

ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO POR SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA: ESTUDO DE CASO EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Mayara Rayane Nascimento Santos¹; Carolina Araújo Sarmiento de Azevedo²; Daysy Lira Oliveira Cavalcanti³; Nadjane Teles Leite⁴; Anamalia Ferreira Silva⁵; Vladimir Caramori Borges de Souza⁶ & Nélia Henriques Callado⁷

RESUMO – As soluções baseadas na natureza (SbN) têm se destacado pela sua capacidade de remoção de poluentes, como processos ecológicos, simples e robustos. Uma solução para amenizar a problemática das águas residuárias é a utilização de ETEs descentralizadas com tecnológicas de tratamento naturais, como as lagoas de estabilização, que no Brasil já é uma tecnologia consolidada devido ao clima favorável e à disponibilidade de área. Os campi universitários são considerados pequenas cidades e alguns são dotados de sistema descentralizado de esgotamento sanitário, como é o caso do Campus A. C. Simoes/UFAL, que dispõe de uma SbN por lagoas de estabilização para tratar seus efluentes. Neste contexto esse trabalho tem como objetivo avaliar e monitorar a eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos desta SbN. A metodologia proposta integrou dados experimentais obtidos por meio do monitoramento da lagoa facultativa, incluindo análises físico-químicas e microbiológicas dos efluentes. Os resultados mostraram que a eutrofização da lagoa embora favoreça o processo de autodepuração, não contribui para remoção de cor e turbidez, mas que mesmo eutrofizada, gera efluente que atende aos padrões de lançamento dispostos na Resolução CONAMA nº 430/2011, exceto a DQO devido ao excesso de matéria orgânica gerado pela floração algal.

Palavras-Chave – Lagoa facultativa, tratamento de esgoto, eutrofização.

ABSTRACT– Nature-based solutions (NBS) have gained prominence for their ability to remove pollutants through ecological, simple, and robust processes. One solution to mitigate wastewater issues is the use of decentralized wastewater treatment plants (WWTPs) employing natural treatment technologies, such as stabilization ponds, which are already a well-established technology in Brazil due to the favorable climate and availability of land. University campuses are considered small cities, and some are equipped with decentralized sanitary sewage systems, as is the case with the A. C. Simoes/UFAL Campus, which uses an NBS consisting of stabilization ponds to treat its effluents. In this context, this study aims to evaluate and monitor the removal efficiency of organic matter, nutrients, and microorganisms in this SBR. The proposed methodology integrated experimental data obtained through monitoring of the facultative pond, including physicochemical and microbiological analyses of the effluents. The results showed that although pond eutrophication favors the self-purification process, it does not contribute to the removal of color and turbidity; however, even when eutrophicated, it generates effluent that meets the discharge standards set forth in CONAMA Resolution No. 430/2011, except for COD due to the excess of organic matter generated by algal blooms.

Key-words – Facultative lagoon, wastewater treatment, eutrophication.

1) Mestranda pela Universidade Federal de Alagoas, (82) 987340469, mayara.santos@iqb.ufal.br

2) Mestranda pela Universidade Federal de Alagoas, (82) 996864813, carolinnasarmiento@hotmail.com

3) Profa. Adjunta da Universidade Federal de Alagoas, (82) 99905363, daysy.oliveira@ctec.ufal.br

4) Técnica da Universidade Federal de Alagoas, (82) 999341456, nadane.santos@ctec.ufal.br

5) profa. substituta da Universidade Federal de Alagoas, (82) 999808510, anamalia.silva@ctec.ufal.br

6) Prof. Titular da Universidade Federal de Alagoas, (82) 999615260, caramori@ctec.ufal.br

7) Profa. Titular da Universidade Federal de Alagoas, (82) 999928087, ncallado@ctec.ufal.br

INTRODUÇÃO

De acordo com Fraga e Sayago (2020), foi no final dos anos 2000 que surgiu o conceito de Soluções baseadas na Natureza (SbN) como uma aposta para a adaptação às mudanças climáticas. As SbN são estratégias que utilizam processos, estruturas e funções naturais para enfrentar desafios ambientais, sociais, climáticos e econômicos para a sociedade. Na Europa, o conceito é especialmente aplicado para o contexto urbano, como reconhecimento do papel da natureza e da biodiversidade para gerar benefícios para a saúde e o bem-estar, contribuindo para a resiliência urbana, por meio de áreas verdes urbanas, jardins de chuva, alagados construídos, telhados verdes e agricultura urbana de forma a reduzir a vulnerabilidade urbana frente a eventos extremos.

