



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

MÁRCIA MIRELLA ALMEIDA CYPRIANO

**QUALIDADE DO EFLUENTE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS: CONFIABILIDADE FUZZY**

**FORTALEZA
2021**

MÁRCIA MIRELLA ALMEIDA CYPRIANO

QUALIDADE DO EFLUENTE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS:
CONFIABILIDADE FUZZY

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C996q Cypriano, Márcia Mirella Almeida.

Qualidade do efluente de uma estação de tratamento de esgotos : confiabilidade Fuzzy / Márcia Mirella Almeida Cypriano. – 2021.

34 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

1. Monitoramento de ETE. 2. Remoção de poluentes. 3. Aritmética Fuzzy. I. Título.

CDD 628

MÁRCIA MIRELLA ALMEIDA CYPRIANO

QUALIDADE DO EFLUENTE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS:
CONFIABILIDADE FUZZY

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

Aprovada em: 15/09/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marisete Dantas de Aquino (Examinador Interno)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Gustavo Ross Ribeiro Lima (Mestre em Engenharia Civil)

RESUMO

No presente estudo foi proposto e desenvolvido um Índice de Confiabilidade *Fuzzy* (ICF) para avaliar a qualidade e o desempenho de estações de tratamento de esgotos (ETEs) frente aos limites da legislação ambiental. A investigação foi baseada no conceito de função marginal difusa. Para a proposta metodológica selecionou-se uma estação de tratamento de esgotos em escala real. A ETE escolhida foi a do Baldo ($5^{\circ} 47' 21,8''$ Sul; $35^{\circ} 12' 43,8''$ Oeste, 7,0 m acima do nível do mar), localizada na cidade de Natal, Rio Grande do Norte. A ETE ocupava cerca de 1,2 hectare e tratava uma vazão de esgotos de cerca de $22000\text{ m}^3/\text{dia}$, mas tinha capacidade para tratar $35000\text{ m}^3/\text{dia}$. A ETE era composta de um sistema de tratamento preliminar e unidades anaeróbias (reatores UASB), seguidas de câmara anóxica para recirculação de vazão proveniente de reator aeróbio, decantador secundário e sistema de desinfecção. O monitoramento regular da ETE Baldo, no período de 2014 a 2017, mostrou que o sistema alcançou boa remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos (82,4; 77,5; e 79,3% para DBO, DQO e SST, respectivamente). A performance também foi bastante satisfatória para a remoção de substâncias solúveis em hexano (O&G), média de 77,8%. As reduções medias amônia e fósforo total, foram de 69,7 e 49,7%. No caso de coliformes termotolerantes foi alcançada uma remoção média de 5,064 unidades de Log₁₀.

A abordagem *fuzzy* foi bastante satisfatória, com grande potencial, em razão de sua simplicidade e objetividade para diagnóstico e avaliação do desempenho de ETE. Foram cotejados somente números *fuzzy* triangulares (NFT), com diferentes valores mais prováveis, considerados a partir de dados de estatística descritiva. O cômputo da confiabilidade difusa de uma ETE considerou a qualidade do efluente tratado e o atendimento de limites normativos pré-estabelecidos. Calculou-se o ICF de cada parâmetro, para em seguida aplicar índices aditivos agregados, com base em média aritmética em média ponderada dos ICF individuais.

Palavras-chave: monitoramento de ETE; remoção de poluentes; aritmética *fuzzy*.

ABSTRACT

In the present study we propose a Fuzzy Reliability Index (FRI) to evaluate effluent quality and performance of a wastewater treatment plant stations (WWTP) regarding to environmental regulations. The investigation was based on the concept of diffuse marginal function. For the methodological approach a full-scale treatment plan was selected. The Baldo WWTP was in Natal, Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil ($5^{\circ} 47' 21.8''$ South; $35^{\circ} 12' 43.8''$ West, 7.0 m above the sea level), located in city of Natal, Rio Grande do Norte. The Baldo plant was in a 1.2-hectare area and treated a rate of flow of 22,000 m³/day but had capacity for to treat up 35,000 m³/day. The plant had the following configuration: two anaerobic units (UASB reactors), followed by anoxic chamber, aerobic reactors, secondary sedimentation tanks, and disinfection system. Data for the study comprised the regular monitoring of the Baldo WWTP from 2014 to 2017. Results showed the system reached good removal of organic matter and suspended solids (82.4, 77.5 and 79.3% for COD, BOD, TSS, respectively). The performance also was satisfactory for the removal of substances soluble in hexane (oil and grease) average of 77.8%. The average reductions in ammonia, total phosphorus wase 69.7 e 49.7%. For the case of thermotolerant coliforms the average removal was 5.064 units of Log₁₀.

The fuzzy approach was showed great potential for its simplicity and objectivity for diagnosis and evaluation of WWTP performance. Triangular fuzzy numbers (TFN) were applied, according to descriptive statistics data. The computation of diffuse reliability index considered individual and aggregated values. The index considered additive approach based in the average weighted of the individual FRI.

Keywords: STS monitoring; pollutants removal; fuzzy arithmetic's.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Escopo geral de níveis de tratamento de esgotos sanitários e tecnologias associadas.....	15
Figura 2 – Representação de números <i>fuzzy</i> sigmoide (a), trapezoidal e triangular (b).....	19
Figura 3 – Número <i>fuzzy</i> triangular e sua aritmética	20
Figura 4 – Representações do índice de confiabilidade <i>fuzzy</i> (ICF) com números não difusos (<i>crisps</i>), com limite à direita (a), à esquerda (b) e à direita e a esquerda simultaneamente (c)	21
Figura 5 – Vista superior do terreno onde foi instalada a ETE Baldo	22
Figura 6 – Vista aérea da ETE Baldo	23
Figura 7 – Representação esquemática da ETE Baldo	23
Figura 8 – Desempenho da ETE Baldo quanto à remoção (%) dos poluentes do estudo (parâmetros físicos e químicos), com base nas principais medidas de tendência central	27
Figura 9 – Desempenho da ETE Baldo quanto à remoção (\log_{10}) de coliformes termotolerantes, com base nas principais medidas de tendência central	28
Figura 10 – Correlação entre ICF _{médio} e ICF _p	30
Figura 11 – Índice de confiabilidade <i>fuzzy</i> para valores de média aritmética (a) e média ponderada (b)	31

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Importância do tratamento de esgotos nas dimensões saúde, socioeconomia e meio ambiente	12
Tabela 1 – Composição típica de esgotos sanitários	13
Tabela 2 – Concentração e eficiências médias de remoção dos diversos constituintes	15
Tabela 3 – Uma estatística descritiva dos padrões de lançamento de efluentes no Brasil	17
Tabela 4 – Valores limites dos parâmetros analíticos, com base em grau de restrição, para cômputo da garantia <i>fuzzy</i> aplicada à conformidade do efluente da ETE Baldo	24
Tabela 5 – Estatística descritiva dos efluentes bruto (EB) e tratado (ET) na ETE Baldo	26
Tabela 6 – Confiabilidade <i>fuzzy</i> dos parâmetros monitorados no efluente da ETE Baldo em diferentes graus de restrição e com representação distintas de NFT	29
Tabela 7 – Funções de cálculo do ICF _p , com resultado de ponderação de cada parâmetro (primeira linha) e redistribuição de pesos no caso de menor número de parâmetros	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Considerações iniciais	9
1.2	Motivações do estudo	9
1.3	Hipótese do estudo	10
1.4	Objetivos	10
1.4.1	<i>Geral</i>	10
1.4.2	<i>Específicos</i>	10
1.5	Estrutura do trabalho	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Sobre o tratamento de esgotos.....	12
2.1.1	<i>Tipos de esgotos</i>	12
2.1.2	<i>Tecnologia de tratamento de esgotos.....</i>	13
2.2	Monitoramento e qualidade de efluente	16
2.3	Números <i>fuzzy</i> e função de confiabilidade difusa	18
2.3.1	<i>Considerações gerais</i>	18
2.3.2	<i>Números fuzzy</i>	18
2.3.3	<i>Confiabilidade fuzzy</i>	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	A estação de tratamento de esgotos do estudo	22
3.2	Parâmetros analíticos de monitoramento	24

3.3	Abordagem <i>fuzzy</i>	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Desempenho com base em valores de tendência central	26
4.2	Confiabilidade <i>fuzzy</i>	28
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A degradação ambiental é seguramente o maior desafio às diferentes sociedades. Partem da antroposfera as maiores pressões, alimentadas pelo contínuo crescimento populacional e por demandas socioeconômicas no uso de recurso do planeta. A associação entre esses fatores implica na geração acentuada de resíduos.

