

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO OPERACIONAL DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS UTILIZANDO MÉTODOS MULTIOBJETIVO E INDICADORES – PARTE 2: UMA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E SUA APLICAÇÃO A UM ESTUDO DE CASO

OPERATIONAL PERFORMANCE EVALUATION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS
EMPLOYING MULTIOBJECTIVE METHODS AND INDICATORS – PART 2: A
METHODOLOGY FOR PERFORMANCE EVALUATION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS
AND ITS APPLICATION TO A CASE STUDY

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO OPERACIONAL DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO MÉTODOS MULTIOBJETIVO E INDICADORES - PARTE 2: UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU APLICACIÓN A UN ESTUDIO DE CASO

Reuel Lopes de Paula¹; Marco Antonio Almeida de Souza^{1*}

1. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília – UnB

* autor correspondente – e-mail: marcantoriosouza@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho foi proposta uma metodologia para avaliação de desempenho de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). Essa metodologia foi aplicada a três ETE situadas no Distrito Federal, Brasil, empregando um conjunto pré-selecionado de indicadores mais adequados e que foram avaliados como mais importantes segundo as perspectivas de um conjunto de atores. O objetivo dessa metodologia foi o de classificar as ETE em uma das seguintes categorias de desempenho: excelente (E), muito-bom (MB), bom (B), ruim (R) e muito-ruim (MR). A partir dos critérios propostos e do banco de indicadores gerado, foram selecionados 22 indicadores para essa avaliação. Os métodos multiobjetivo ELECTRE-TRI e TOPSIS-Modificado foram empregados, e os desempenhos das ETE foram determinados. As três ETE avaliadas alcançaram desempenho global convergindo para a categoria B. A metodologia elaborada foi considerada adequada, tendo abrangência e flexibilidade para avaliar ETE com sistemas, portes e situações de contexto diferenciados.

Palavras-Chave

Estação de tratamento de águas residuárias; Avaliação de desempenho; Métodos de auxílio à decisão; Métodos multiobjetivo; Indicadores de desempenho

RESUMEN

En este trabajo se propuso una metodología para evaluar el desempeño de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM). Esta metodología se aplicó a tres PTARM ubicadas en el Distrito Federal, Brasil, empleando un conjunto preseleccionado de los indicadores más apropiados que fueron evaluados como los más importantes según las perspectivas de un conjunto de actores. El objetivo de esta metodología fue clasificar las PTARM en una de las siguientes categorías de desempeño: Excelente, Muy-Buena, Buena, Mala y Muy-Mala. De los criterios propuestos y del banco de indicadores generado, se seleccionaron 22 indicadores para esta evaluación. Se emplearon los métodos multiobjetivo ELECTRE-TRI y TOPSIS-Cambiado, y se determinaron los rendimientos de las PTARM. Las tres PTARM evaluadas tuvieron un desempeño general convergente a la categoría Buena. La metodología desarrollada se consideró adecuada, teniendo alcance y flexibilidad para evaluar PTARM con diferentes sistemas, tamaños y situaciones de contexto.

PALABRAS CLAVE

Plantas de tratamiento de aguas residuales; Evaluación del desempeño; Métodos de ayuda a la decisión; Métodos multiobjetivo; Indicadores de desempeño.

ABSTRACT

This work proposed a methodology to evaluate the performance of Sewage Treatment Plants (STP). This methodology was applied to three STP located in the Federal District, Brazil, employing a pre-selected set of the most appropriate indicators that were evaluated as the most important according to the perspectives of a set of actors. The objective of this methodology was to classify the STP into one of the following performance categories: Excellent, Very Good, Good, Poor, and Very Poor. From the proposed criteria and the generated indicator database, 22 indicators were selected for this evaluation. The ELECTRE-TRI and TOPSIS-Modified multi-objective methods were used, and the STP performances were determined. The three STP evaluated achieved an overall performance converging to category Good. The methodology developed was considered adequate, having scope and flexibility to evaluate STP with different systems, sizes and context situations.

Key Words

Sewage treatment plants; Performance evaluation; Decision aid methods; Multi-objective methods; Performance indicators.

1 INTRODUÇÃO

Os modelos de gestão voltados à satisfação do cliente, à melhoria contínua da qualidade e à responsabilização pelas questões ambientais e sociais, têm sido cada vez mais utilizados pelas instituições que desejam permanecer competitivas. As empresas que trabalham com saneamento também têm procurado se adequar aos novos padrões de exigência de seus clientes. Em resposta a essa demanda, diversas técnicas de gerenciamento têm surgido visando a auxiliar as empresas na

conquista da eficiência, da produtividade e da qualidade de seus serviços e produtos, como a reengenharia, o benchmarking, dentre outras (Brostel et al., 2002).

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho operacional de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) utilizando metodologia que combina métodos de análise de decisão multiobjetivo e sistema de indicadores, capaz de realizar um diagnóstico de ETE sob reais condições de operação e considerando múltiplas dimensões (técnica, econômica, ambiental e social).

Existe uma diversidade muito grande de potenciais indicadores que podem ser utilizados na avaliação das ETE. Para que sejam adequadamente selecionados e empregados, esses indicadores devem ser profundamente estudados e avaliados. Dependendo dos indicadores selecionados, a avaliação pode ser mais objetiva ou subjetiva, geral ou específica, e pode estar focada segundo visões diferentes. Nesse contexto, é fundamental o emprego de métodos estruturados para auxiliar na seleção e avaliação dos indicadores de desempenho. Para tal, neste trabalho foram empregados métodos multiobjetivo de auxílio à decisão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa pode ser visualizada no diagrama da Figura 1, que ilustra as etapas de avaliação. Essa metodologia parte de um conjunto de indicadores de desempenho previamente selecionados e avaliados que são, de uma forma geral, considerados mais adequados para a avaliação das ETE. Existem várias maneiras de se obter esse conjunto de indicadores, mas os leitores que se interessarem poderão ter uma lista desses indicadores consultando de Paula (2013) e de Paula & Souza (2022).

Dentre os inúmeros métodos de análise de decisão com múltiplos objetivos e múltiplos critérios, foram escolhidos para a avaliação das ETE os métodos TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) e ELECTRE-TRI (*Élimination et Choix Traduisant la Réalité – Version TRI*). O leitor poderá encontrar uma descrição detalhada desses métodos nas referências de Paula (2013) e de Paula & Souza (2022).

O método TOPSIS, traduzido como “técnica de ordenamento de preferências por similaridade a uma solução ideal”, foi desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981 (Hwang & Yoon, 1981), mas sua completa utilização é bem atual. Esse é um método pelo qual as alternativas são avaliadas segundo os atributos de avaliação de prioridades determinadas por um índice derivado da combinação entre a aproximação a uma situação ideal (positiva) e ao distanciamento de uma situação não ideal (negativa).

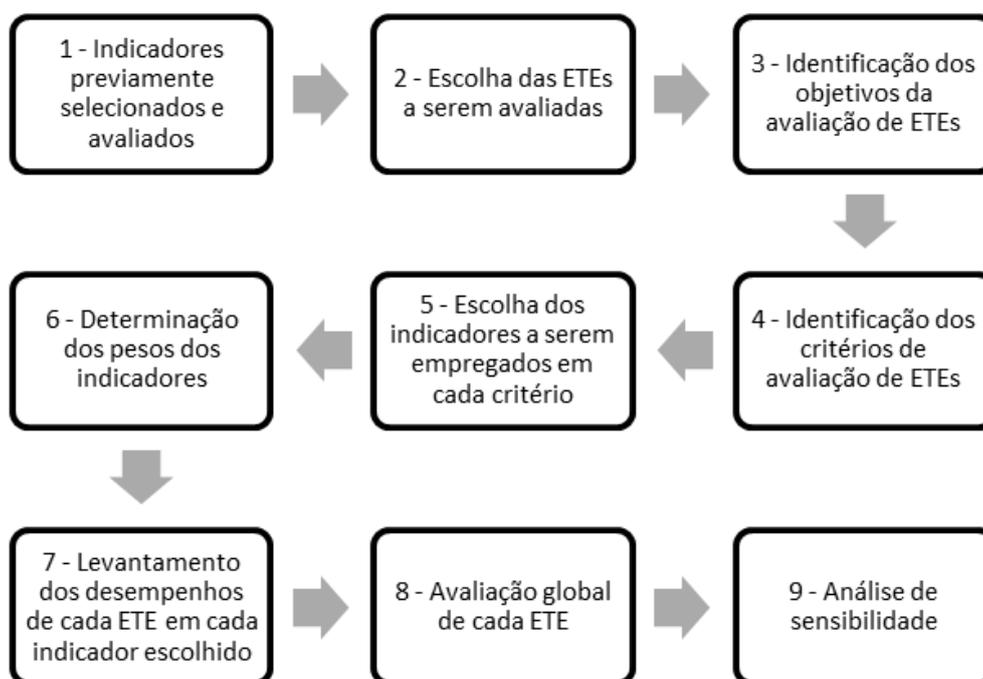
Os métodos da série ELECTRE (traduzido ao português como “tradução da realidade por eliminação e escolha”) foram inicialmente apresentados por Benayon, Roy e Sussman, em 1966, e aperfeiçoados por Bernard Roy em 1968. O método ELECTRE teve adaptações em diferentes versões (ELECTRE I, IS, II, III, IV e TRI). Seus princípios são flexíveis e admitem que alternativas não sejam comparáveis entre si (princípio da incomparabilidade). As versões I e IS solucionam problemas de seleção, as versões II, III e IV de ordenação e a TRI de classificação. A descrição do método ELECTRE-TRI é devida primeiramente a Roy e Boussou (1993).

Passa-se a apresentar alguns aspectos importantes da metodologia proposta, segundo as Etapas mostradas na Figura 1.

Na **Etapa 1** (de indicadores previamente selecionados e avaliados), foi considerado como ponto de apoio um conjunto inicial de indicadores pré-selecionados e avaliados (de Paula, 2013). Esse conjunto serviu como um banco de coleta, disponível para a escolha de um grupo menor de indicadores para a avaliação de estações com diferentes níveis de complexidade. Dessa forma, a avaliação tornou-se mais flexível, podendo ser escolhidos indicadores específicos para o contexto considerado.

Figura 1

Diagrama com as etapas da metodologia



Fonte: Elaboração dos autores

Na **Etapa 2** (de escolha das ETE a serem avaliadas), três estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal foram escolhidas para essa avaliação: São Sebastião, Samambaia e Brasília Norte. Essas três ETE foram escolhidas porque são de porte e sistemas de tratamento distintos, de forma a abranger as diferentes necessidades e características de avaliação.

Na **Etapa 3** (de identificação dos objetivos de avaliação das ETE), foram considerados os requisitos normativos, os aspectos metodológicos adotados neste trabalho e as necessidades e expectativas dos atores envolvidos na avaliação. De forma a contextualizar a avaliação com a perspectiva normativa, foram mesclados os objetivos das normas que tratam dos serviços de saneamento. Foram utilizados os objetivos das normas ABNT NBR ISO 24510 (ABNT, 2012a; ISO, 2007a) e ABNT NBR ISO 24511 (ABNT, 2012b; ISO, 2007b), que tratam das diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e avaliação desses serviços, para a sua melhoria. A adoção dos objetivos dessas normas cumpre a finalidade de balizar a avaliação considerando o aspecto normativo.