Por outro lado, Santos *et al* (2021) citam que as soluções baseadas na natureza têm se destacado, também, pela sua capacidade de remoção de poluentes, com processos ecológicos, simples e robustos, entretanto, necessitam de maiores estudos relacionados aos riscos que envolvem o reúso de água a partir do esgoto tratado. Uma solução proposta para amenizar a problemática é a utilização de ETEs descentralizadas ou a utilização de soluções individuais de tratamento de esgoto, como alternativas tecnológicas de tratamento naturais, devido as suas facilidades de operação, robustez no tratamento e menores custos de implantação e operação. Neste contexto, o tratamento natural com lagoas de estabilização já é consolidado no Brasil, devido ao clima favorável e à disponibilidade de área. A ANA (2017) aponta que no Brasil os arranjos mais utilizados de lagoas de estabilização, são ETEs compostas por Lagoas Anaeróbias + Lagoas Facultativas (cerca de 364 ETEs) e ETEs usam apenas Lagoas Facultativas (cerca de 203 ETEs).

Os Campi universitários podem ser considerados como pequenas cidades e seus efluentes são potencialmente poluidores, gerados por atividades diversificadas de ensino e pesquisa com diferentes tipos de materiais (químicos, físicos e biológicos), oriundos de laboratórios, biotérios e até hospital universitário muitas vezes tóxicos e recalcitrantes, além de resíduos tipicamente domésticos como de restaurante, lanchonetes, residência universitária, o que resulta numa mistura do esgoto sanitário e químico, devido aos contaminantes emergentes descartados de resíduos hospitalares.

O tratamento desses efluentes, por processos terciários ou biológicos, é essencial, devido ao processo de tratamento ser simples, eficiente e econômico (Mahapatra *et al.*, 2022). Alguns dos métodos de tratamento biológico, como filtro de gotejamento, filtro biológico rotativo, reator anaeróbio, lagoa de estabilização, reator de batelada sequencial (SBR), etc., são usados para o tratamento de águas residuais (Mahapatra *et al.*, 2022). Embora todos os métodos acima sejam eficientes na remoção de resíduos, as SbN utilizando lagoas de estabilização se destacam pois não requerem energia extra ou energia para operação, diminuindo consequentemente o custo do projeto.

No entanto, é comum a eutrofização das lagoas devido ao excesso de nutrientes presentes nos efluentes.

O Campus A. C. Simões (CACS) da Universidade Federal de Alagoas, possui um sistema autônomo de coleta e tratamento de efluentes, que recebe, inclusive os esgotos gerados no Hospital Universitário (HU), que são tratados por uma SbN de lagoas de estabilização composto por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, as quais, recentemente, passaram por um processo de revitalização, onde durante um período, as lagoas funcionaram de forma independentes, primeiro somente a lagoa anaeróbia (enquanto se recuperava a facultativa) e depois somente a facultativas enquanto se recuperava a anaeróbia).

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização físico-química e microbiológica dos efluentes produzidos pelo CACS durante o período de revitalização da SbN, quando apenas a lagoa facultativa estava em operação, e avaliar a qualidade do efluente tratado e corpo receptor, a fim de verificar se atende aos padrões de lançamento da legislação em vigor.

METODOLOGIA

A área de estudo é a lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), do Campus A. C. Simões (CACS) da UFAL em Maceió, estado de Alagoas, situado entre as coordenadas 9°33'11" de latitude sul e 35°46'05" de longitude oeste. O Campus tem como vizinhança loteamentos populares e o Complexo Penitenciário de Maceió. A Figura 6 ilustra a fotografia aérea da ETE.



Figura 4. Fotografia aérea das lagoas de estabilização da UFAL.

Fonte: Imagem de satélite do Google Maps.