As pressões ambientais são mais evidentes no espaço urbano e impõem significativo impacto sobre à água, principalmente as superficiais. A poluição das águas é um problema socioambiental grave. Esse fato aponta para um potencial cenário de escassez não apenas quantitativa, mas de também de qualidade deste bem.

A mitigação da poluição hídrica possui diferentes dimensões, mas é a disponibilidade de coleta e tratamento de esgotos o conjunto de equipamentos mais importante para abater tal pressão.

1.2 Motivação do estudo

Oliveira e Von Sperling (2007) destacam o desempenho de uma ETE é especificado em um intervalo de tempo (período), sob condições desse intervalo de tempo. Há, portanto, em um ínterim qualquer, uma fração de tempo em que as concentrações da ETE cumprem os padrões de lançamentos. Enquanto isso a falha do tratamento ocorrerá quando os padrões da legislação vigente forem excedidos.

Os autores destacam ainda, que há condições intervenientes como o horário de coleta, clima, cultura local, tecnologias de tratamento, atividades geradoras, entre outros. Também, o desempenho da ETE é relacionado com os parâmetros de monitoramento empregados. Sendo assim a eficiência global do sistema deve se dar em função da remoção alcançada e a esperada para cada tecnologia de tratamento em questão.

É necessário que se disponha de sistemas eficientes para o tratamento de esgotos. Também, exigem-se programas monitoramento que reflitam com precisão e clareza o verdadeiro *status* de desempenho das estações de tratamento de esgotos (ETEs).

A razão basilar do presente estudo é a necessidade de metodologia que permita avaliar melhor a performance de ETEs. Importa que a ferramenta seja de fácil implementação e que satisfaça da melhor forma possível às limitações técnicas, materiais e de capital humano de programas de monitoramento.

1.3 Hipótese do estudo

É conjectura principal do estudo que a aritmética *fuzzy*, apresentada na forma de funções marginais intervalares, é instrumento simples e eficaz para estimar a confiabilidade de uma ETE no atendimento por estações de tratamento de esgotos de critérios de qualidade impostos à descarga de efluentes no ambiente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Geral

Desenvolver um método *fuzzy* simples para avaliar a performance de remoção de poluentes em ETEs, expressa na forma de análise de garantia.

1.4.2 Específicos

- a) Avaliar a eficiência de uma ETE em escala real;
- b) Demonstrar a aplicação do conceito de função marginal com número *fuzzy* triangular para cômputo da confiabilidade difusa quanto a qualidade do efluente tratado;
- c) Propor um índice *fuzzy* para demonstrar o nível de confiabilidade difusa quanto a qualidade do efluente tratado.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente estudo tem formato tradicional, sendo construído em cinco capítulos. No primeiro é feita uma introdução, constituída por: considerações iniciais, motivação do estudo, hipótese do estudo, objetivos e descrição da estrutura do texto.

O capítulo seguinte traz o referencial teórico que embasa do estudo.

O capítulo três contém a metodologia estruturada para o trabalho.

O capítulo quatro trata de resultados e discussão. Nessa etapa há o cotejamento dos achados com pressupostos do estudo, com ratificação da hipótese e demonstração de atendimento dos objetivos propostos.

O trabalho encerra com uma síntese dos achados, seguida pelas referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sobre o tratamento de esgotos

O tratamento de esgotos é parte dos serviços de saneamento, que é dividido em quatro grandes sistemas: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana. Os esgotos são a ligação entre as atividades humanas e o meio ambiente (VARELA; MANAIA, 2013). Os esgotos devem ser coletados e tratados adequadamente. O Quadro 1 mostra a relevância do tratamento de esgotos em três dimensões.

Quadro 1 – Importância do tratamento de esgotos nas dimensões saúde, socioeconomia e meio ambiente.

Dimensão	Importâncias
Saúde	Reduz a ocorrência de doenças relacionadas à água Reduz o número de casos de internação por diarreias Reduz o despejo de poluentes químicos e outros emergentes que apresentem risco potencial à saúde humana
Socioeconomia	A redução de doenças e internações possibilitam maior produtividade laboral Redução de custos com os serviços públicos de saúde Reflete o nível de desenvolvimento da comunidade Preserva os mananciais com impacto direto sobre os custos de tratamento de água Diminuição de impacto sobre as outras atividades usuárias dos recursos hídricos Incremento do valor cênico e de uso dos corpos aquáticos para lazer Redução do estresse hídrico em razão do potencial de reuso de água
Meio ambiente	Redução da carga orgânica despejada, com menor impacto no consumo de oxigênio dissolvido Diminuição do aporte de nutrientes e consequente eutrofização em águas superficiais Reduz o despejo de poluentes emergentes e respectivos impactos sobre a cadeia trófica

Fonte: adaptado de Souza *et al.* (2015) e Mota (2012).

2.1.1 Tipos de esgotos

Os esgotos são classificados de acordo com a atividade geradora. O esgoto doméstico, por exemplo, é gerado nos domicílios. As características desses esgotos impõem semelhança aos esgotos gerados no espaço urbano (denominado esgoto sanitário ou municipal), uma vez que predominam significativamente os volumes de constituintes de esgotos

domésticos. A literatura técnica tem bem definidas as características dos esgotos sanitários, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição típica de esgotos sanitários.

Parâmetro	Faixa	Parâmetro	Faixa
Demandra Bioquímica de Oxigênio – DBO	110-500	Nitrito - NO_2^- + Nitrato - NO_3^-	0 - 5
Demandra Química de Oxigênio - DQO	220 – 1000	Fósforo total - PT	4 - 12
pH	6,5 - 7,5	Colif. Termotolerantes - CTT	10^5 - 10^8
Sólidos totais - ST	350- 1250	Ovos de helmintos - Helm	100 - 1000
Sólidos suspensos totais - SST	100 – 500	Contribuição <i>per capita</i>	60 – 300
Sólidos sedimentáveis – Ssed	3 - 20	Fatores variação de vazão	1,5 – 3,5. Qmédia
Amônia – AMT	12 - 45	Taxa de infiltração	0,1-1,7 l/s.km

Unidades: DBO, DQO, ST, SST - mg/L; Ssed - mL/L; AMT, NO_2^- e NO_3^- - mg N/L; PT - mg P/L; CTT - NMP/100 mL e Helm. - ovos/L.

Fonte: adaptado de Silva e Bezerra (2005).

Além do doméstico, outros três tipos podem ser considerados: de atividades de saúde (especialmente os hospitalares), os de atividades agronômicas, e os industriais. Esse último tipo é bem diverso, pois depende de artigo das operações industriais que os gera. Assim, esses efluentes são variados em composição (física, química e microbiológica), volumes específicos (vazão por unidade/massa/volume produzido) e riscos ao ambiente e à saúde humana.

2.1.2 *Tecnologias de tratamento de esgotos*

Os esgotos sanitários são tratados principalmente em sistemas biológicos. Santos (2007) faz uma síntese das alternativas de tratamento e mostra um escopo variado de perfis tecnológicos. O autor se refere ao tratamento em níveis: preliminar, primário, secundário, terciário e avançado. Embasamento semelhante é encontrado em Von Sperling (2007).

Tratamento preliminar - é constituído por gradeamento, peneiramento e unidade de desarenação. Essas unidades visam a remoção de sólidos grosseiros. Nessa etapa, adequa-se o efluente bruto para os níveis seguintes de tratamento. Busca-se assim evitar obstruções e danos aos equipamentos da eletromecânicos e reduzir o volume útil do reator biológico ocupado por biomassa. Após os desarenadores é usual a instalação de medidores de vazão (*Calha Parshall*).