Na **Etapa 4** (de identificação dos critérios de avaliação das ETE), foram definidos os critérios de avaliação específicos para a realidade técnica e operacional de cada ETE a ser avaliada, baseando-se nos objetivos listados na etapa anterior. Dentre os critérios presentes nas normas, foram selecionados os que tinham aplicação na avaliação de ETE e os que eram os mais relacionados com os objetivos escolhidos na etapa anterior.

Na **Etapa 5** (de escolha dos indicadores a serem empregados em cada critério), foi selecionado o indicador com melhor desempenho em cada critério escolhido na etapa anterior para compor o grupo final de avaliação. Foi escolhido um indicador para cada critério. Dessa forma, a avaliação contemplou o número mínimo possível de indicadores, sendo realizada de forma unívoca e sem perder a abrangência. Nos casos de critérios contemplados com mais de um indicador, permaneceu o que obteve melhor desempenho na avaliação prévia. Para os casos de critérios escolhidos que não possuíam um indicador pré-selecionado associado, foi elaborado um novo indicador ou buscado um indicador no banco de indicadores inicialmente gerado.

Na **Etapa 6** (de determinação dos pesos dos indicadores), foram utilizados os resultados da avaliação prévia. Para os casos dos novos indicadores, adotou-se pesá-los com o menor valor obtido no grupo de indicadores pré-selecionados, já que os novos indicadores não haviam sido considerados na avaliação dos indicadores pré-selecionados.

Na **Etapa 7** (de levantamento do desempenho das ETE em cada indicador escolhido), os dados para avaliação dos desempenhos das ETE em cada indicador escolhido nas etapas anteriores foram

obtidos diretamente com o prestador de serviço. Dessa forma, a avaliação aproximou-se ao máximo da realidade de cada estação. Os desempenhos foram levantados considerando o período de um ano, de forma a possibilitar, ao longo do tempo, a construção de uma série histórica e monitorar os resultados anualmente. Cabe salientar que cada indicador possui características próprias de medição, podendo ser coletados dados semanais, quinzenais ou mensais, sendo necessário empregar ferramentas estatísticas, como médias, valores máximos e mínimos, dentre outras, para a obtenção dos valores que representam o desempenho anual do indicador. O ano base utilizado nesta avaliação foi 2012, sendo considerados os dados disponibilizados pelo prestador de serviço.

Na **Etapa 8** (de avaliação global das ETE), foram empregados os dois métodos multiobjetivo para alocação, ELECTRE-TRI e TOPSIS Modificado. Esses métodos foram escolhidos pela possibilidade de aplicação a problemas de alocação e, neste mister, deveriam ser utilizados métodos que alocassem as estações em categorias de desempenho. Para iniciar a avaliação global, foi construída uma matriz de avaliação, contendo nas colunas as ETE avaliadas, e nas linhas, os critérios de avaliação (indicadores selecionados), com os respectivos pesos e os resultados de avaliação em cada ETE. Os indicadores medidos por mais de um parâmetro tiveram seus pesos distribuídos para que não fossem supervalorizados. Cita-se como exemplo o indicador “utilização da estação de tratamento”, medido pela “capacidade de carga orgânica” e “capacidade de carga hidráulica”. Neste caso, foi considerada a metade do peso do indicador “utilização da estação de tratamento” para cada uma das capacidades de carga. O mesmo procedimento foi adotado com o indicador “eficiência de remoção”, medido por mais de um parâmetro de remoção, tendo seu peso dividido pela quantidade de parâmetros considerados na avaliação de cada ETE. A partir da matriz de avaliação, realizou-se a avaliação das ETE mediante cada um dos métodos selecionados.

2.1 Avaliação global das ETE empregando o método ELECTRE-TRI

Quanto à determinação das categorias de desempenho, alguns trabalhos, como os de Brostel (2002) e Mendonça (2009), adotam cinco categorias para a avaliação. A escolha de cinco categorias foi feita nesses trabalhos considerando ser o número mínimo capaz de expressar desempenhos diferenciados. De acordo com Brostel (2002), um número maior de categorias passaria a exigir critérios mais rigorosos para definição, que só poderiam ser estabelecidos com a participação dos atores, demandando um tempo ainda maior para processar os resultados. Dessa forma, neste trabalho foram adotadas cinco categorias de desempenho: “excelente” (E), “muito bom” (MB), “bom” (B) e “regular” (R) e “muito ruim” (MR). As categorias adotadas refletem os seguintes desempenhos:

- **E:** máximo desempenho, situação de grau mais elevado e desejável para uma estação;
- **MB:** desempenho altamente desejável, cumprindo suas atribuições além do dever;
- **B:** desempenho mínimo necessário para uma ETE. Nesta categoria a estação cumpre suas atribuições a contento da população e dos órgãos de fiscalização;
- **R:** desempenho abaixo do desejável, deve-se dar atenção especial para correções e melhorias de desempenho; e
- **MR:** desempenho indesejável, devendo ser altamente evitado e repudiado pela administração da ETE.

Os limites dos perfis foram levantados considerando padrões normativos, padrões estabelecidos por organismos internacionais de avaliação, resultados dos desempenhos da própria ETE em séries históricas e, quando inexistentes, foram elaborados. Os limites dos perfis tiveram valores diferenciados sendo considerados diversos fatores, como o indicador empregado, a unidade de medida do indicador, a alternativa avaliada e as peculiaridades de cada ETE. Essa consideração gerou valores individualizados para as categorias de desempenho e possibilitou contextualizar a avaliação com o perfil da ETE avaliada. Além disso, reduziu as inconsistências que poderiam ser geradas por um sistema de avaliação fixo, que utiliza perfis pré-definidos, independentemente do ente avaliado. A adoção de limites variáveis para definição das categorias de desempenho tornou o sistema de avaliação mais flexível e coerente com a realidade das estações.

Para o estabelecimento dos limiares de indiferença (q), preferência (p) e veto (v), primeiro foi definido o valor do limiar de preferência e , a partir das relações de p/q e v/p , foram calculados os demais limiares. A verificação da estabilidade e coerência dos valores escolhidos foram avaliados com uma posterior análise de sensibilidade, sem a qual não seria possível a determinação de valores adequados. A relação $0 < q < p < l/2$, sendo l o menor intervalo entre dois limites de categorias adjacentes, foi adotada para a obtenção dos valores iniciais dos limiares. Além disso, foi considerado para a determinação dos valores iniciais dos limiares que a relação p/q seria igual a 3 e que a relação v/p seria igual a 7, valores próximos dos adotados em alguns trabalhos como o de Brostel (2002), Ribeiro (2003) e Mendonça (2009).

Os valores de limiares de preferência estão diretamente ligados aos limites das categorias de desempenho. Como neste trabalho adotou-se a aplicação de limites respeitando as individualidades das estações, os limiares também terão seus valores determinados de acordo com a ETE avaliada.

Para apoiar os cálculos e determinar o desempenho global das ETE, foi utilizado o software ELECTRE-TRI do laboratório LAMSADE da Universidade de Paris-Dauphine <www.lamsade.dauphine.fr/mcda/biblio/PDF/mous3docl99.pdf>. Inicialmente, foram introduzidos os dados de desempenho de todos os indicadores, pesos e limiares de indiferença, preferência e veto. Com esses dados foram determinadas as relações de sobreclassificação. Em seguida, foram calculados os índices de concordância, discordância e credibilidade, de acordo com a formulação recomendada. Os resultados dos desempenhos globais foram calculados considerando um nível de corte λ padrão igual a 0,76, podendo ser alterado para a análise de sensibilidade dos resultados.

Por fim, as ETE foram alocadas em uma categoria de desempenho, de acordo com as classificações otimista e pessimista. Como a avaliação foi realizada considerando as particularidades de cada ETE, os cálculos foram realizados em matrizes de avaliação distintas, sendo estruturadas com os critérios, valores e limiares considerados para cada ETE.

2.2 Avaliação global empregando o método TOPSIS Modificado

Para a avaliação empregando o método TOPSIS Modificado, de maneira que o método fosse utilizado em um problema de alocação, a solução ideal positiva foi determinada pelo limite de categoria com desempenho máximo ou alternativa com valor máximo e a solução ideal negativa pelo limite de categoria com desempenho mínimo ou alternativa com desempenho mínimo. Os limites das categorias de desempenho e as alternativas com valores intermediários foram denominados de soluções intermediárias, comportando-se nos cálculos como alternativas. A elaboração do *ranking* das alternativas seguiu a ordenação dos valores do coeficiente de similaridade C , dos maiores para os menores, encontrando-se, assim, a posição das alternativas em relação aos limites das categorias de desempenho pré-definidos. Para que os resultados da avaliação global empregando os dois métodos, TOPSIS Modificado e ELECTRE-TRI, pudessem ser comparados, foram adotadas as mesmas categorias, "E", "MB", "B", "R" e "MR". Os valores dos limites das categorias foram semelhantes aos adotados no método ELECTRE-TRI. Esses valores foram utilizados como se fossem alternativas de avaliação. Dessa forma, a ETE teve seu desempenho determinado de acordo com o maior limite superado.

As soluções ideais positivas e negativas foram determinadas para cada critério. Os cálculos foram realizados por ETE, para possibilitar a comparação dos desempenhos das ETE com os limites das categorias adotados para cada uma delas. Em seguida, foram realizados os cálculos das distâncias das alternativas para a solução ideal positiva e negativa. Por fim, foram calculados os coeficientes de similaridade, para determinar o quanto as alternativas se aproximam da solução ideal positiva e se

afastam da solução ideal negativa. As alternativas foram ordenadas de acordo com os valores dos coeficientes de similaridade obtidos, variando entre zero e um. As melhores alternativas têm valores mais próximos de um, enquanto as piores estão mais próximas de zero.

Foi elaborada uma planilha eletrônica para aplicação dos cálculos para o método TOPSIS Modificado. Com essa planilha foram executadas todas as etapas de cálculo apresentadas, gerando um gráfico com os valores ordenados da avaliação global.

Na **Etapa 9** (de análise de sensibilidade), foi realizado o exame da robustez dos parâmetros adotados no modelo de avaliação empregado e para corrigir possíveis distorções. Os resultados apresentados refletiram os desempenhos das estações nos diferentes indicadores avaliados. A análise de sensibilidade foi realizada para avaliar os parâmetros adotados nos dois métodos utilizados, permitindo verificar as possíveis alterações geradas nos resultados com a variação dos parâmetros.

Para a análise de sensibilidade do método ELECTRE-TRI, foram analisados os limiares, os níveis de corte e o tipo de classificação, otimista ou pessimista. As relações de limiares adotadas inicialmente foram de p/q igual a três e v/p igual a sete. Os valores do veto foram alterados, sendo consideradas as relações $v=7.p$, $v=10.p$, e sem considerar o veto. Dessa forma, foi possível avaliar a influência do veto na avaliação. Outro parâmetro analisado foi o nível de corte. Como esse parâmetro pode ter valores variando entre 0,5 e 1, adotaram-se cinco possibilidades, os valores máximo e mínimo, valores próximos dos limites máximo e mínimo e um valor intermediário. Além da variação desses parâmetros, foram testadas outras alterações, como a redução dos limiares de preferência e indiferença. Os resultados das duas classificações possíveis do método, otimista e pessimista, também foram apresentados para que pudessem ser comparados e analisados.