O sistema de esgotamento sanitário do CACS, construído em meados da década de 70, consiste em uma rede coletora, com poços de visita, uma estação elevatória de esgoto com duas bombas e uma unidade de tratamento biológico formada por duas lagoas de estabilização em série, sendo a primeira anaeróbia e a segunda facultativa. O efluente tratado é descartado no Riacho Salgado, que atualmente está conectado ao sistema de macrodrenagem urbana de Tabuleiro, com descarte final no riacho Jacarecica, juntamente com as demais águas pluviais drenadas.

Com a expansão do CACS/UFAL, foi realizada uma revisão do sistema de tratamento de efluentes com ampliação e adequações na rede, na elevatória e no sistema de lagoas, que passaram por um processo de impermeabilização e substituição dos dispositivos de entrada e saída.

A lagoa anaeróbia mede 50 m x 50 m e possui uma profundidade útil de 2,30 m, resultando em um volume de 5.750 m³ e a facultativa tem 100 m x 100 m, com a mesma profundidade da anaeróbia, resultando no volume de 23.000 m³.

Do ponto de vista quantitativo, os dados dos macromedidores do sistema de abastecimento de água mostram um consumo médio de 17.600 m³/mês, que somados ao consumo de água do HU, resulta em 23.100 m³/mês. Considerando um coeficiente de retorno de 0,8, que cerca de 40% das edificações do CACS ainda possuem fossa séptica seguidas de sumidouro, a evapotranspiração potencial média de 9,934 mm.d⁻¹ (Lima *et al*, 2017), e que existem infiltração na rede coletora de cerca de 20% do esgoto coletado, estima-se que a vazão que chega as lagoas seja de 282 m³/dia (3.2823 m³/mês), resultando num tempo de detenção hidráulica de 20 dias na lagoa anaeróbia e de 82 dias na facultativa.

Para avaliar o funcionamento da lagoa facultativa, durante a recuperação da lagoa anaeróbia, foi realizado um monitoramento mensal, no período de abr/24 a set/24, nos seguintes pontos:

- **Ponto de coleta 1 (P1 – Esgoto Bruto):** Todo o esgoto do CACS e HU, coletado no poço de sucção;
- **Ponto de coleta 2 (P2 – Esgoto tratado na Lagoa Facultativa):** Coletado na saída da lagoa facultativa;
- **Ponto de coleta 3 (P3 – Corpo receptor):** – Montante do ponto de lançamento de efluente.

Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas, em duplicatas, com uma frequência mensal, segundo procedimentos descritos em APHA/AWWA/WEF (2017), no Laboratório de Saneamento (LSA) do Centro de Tecnologia (CTEC) da UFAL.

As características do esgoto bruto gerado foram comparados com dados da literatura (METCALF & EDDY, 2016; JORDÃO e PESSOA, 2017), para esgotos de alta, média e baixa concentração, tendo como base a tipologia (Tabela 1).

Tabela 1 – Faixas de valores típicos de esgotos sanitários.

Constituinte	Concentração Baixa		Concentração Média		Concentração Alta	
DBO _{5,20} , mg.L ⁻¹	133	100*	200	200*	400	400*
DQO, mg.L ⁻¹	339	200*	508	400*	1016	800*
N-total, mg.L ⁻¹	23	20*	35	40*	69	10*
N-Amônia, mg.L ⁻¹	14	10*	20	20*	41	50*
Fósforo total, mg.L ⁻¹	3,7	5*	5,6	10*	11	20*
Coli-Fecal, NMP.100 mL ⁻¹	10 ³ – 10 ⁵		10 ⁴ – 10 ⁶		10 ⁵ – 10 ⁸	

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2016), *Jordão e Pessoa (2017).

A qualidade dos efluentes tratados foram comparados com os valores dos padrões de lançamento da Resolução CONAMA 430/2011, e CONAMA 274/2000 para verificação de atendimento dos padrões de lançamento e a CONAMA 357/2005 para mananciais classe 2.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esgoto Bruto – caracterização e classificação

A Tabela 2 os dados de monitoramento do esgoto bruto, para a SbN na fase de recuperação, onde apenas a lagoa facultativa operava, e sem verter, ou seja, sem descarte de água no corpo receptor.

Tabela 2 – Resultado estatístico dos parâmetros físico-químicos e biológicos do Esgoto Bruto.