Tratamento primário – refere-se em geral às estações que adotam decantadores primários, com sedimentação de sólidos (partículas em suspensão) por ação física. Há ainda os reatores anaeróbios (*i.e.* tanque sépticos, lagoas anaeróbias e UASB) que são unidades intermediárias, entre o nível primário e o secundário.

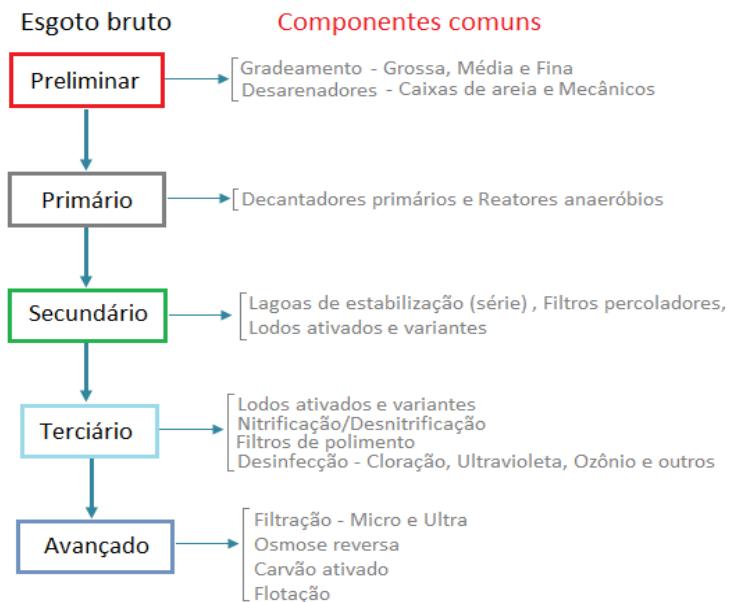
Tratamento secundário – destina-se à remoção de matéria orgânica e sólidos, e remoção parcial de nutrientes (N e P). Nesse nível de tratamento pressupõem-se as operações do tratamento preliminar, mas pode prescindir dos equipamentos de tratamento primário.

Tratamento terciário – remove de forma complementar os poluentes que apresentaram baixo grau de remoção no tratamento secundário. Nessa etapa pode ser alcançada uma remoção significativa de fósforo, nitrogênio e organismos indicadores de patógenos (*i.e.* coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*). Envolve não apenas tratamento biológico, mas também físico e químico.

Tratamento avançado – o objetivo é propiciar elevado padrão de qualidade ao efluente. É, em geral, necessário que este tenha sido tratado em nível terciário. Muitas vezes o propósito é remover poluentes específicos (*i.e.* metais pesados, pesticidas e outros compostos tóxicos, dentre outros).

Há uma literatura técnica bem estabelecida para definir os níveis de tratamento e de tecnologias aplicáveis. Não há, porém, uma definição protocolar sobre cada configuração de uma ETE. A Figura 1 mostra componentes e níveis de tratamento.

Figura 1 – Escopo geral de níveis de tratamento de esgotos sanitários e tecnologias associadas.



Fonte: adaptado de Von Sperling (2007), Santos (2007) e MetCalf e Eddy (2016).

No Brasil, as configurações que compõem as ETEs são diversificadas e com diferentes graus de remoção de poluentes. Oliveira e Von Sperling (2007) destacam as seguintes composições de ETE e eficiências.

Tabela 2 – Concentrações e eficiência médias de remoção dos diversos constituintes.

Parâmetro	Tipo	TS+F _{AN}	LF	L _{AN} +LF	LA	UASB	UASB + PÓS
DBO	EB	665	553	510	315	371	362
	ET	292	136	89	35	98	42
	Rem.	59	75	82	85	72	88
DQO	EB	1398	1187	1095	575	715	713
	ET	730	525	309	92	251	141
	Rem.	51	55	71	81	59	77
SST	EB	479	430	411	252	289	334
	ET	165	216	153	57	85	51
	Rem.	66	48	62	76	67	82
NTK *	EB	78	69	78	47	43	-
	ET	61	38	45	22	48	-
	Rem.	24	44	39	50	-13	24
PT	EB	9	9	11	3	7	7
	ET	7	4	7	1	6	5
	Rem.	30	46	36	46	-1	23
CTT **	EB	2,6E+7	5,3.10 ⁷	2,0.10 ⁸	3,7.10 ⁷	1,2.10 ⁸	1,8.10 ⁸
	ET	5,3E+6	1,2.10 ⁶	4,3.10 ⁵	1,3.10 ⁵	3,4.10 ⁷	9,7.10 ⁶
	Rem.	0,9	1,6	2,2	2,0	0,6	2,8

* Nitrogênio total Kjeldahl (AMT + N orgânico); ** Valores referem-se à média geométrica e remoção expressa em unidade de Log₁₀. EB – Esgoto bruto; ET – Esgoto tratado e Rem. – remoção.

TS – Tanque séptico; F_{AN} – Filtro anaeróbio; LF - Lagoa facultativa; L_{AN} – lagoa anaeróbia; LA – Lodos ativados. Fonte: Oliveira e von Sperling (2007).

2.2 Monitoramento e qualidade de efluente

O monitoramento da qualidade (ou conteúdo) de efluentes tem por objetivo analisar e avaliar o quanto uma ETE atende às premissas de desempenho previstos no projeto e a conformidade com a norma ambiental. Derídio (2012) ressalta que três formas de obtenção ao acompanhar dados de qualidade da água, definidas como estudos de avaliação:

- Monitoramento (*monitoring*);
- Vigilância (*surveillance*);
- Estudo especial (*survey*).

O autor destaca ainda que o levantamento sistemático de dados (sejam monitoramento ou vigilância) visa acompanhar a “flutuação” da qualidade da água, ou do efluente, ao longo do tempo. O monitoramento possibilita a obtenção de um histórico para a construção de uma “série temporal de dados”. Assim, em ciclos maiores (3 a 5 anos) é possível inclusive fazer um inventário do desempenho das ETEs, seja como tecnologia ou como tensor em numa bacia hidrográfica. A implementação do monitoramento de uma ETE deve considerar o seguinte:

- Objetivos da amostragem;
- Seleção de parâmetros analíticos;
- Número de amostras e frequência da amostragem;
- Seleção dos métodos analíticos;
- Definição do tipo de amostra e sua preservação, e;
- Controle de qualidade dos dados.

O Brasil tem como norma ambiental de referência sobre o despejo de efluentes, a Resolução 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A CONAMA 430/11 apresenta as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do

lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Ela altera e complementa a Resolução 357, de 17 de março de 2005. No Art. 16 da CONAMA 430/11 é declarado que os efluentes de qualquer fonte poluidora devem obedecer às condições e padrões seguintes:

“I - Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas:
 - 1. óleos minerais: até 20 mg/L;
 - 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) ausência de materiais flutuantes; e
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;
- ...”

A hierarquia legal sobre este tipo de instrumento (a resoluções CONAMA) permite adição e/ou modificações desde que sejam mais restritivas e favoreçam o meio ambiente. Dessa forma, as demais unidades federativas (Estados e Municípios) podem apresentar normas próprias. Uma revisão de Morais e Santos (2019) e analisou parâmetros de monitoramento e limites em dezesseis unidades federativas. A Tabelas 2 traz um resumo dos achados desses autores.

Tabela 3 – Uma estatística descritiva dos padrões de lançamento de efluentes no Brasil.

Descriptor estatístico	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	NT (mg N/L)	AMT (mg N/L)	PT (mg P/L)	CTT (NMP/100 mL)
Média	216	89	104	15,8	10,1	2,2	2,90E+04
Q _{50%}	200	80	100	17,5	5,0	2,0	1,00E+04
Desvio padrão	91	43	42	4,9	8,4	1,3	4,54E+05
Mínimo	60	30	40	10	0,5	1,0	1,00E+03
Máximo	400	180	180	20	20	4,0	1,00E+06

DBO - demanda bioquímica de oxigênio; DQO - demanda bioquímica de oxigênio; SST – sólidos suspensos totais; NT – nitrogênio total; NAM – nitrogênio amoniacal; PT – fósforo total e CTT – coliformes termotolerantes.
Fonte: adaptado de Morais e Santos (2019).