A análise de sensibilidade para o método TOPSIS consistiu na observação dos parâmetros peso (W) e índice de importância com relação ao desvio máximo (métrica “ s ”) no cálculo do coeficiente de similaridade. Como os valores dos pesos foram determinados por meio de uma avaliação multicritério, baseada em uma consulta aos atores, não é necessária a análise dos pesos adotados. Porém, fez-se necessária uma análise do parâmetro “ s ” para verificar a sua influência nos resultados.

3 RESULTADOS

Os resultados são apresentados de acordo com o sequenciamento das etapas propostas na metodologia, seguindo a ordem apresentada na Figura 1.

3.1 Etapa 1: Indicadores previamente selecionados e avaliados

Foram considerados os indicadores de avaliação de desempenho de ETE a partir do estudo de Paula (2013), que estão mostrados em posição hierárquica na Tabela 1, conforme a avaliação realizada.

3.2 Etapa 2: escolha das ETE a serem avaliadas

Três estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal foram escolhidas para a avaliação: São Sebastião, Samambaia e Brasília Norte. Essas três ETE foram escolhidas porque são de porte e sistemas de tratamento distintos, de forma a abranger as diferentes necessidades e características de avaliação.

3.3 Etapa 3: identificação dos objetivos de avaliação das ETE

Os objetivos estabelecidos para a avaliação das ETE foram baseados nas normas ABNT NBR ISO 24510 e 24511. Alguns dos objetivos apresentados são contemplados nas duas perspectivas de avaliação, estando presentes em ambas as normas, como “proteção do meio ambiente” e “atendimento das necessidades e expectativas dos usuários”, objetivo específico na NBR 24511 e global na NBR 24510. Além disso, alguns dos objetivos apresentados podem ser mais adequados para a avaliação de sistemas de esgotamento, não sendo tão específicos para a avaliação de uma ETE, como “acesso aos serviços de esgoto”, “prestação dos serviços” e “gestão de contratos e faturamento”, todos presentes na NBR 24510. Dessa forma, é apresentado na Tabela 2 o conjunto reduzido e adaptado de objetivos escolhidos para a avaliação das ETE neste trabalho, eliminando os redundantes, os que têm menor aplicabilidade para avaliação direta de ETE e mesclando os objetivos das duas normas.

Tabela 1

Resultado final da avaliação dos indicadores pré-selecionados pelos atores

Ordem	Indicador	Avaliação
1	Custo de operação e manutenção por m ³ de esgoto tratado (R\$/m ³)	0,779
2	Consumo de energia elétrica na ETE por volume tratado (kWh/m ³)	0,778
3	Índice de análises do efluente tratado dentro do padrão exigido pela norma (%)	0,774
4	Eficiência de remoção de DQO, DBO, N e P (%)	0,771
5	Índice de tratamento de esgoto (% em volumes)	0,765
6	Testes de qualidade dos esgotos realizados (-/ano)	0,764
7	Adequação da capacidade de tratamento (%)	0,752
8	Utilização de estações de tratamento (%)	0,732
9	Índice de disposição de lodos de esgotos (%)	0,730
10	Custo com energia elétrica (R\$/m ³)	0,730
11	Frequência de inspeção de equipamento (-/ano)	0,721
12	Número de reclamações e de comunicação de problemas (n°/1000 hab./ano)	0,718
13	Índice de empregados treinados (%)	0,715
14	Índice de tratamento secundário (%)	0,707
15	Despesas com materiais, produtos químicos e outros insumos (%)	0,700
16	Resposta a reclamações e sugestões (%)	0,684
17	Acidentes de trabalho e doenças profissionais (n°/100 funcionários/ano)	0,683
18	Tempo médio de resposta aos usuários (h/ligação)	0,673
19	Índice de tratamento primário (%)	0,667
20	Falhas em conjuntos moto-bombas (horas/conjunto*ano)	0,667
21	Produção de lodo na ETE por população equivalente (kg lodo/p.e./ano)	0,664
22	População residente servida pela ETE (cobertura da população) (%)	0,662
23	Índice de tratamento terciário ou superior (%)	0,660
24	Calibração de equipamentos (-/ano)	0,659
25	Taxa de severidade da segurança no trabalho e saúde do empregado (dias perdidos /100 funcionários/ano)	0,648
26	Despesa média anual por empregado (R\$/empregado)	0,647
27	Faturamento médio de esgoto (R\$/m ³)	0,634

Fonte: Elaboração dos autores

Tabela 1 (continuação)

Resultado final da avaliação dos indicadores pré-selecionados pelos atores

Ordem	Indicador	Avaliação
28	Funcionários trabalhando na ETE por população equivalente (nº/1000 p.e.)	0,625
29	Ocorrência de inundações (nº de inundações/ano)	0,618
30	Indicador de mitigação de impactos ambientais (%)	0,601
31	Índice de satisfação dos empregados (%)	0,599
32	Índice de satisfação dos clientes (%)	0,593
33	Índice de investimentos (%)	0,578
34	Reúso de água (% do efluente aproveitada)	0,575
35	Produção de biogás (m ³ /kg)	0,567
36	Despesa total unitária por população equivalente (R\$/p.e./ano)	0,562
37	Índice de avaliação do sistema de gestão (%)	0,546
38	Índice de evasão de receita (%)	0,540
39	Produção de energia (kW)	0,536
40	Emissões de gases provenientes do sistema de esgoto danosos ao efeito estufa (t CO ₂ /1000 propriedades)	0,530
41	Índice de conhecimento dos serviços e produtos (%)	0,528
42	Margem do serviço da dívida (%)	0,525
43	Liquidez geral (%)	0,518
44	Índice de cobertura de custo total (%)	0,516
45	Endividamento sobre patrimônio (%)	0,515
46	Indicador de sanções e indenizações (%)	0,515
47	Volume de sedimentos removidos de estruturas do sistema (t/p.e./ano)	0,513
48	Indicador de suficiência de caixa (%)	0,495
49	Índice de margem operacional (%)	0,482
50	Incidência de processos judiciais recebidos (ocorrências-ano/1000 hab.)	0,481
51	Rentabilidade sobre patrimônio (%)	0,424

Fonte: Elaboração dos autores

3.4 Etapa 4: identificação dos critérios de avaliação das ETE

A escolha dos critérios de avaliação das ETE foi condicionada aos objetivos listados na etapa anterior. A seleção dos critérios foi realizada considerando-se os objetivos de avaliação, os requisitos determinados pelas partes interessadas, e as condições locais. Os critérios escolhidos para cada um dos objetivos selecionados encontram-se na Tabela 3. No total, 22 critérios foram selecionados, havendo, no mínimo, um critério para cada objetivo de avaliação. Dessa forma, a avaliação demonstrou possuir a abrangência necessária para a abordagem multifocal.

Tabela 2

Objetivos escolhidos para a avaliação das ETE

Nº	Objetivos
1	Proteção da saúde pública (PSP)
2	Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)
3	Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)
4	Sustentabilidade do serviços (SS)
5	Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)
6	Proteção do meio ambiente (PMA)

*Fonte: Elaboração dos autores***3.5 Etapa 5: escolha dos indicadores a serem empregados em cada critério**

A escolha dos indicadores foi balizada nos critérios e objetivos levantados nas etapas anteriores, sendo coletados no banco de 51 indicadores selecionados e avaliados mostrados na Tabela 1 (Etapa 1). A Tabela 4 apresenta a lista de indicadores escolhidos, com as respectivas unidades de medida, para cada um dos critérios de avaliação.

Em alguns casos, os critérios não possuíam um indicador relacionado no grupo pré-selecionado. Assim, foi necessário buscar no conjunto preliminarmente levantado de 780 indicadores ou elaborar um novo para que o critério não deixasse de ser avaliado. Isso ocorreu no critério “existência de um plano de segurança e de emergências”, sendo elaborado o indicador “plano de segurança e emergência”, já que não foi encontrado em nenhum dos grupos de indicadores. Outros dois indicadores foram elaborados pelos mesmos motivos apresentados: “índice de execução de plano de manutenção dos equipamentos” e “índice de disponibilidade de equipamentos”.

Foram realizadas, ainda, algumas adaptações nas nomenclaturas de alguns indicadores e em suas unidades de medida para melhor refletir os critérios de avaliação adotados. Como exemplo, cita-se o indicador “solução de reclamações e sugestões apresentadas” em substituição à “resposta à reclamações e sugestões”. Neste caso, a adoção levou em consideração a necessidade de solução para as reclamações e sugestões apresentadas, não sendo suficiente apenas apresentar respostas. Foram especificadas duas formas de avaliar o indicador “utilização da estação de tratamento”, sendo avaliadas a “capacidade de carga hidráulica” e a “capacidade de carga orgânica”.

Tabela 3

Critérios selecionados em relação aos objetivos de avaliação das ETE

Nº	Objetivos	Nº	Critérios	
1	Proteção da saúde pública (PSP)	1	Saúde e segurança do pessoal	
		2	Lançamento de esgoto de forma segura	
2	Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)	Promoção de um bom relacionamento com os usuários	3	Reclamações e solicitações
			4	Satisfação com os serviços prestados
	Gestão de segurança e de emergências	5	Comunicação com o usuário	
		6	Existência de um plano de segurança e de emergências (incluindo medidas preventivas)	
3	Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)	7	Manutenção de equipamentos	
		8	Ajuste ou calibração dos equipamentos	
4	Sustentabilidade do serviço (SS)	9	Condição dos ativos	
		10	Desempenho do sistema	
		11	Custos operacionais	
		12	Desempenho financeiro	
		13	Recursos humanos	
		14	Competência do pessoal	
5	Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)	15	Reúso de água	
		16	Utilização sustentável da energia	
6	Proteção do meio ambiente (PMA)	17	Eficiência no consumo de energia.	
		18	Capacidade de tratamento de esgoto	
		19	Resultados das análises de esgoto	
		20	Total de poluentes emitidos pelos sistemas de esgotos	
		21	Prevenção da poluição	
		22	Conformidade com os regulamentos e diretrizes aplicáveis	

Fonte: Elaboração dos autores

Tabela 4

Indicadores selecionados em relação aos critérios de avaliação das ETE

Nº	Crítérios	Indicadores	Unidade de medida
1	Saúde e segurança do pessoal	Acidentes de trabalho e doenças profissionais	(nº de acidentes de trabalho e doenças profissionais/100 funcionários/ano)
2	Lançamento de esgoto de forma segura	Testes de qualidade dos esgotos realizados	(nº de testes realizados no mês em cada parâmetro/nº previsto de testes no mês em cada parâmetro) (média anual em %)
3	Reclamações e solicitações	Número de reclamações e de comunicação de problemas	(nº/1000 habitantes/ano)
4	Satisfação com os serviços prestados	Índice de satisfação dos clientes	(%)
5	Comunicação com o usuário	Solução de reclamações e sugestões apresentadas	(reclamações e sugestões solucionadas / reclamações e sugestões apresentadas na ETE) (%)
6	Existência de um plano de segurança e de emergências	Plano de segurança e emergência	Existência ou não
7	Manutenção de equipamentos	Índice de execução de plano de manutenção dos equipamentos (de processos e de laboratórios)	(plano de manutenção executado/plano de manutenção previsto/ano) (%)
8	Ajuste ou calibração dos equipamentos	Calibração de equipamentos (de processo e de laboratórios)	(-/ano)
9	Condição dos ativos	Índice de disponibilidade de equipamentos (de processo e de laboratórios)	(nº de equipamentos disponíveis/nº total de equipamentos existentes) (%)
10	Desempenho do sistema	Utilização da estação de tratamento (capacidade de carga hidráulica e orgânica)	Carga hidráulica: vazão média afluente no mês (m ³ /s)/capacidade média de projeto no mês (m ³ /s) Carga orgânica: carga média de DQO (kg/d) no mês/ Carga média de DQO de projeto (kg/d) no mês

