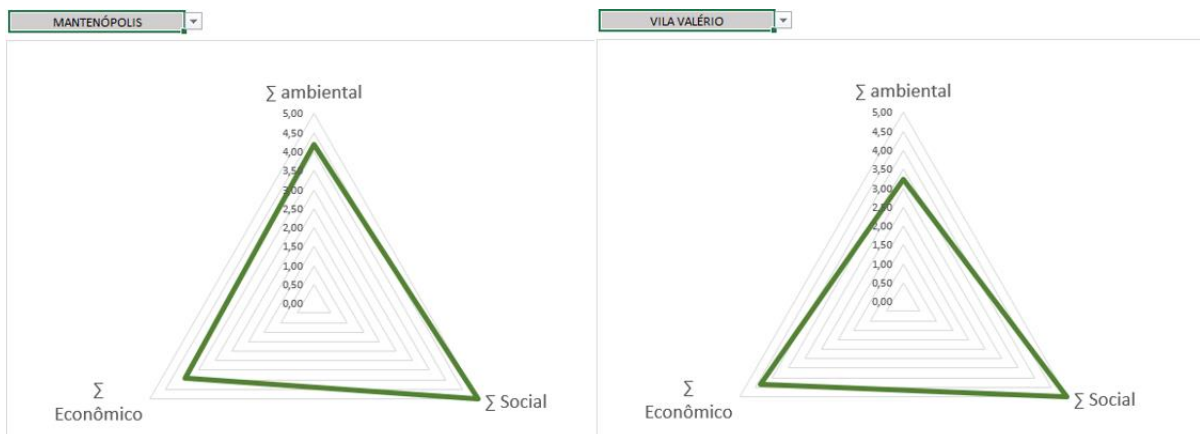
As figuras a seguir apresentam os gráficos tridimensionais para cada ETE onde é possível observar que a condição de maior sustentabilidade reflete num gráfico mais simétrico e mais distante do eixo permitindo uma análise visual da sustentabilidade do sistema estudado. A figura 1 mostra as ETE com vazão abaixo de 5 L/s, a Figura 2, entre 5 e 10 L/s, a Figura 3 entre 10 e 20 L/s e a Figura 4 as ETE acima de 20 L/s.

Figura 1 – ICS-ETE das ETE com vazão abaixo de 5L/s



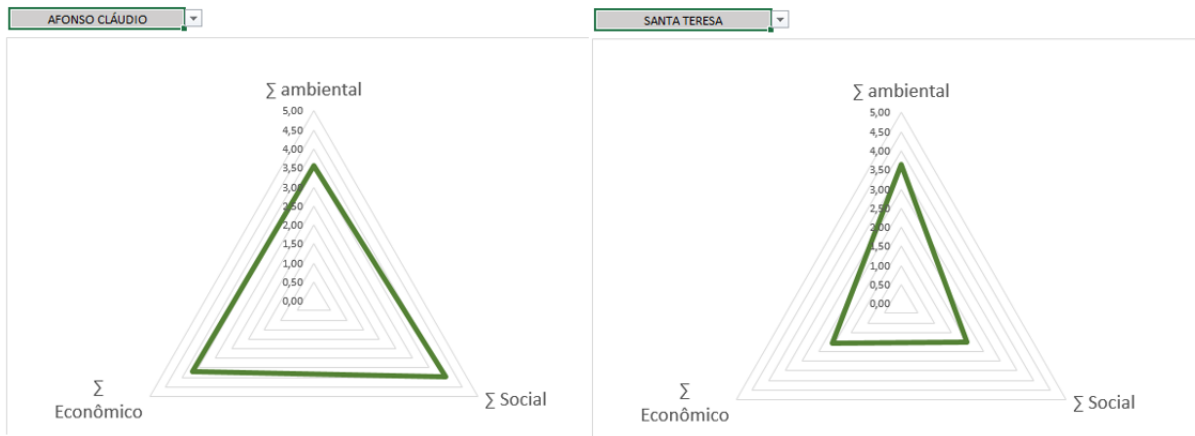
A ETE Vila de Pedra Azul foi a segunda mais sustentável entre todas as ETE estudadas e, portanto, também a mais sustentável em sua faixa de vazão. A diferença no valor do ISA se deve, principalmente ao fato de que a ETE Vila de Pedra Azul possui queimador de gás instalado e em funcionamento, além de possuir um percentual de atendimento de rede maior que a ETE Ecoporanga. No aspecto social o critério que causou a diferença de performance do ISS foi a inexistência de outorga para a ETE Ecoporanga.