2.3 Números *fuzzy* e função de confiabilidade difusa

2.3.1 Considerações gerais

Lotfali Askar-Zadeh, nascido no Azerbaijão e naturalizado norte americano, propôs em 1965 uma teoria matemática denominada Lógica *Fuzzy*. (ou Lógica Nebulosa). Trata-se de uma conjectura que pode lidar com as incertezas da informação, medidas e categorização de dados.

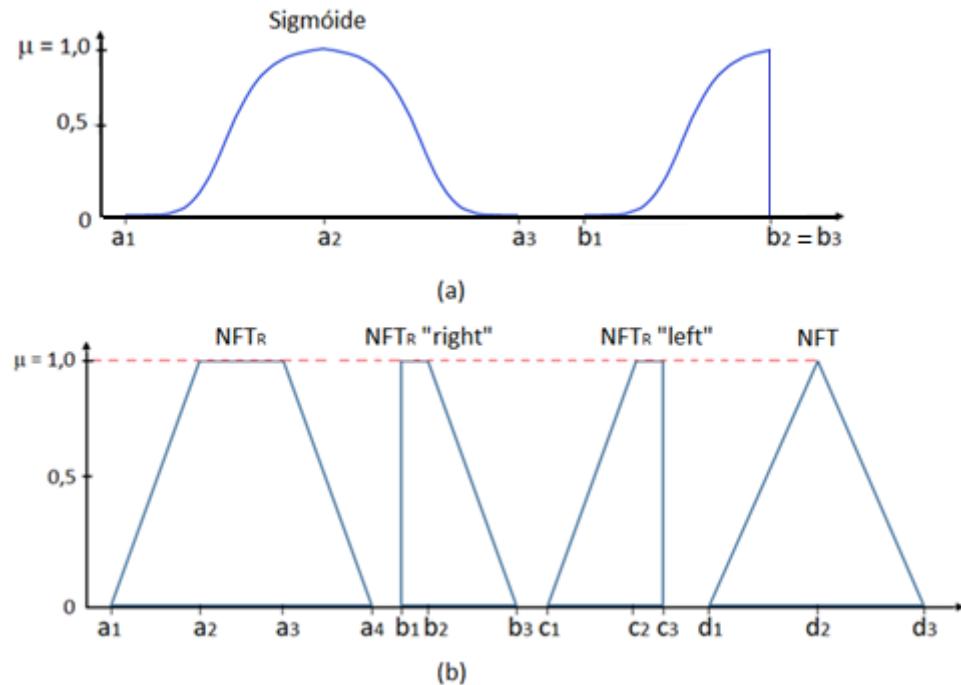
Um mérito particular da Teoria *Fuzzy* é poder operar dados com imprecisões inerentes, tal como ocorre com eventos ambientais. A aritmética tem alto poder computacional, através de sistemas de raciocínio inteligentes, robustos e flexíveis. A Teoria *Fuzzy* possibilita fazer inferências lógicas a partir de uma compilação de conjuntos difusos.

Há muitas aplicações da Teoria *Fuzzy* em controle de processos e na Engenharia como um todo (HARRIS, 2006). Usualmente a Lógica *Fuzzy* é empregada em sistemas inferenciais, em que um conjunto de regras definem o sistema avaliado, com associação a variáveis linguísticas, que são variáveis cujos valores são palavras ou sentenças (*e.g.* alto-médio-baixo; quente-ameno-frio ou belo-neutro-feio). Faz-se o agrupamento dos dados explicadores, com base em operadores “se, então”, de forma a descrever o funcionamento do processo e seu desempenho. Dessa forma é possível modelar computacionalmente situações subjetivas, vagas ou ambíguas.

2.3.2 Números *fuzzy*

Um número *fuzzy* está contido em um conjunto *fuzzy*, com definição em um intervalo no conjunto dos números reais (IR), pois esse número real não possui valor exato. Também, um número *fuzzy* é um intervalo no eixo das abcissas (X) com diferentes graus de pertinência ($\mu \in [0, 1]$) no eixo das ordenadas (y). O intervalo difuso é geralmente representado por dois pontos extremos a_1 e a_3 (valores mínimo e máximo, respectivamente) e um ponto médio a_2 (valor mais possível ou mais provável). A Figura 2 mostra tipos de números difusos.

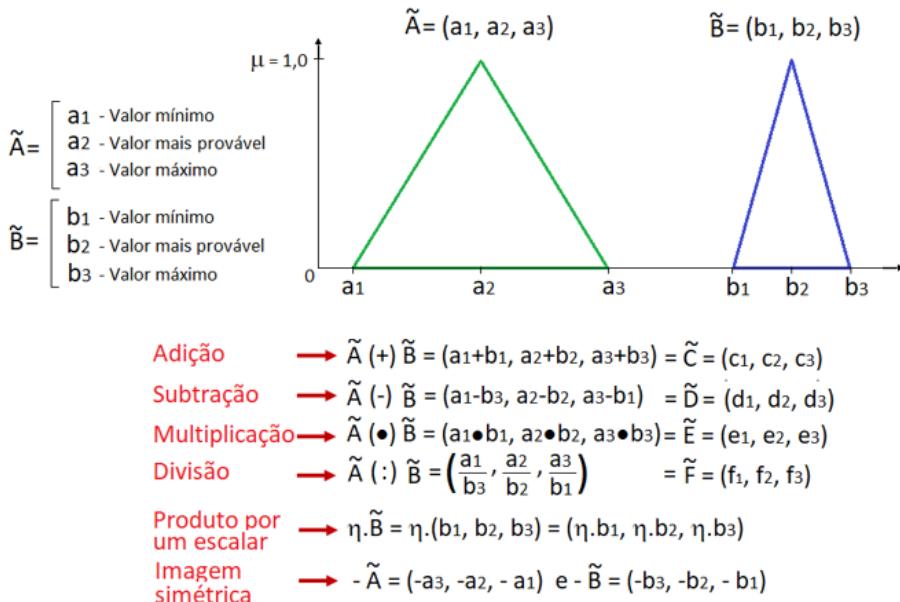
Figura 2 – Representação de números *fuzzy* sigmóide (a), trapezoidal e triangular (b).



Fonte: a Autora (2021).

Os números *fuzzy* triangulares (NFT) são os mais empregados em sistemas difusos e por apresentarem uma aritmética cujo esforço computacional é mínimo (Figura 3). Destaca-se ainda que as aplicações em Engenharia são diversas (HARRIS, 2006). Arif (2017) faz um apanhado de possibilidades e experiencias com a Teoria *Fuzzy* em Engenharia Ambiental.

Figura 3 – Número fuzzy triangular e sua aritmética.



Fonte: a Autora (2021).

2.3.3 Confiabilidade fuzzy

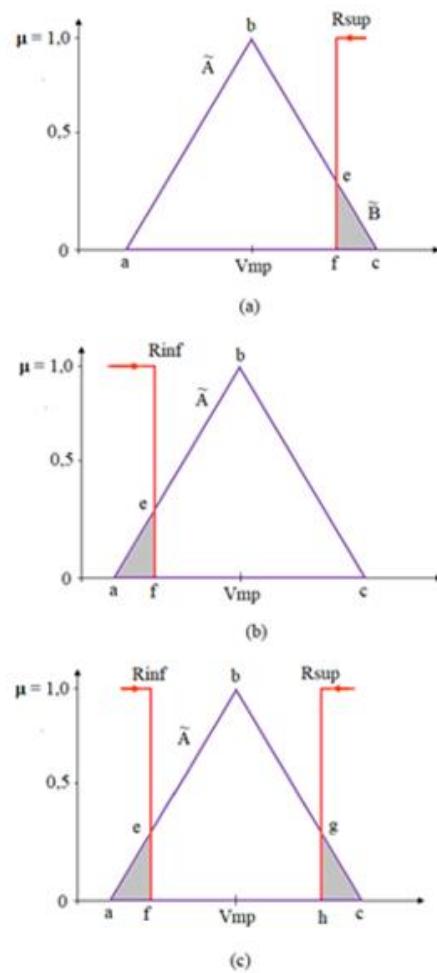
A ideia de risco associa a probabilidade (ou possibilidade, em termos *fuzzy*) de ocorrência de um evento não desejado e suas consequências. Em termos analíticos, exige-se a definição de categorias na “dimensão consequência”. Isso não é fácil, pois trata-se de uma visão prospectiva. Assim, parece mais razoável aplicar o conceito de confiabilidade, que diz respeito ao quanto um conjunto de medidas repetidas de um fenômeno está próximo de um valor desejado, ou limitado a ele (KAPUR; PECHT, 2014). Mais objetivamente, no âmbito de sistemas de tecnologia ambiental, diz respeito ao grau de atendimento de um sistema a uma(s) meta(s) ou pressuposto(s).