Tabela 4 (continuação)

Indicadores selecionados em relação aos critérios de avaliação das ETE

Nº	Critérios	Indicadores	Unidade de medida
11	Custos operacionais	Custo de operação e manutenção por m ³ de esgoto tratado	(R\$/m ³)
12	Desempenho financeiro	Índice de cobertura de custo total	(%)
13	Recursos humanos	Funcionários trabalhando na ETE por população equivalente (p.e.)	(nº/1000 p.e.)
14	Competência do pessoal	Índice de treinamento de funcionários (em sua área de atuação)	(%)
15	Reúso de água	Reúso de água	(%)
16	Utilização sustentável da energia	Produção de energia	(kW)
17	Eficiência no consumo de energia.	Consumo de energia elétrica na ETE	(kWh/m ³)
18	Capacidade de tratamento de esgoto	Índice de tratamento de esgoto	(%) (volume enviado para tratamento/volume total coletado)
19	Resultados das análises de esgoto	Eficiência de remoção de DQO, DBO, SST, NTK, PT	[Concentração do parâmetro no afluente (mg/L) - Concentração do parâmetro no efluente (mg/L)] / [Concentração do parâmetro no afluente (mg/L)]
20	Total de poluentes emitidos pelos sistemas de esgotos	Produção de lodo na ETE	(m ³ /ano)
21	Prevenção da poluição	Índice de disposição adequada de lodos de esgotos	(%)
22	Conformidade com os regulamentos e diretrizes aplicáveis	Índice de análises do efluente tratado dentro do padrão exigido pela norma	(nº de análises de efluente de acordo com as metas de concentração estabelecidas/nº total de análises de efluente realizadas/ano) (%)

Legenda: DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; PT: Fósforo Total

Fonte: Elaboração dos autores

3.6 Etapa 6: determinação dos pesos dos indicadores

Os pesos dos indicadores foram determinados assumindo os valores dos resultados da avaliação realizada em de Paula (2013) e mostrados na Tabela 1. A Tabela 5 apresenta os pesos dos indicadores selecionados.

Tabela 5

Pesos dos indicadores selecionados para a avaliação

Nº	Código	Indicadores	Pesos
1	PSP01	Acidentes de trabalho e doenças profissionais	0,683
2	PSP02	Testes de qualidade dos esgotos realizados	0,764
3	ANEU01	Número de reclamações e de sugestões	0,718
4	ANEU02	Índice de satisfação dos clientes	0,593
5	ANEU03	Solução de reclamações e sugestões	0,684
6	ANEU04	Plano de segurança e emergência	0,424
7	PSSNE01	Índice de execução de plano de manutenção dos equipamentos	0,424
8	PSSNE02	Calibração de equipamentos	0,659
9	SS01	Índice de disponibilidade de equipamentos	0,424
10	SS02	Utilização de estações de tratamento (capacidade de carga hidráulica e orgânica)	0,732
11	SS03	Custo de operação e manutenção	0,779
12	SS04	Índice de cobertura de custo total	0,516
13	SS05	Funcionários trabalhando na ETE	0,625
14	SS06	Índice de treinamento de funcionários	0,715
15	PDS01	Reúso de água	0,575
16	PDS02	Produção de energia	0,536
17	PMA01	Consumo de energia elétrica na ETE	0,778
18	PMA02	Índice de tratamento de esgoto	0,765
19	PMA03	Eficiência de remoção de DQO, DBO, NTK, SST, PT	0,771
20	PMA04	Produção de lodo na ETE	0,664
21	PMA05	Índice de disposição adequada de lodos de esgotos	0,730
22	PMA06	Índice de análises do efluente tratado dentro do padrão exigido pela norma	0,774

Legenda: DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; NTK: Nitrogênio Total Kjehldahl; PT: Fósforo Total

Fonte: Elaboração dos autores

3.7 Etapa 7: levantamento do desempenho das ETE em cada indicador escolhido

O desempenho das ETE foi levantado junto ao prestador de serviços, responsável por administrar as estações avaliadas neste trabalho. A Tabela 6 apresenta os indicadores com os respectivos desempenhos das ETE Brasília Norte (BN), Samambaia (Sam) e São Sebastião (SSeb).

Alguns indicadores não tiveram seus desempenhos levantados. Dois aspectos supostamente podem ter ocasionado tal fato: os indicadores sem medição não eram foco de avaliação por parte do prestador de serviços e não houve tempo hábil suficiente para o levantamento dos dados. Dessa forma, não foi possível completar o quadro de avaliação. Esse fato ocorreu com os seguintes indicadores: - Teste de qualidade dos esgotos realizados, para os parâmetros “lodo” e “disruptores endócrinos”; - Índice de execução de plano de manutenção dos equipamentos; - Calibração de equipamentos; - Índice de disponibilidade de equipamentos; - Índice de cobertura de custo total; e - Produção de lodo na ETE.

A metade dos indicadores sem dados referem-se à estrutura física da ETE, sendo fundamentais para a avaliação do objetivo de avaliar a prestação dos serviços em situações normais e de emergência e da sustentabilidade do serviço. Os demais se referem à avaliação econômica da ETE, proteção do meio ambiente e saúde pública respectivamente.

Do total de 22 indicadores propostos, 17 tiveram os desempenhos levantados, sendo que um deles, como já citado, não teve todos os parâmetros obtidos. Do total de 5 objetivos de avaliação, somente um, “prestação dos serviços em situações normais e de emergência”, não foi contemplado com a medição de nenhum indicador. Dessa forma, foi possível manter a avaliação com a abrangência necessária para sua realização.

O prestador de serviços disponibilizou os valores de desempenho anuais das ETE, em relação aos indicadores solicitados, da sua base de dados do ano de 2012, não tendo sido disponibilizadas as medições semanais, quinzenais ou mensais, para os casos de indicadores que são monitorados nesses períodos. Assim, os valores lançados na matriz de avaliação foram os anuais, já calculados e disponibilizados pelo prestador de serviços.

Alguns indicadores tiveram suas unidades de medida alteradas, o que facilitou a geração de categorias de desempenho, permitiu melhor visualização dos níveis de desempenho e a comparação com outras instituições. Podem ser citados: (1) - Funcionários trabalhando na ETE, alterando a unidade de medida inicialmente adotada ($n^{\circ}/1000$ p.e.) para funcionários trabalhando na ETE por 10^6 m³ de afluentes recebidos por ano ($n^{\circ}/10^6$ m³/ano); (2) - Produção de energia, de kWh para (Produção kWh/Consumo kWh/ano) (%); e (3) - Calibração de equipamentos, de calibrações por ano (-/ano) para (n° de equipamentos calibrados/ n° de equipamentos previstos para calibração) (%).

Tabela 6

Avaliação das ETE em cada indicador de desempenho

Nº	Código	Indicadores	Unidade de medida	Avaliação das ETEs			
				BN	Sam	SSeb	
1	PSP01	Acidentes de trabalho e doenças profissionais	(nº de acidentes de trabalho e doenças profissionais/100 funcionários/ano)	1,61	1,61	1,61	
2	PSP02	Testes de qualidade dos esgotos realizados	(nº de testes realizados no mês em cada parâmetro/nº previsto de testes no mês em cada parâmetro) (média anual em %)	DQO	91	82	98
				DBO	75	77	91
				SST	90	90	98
				NTK	91	88	98
				PT	92	89	98
				E. coli	92	83	92
				Lodo	-	-	-
			Disruptores endócrinos	-	-	-	
3	ANEU01	Número de reclamações e de sugestões	(nº/1000 habitantes/ano)	3,91	3,91	3,91	
4	ANEU02	Índice de satisfação dos clientes	(%)	89,43	89,43	89,43	
5	ANEU03	Solução de reclamações e sugestões	(reclamações e sugestões solucionadas / reclamações e sugestões apresentadas na ETE) (%)	67,4	67,4	67,4	
6	ANEU04	Plano de segurança e emergência	Existência ou não	Não	Não	Não	
7	PSSNEO 1	Índice de execução de plano de manutenção dos equipamentos	(plano de manutenção executado/plano de manutenção previsto/ano) (%)	-	-	-	
8	PSSNEO 2	Calibração de equipamentos	(nº de equipamentos calibrados/nº de equipamentos previstos para calibração) (%)	-	-	-	
9	SS01	Índice de disponibilidade de equipamentos	(nº de equipamentos disponíveis/nº total de equipamentos existentes) (%)	-	-	-	

Legenda: BN: ETE Brasília Norte; Sam: ETE Samambaia; SSeb: ETE São Sebastião; DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; PT: Fósforo Total

Fonte: Elaboração dos autores

Tabela 6 (continuação)

Avaliação das ETE em cada indicador de desempenho

Nº	Código	Indicadores	Unidade de medida	Avaliação das ETEs			
				BN	Sam	SSeb	
10	SS02A	Utilização de estações de tratamento (capacidade de carga hidráulica e orgânica)	Carga hidráulica: vazão média afluente no mês (m ³ /s)/capacidade média de projeto no mês (m ³ /s)	52,6	110,9	54,8	
	SS02B		Carga orgânica: carga média de DQO (kg/d) no mês/carga média de DQO de projeto (kg/d) no mês	106,6	145,0	131,9	
11	SS03	Custo de operação e manutenção	(R\$/m ³)	1,11	0,49	0,58	
12	SS04	Índice de cobertura de custo total	(%)	-	-	-	
13	SS05	Funcionários trabalhando na ETE	(nº/10 ⁶ m ³ /ano)	2,09	1,1	2,08	
14	SS06	Índice de treinamento de funcionários	(percentual de empregados treinados/ano) (%)	67,1	67,1	67,1	
15	PDS01	Reúso de água	(%)	0	0	0	
16	PDS02	Produção de energia	(Produção kWh/Consumo kWh/ano) (%)	0	0	0	
17	PMA01	Consumo de energia elétrica na ETE	(kWh/m ³)	0,694	0,033	0,021	
18	PMA02	Índice de tratamento de esgoto	(volume enviado para tratamento/volume total coletado) (%)	100	100	100	
19	PMA03A	Eficiência de remoção de DQO, DBO, NTK, SST, PT	[Concentração do parâmetro no afluente (mg/L) -	DQO	94,1	94,2	92,1
	Concentração do parâmetro no efluente (mg/L)]/		DBO	93,7	97,1	92,3	
	[Concentração do parâmetro no afluente (mg/L)] (%)		SST	95,8	92,1	97,3	
			NTK	78,3	25,3	50,9	
			PT	95,3	84,1	56,0	
20	PMA04	Produção de lodo na ETE	(m ³ /ano)	-	-	-	
21	PMA05	Índice de disposição adequada de lodos de esgotos	(%)	100	-	100	
22	PMA06	Índice de análises do efluente tratado dentro do padrão exigido pela norma	(nº de análises de acordo com as metas de concentração estabelecidas/nº total de análises realizadas/ano) (%)	99,4	79,8	100	

Legenda: BN: ETE Brasília Norte; Sam: ETE Samambaia; SSeb: ETE São Sebastião; DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; PT: Fósforo Total. Fonte: Elaboração dos autores

Em alguns casos, o prestador de serviços não apresentou os dados de avaliação individualizados, com os desempenhos de cada ETE, sendo disponibilizados os dados gerais do prestador, referentes ao sistema de esgotamento como um todo. Os seguintes indicadores estão incluídos nessa condição: (1) - Acidentes de trabalho e doenças profissionais; (2) - Número de reclamações e de comunicação de problemas; (3) - Índice de satisfação dos clientes; (4) - Solução de reclamações e sugestões apresentadas; e (5) - Índice de treinamento de funcionários.