Parâmetros	DP	Média	Máximo	Mínimo	Mediana
T (°C)	0,61	24,93	25,50	23,40	25,00
Cor (uC)	204,55	306,11	815,00	123,00	287,00
Turbidez (NTU)	12,72	26,49	58,00	15,00	25,80
pH	0,29	7,27	7,66	6,98	7,23
DQO (mg.L ⁻¹)	123,27	366,57	563,88	213,77	357,34
DBO _{5,20} (mg.L ⁻¹)	27,69	200,50	225,00	168,00	204,50
N-NTK (mg.L ⁻¹)	6,76	32,00	38,50	25,00	32,50
N-Amoniacal (mg.L ⁻¹)	0,27	2,31	2,46	2,00	2,46
P-Total (mg.L ⁻¹)	1,41	1,92	3,55	1,10	1,10
Coli-Total (NMP.100 mL ⁻¹)	4,58x10 ⁶	7,71x10 ⁶	1,10 x10 ⁷	1,00 x10 ⁶	1,00 x10 ⁷
E. coli (NMP.100 mL ⁻¹)	1,95x10 ⁶	2,46x10 ⁶	4,10 x10 ⁶	3,20 x10 ⁵	4,00 x10 ⁶

Os parâmetros físicos envolvidos na caracterização do esgoto bruto foram temperatura, cor aparente e turbidez. A temperatura, oscilou em torno de 25 °C, acompanhando a temperatura ambiente. A turbidez média foi baixa, de 26,1 ± 14,6 UNT, mas com cor aparente elevada de 306,9 ± 204,55 uC, como a turbidez era baixa, essa cor não é devida a sólidos suspensos, e sim a sólidos dissolvidos que causam cor verdadeira.

Os valores de pH médio foi de 7,27, indicando que o efluente bruto apresenta caráter praticamente neutro, situando-se dentro da faixa característica geral de esgotos brutos.

Os valores de DQO e DBO_{5,20} média obtidos foram de 366,57 ± 123,27 mg.L⁻¹ e 200,50 ± 27,69 mg.L⁻¹, razão DBO/DQO média de 0,55, facilmente biodegradável, com carga orgânica característica

de esgoto bruto de média concentração a alta concentração, situando-se em faixas compatíveis com sistemas que recebem predominantemente esgoto doméstico sem diluição por águas urbanas (Cavalcante, 2017).

Sob a ótica do tratamento, a elevada biodegradabilidade ratifica a viabilidade e a eficiência da aplicação do tratamento biológico para a estabilização da matéria orgânica presente, visto que mais da metade da matéria orgânica é passível de degradação metabólica por microrganismos.

Quanto a presença de nutrientes, o nitrogênio encontrava-se predominantemente ainda na forma orgânica, visto que o valor médio do NTK foi de $32,0 \pm 6,76 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto o N-amoniacal médio foi de apenas $2,31 \pm 0,27 \text{ mg.L}^{-1}$, com uma relação N-amoniacal/N-NTK de 0,07, típicos de efluentes veiculados em rede coletora curta, com predomínio de N-orgânico. A concentração média de fósforo total de $1,92 \pm 1,41 \text{ mg.L}^{-1}$, refletindo a presença de nutrientes provenientes de esgotos domésticos e detergentes (Torres et al., 2023) com valores característicos de esgoto de média concentração.

Para as análises microbiológicas, observou-se valores medianos, de $7,71 \times 10^6$ e $2,46 \times 10^6$ NMP.100 mL⁻¹, para coliformes totais e *Escherichia coli* respectivamente, quando comparados ao que é esperado para esgoto bruto, que usualmente apresenta valores na ordem de 10^6 a 10^8 NMP.100 mL⁻¹ (Cavalcante, 2017).

Bertolino (2008), observou dados semelhantes nos esgotos gerados no campus da Universidade Federal de Ouro preto, com DBO_{5,20} ($300 \pm 55 \text{ mg.L}^{-1}$), DQO ($670 \pm 94 \text{ mg.L}^{-1}$), N-NTK ($56 \pm 25 \text{ mg.L}^{-1}$), N-amoniacal ($32 \pm 16 \text{ mg.L}^{-1}$) e P-total ($6 \pm 1 \text{ mg.L}^{-1}$). Calcante (2017), obteve em 2016, resultados para o esgoto bruto gerado neste mesmo Campus (CACS/UFAL) valores de DQO, DBO_{5,20}, N-NTK, N-amoniacal e P-total de $471 \pm 427 \text{ mg.L}^{-1}$, $416 \pm 312 \text{ mg.L}^{-1}$, $62 \pm 43 \text{ mg.L}^{-1}$, $36 \pm 17 \text{ mg.L}^{-1}$ e $5,0 \pm 2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Com valores de N-amoniacal e P-total maiores que os observados em 2025.