A definição acima implica o conceito subjacente de análise marginal. Ou seja: questiona-se sobre o quanto um determinado valor ou quantidade está aumentando, ou diminuindo, em relação a um valor de referência. Tal valor pode ser flexibilizado de maneira abrupta (como tolerância ou viés) ou de forma gradual (*i.e.* como número difuso).

O desempenho de uma ETE para atender os critérios de despejo pode ser representado de forma difusa, conforme a Figura 4. Na figura: \tilde{A} é número fuzzy triangular (NFT) que representa um intervalo de valores $[a; b; c]$; b é o valor mais provável (vmp; ou mais possível); R_{sup} – regra de limite superior; R_{inf} - regra de limite inferior. As áreas das figuras

preenchidas em cinza representam a falha em atender os limites (R_{inf} , R_{sup} ou ambos ao mesmo tempo). Assim, o Índice de Confiabilidade *Fuzzy* (ICF = concordância difusa) é definido conforme em Castro (2019) e representado na Equação 1:

Figura 4 – Representações do índice de confiabilidade *fuzzy* (ICF) com números não difusos (*crisp*), com limite à direita (a), à esquerda (b) e à direita e esquerda simultaneamente (c).



Fonte: adaptado de Kaufmann e Gupta (1991).

$$ICF = 1 - \frac{\text{Área de falha (em cinza)}}{\text{Área total}} \quad (1)$$

3 METODOLOGIA

3.1 A estação de tratamento de esgotos do estudo

Para o estudo selecionou-se a estação de tratamento de esgotos Baldo ($5^{\circ} 47' 21,8''$ Sul; $35^{\circ} 12' 43,8''$ Oeste, 7,0 m acima do nível do mar). Ela estava localizada no bairro Cidade Alta, zona leste da cidade de Natal, Rio Grande do Norte. Conta contava uma área de 1,2 hectare e perímetro de 490 m, e foi projetada para uma vazão de cerca de 35000 m³/dia, mas Araújo *et al.* (2017) observaram uma vazão próxima de 22000 m³/dia.

A ETE Baldo era composta de um sistema de tratamento preliminar e unidades anaeróbias (reatores UASB), seguidas de câmara anóxica para recirculação de vazão proveniente de reator aeróbio, decantador secundário e sistema de desinfecção. As Figuras 5 e 6 apresentam vista superiores da ETE, enquanto a Figura 7 contém uma representação esquemática da estação.

Figura 5 – Vista superior do terreno onde foi instalada a ETE Baldo.



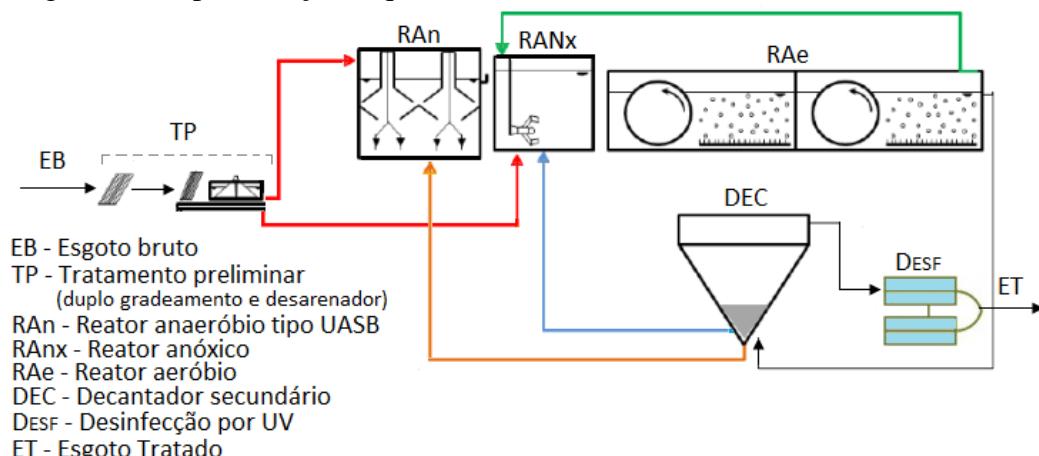
Fonte: adaptado de Google Earth (2019).

Figura 6 – Vista aérea da ETE Baldo.



Fonte: adaptado de Google Earth (2019).

Figura 7 – Representação esquemática da ETE Baldo.



Fonte: adaptado de Araújo *et al.* (2017).

O efluente tratado na ETE era lançado em um canal e o lodo resultante do processo era desidratado por centrifugação, com subsequente destinação em aterro sanitário. A ETE dispunha ainda de um sistema de lavagem de gases para redução de emissão de odor.

3.2 Parâmetros analíticos de monitoramento

Os dados do estudo são referentes ao monitoramento regular da ETE, mensal, no período de 2014 a 2017. Foram determinados, nos esgotos bruto e tratado, os seguintes parâmetros: temperatura (Temp), pH, condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (PT), nitrogênio amoniacal (AMT), sólidos suspensos totais (SS), óleos e graxas (O&G, como substâncias solúveis em hexano) e coliformes termotolerantes.

3.3 Abordagem *fuzzy*

Inicialmente, efetuou-se o cômputo de estatística descritiva dos valores observados nos parâmetros analisados nas amostras de esgotos bruto e tratado, respectivamente. Para avaliação do desempenho médio, empregaram-se três valores de tendência central: média aritmética (média), mediana (Q_{50}) e média geométrica (MG). Os parâmetros analíticos considerados foram: DBO, DQO, PT, AMT, O&G, SST e CTT. Esse último foi considerado na forma de remoção de unidades logarítmicas de base 10 (Log_{10}). Com os demais, a remoção foi expressa em termos percentuais.

O cômputo da confiabilidade *fuzzy* considerou conceito de índice de confiabilidade *fuzzy* (ICF), conforme explanado no item 2.3.3. Os limites *crisps* foram estabelecidos de acordo com o grau de restrição (Alto, Médio e Baixo). Estabeleceram-se valores com base na revisão de Morais e Santos (2019). A Tabela 3 apresenta os valores máximos permitidos, de acordo com o grau de restrição.

Tabela 4 – Valores limites dos parâmetros analíticos, com base em grau de restrição, para cômputo da garantia *fuzzy* aplicada à conformidade do efluente da ETE Baldo.

Grau de restrição	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	PT (mg P/L)	AMT (mg N/L)	O&G (mg/L)	pH (und)	SST (mg/L)	CTT (Log_{10})
Alto	80	150	2,00	10,0	20	7 a 8	50	3,000
Médio	100	200	3,00	15,0	35	6 a 9	80	3,699
Baixo	120	250	4,00	20,0	50	5 a 9,0	120	4,000

Fonte: a Autora (2021).

Para a confiabilidade *fuzzy*, o desempenho foi definido em três intervalos:

- a) ruim $\leq 0,35$;
- b) regular de 0,36 a 0,70, e;
- c) bom $\geq 0,71$.

Sob a hipótese de agregação e ponderação através do índice de confiabilidade *fuzzy* (ICF_p), os pesos de cada parâmetro do esgoto bruto foram computados a partir do valor do coeficiente de variação (CV) (Equação 2). Assim, o índice de agregação e ponderação foi definido conforme a equação 3. No caso de todos os parâmetros terem pesos iguais a confiabilidade *fuzzy* é simplesmente definida como $ICF_{média}$, que resulta da média dos valores de ICF de cada parâmetro.

$$P_i = \frac{CV_i}{\sum_{i=1}^n CV_i} \quad (2)$$

$$ICF_p = \sum_{i=1}^n P_i \cdot ICF_i \quad (3)$$

Em que: P_i = peso do parâmetro i ; CV_i = coeficiente de variação do parâmetro i ; ICF_i = índice de concordâncias *fuzzy* do parâmetro i e ICF_p = confiabilidade *fuzzy* ponderada.