Pode-se observar que os indicadores apresentados se relacionam com o setor de recursos humanos. Isso demonstra uma administração centralizada, o que facilita o controle, porém, dificulta a identificação dos pontos críticos do sistema. Dessa forma, esses indicadores não refletem diretamente os desempenhos individuais das ETE, inserindo uma parcela do desempenho global do sistema de esgotamento nos desempenhos individuais das ETE.

O indicador “utilização de estações de tratamento” pode ser medido pela capacidade de carga hidráulica e orgânica. Como as duas formas de medição são fundamentais para a avaliação e os resultados são independentes, adotou-se medir as capacidades individualmente. O mesmo procedimento foi adotado para o indicador “eficiência de remoção”, sendo considerados os parâmetros de DBO, SST, NTK e PT, que possuem padrões individuais estabelecidos pela ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento, no programa PRODES, conforme consta na Resolução nº 644, de 20 de maio de 2013 (ANA, 2013). Dessa forma, a medição do indicador “eficiência de remoção” foi desmembrada em quatro parâmetros, “eficiência de remoção de DBO”, “eficiência de remoção de SST”, “eficiência de remoção de NTK” e “eficiência de remoção de PT”. Vale salientar que o parâmetro DQO não foi considerado, pois seus objetivos de medição se confundem com os do parâmetro DBO, não sendo independentes, e pelo fato do programa PRODES considerar o parâmetro DBO.

3.8 Etapa 8: avaliação global das ETE

A avaliação global das ETE foi realizada empregando os métodos multiobjetivo indicados. Para que se procedesse à avaliação nos dois métodos escolhidos, foi montada a matriz de avaliação apresentada na Tabela 7.

Tabela 7

Matriz de avaliação das ETE

Nº	Indicadores	Código	Peso	S.A.	BN	S.A.	Sam	S.A.	SSeb
1	Acidentes de trabalho e doenças profissionais	PSP01	0,683	Dec	1,61	Dec	1,61	Dec	1,61
2	Testes de qualidade dos esgotos realizados	PSP02	0,764	Cre	88,5	Cre	84,8	Cre	95,8
3	Número de reclamações e de sugestões	ANEU01	0,718	Dec	3,91	Dec	3,91	Dec	3,91
4	Índice de satisfação dos clientes	ANEU02	0,593	Cre	89,43	Cre	89,43	Cre	89,43
5	Solução de reclamações e sugestões	ANEU03	0,684	Cre	67,4	Cre	67,4	Cre	67,4
6	Plano de segurança e emergência	ANEU04	0,424	Cre	0	Cre	0	Cre	0
7	Utilização da ETE (carga hidráulica)	SS02A	0,732	Cre	52,6	Dec	110,9	Cre	54,8
	Utilização da ETE (carga orgânica)	SS02B		Dec	106,6	Dec	145	Dec	131,9
8	Custo de operação e manutenção	SS03	0,779	Dec	1,11	Dec	0,49	Dec	0,58
9	Funcionários trabalhando na ETE	SS05	0,625	Cre	2,09	Cre	1,1	Cre	2,08
10	Índice de treinamento de funcionários	SS06	0,715	Cre	67,10	Cre	67,10	Cre	67,10
11	Reúso de água	PDS01	0,575	Cre	0	Cre	0	Cre	0
12	Produção de energia	PDS02	0,536	Cre	0	Cre	0	Cre	0
13	Consumo de energia elétrica na ETE	PMA01	0,778	Dec	0,694	Dec	0,033	Dec	0,021
14	Índice de tratamento de esgoto	PMA02	0,765	Cre	100	Cre	100	Cre	100
15	Eficiência remoção de DBO	PMA03B	0,771	Cre	93,7	Cre	97,1	Cre	92,3
	Eficiência remoção de SST	PMA03C		Cre	95,8	Cre	92,1	Cre	97,3
	Eficiência remoção de NTK	PMA03D		Cre	78,3	Cre	25,3	Cre	50,9
	Eficiência remoção de PT	PMA03E		Cre	95,3	Cre	84,1	Cre	56
16	Índice de disposição adequada de lodos	PMA05	0,730	Cre	100	-	-	Cre	100
17	Índice de análises do efluente tratado dentro do padrão exigido pela norma	PMA06	0,774	Cre	99,4	Cre	79,8	Cre	100

Legenda: Cre: Crescente; Dec: Decrescente; S.A.: Sentido de avaliação; BN: ETE Brasília Norte; Sam: ETE Samambaia; SSeb: ETE São Sebastião.

Fonte: Elaboração dos autores

A matriz de avaliação contém os indicadores, os códigos de cada indicador (adotados como as letras iniciais dos objetivos de avaliação de cada indicador e o número de ordem dos indicadores para cada objetivo), os pesos, os sentidos de avaliação (crescente ou decrescente) e os desempenhos das ETE Brasília Norte (BN), Samambaia (Sam) e São Sebastião (SSeb), para cada indicador.

Em relação aos dados apresentados, observa-se que o sentido de avaliação para o indicador SS02A - utilização da estação de tratamento (capacidade de carga hidráulica), não foi considerado o mesmo para todas as ETE avaliadas, porque esse indicador pode ter dois sentidos preferenciais de resultado, dependendo dos valores dos desempenhos medidos. A faixa de 80% a 90% de utilização da carga hidráulica foi considerada de melhor desempenho, porém a capacidade de utilização pode ultrapassar os 100% quando a ETE trabalha com sobrecarga da capacidade de projeto. Nesse caso, o sentido de avaliação foi considerado decrescente para maximizar os resultados com valores superiores a 90%. Para valores inferiores a 90%, o sentido foi considerado crescente. Nesse indicador, a ETE Samambaia apresenta sentido decrescente, pois seu desempenho no ano de 2012 foi de 110,9% de utilização de carga hidráulica e as ETE Brasília Norte e São Sebastião tiveram o sentido de avaliação crescente, pois a capacidade de carga hidráulica se apresentou abaixo de 90% de utilização.

O indicador SS02B - utilização da estação de tratamento (capacidade de carga orgânica), apresenta o mesmo comportamento do indicador SS02A, porque também existe a possibilidade de valores maiores do que 100% da capacidade de carga orgânica projetada. Os sentidos de avaliação e os valores de limite adotados para esse indicador são os mesmos dos utilizados para o indicador SS02A.

O indicador SS05 - funcionários trabalhando na ETE - também apresenta o mesmo comportamento, já que se adotaram duas faixas de valores que poderiam inverter o sentido preferencial de avaliação. A escala adotada para esse indicador tem sentido crescente até o valor de quatro funcionários por 10^6 m³ de afluente e decrescente para valores maiores do que quatro. As escalas e limites adotados para todos os indicadores serão apresentados na descrição da avaliação global com os métodos ELECTRE-TRI e TOPSIS Modificado.

3.8.1 Avaliação global empregando o método ELECTRE-TRI

Para os indicadores PSP02, ANEU02, ANEU03, SS06, PMA02, PMA05 e PMA06 foram definidos os mesmos intervalos para as categorias de desempenho em todas as ETE avaliadas. A escala adota uma faixa pequena de valores para os melhores desempenhos, gerando a necessidade de altos desempenhos para obter conceitos elevados na avaliação. Essa escala é adotada em avaliações que

buscam diferenciar os entes com melhores desempenhos das demais, que apresentam desempenhos medianos. Uma das entidades internacionais que utilizam uma escala semelhante é a ERSAR, que classifica as ETE avaliadas em três categorias (LNEC & ERSAR, 2013): (1) - boa qualidade do serviço, com desempenho máximo 100; (2) - qualidade do serviço mediana, com intervalos de [95-100[; e - qualidade do serviço insatisfatória, com intervalos de [0-95[. Os intervalos adotados neste trabalho para os indicadores citados estão apresentados a seguir:

Categorias de desempenho	MR	R	B	MB	E
Intervalos	0-60[	[60-80[	[80-95[	[95-100[	100

Para o indicador PSP01 - acidentes de trabalho e doenças profissionais - foram adotadas categorias com intervalos diferentes dos outros indicadores. Os intervalos representam uma escala decrescente, em que o valor zero, ou nenhum acidente de trabalho ou doença profissional a cada 100 funcionários ocorre em um ano, sendo a situação mais desejada.

Uma escala decrescente foi elaborada para o indicador ANEU01 - número de reclamações e de sugestões. Para esse indicador, uma reclamação a cada 1000 habitantes por ano foi considerada como resultado ideal e acima de 50 reclamações a cada 1000 habitantes por ano seria a pior situação.

O indicador ANEU04 - plano de segurança e emergência - também teve uma escala elaborada. Para esse indicador, a unidade de medida indicava a existência ou não de um plano de segurança. Para representar numericamente essas opções foi criada uma escala entre 0 e 1, em que o zero representa a ausência de um plano de segurança, sendo classificado na pior categoria e um indica haver um plano de segurança, sendo classificado na melhor categoria.

Para os indicadores SS02A - utilização da estação de tratamento (capacidade de carga hidráulica) - e SS02B - utilização da estação de tratamento (capacidade de carga orgânica) - foi adotada uma escala de duplo sentido, variando de forma crescente até o valor de 90% de capacidade e acima desse valor sendo decrescente. Isso ocorre porque as capacidades de carga hidráulica e orgânica podem ultrapassar os 100% quando a ETE trabalha com sobrecarga de projeto. O valor de 90% foi considerado como a situação ideal máxima, pois a ETE ainda teria uma margem de 10% de capacidade de carga para situações emergenciais, como em casos de cheias ou outros. Os valores menores do que 50% da capacidade foram considerados inadequados, pois isso demonstra subutilização da estrutura da estação. Dessa forma, as faixas utilizadas neste trabalho foram as seguintes:

Indicadores	Sentido	MR	R	B	MB	E
SS02A e SS02B	Crescente	0-50[	[50-60[	[60-70[	[70-80[	[80-90]
	Decrescente	>120	]100-120[	]95-100]	]90-95]	

Outro indicador com escala elaborada foi o SS03 - custo de operação e manutenção. Para esse indicador, foram geradas categorias de desempenho individuais, já que os sistemas são muito distintos e com portes diferentes, variando com isso as fontes e valores dos custos de operação e manutenção. Para que a avaliação pudesse ser realizada sem que esse indicador tivesse influência direta no resultado, reduzindo o desempenho das ETE que possuem gastos mais elevados devido à natureza e porte do projeto, foi elaborada uma escala que considera os resultados de custo da própria ETE. Foram levantados os valores máximo e mínimo dos custos mensais dos últimos quatro anos. O custo mínimo mensal identificado representa o melhor desempenho a ser atingido no ano, o custo máximo mensal foi considerado o pior desempenho a ser atingido no ano. A partir dos dois valores, criou-se uma escala equitativa para definição das categorias, em que o resultado máximo a ser atingido é o gasto mensal mínimo.