Figura 2 – ICS-ETE das ETE com vazão entre 5 e 10 L/s



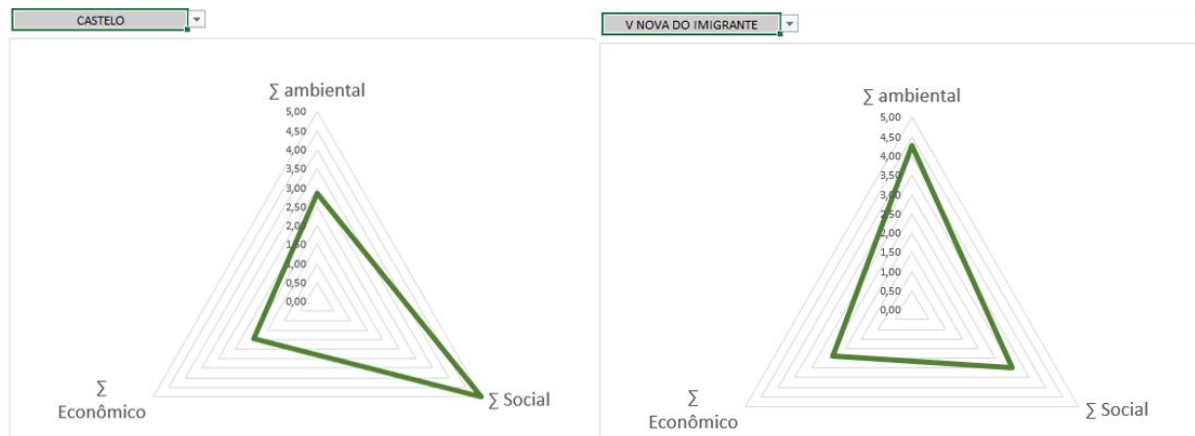
O comportamento das duas ETE na faixa de vazão entre e 5 e 10 L/s foi bem similar, sendo que as ETE estão em segundo e terceiro lugar no ranking de sustentabilidade. A principal diferença entre as duas ETE está no ISA sendo a remoção de nitrogênio e o índice de cobertura os critérios mais relevantes.

Figura 3 – ICS-ETE das ETE com vazão entre 10 e 20 L/s



Na faixa entre 10 e 20 L/s uma diferença relevante no ISE e no ISS. A diferença está no tratamento complementar realizado na ETE Santa Teresa que utiliza um flutuador após o UASB. O sistema é aberto, o que gera aerossóis e utilizado soprador o que gera ruído. Isso também se reflete no ISE uma vez que há um maior custo de energia utilizado pelos equipamentos ao longo do processo.

Figura 4 – ICS-ETE das ETE com vazão acima de 20 L/s



Na faixa acima de 20 L/s a performance do ICS-ETE foi bastante diferente. A ETE Castelo se apresentou bem desequilibrada entre as dimensões da sustentabilidade enquanto a ETE Venda Nova apresenta um pouco mais de simetria no indicador. No ISA o critério de DBO reduziu o resultado da ETE Castelo que possui uma eficiência muito inferior a ETE Venda Nova. No ISS o sistema de Venda Nova não possui outorga e apresenta registros de reclamação de odor no Serviço de Atendimento ao Cliente da empresa, estes critérios são os responsáveis pela melhor performance do ISS da ETE Castelo.

A análise geral do ICS-ETE demonstrou que a medida que a vazão aumenta há uma queda da condição de sustentabilidade principalmente em relação ao Índice de Sustentabilidade Econômica, como pode ser observado no ranking geral das estações e no gráfico tridimensional.

6. Conclusão

A metodologia proposta foi eficaz no objetivo de construir uma ferramenta visual de análise da sustentabilidade de Estações de Tratamento de Esgoto, considerando critérios ambientais, sociais e econômicos.

A análise da sustentabilidade por simetria do triângulo formado pela demonstração gráfica tridimensional do ISA, ISS e ISE permite uma avaliação adequada uma vez que uma maior sustentabilidade está ligada ao equilíbrio entre fatores ambientais, econômicos e sociais.

Critérios como reuso de biogás, lodo e efluente tratado, foram mantidos, mesmo não interferindo no resultado da amostra utilizada, por serem considerados fundamentais na análise de sustentabilidade das ETE.

Os resultados apresentados neste estudo consideraram pesos iguais para todas as dimensões e todos os critérios. Entretanto, novas análises ainda serão realizadas variando os pesos, permitindo avaliar o impacto desta decisão nos resultados.

Esta ferramenta foi utilizada para apresentar um retrato de um ano de vários sistemas permitindo hierarquização das estações com identificação das dimensões que demandam maior atenção, viabilizando o planejamento por parte dos gestores de ações de curto, médio e longo prazo. Também pode ser utilizada em um único sistema avaliando a evolução ao longo do tempo das ações de sustentabilidade implantadas.