Nos cálculos dos ICF foram considerados NFT com intervalos partindo do valor mínimo ($v_{mín}$) até o valor máximo ($v_{máx}$), sendo os valores mais possíveis (v_{mp}) representados de média aritmética, mediana e média geométrica. Adicionou-se a estes NTF uma composição de $v_{mín}$ representado pelo percentil de 2,5% ($P_{2,5}$), $v_{máx}$ representado pelo percentil de 97,5% ($P_{97,5}$) e v_{mp} pela mediana (Q_{50}).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho com base em valores de tendência central

A Tabela 5 contém a estatística descritiva dos esgotos bruto e tratado. Com exceção de pH e temperatura, todos os parâmetros apresentaram distorções positivas (ou seja: cauda à direita). Em espectro geral, isso foi um pouco mais acentuado no caso do efluente tratado. O grau de distorção pode ser ratificado pelos valores dos coeficientes de variação ($CV > 0,5$).

Tabela 5 – Estatística descritiva dos efluentes bruto (EB) e tratado (ET) na ETE Baldo.

Descriptor	Efluente bruto (EB)									
	CE	DBO	DQO	PT	AMT	O&G	pH	SST	Temp	CTT
Média	964	414	747	7,29	34,3	48,4	7,31	189	28,8	1,87E+10
Mediana	810	367	740	5,80	38,5	47,6	7,40	157	29,0	1,55E+10
Média geométrica	872	367	686	6,29	27,4	34,9	7,30	144	28,8	4,04E+09
Q ₂₅	714	265	499	4,91	31,9	29,6	7,10	112	28,0	1,45E+09
Q ₇₅	987	504	933	7,59	42,3	73,4	7,60	208	30,0	1,60E+10
Mínimo	329	142	257	2,50	0,2	1,3	6,40	3	25,0	1,40E+07
Máximo	3260	1042	1638	33,34	51,4	101,3	7,80	758	30,0	1,60E+11
CV	0,542	0,520	0,408	0,716	0,350	0,588	0,050	0,786	0,051	2,058
n	45	46	46	46	45	34	46	46	45	46
-	Efluente tratado (ET)									
Média	871	73	168	3,67	10,4	10,7	7,06	39	29,3	1,61E+05
Mediana	729	54	152	3,30	8,2	7,4	7,00	26	29,0	9,20E+04
Média geométrica	776	53	137	3,15	6,3	5,4	7,05	24	29,2	5,52E+04
Q ₂₅	601	29	93	2,09	3,0	2,5	6,80	13	28,8	2,80E+04
Q ₇₅	895	84	228	4,47	15,4	12,8	7,30	43	30,0	1,60E+05
Mínimo	281	7	24	0,40	0,3	0,2	6,40	2	26,0	4,90E+02
Máximo	3020	274	430	11,56	29,0	68,1	8,10	269	31,0	1,60E+06
CV	0,587	0,866	0,614	0,571	0,828	1,273	0,051	1,256	0,041	1,987
n	44	45	45	44	43	30	45	35	44	45

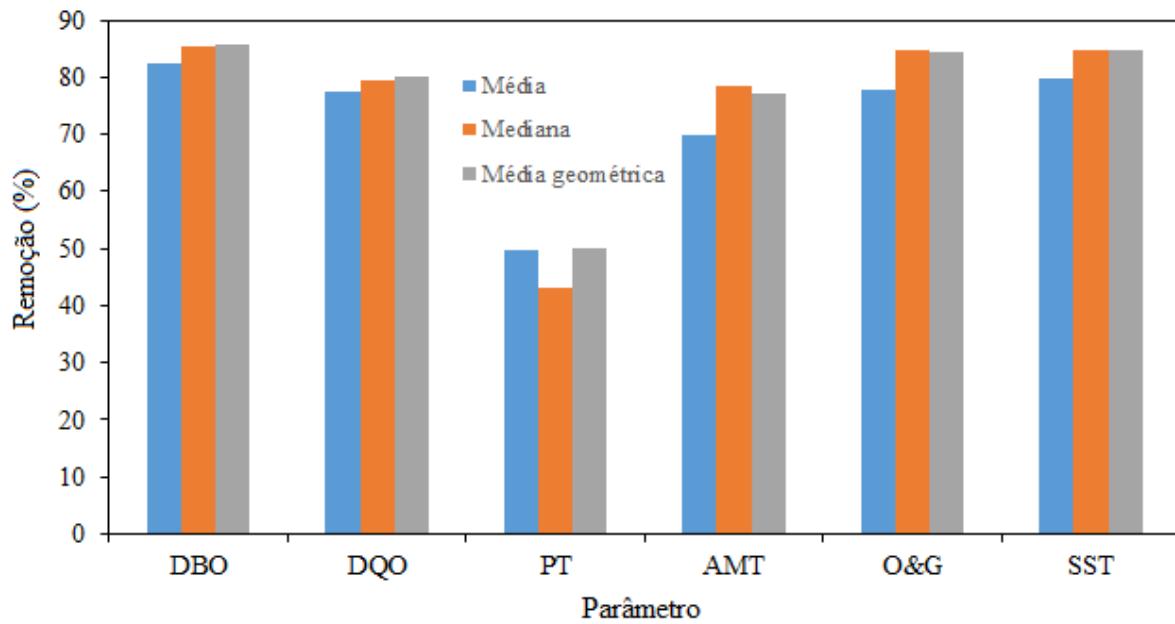
Unidades: CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$); DBO, DQO, SST e O&G (mg/L); PT (mg P/L); AMT (mg N/L); pH (unid); Temp ($^{\circ}\text{C}$) e CTT (NMP/100 mL).

Fonte: a Autora (2021).

A remoção de poluentes baseada em valores de tendência central (média aritmética, mediana e média geométrica) está representada na Figura 8. A proximidade entre os valores da

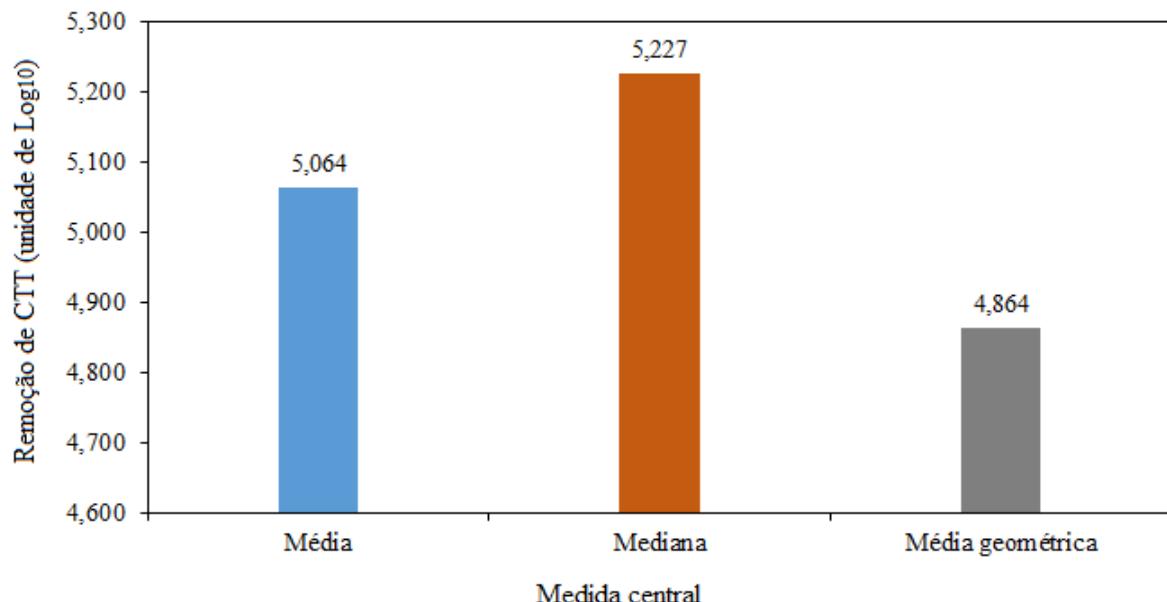
mediana e da média geométrica foi tão maior, quanto maiores foram os valores de CV. Ressalta-se que a média geométrica é um discretizador que atua reduzindo a flutuação dos valores originais. A remoção de CTT foi tratada em gráfico separado (Figura 9), pois foi expressa em unidades de Log₁₀.