De modo semelhante ao indicador SS03, o PMA01 - consumo de energia elétrica na ETE - considerou os desempenhos individuais como parâmetros para estabelecer as categorias de desempenho. Esse indicador apresenta as mesmas dificuldades para o estabelecimento de padrões, sendo o consumo de energia muito variável, dependendo do sistema de tratamento adotado no projeto e do porte da estação. Assim, foram considerados os desempenhos de consumo de energia dos últimos quatro anos e com os valores máximo e mínimo foram estabelecidas as metas refletidas nas categorias.

O indicador SS05 - funcionários trabalhando na ETE - teve suas categorias de desempenho determinadas por meio de uma escala de sentido duplo, como os indicadores SS02A e SS02B. Para esse indicador, adotou-se a escala empregada pela ERSAR (2013), que considera a adequação dos recursos humanos como o número equivalente de empregados afetos ao serviço de esgotos por 10^6 m³ de afluentes recolhidos para tratamento por ano. As categorias adotadas pela ERSAR são as seguintes: (1) - qualidade do serviço boa = [3; 4]; (2) - qualidade do serviço mediana = [2,5; 3] ou]4; 4,5]; e (3) - qualidade do serviço insatisfatória = [0; 2,5[ou]4,5; +∞[. As categorias adotadas neste trabalho foram as seguintes:

Indicador	Sentido	MR	R	B	MB	E
SS05	Crescente	0-1,5[	[1,5-2,0[	[2,0-2,5[	[2,5-3,0[	[3,0-4,0]
	Decrescente	>5	[5-5,5[	[4,5-5[	]4-4,5]	

Para os indicadores referentes ao reúso de água, PDS01, e produção de energia, PDS02, a escala básica percentual foi um pouco alterada, valorizando o mínimo esforço para esses indicadores. Para isso, os intervalos foram mais regulares e o pior desempenho só foi considerado para os casos de nenhum esforço demandado para o reúso da água ou para a geração de energia, o que ocorreu nas três ETE consideradas neste estudo. As faixas de valores para as categorias de desempenho consideradas neste trabalho foram as seguintes:

Categorias de desempenho	MR	R	B	MB	E
Intervalos	0	]0-20[	[20-40[	[40-80[	[80-100]

3.8.2 Avaliação global empregando o método TOPSIS Modificado

A avaliação empregando o método TOPSIS Modificado foi realizada considerando os desempenhos das ETE em relação aos indicadores adotados, bem como os pesos dos indicadores, que foram apresentados na matriz de avaliação (Tabela 7).

3.8.3 Resultado final da avaliação

As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam os resultados finais da avaliação das ETE empregando os métodos ELECTRE-TRI e TOPSIS Modificado. Essas tabelas indicam os desempenhos parciais, referentes ao conjunto de objetivos selecionados para a avaliação, e os desempenhos globais das ETE.

3.9 Etapa 9: análise de sensibilidade

Utilizando o método ELECTRE TRI, a partir da análise de sensibilidade, percebeu-se uma forte influência dos parâmetros nos resultados obtidos neste estudo de caso. Dependendo dos valores adotados e sem uma análise adequada do método, as ETE poderiam ter seus desempenhos classificados em qualquer das cinco categorias, MR até E.

O parâmetro que teve maior influência nos resultados obtidos com o método ELECTRE TRI foi o nível de corte, λ , pois, conforme o seu valor variava, mesmo mantendo constantes os outros parâmetros, os resultados eram alterados. O limiar de veto também influenciou os resultados, porém isso só ocorreu para níveis de corte com valores baixos (0,5 e 0,6). Para outros valores do nível de corte, o veto não gerou alterações.

A influência maior do nível de corte nos resultados ocorre pelo fato das relações de preferência, entre a alternativa e os perfis de referência, serem constituídas a partir da comparação do índice de credibilidade calculado com o nível de corte.

Quando se adotaram níveis de corte com valores maiores (mais próximos de 1,0), houve uma tendência de haver incomparabilidade entre as relações. Assim, podem ocorrer relações de incomparabilidade entre a alternativa analisada e os perfis de referência, principalmente os que têm valores mais próximos da alternativa. Quando o nível de corte apresenta valores mais baixos (mais próximos de 0,5), existe uma tendência para ocorrerem relações de indiferença entre a alternativa e os perfis mais próximos. Devido aos fatores apresentados, o aplicativo ELECTRE TRI do laboratório LAMSADE adota como nível de corte padrão o valor 0,76, intermediário entre a faixa adotada para esse parâmetro (0,5 e 1,0).

No presente estudo de caso, quando o nível de corte assumiu valores mais baixos, as relações de preferência foram estabelecidas sem que ocorressem indiferenças. Isso justifica o fato de haver diferenças menores entre as classificações otimista e pessimista para valores de corte menores. Já para valores de corte maiores (mais próximos de 1,0), ocorreram relações de incomparabilidade entre a alternativa e os perfis de referência intermediários, o que gerou a impossibilidade de classificação nas categorias intermediárias, ocorrendo uma distorção nos resultados e uma diferença maior entre a classificação pessimista e otimista.

Tabela 8

Desempenhos parciais e global da ETE Brasília Norte

MÉTODO ELECTRE-TRI / ETE Brasília Norte		
Objetivo avaliado	Desempenho parcial	Desempenho global
Proteção da saúde pública (PSP)	Bom	
Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)	Bom	
Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)	-	BOM
Sustentabilidade do serviços (SS)	Ruim	
Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)	Muito Ruim	
Proteção do meio ambiente (PMA)	Muito Bom	
MÉTODO TOPSIS Modificado / ETE Brasília Norte		
Objetivo avaliado	Desempenho parcial	Desempenho global
Proteção da saúde pública (PSP)	Bom	
Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)	Bom	
Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)	-	BOM
Sustentabilidade do serviços (SS)	Ruim	
Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)	Muito Ruim	
Proteção do meio ambiente (PMA)	Bom	

Fonte: *Elaboração dos autores*

Quanto aos tipos de classificação, otimista ou pessimista, pode-se observar que, quanto maior o valor do nível de corte, maior é o rigor da classificação pessimista e menor o rigor da otimista. Isto também ocorre devido às distorções geradas pelas relações de incomparabilidade nos níveis de corte maiores. Esse fato reforça a ideia de desconsiderar valores de níveis de corte mais elevados para este trabalho.

Considerando níveis de corte intermediários, as três ETE atingiram padrão R na classificação pessimista e MB na classificação otimista. Considerando níveis de corte mais próximos do valor mínimo, os resultados apresentaram menor desvio entre a classificação pessimista e a otimista. Nessa condição, os resultados das ETE convergiram para a categoria de desempenho R, considerando a classificação pessimista e B, considerando a otimista. Quando o valor do veto aumentava ou era desconsiderado, também para os valores de corte mais baixos, a classificação convergiu para a

categoria B considerando tanto a classificação pessimista quanto a otimista. Essa faixa, que apresentou resultados convergentes, foi a adotada neste trabalho.

Tabela 9

Desempenhos parciais e global da ETE Samambaia

MÉTODO ELECTRE TRI / ETE Samambaia		
Objetivo avaliado	Desempenho parcial	Desempenho global
Proteção da saúde pública (PSP)	Bom	
Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)	Bom	
Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)	-	BOM
Sustentabilidade do serviços (SS)	Ruim	
Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)	Muito Ruim	
Proteção do meio ambiente (PMA)	Muito Bom	
MÉTODO TOPSIS Modificado / ETE Samambaia		
Objetivo avaliado	Desempenho parcial	Desempenho global
Proteção da saúde pública (PSP)	Bom	
Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)	Bom	
Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)	-	BOM
Sustentabilidade do serviços (SS)	Ruim	
Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)	Muito Ruim	
Proteção do meio ambiente (PMA)	Bom	

Fonte: *Elaboração dos autores*

Assim, empregando o método ELECTRE TRI, as ETE foram classificadas na categoria de desempenho B, já que os resultados, tanto otimista quanto pessimista, convergiram para essa classe na avaliação das três ETE.

Na análise de sensibilidade pelo Método TOPSIS Modificado, foram considerados os três valores da métrica “s”. A avaliação da ETE Sam não apresentou variação nos desempenhos em função dos valores de “s”. Para os três valores de “s”, a ETE Sam teve desempenho superior ao limite entre R e B e inferior ao limite entre B e MB. Portanto, o parâmetro “s” não influenciou os resultados de avaliação da ETE Sam. Assim, essa ETE foi classificada na categoria B, já que superou o limite entre as categorias R e B e não superou o limite entre as categorias B e MB.

Tabela 10

Desempenhos parciais e global da ETE São Sebastião

MÉTODO ELECTRE-TRI / ETE São Sebastião		
Objetivo avaliado	Desempenho parcial	Desempenho global
Proteção da saúde pública (PSP)	Bom	
Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)	Bom	
Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)	-	BOM
Sustentabilidade do serviços (SS)	Ruim	
Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)	Muito Ruim	
Proteção do meio ambiente (PMA)	Muito Bom	
MÉTODO TOPSIS Modificado / ETE São Sebastião		
Objetivo avaliado	Desempenho parcial	Desempenho global
Proteção da saúde pública (PSP)	Bom	
Atendimento das necessidades e expectativas dos usuários (ANEU)	Bom	
Prestação dos serviços em situações normais e de emergência (PSSNE)	-	BOM
Sustentabilidade do serviços (SS)	Bom	
Promoção do desenvolvimento sustentável (PDS)	Muito Ruim	
Proteção do meio ambiente (PMA)	Bom	

Fonte: *Elaboração dos autores*

No caso das ETE BN e SSeb, para $s = 1$ e $s = 2$, os desempenhos foram superiores ao limite entre R e B e inferiores ao limite entre B e MB. Quando “s” assumiu o valor infinito, a ETE teve desempenho superior ao limite entre B e MB e inferior ao limite entre MB e E. Neste caso, adotaram-se os valores de $s=1$ e $s=2$, por valorizarem os resultados mais equilibrados e não os desvios máximos. Assim, as ETE BN e SSeb também tiveram seus desempenhos classificados na categoria B, por superar o limite entre as categorias R e B e não superar o limite entre as categorias B e MB.

Como resultado da seleção de indicadores, no trabalho de von Sperling (2010) foram gerados 49 indicadores de desempenho para avaliação do sistema global de esgotamento sanitário. No presente trabalho, para avaliar somente ETE, propôs-se um conjunto de 22 indicadores concentrados apenas em tratamento de esgotos. Esse número reduzido condiz com o contexto da avaliação, já que a ETE é um dos componentes do sistema de esgotamento. Além disso, os sistemas atuais de avaliação e as recomendações normativas propõem conjuntos de indicadores mais reduzidos para que a

avaliação seja realizada com maior agilidade e permita maior clareza na interpretação dos resultados. Porém, o número de indicadores não deve ser reduzido demasiadamente, pois pode gerar a perda da abrangência da avaliação.