Por ser uma ferramenta desenvolvida utilizando planilha eletrônica pode ser adaptada a outras tecnologias de tratamento com fácil ajuste das variáveis de interesse. Outras variáveis também podem ser inseridas na ferramenta, fomentando programas internos que premiem com selos de sustentabilidade ou certifiquem os sistemas que atingem um grau de sustentabilidade, como é o caso do Programa EEs Sustentáveis da Companhia Paulista de Saneamento, a SABESP.

7. Referências Bibliográficas

ABREU, P. S.; RODRIGUES, M. B. Proposta de arranjo de indicadores para avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto por zona de raízes. **Synergismus científica UTFPR**, Pato Branco, v. 6, n. 1, p. 1–8, 2011.

BARBOSA, J. G. Gestão Ambiental em Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: alternativas para o lodo de esgoto. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia - Ano 9, Edição nº 15, Vol. 01, julho-2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il.

BORGES, H.D. **Avaliação da Viabilidade de recuperação e uso de biogás em uma estação de tratamento de esgoto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade de Brasília. Brasília, DF, 59p. 2016.

COSTA, E. D. da.; SOUZA, S. F. F. de.; MOREIRA, M. F.; LUCENA, R. L. Possibilidade de uso de águas residuárias para o convívio com a seca no semiárido brasileiro: o caso de serra negra do norte/rn. **Revista Geotemas**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 157–172, 2020. Disponível em:

<http://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/2415>. Acesso em: 10 set. 2022.

CURTARELLI, M.P.; TUCCI, C. E. M.; RAGGHIANI, V.; GUIMARÃES, V. Sustentabilidade Hídrica Urbana: O caso de Santa Catarina. **REGA**, Porto Alegre, v.15, e13, 2018.

DUARTE, P. A. A. P. **Gerenciamento da areia removida nas Estações de Tratamento de Esgotos domésticos visando seu reuso**. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Sustentáveis) – Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Vitória, 2021. FIESP; CIESP. **Conservação e Reúso de Água: Manual de Orientações para o Setor Industrial**. 2004. v.1. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-publicacoes/conservacao-e-reuso-da-agua-2004/>>.

GOMES, L. F. A. M. *et al.* **Tomada de Decisão Gerencial – Enfoque Multicritério**. Ed. Atlas. São Paulo, SP. 2009.

IBGE. Indicadores Brasileiros para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

INCT - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ETE Sustentáveis. Página institucional. Disponível em: <<https://etes-sustentaveis.org/>>. Acesso em: ago. 2021.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6a Edição. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011. 969 p

LINS, Gustavo Aveiro. **Avaliação de Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE)**. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

KELLNER, E.; CALIJURI, M. C.; PIRES, E. C.. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para lagoas de estabilização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, p. 455-464, 2009.

MOURA, P.G. *et al.* A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 6, p.791-808, 2020.

MUGA, H. E.; MIHELICIC, J. R. Sustainability of wastewater treatment technologies. **Journal of Environmental Management**, v. 88, p. 437–447, 2008.

POLAZ, C.N.M.; TEIXEIRA, B.A.N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbano: um estudo para São Paulo. **Engenharia sanitária e ambiental**, v.14,n.3, p.411-420, 2009. Acessado em: 09/05/2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522009000300015&lng=pt&nrm=iso

POLEZ, B.B. et al. ii-100 - reúso de efluente tratado na manutenção de rede coletora de esgoto. In: **XIV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Sibesa**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2018.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás. Coordenador: Sérgio Túlio Cassini. Rede Cooperativa

de Pesquisas. Instituições Participantes: UFES, UEPB, SANEPAR, UFMG. UFSC, UNICAMP. Vitória – ES, 2003.

RIBEIRO, M. H. G.; GONÇALVES, E. A. P. Reuso de efluente tratado em solo de área degradada visando a melhoria de seus atributos. In: **3º Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro**, Campina Grande – PB, 2017.

SANCHES, A. B. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de tratamento de Esgotos sanitários: uma proposta metodológica**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

SANTIAGO, H. S.; SANTIAGO, E. L. G. Potencial energético utilizando a produção de biogás em tratamento de esgoto. **Engineering Sciences**, v.7, n.1, p.73-80, 2019.

SANTOS, A.S.P. *et al.* Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista Sustinere**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 437- 462, 2020.

TORRES, R.M.; DANTAS, F. C.C. II-029 - Reuso de efluentes domésticos na fabricação de concreto. In: **30º Congresso da ABES 2019**, Natal/RN, 2019.

UNITED NATIONS. The Future We Want: Outcome of the United Nations Conference on Sustainable Development. Rio de Janeiro, Brazil, June 20-22, 2012.

URBAN, R. C.; ISAAC, R. L.; MORITA, D. M. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. **Revista DAE**, núm 219, vol. 67, outubro a dezembro, 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1)**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.

ZAMPROGNO, D.P. **Sistema de suporte à decisão espacial para a escolha de locais e dimensionamento de reservatórios**. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo. 203 p. São Paulo. 2004.