Figura 8 – Desempenho da ETE Baldo quanto à remoção (%) dos poluentes do estudo (parâmetros físicos e químicos), com base nas principais medidas de tendência central.



Fonte: a Autora (2021).

Figura 9 – Desempenho da ETE Baldo quanto à remoção (Log_{10}) de coliformes termotolerantes, com base nas principais medidas de tendência central.



Fonte: a Autora (2021).

4.2 Confiabilidade *fuzzy*

Os índices de confiabilidade *fuzzy* (ICF) calculados para cada parâmetro de interesse estão na Tabela 6. As cores vermelho, laranja e azul nas “caselas” da tabela refletem os critérios de **ruim**, **regular** e **bom**, definidos no item 3.3 da Metodologia.

As diferentes representações de NFT, em relação aos três graus de restrição (Alto, Médio e Baixo), resultaram em valores de ICF ligeiramente distintos. O valor de medida central escolhida resultou na seguinte ordem crescente de ICF: média aritmética < mediana < média geométrica. Esse resultado é referente aos NFT com mesmos valores mínimo e máximo. No caso do NFT constituído por medidas de posição $P_{2,5}$, mediana e $P_{97,5}$, os valores de I_{CF} foram maiores que o da média geométrica com alguns parâmetros (DBO, O&G e SST) e menores com outros (DQO, PT, AMT e CTT). Isso ratifica o efeito da função densidade de probabilidade (FDP) e seus parâmetros. Entretanto, discutir tal tema está fora do escopo do presente estudo.

Tabela 6 – Confiabilidade *fuzzy* dos parâmetros monitorados no efluente da ETE Baldo em diferentes graus de restrição e com representações distintas de NFT.

Graus de restrição	Composição do NFT	DBO	DQO	PT	AMT	O&G	pH	SST	\log_{10}
Alto	Mínimo	0,299	0,272	0,070	0,325	0,411	0,673	0,219	0,011
	Média	0,436	0,503	0,185	0,633	0,721	1,000	0,418	0,115
	Máximo	0,558	0,695	0,351	0,848	0,917	1,000	0,639	0,194
Médio	Mínimo	0,359	0,306	0,079	0,567	0,439	0,641	0,261	0,012
	Q_{50}	0,485	0,531	0,209	0,672	0,734	1,000	0,449	0,127
	Máximo	0,596	0,712	0,380	0,864	0,921	1,000	0,658	0,215
Baixo	Mínimo	0,362	0,341	0,083	0,640	0,457	0,673	0,267	0,013
	MG	0,487	0,553	0,220	0,699	0,743	1,000	0,454	0,141
	Máximo	0,598	0,728	0,391	0,875	0,923	1,000	0,661	0,238
$P_{2,5}$	$P_{2,5}$	0,388	0,287	0,035	0,388	0,631	0,595	0,436	0,011
	Q_{50}	0,524	0,527	0,195	0,669	0,942	1,000	0,716	0,126
	$P_{97,5}$	0,642	0,719	0,443	0,864	1,000	1,000	0,942	0,214

Fonte: a Autora (2021).

A ponderação das variáveis a partir do CV da normal teórica permitiu desenvolver as equações constantes na Tabela 6. O primeiro modelo de soma (Equação 4) inclui todos os parâmetros. Os demais tiveram a retirada de uma ou mais variáveis, com redistribuição dos pesos, conforme já explanado no item 3.3.

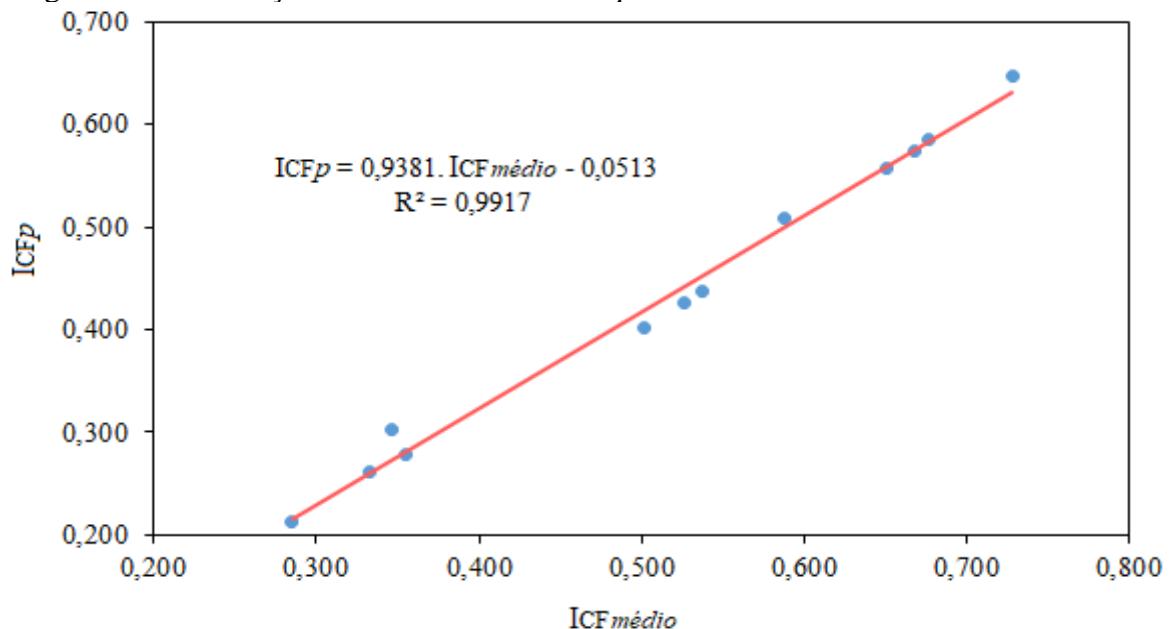
Tabela 7 – Funções de cálculo do ICF_p, com resultado de ponderação de cada parâmetro (primeira linha) e redistribuição de pesos no caso de menor número de parâmetros.

Função de média ponderada	Equação
$0,116 \cdot ICF_{DBO} + 0,083 \cdot ICF_{DQO} + 0,077 \cdot ICF_{PT} + 0,111 \cdot ICF_{AMT} + 0,170 \cdot ICF_{O&G} + 0,007 \cdot ICF_{pH} + 0,169 \cdot ICF_{SST} + 0,267 \cdot ICF_{CTT}$	(4)
$0,127 \cdot ICF_{DBO} + 0,084 \cdot ICF_{PT} + 0,121 \cdot ICF_{AMT} + 0,186 \cdot ICF_{O&G} + 0,007 \cdot ICF_{pH} + 0,184 \cdot ICF_{SST} + 0,291 \cdot ICF_{CTT}$	(5)
$0,093 \cdot ICF_{DQO} + 0,087 \cdot ICF_{PT} + 0,126 \cdot ICF_{AMT} + 0,193 \cdot ICF_{O&G} + 0,008 \cdot ICF_{pH} + 0,191 \cdot ICF_{SST} + 0,302 \cdot ICF_{CTT}$	(6)
$0,130 \cdot ICF_{DQO} + 0,175 \cdot ICF_{AMT} + 0,011 \cdot ICF_{pH} + 0,265 \cdot ICF_{SST} + 0,419 \cdot ICF_{CTT}$	(7)
$0,177 \cdot ICF_{DQO} + 0,238 \cdot ICF_{AMT} + 0,015 \cdot ICF_{pH} + 0,571 \cdot ICF_{CTT}$	(8)

Fonte: a Autora (2021).