Para os cálculos empregando o método ELECTRE-TRI, foram adotados valores de corte mais próximos do limite mínimo, entre 0,5 e 0,7, já que, na análise de sensibilidade, verificou-se que, nessa faixa de valor, os resultados são mais consistentes, promovendo a convergência entre a classificação otimista e pessimista e eliminando incomparabilidades e indiferenças. Para os cálculos com o método TOPSIS Modificado, foram utilizados os valores 1 e 2 para o parâmetro “s” (métrica), já que apresentaram resultados mais equilibrados e também apresentaram convergência nos resultados.

3.10 Discussão geral dos resultados obtidos

Os resultados finais dos dois métodos empregados para a classificação convergiram quanto ao desempenho global, levando as três ETE a serem classificadas na categoria B. Isso demonstra consistência nos resultados apresentados, pois apesar dos métodos empregarem conceitos e regras distintas, ambos apontaram para a mesma classificação.

Os desempenhos parciais, referentes aos objetivos da avaliação, também apresentaram convergência nos dois métodos empregados, havendo um pequeno desvio no objetivo “proteção do meio ambiente”, na avaliação das três ETE, tendo sido classificado na categoria B no método TOPSIS Modificado e na categoria MB no método ELECTRE-TRI. Porém, os valores dos desempenhos das ETE, obtidos no método TOPSIS e referentes aos indicadores que medem esse objetivo, são bem próximos do valor limite entre as categorias B e MB, o que demonstra a proximidade dos resultados. Houve, ainda, um pequeno desvio somente na avaliação da ETE São Sebastião quanto ao objetivo “sustentabilidade do serviço”, tendo sido classificado na categoria B empregando o método TOPSIS Modificado e R no método ELECTRE-TRI. Do mesmo modo, analisando o valor do desempenho medido na avaliação desse objetivo no método TOPSIS, verificou-se que o valor se aproxima do limite entre as categorias R e B, o que justifica a ocorrência das duas alocações nesse caso.

O resultado da avaliação global da ETE Brasília Norte neste trabalho pode ser considerado similar ao apresentado no trabalho de Brostel (2002), que também avaliou essa ETE empregando o método ELECTRE-TRI, apesar dos critérios adotados e da classificação final terem sido distintos. Brostel (2002) estabeleceu cinco níveis de desempenho (excelente, bom, médio, baixo e muito baixo). A grande maioria dos critérios, 15 dos 18, teve o desempenho medido numa escala de 0 a 100 unidades, com limites estabelecidos de forma equitativa, variando a cada 20 unidades. No trabalho de Brostel

(2002), a ETE Brasília Norte foi classificada na categoria B, segundo nível de desempenho estabelecido naquele trabalho, referente à faixa de 60 a 80 unidades.

No presente trabalho, a ETE Brasília Norte foi classificada na categoria B, porém, como as classes adotadas (excelente, muito bom, bom, ruim e muito ruim) são distintas da adotada no trabalho de Brostel (2002), o nível B atingido não se equivale nas duas classificações, sendo enquadrado no terceiro nível de desempenho neste trabalho e no segundo nível de desempenho no trabalho de Brostel (2002). Neste trabalho, adotou-se estabelecer níveis flexíveis de desempenho, permitindo que os níveis variassem de acordo com as características de cada indicador, o que permite maior flexibilidade na avaliação e que os níveis de desempenho sejam coerentes com as peculiaridades presentes em cada indicador.

Os resultados atingidos também foram coerentes com a avaliação procedida no trabalho de Barros (2012), que realizou um estudo de caso para as mesmas estações do presente trabalho, porém com uma metodologia distinta. No trabalho de Barros (2012) foi empregado o método estatístico descritivo para avaliar as estações em relação a um sistema de indicadores selecionados. No estudo de caso de Barros (2012), foram utilizados 28 indicadores referentes a quatro objetivos de avaliação, “proteção dos corpos d’água”, “sustentabilidade ambiental”, “sustentabilidade da infraestrutura” e “sustentabilidade econômica”.

O presente trabalho e o de Barros (2012) apresentaram uma metodologia flexível, no sentido de ser possível utilizar grupos de indicadores específicos para a avaliação das ETE, em função do processo de tratamento e das informações de contexto. Os objetivos de avaliação também foram próximos, já que foram balizados pelas normas ISO 24500, que apresentam diretrizes para a avaliação de sistemas de saneamento. Uma das distinções entre os trabalhos refere-se às perspectivas de avaliação, já que Barros (2012) teve como foco a perspectiva do órgão regulador, e, neste trabalho, buscou-se empregar as perspectivas do órgão regulador, do prestador de serviços, dos usuários e dos especialistas, conforme proposto no método BSC, que avalia sistemas a partir do balanceamento de diferentes perspectivas.

Outra distinção do trabalho de Barros (2012) refere-se à metodologia de avaliação. Neste trabalho, foram empregados métodos multiobjetivo para gerar a classificação global das ETE em função dos resultados obtidos com o sistema de indicadores escolhidos, sendo realizadas avaliações parciais, referentes a cada um dos indicadores e objetivos, e a avaliação global, realizada com a adoção de todo conjunto de indicadores para gerar um resultado global da ETE. No trabalho de Barros (2012),

foi utilizada a estatística descritiva para avaliar os desempenhos das ETE referentes a cada indicador proposto.

4 CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida mostrou-se adequada à avaliação de qualquer tipo e porte de ETE, já que é flexível, levando em consideração as particularidades dos sistemas de tratamento avaliados e as situações de contexto.

A adoção de indicadores de desempenho como instrumento de avaliação vai ao encontro dos sistemas adotados pelas principais entidades de saneamento, permitindo maior agilidade e simplicidade na avaliação e a geração de dados para monitoramento do desempenho ao longo do tempo.

Demonstrou-se ser apropriada a utilização de métodos de análise multiobjetivo para avaliar o desempenho operacional de ETE. Além do emprego direto na seleção e avaliação dos indicadores e na avaliação das ETE, esses métodos foram fundamentais na estruturação do problema. Os métodos ELECTRE-TRI e TOPSIS Modificado foram empregados por possibilitarem a alocação das ETE em categorias de desempenho. Os dois métodos mostraram-se apropriados para essa tarefa, cada um com suas vantagens e desvantagens.

O método ELECTRE-TRI demonstrou, como vantagem principal, maior flexibilidade na avaliação, pois ele possui diversos parâmetros que podem ser ajustados de acordo com os objetivos da avaliação. Quando é necessária uma avaliação mais rígida, pode ser empregada a classificação pessimista do método. Por outro lado, adotando-se a classificação otimista, a avaliação se torna mais branda. Os parâmetros de limiares de preferência, indiferença e veto também permitem ajustar a avaliação de acordo com os objetivos a alcançar. Como desvantagem, pode-se considerar a possível distorção dos resultados se os parâmetros não forem adequadamente ajustados ou interpretados.

O método TOPSIS Modificado apresentou como vantagem principal a possibilidade de quantificar o desempenho das ETE em relação aos limites das categorias adotadas. Isso permitiu a identificação gráfica dos valores finais da avaliação e a identificação dos melhores desempenhos, mesmo quando alocados em categorias semelhantes. Essa situação ocorreu no estudo de caso deste trabalho, pois todas as ETE foram classificadas na mesma categoria, sendo possível perceber que a ETE SSeb se afastou mais do limite entre as categorias R e B do que as demais. Além disso, os resultados numéricos quantificam a proximidade da solução ideal positiva, quando o valor está mais próximo de

um, e da solução ideal negativa, quando o valor está mais próximo do zero. Se o valor numérico for transformado para percentual, ele vai representar o quão próximo está da solução ideal positiva.

Os objetivos e critérios empregados na avaliação das ETE foram escolhidos com a perspectiva normativa, sendo adotados os presentes na série de normas ISO 24500, por ser o modelo aplicado internacionalmente e por contemplar uma avaliação multifocal, mesma abordagem utilizada nos métodos multiobjetivo.

Foi proposto um grupo de 6 objetivos e 22 critérios de avaliação. A partir desses critérios foram escolhidos 22 indicadores, de forma a selecionar o número mínimo possível para a avaliação. Os indicadores escolhidos foram retirados do banco de 51 indicadores pré-selecionados e avaliados por de Paula (2013), ou elaborados, quando inexistentes nesse banco inicial. Alguns indicadores foram desmembrados de forma a permitir uma avaliação mais específica. Isso ocorreu com o indicador “utilização das estações de tratamento”, sendo avaliado pela “capacidade de carga hidráulica” e “capacidade de carga orgânica” e o indicador “eficiência de remoção”, sendo avaliadas as “eficiências de remoção de DBO”, “SST”, “NTK” e “PT”, podendo variar conforme as informações de contexto. Nesses casos, o peso do indicador desmembrado foi dividido para evitar uma supervalorização desses indicadores.

A possibilidade de variação dos indicadores empregados, respeitando as condições de contexto, proporcionou uma avaliação mais flexível, que pode ser aplicada a diferentes cenários. Quando se cria um grupo fixo, corre-se o risco de utilizar um indicador que não se aplica à ETE analisada ou de não utilizar um indicador condizente àquela estação. Desse modo, a avaliação com um grupo flexível de indicadores é mais adequada por abranger situações de contexto distintas. Esse conceito também está presente na série ISO 24500, que não adota um grupo fixo de indicadores.

Além da flexibilidade quanto ao número de indicadores adotados, a avaliação também foi caracterizada pela variação dos perfis de desempenho, sendo ajustados dependendo da ETE avaliada. Como exemplo, para o indicador “eficiência de remoção de DBO” foram adotados os padrões de eficiência do programa PRODES (ANA, 2013), que determina para ETE classificadas nas classes F, G, H e I a eficiência de remoção de 90%; para as classes D e E, 85%; para a classe C, 75%; para a classe B, 60%; e para a classe A, 30% de eficiência requerida.

A metodologia descrita neste trabalho foi aplicada a estudos de caso, sendo realizada a avaliação de três ETE com portes e sistemas de tratamento diferenciados, nos quais a flexibilidade da avaliação pôde ser verificada. Como era previsto, alguns indicadores não se aplicaram à avaliação das

três ETE selecionadas. Como exemplo, cita-se o indicador “eficiência de remoção de PT”, aplicado apenas na avaliação da ETE Brasília Norte (destinada ao controle de eutrofização no corpo receptor).

Em alguns casos, embora os indicadores fossem aplicáveis a todas as estações, os níveis de desempenho foram diferenciados, tendo em vista as distinções entre os sistemas de tratamento, porte e locais de despejo dos efluentes, que refletem no nível de tratamento requerido. Como exemplo, cita-se o indicador “consumo de energia elétrica”. Dependendo da ETE avaliada, os níveis de consumo de energia variam muito, não devendo refletir diretamente no desempenho da estação. Uma ETE que possui sistemas mecanizados de tratamento, que exigem maior consumo de energia, não deveria ser penalizada em detrimento de outra que dispõe de sistemas naturais, como lagoas. Para esse tipo de indicador buscou-se realizar a avaliação balizando-se no desempenho histórico da própria estação, estabelecendo-se metas criteriosamente mensuradas nas categorias de desempenho.