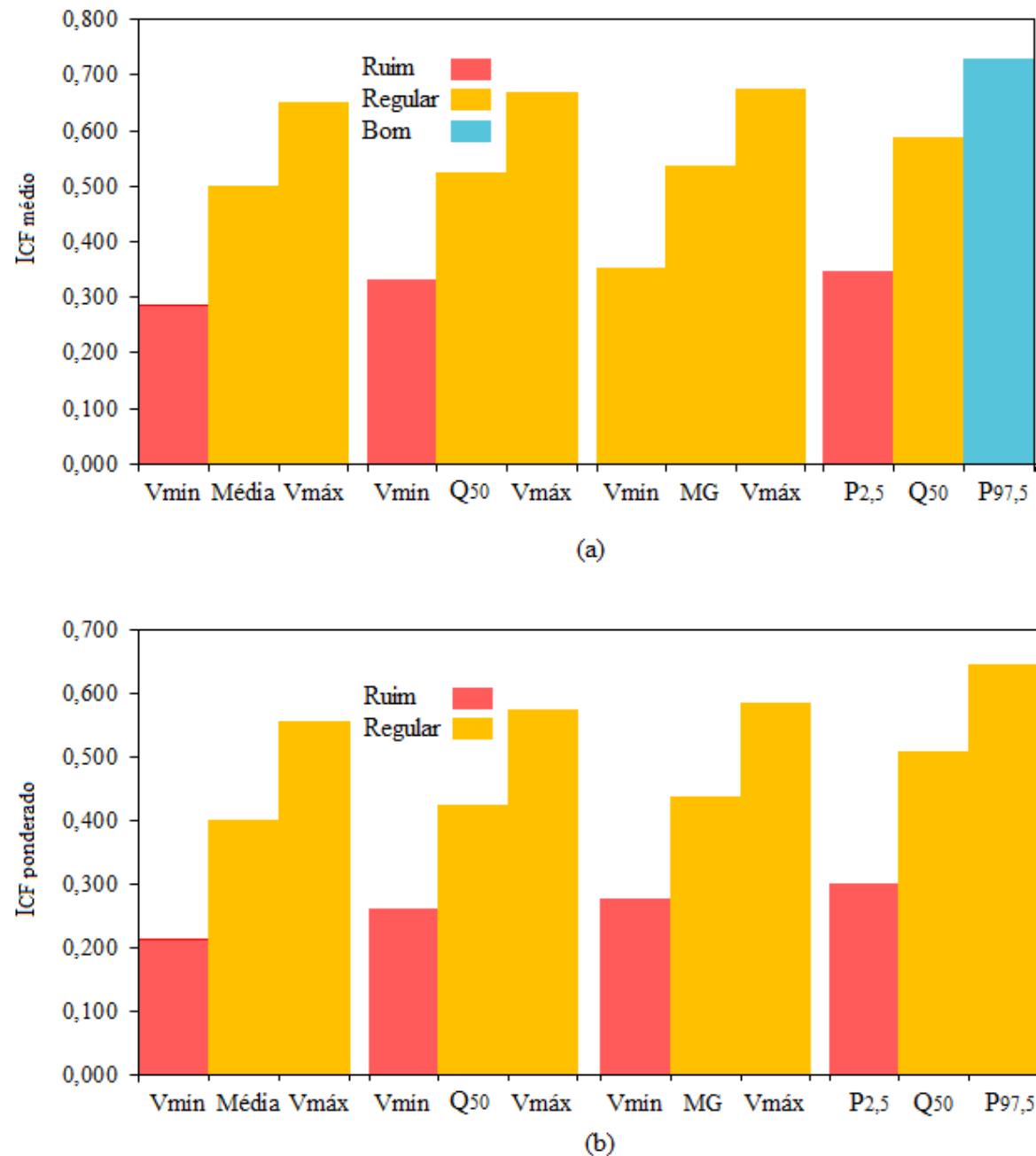
A Figura 10 mostra a correlação entre o ICFmédio (média aritmética dos valores obtidos com cada parâmetro) e o ICFp. Esse último é mais conservador, pois é menos afetado pela variação isolada em cada parâmetro. A Figura 11 ratifica a declaração.

Figura 10 – Correlação entre ICFmédio e ICFp.



Fonte: a Autora (2021).

Figura 11 – Índice de confiabilidade *fuzzy* para valores de média aritmética (a) e média ponderada (b).



Fonte: a Autora (2021).

5 CONCLUSÃO

O monitoramento regular da ETE Baldo mostrou que o sistema alcançou remoção de matéria orgânica de 82,4; 77,5; e 79,3% para DBO, DQO e SST, respectivamente. A redução de substâncias solúveis em hexano (O&G) no Baldo foi de 77,8%. As remoções de nutrientes, nas formas de amônia e fósforo total, foram de 69,7 e 49,7%. A redução de coliformes termotolerantes foi da ordem de 5,064 unidades de Log₁₀.

O Índice de Confiabilidade Fuzzy (ICF) proposto no estudo foi baseado no conceito de função marginal. O cômputo da confiabilidade difusa de uma ETE considerou a qualidade do efluente tratado e o atendimento de limites normativos pré-estabelecidos. O ICF foi computado inicialmente para cada parâmetro. Em seguida foram demonstrados os índices aditivos agregados, com base em média aritmética em média ponderada dos ICF individuais.

O ICFmédio foi de 0,516 e o ponderado igual a 0,433. O ordenamento crescente dos índices médios individuais foi: CTT como Log₁₀ (0,118) < PT (0,220) < DBO (0,478) < SST (0,510) < DQO (0,515) < AMT (0,670) < O&G (0,737) < pH (0,882). A abordagem fuzzy tem elevado potencial de aplicação, em razão de sua simplicidade e objetividade para diagnóstico e avaliação do desempenho de ETE.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A.L.C.; FERRAZ, D.L.M.; CUNHA, P.E.V.; FERNANDES NETO, C.; SILVA, F.J.A. Operational performance of an anaerobic-anoxic-aerobic treatment System. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v.6, n.3, p. 247-263, 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2017v6i3>.
- ARIF, K. Use of fuzzy set theory in environmental engineering applications: a review. **International Journal of Engineering Research and Application**, v. 7, n. 6, p. 1 -6, 2017.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. e disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 03 de janeiro de 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Publicada no Diário Oficial da União em 16 de maio de 2011. Publicado no D.O.U. e disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 03 de janeiro de 2021.
- CASTRO, M.P.S. **Análise de risco de enchentes mediante modelos hidrodinâmicos fuzzy**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2019. 105p. Ilustrada e colorida.
- DERÍSIO, J.C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. 4^a edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 226p.
- DOS SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 206 p.
- GOOGLE EARTH-MAPAS. [Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com). Consulta realizada em 21/01/2021.
- HARRIS, J. **Fuzzy logic applications in engineering** Science. Springer Publisher, New York, 2006. 221p.
- KAPUR, K.C.; PECHT, M. **Reliability engineering**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2014. 489 p.

KAUFMANN, A.; GUPTA, M. M. **Introduction to fuzzy arithmetic: theory and applications.** Van Nostrand Reinhold, New York, p. 321. 1991.

MetCALF, L.; EDDY, H.P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** 5^a edição. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MORAIS, N.W.S.; SANTOS, A.B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, v. 67, n. 15, p. 42-55, 2019. DOI: 10.4322/dae.2019.004.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 6^a edição. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Rio de Janeiro, 2012. 280 p.

OLIVEIRA, S.C.; VON SPERLING, M. Análise da confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 12, n.4, pp.389-398, 2007.

SILVA, F.J.A.; BEZERRA, M.E.E. Contribuição à caracterização de esgotos sanitários em Fortaleza, Ceará. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 4 p.18 a 23 de setembro de 2005 - Campo Grande/MS, 2005.

SOUZA, C.M.N.; COSTA, A.M.; MORAES, L.R.S.; FREITAS, C.M. **Saneamento: promoção da saúde, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental.** Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ, 2015. 140p.

VARELA, A.R.; MANAIA, C.M. Human health implications of clinically relevant bacteria in wastewater habitats. **Environmental Science Pollution Research** v. 20, p. 3550–3569, 2013.

VON SPERLING, M. **Basic principles of wastewater treatment.** Biological wastewater treatment series, Volume 2. IWA Publishing, London, 2007. 195 p.