O método de avaliação aplicado neste trabalho demonstrou ser eficiente para verificar os pontos fracos e fortes das estações. O método pode ser utilizado como ferramenta de melhoria de desempenho, por meio da análise dos resultados e do estabelecimento de metas. A associação dos dois métodos multiobjetivo utilizados nesta pesquisa mostrou-se muito eficaz. A flexibilidade do método ELECTRE-TRI permite avaliar a ETE considerando níveis distintos de rigidez. A quantificação do método TOPSIS Modificado permite analisar com mais precisão a posição das ETE em relação às categorias de desempenho determinadas. Os 51 indicadores selecionados e avaliados podem ser empregados como um banco disponível para a avaliação de ETE em diferentes contextos de avaliação, dependendo dos objetivos e critérios escolhidos.

De acordo com os resultados apresentados, alguns indicadores tiveram forte influência no desempenho global de cada ETE estudada, tendo em vista o fraco desempenho constatado para esses indicadores. Enquadram-se nesse comportamento os indicadores “plano de segurança e emergência”, “utilização de estações de tratamento (capacidade de cargas hidráulica e orgânica)”, “índice de treinamento de funcionários”, “reúso de água” e “produção de energia”. Diversos fatores podem ter motivado esses baixos desempenhos, como o nível de exigência adotado nas categorias de desempenho, falta de recursos para implantação de algumas medidas, falta de treinamento de pessoal, e o ineditismo de alguns indicadores, como “plano de segurança e emergência”, já que foram elaborados neste trabalho, com base nos requisitos da série normativa ABNT NBR ISO 24500, dentre outros. Recomenda-se uma melhor avaliação desses indicadores por parte dos prestadores de serviço para que o desempenho global alcance categorias mais elevadas.

Recomenda-se realizar um estudo mais profundo a respeito das categorias de desempenho utilizadas na avaliação dos indicadores. A realização de *benchmarking* e uma consulta aos atores podem ser realizadas nesse estudo. O estabelecimento das categorias de desempenho tem influência direta nos resultados da avaliação, sendo uma das etapas mais subjetivas e complexas da metodologia de avaliação elaborada neste trabalho. Assim, para que o método desenvolvido neste trabalho seja aplicado, as categorias de desempenho devem ser analisadas de acordo com as informações de contexto presentes na avaliação e com os interesses dos atores envolvidos no processo de avaliação. Uma outra possibilidade para estabelecer as categorias de desempenho seria consultar os atores envolvidos e avaliar qualitativamente o desempenho global de cada uma das ETE e o desempenho parcial das ETE em relação a cada indicador. Com esses dados, pode-se trabalhar na lógica reversa para produzir as escalas de desempenho, fazendo simulações com os dados e resultados de ETE distintas.

Em relação ao estabelecimento das categorias de desempenho, especificamente para o indicador “utilização de estações de tratamento (capacidade de cargas hidráulica e orgânica)”, recomenda-se que sejam discutidos, juntamente com os prestadores de serviço, responsáveis pela implantação e execução dos projetos das ETE, os valores adotados em relação à capacidade de projeto da ETE. Neste trabalho e nas diversas entidades que utilizam esse indicador, emprega-se no denominador a capacidade de projeto da ETE em relação às cargas hidráulica e orgânica, porém muitas das vezes a ETE não foi construída de acordo com o projeto inicial e diversas alterações foram realizadas ao longo de sua implantação, o que gera um possível desvio dos valores de projeto inicialmente adotados, influenciando nos cálculos desse indicador. Assim, recomenda-se que os valores de projeto adotados nos cálculos sejam analisados antes de sua utilização para que esse indicador contemple valores mais próximos da realidade da ETE e evite possíveis desvios no seu cálculo.

Uma discussão maior também é necessária em relação ao estabelecimento das categorias de desempenho do indicador “plano de segurança e emergência”. Neste trabalho adotou-se uma escala dicotômica ao estabelecer duas possíveis medidas para esse indicador, que são possuir ou não um plano de segurança e emergência. Porém, para reduzir os possíveis impactos negativos exacerbados, nos casos de inexistência de um plano de segurança e emergência formais, e para balancear mais os resultados desse indicador, recomenda-se estudar uma escala de medida gradual visando valorizar medidas de segurança adotadas, mesmo que não tenham sido formalizadas em um plano de segurança e emergência.

Outro item recomendado para pesquisa é a inserção de métodos para verificação da confiabilidade dos dados fornecidos, principalmente para os indicadores que dependem de séries históricas ou de alguma informação subjetiva. Uma das formas possíveis de medição de confiabilidade é realizada por meio de cálculos de incerteza, que podem ser empregados no estabelecimento dos valores dos indicadores. Outra forma de medir a confiabilidade é trabalhando com dados estatísticos, como frequência e número de medidas de cada indicador.

Os indicadores tiveram seus pesos estabelecidos com os valores dos resultados da avaliação feita anteriormente (de Paula, 2013; de Paula & Souza, 2022). Observou-se nos resultados que esses valores foram próximos para alguns indicadores, não ocorrendo uma distinção muito grande entre eles. Isso ocorreu porque os resultados foram balanceados entre as diferentes perspectivas de avaliação, o que naturalmente gera uma redução dos desvios. Em trabalhos futuros podem ser avaliados os pesos dos indicadores por grupo de atores, sem realizar o balanceamento e verificar as influências nos resultados, baseando-se em cada grupo de atores.

Quatro perspectivas foram consideradas neste trabalho, a dos usuários, dos prestadores de serviços, dos reguladores dos serviços e dos especialistas, sendo que a dos usuários teve que ser desconsiderada. Sugere-se que sejam consideradas também as perspectivas dos órgãos ambientais e de governo, que também tem ligação direta com a avaliação de ETE, tendo em vista serem responsáveis pela regulamentação ambiental e governabilidade, respectivamente.

Em trabalhos futuros, sugere-se aplicar a metodologia também considerando individualmente as diferentes perspectivas de avaliação, sem realizar o balanceamento. Isso possibilitaria analisar as diferentes perspectivas de avaliação até a última etapa do trabalho, gerando quatro avaliações, cada uma considerando uma perspectiva distinta.

Uma das perspectivas consultadas neste trabalho, a dos usuários, não foi considerada nos cálculos finais, tendo em vista o baixo índice de participação e pelo fato dos representantes consultados não se julgarem capazes de avaliar os indicadores propostos. Para contornar esse problema, recomenda-se que a consulta aos representantes dos usuários seja realizada presencialmente, para que sejam fornecidos os esclarecimentos necessários e se possibilite a participação desse grupo de forma efetiva.

Alguns indicadores de desempenho não foram avaliados no estudo de caso, por falta de dados, impossibilidade técnica ou por não ser no momento o objetivo de medição da ETE, tendo em vista as situações de contexto nas quais estão inseridas. A ausência desses dados pode diagnosticar,

ainda, que não são medidos ou que o desempenho não está adequado. Esse problema deve ser analisado com maior profundidade pelo prestador de serviços. Os indicadores que não tiveram os desempenhos medidos são: “índice de execução de plano de manutenção dos equipamentos” e “calibração de equipamentos”, fundamentais para medir a prestação dos serviços em situações normais e de emergência; “índice de disponibilidade de equipamentos” e “índice de cobertura de custo total”, fundamentais para medir a sustentabilidade do serviço; e “produção de lodo na ETE”, fundamental para medir a proteção do meio ambiente. Acrescenta-se, ainda, dois testes de qualidade não realizados, em lodos e dos disruptores endócrinos, não medidos por impossibilidade técnica ou por não ser o objetivo da ETE de acordo com as situações de contexto.

Agradecimentos

A realização desta pesquisa foi possível por meio de financiamento e disponibilização de dados da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA).

Contribuições dos autores

Reuel Lopes de Paula foi responsável pela formulação da metodologia, obtenção e análise dos resultados. Marco Antonio Almeida de Souza realizou o acompanhamento de todas as atividades, a supervisão geral do trabalho, e a redação final.

REFERÊNCIAS

- ANA (2013) Resolução nº 644, de 20 de maio de 2013. Aprova o Regulamento do Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas - PRODES para o exercício de 2013 e dá outras providências. Agência Nacional das Águas - ANA. Brasília, Brasil. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-ANA/2013/Resolucao-ANA-644.pdf>
- ABNT (2012a) NBR ISO 24510: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/32655/abnt-nbriso24510-atividades-relacionadas-aos-servicos-de-agua-potavel-e-de-esgoto-diretrizes-paraa-avaliacao-e-para-a-melhoria-dos-servicos-prestados-aos-usuarios>
- ABNT (2012b) NBR ISO 24511: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para a avaliação dos serviços de esgoto. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/32657/abnt-nbriso24511-atividades->

[relacionadas-aos-servicos-de-agua-potavel-e-de-esgoto-diretrizes-para-a-gestao-dos-prestadores-de-servicos-de-esgoto-e-para-a-avaliacao-dos-servicos-de-esgoto](#)

- Barros, I. P. A. F. (2012) Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, MG, 210p. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-96MGWY>
- Brostel, R. C. (2002) Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de estações de tratamento de esgotos (ETE). Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, DF, 278p. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/04/Raquel-Brostel-2002.pdf>
- Brostel, R. C.; Souza, M. A. A.; Neder, K. D. (2002) Formulação de modelo de avaliação de desempenho multidimensional de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12723053-li-299-aplicacao-de-um-modelo-de-avaliacao-de-desempenho-global-de-estacoes-de-tratamento-de-esgotos-etes.html>
- de Paula, R. L.; Souza, M. A. A. (2022) Avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos utilizando métodos multiobjetivo e indicadores – Parte 1: Seleção e avaliação de indicadores de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 11, n. 4, p. 404-428, dez. 2022.
- de Paula, R. L. (2013) Metodologia para avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos, utilizando métodos multiobjetivo e indicadores. Dissertação de Mestrado. Publicação PTARH.DM-151/2013, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, DF, 262p. Disponível em: http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Reuel_Lopes_de_Paula.pdf
- Hwang, C.L.; Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. New York: Springer-Verlag.
- ISO (2007a) ISO 24510: Service activities relating to drinking water and wastewater – Guidelines for the the service to users. International Organization for Standardization, Genebra, Suíça. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/37246.html>
- ISO (2007b) ISO 24511: Service activities relating to drinking water and wastewater – Guidelines for the assessment of wastewater services and the management of utilities. - International Organization for Standardization, Genebra, Suíça. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/37247.html>
- LNEC; ERSAR (2013) Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 2a geração do sistema de avaliação. Versão 2, - Laboratório Nacional de Engenharia Civil e Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Lisboa, Portugal.
- Mendonça, E. C. (2009) Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos

Hídricos. Brasília, DF, 176p. Disponível em:
https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9097/3/2009_EduardoConcessoMendonca.pdf

Ribeiro, H. K. S. S. (2003) Avaliação de desempenho ambiental em estações de tratamento de água. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, DF, 135p. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/02/HeloisaKehrig.pdf>

Roy, B.; Boussou, D. (1993) Aid multicritère à la decision. Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion. Economica, Paris, França, 695p.

Von Sperling, T. L. (2010) Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, MG, 134p. Disponível em:
<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-88QPXC>