Os parâmetros físico-químicos e biológicos do esgoto bruto resultante de atividades diversificadas no campus, possuem características típicas de esgotos sanitários de média concentração, tendendo a alta concentração (Metcalf e Eddy, 2016).

Esgoto Tratado – caracterização e comparação com os padrões de lançamento

A Tabela 3 apresenta os dados de monitoramento da SbN na fase de recuperação, onde apenas a lagoa facultativa operava, e sem verter, ou seja, sem descarte de água no corpo receptor.

No esgoto tratado, a temperatura manteve-se praticamente inalterada em relação ao esgoto bruto, com valores médios de $24,96 \pm 0,27 \text{ }^{\circ}\text{C}$, acompanhando a temperatura ambiente. O CONAMA 430/2011 limita a temperatura de lançamento de efluente a 40°C , sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura. Sendo assim, a temperatura do esgoto tratado para lançamento atende aos requisitos exigidos.

Tabela 3 – Resultado estatístico dos parâmetros físico-químicos e biológicos do Esgoto Tratado.

Parâmetros	DP	Média	Máximo	Mínimo	Mediana
T (°C)	0,27	24,96	25,50	24,60	25,00
Cor aparente (uC)	256,18	360,00	900,00	108,00	326,00
Turbidez (NTU)	299,87	245,33	655,00	10,00	48,00
pH	0,97	8,36	9,62	7,13	7,87
DQO (mg.L ⁻¹)	43,57	151,64	241,47	105,46	138,20
N-NTK (mg.L ⁻¹)	4,21	17,63	22,50	15,20	15,20
N-Amoniacal (mg.L ⁻¹)	0,17	2,20	2,30	2,00	2,30
P-Total (mg.L ⁻¹)	0,56	1,02	1,67	0,70	0,70
Coli-Total (NMP.100 mL ⁻¹)	2,74x10 ⁵	3,08x10 ⁵	5,50 x10 ⁵	5,50 x10 ¹	4,50 x10 ⁵
E. coli (NMP.100 mL ⁻¹)	1,40x10 ⁵	1,61x10 ⁵	3,00 x10 ⁵	3,00 x10 ¹	2,00 x10 ⁵

Os valores médios de turbidez e cor aparente foram de 201 ± 310 UNT e 355 ± 273 uC. Percebe-se que a cor permaneceu no mesmo patamar do esgoto bruto, mas a turbidez aumentou e pode estar associada a presença de algas, visto que se verificou que ocorreu um processo de eutrofização na lagoa ao longo do tempo, características de L_E.

Os valores médios de turbidez e cor aparente foram de $245,3 \pm 299,9$ UNT e $360,0 \pm 256,2$ uC. Percebe-se que a cor permaneceu no mesmo patamar do esgoto bruto, mas a turbidez aumentou e pode estar associada a presença de algas, visto que se verificou que ocorreu um processo de eutrofização na lagoa ao longo do tempo, características de L_E.

O pH médio do esgoto tratado foi de $8,36 \pm 0,97$, onde foi possível observar um aumento em relação ao esgoto bruto, mas ainda dentro da faixa permitida pelo CONAMA 430/2011. A elevação em relação ao esgoto bruto é característica de lagoas facultativas, onde a intensa atividade fotossintética das algas consome CO₂, elevando o pH. Esse comportamento é geralmente benéfico, pois favorece processos de volatilização da amônia e a inativação de microrganismos patogênicos.

O valor médio de DQO obtido foi de $151,64 \pm 43,57$ mg.L⁻¹, inferior aos valores observados no esgoto bruto, resultando numa eficiência de remoção de DQO de 58,7%, indicando que o sistema mesmo eutrofizado, foi capaz de remover matéria orgânica, mas esses valores são maiores que os valores dos padrões de lançamento estabelecidos pela CONAMA 430/2011.

A concentração média de NTK e N-amoniacal foi de $17,63 \pm 4,21$ mg.L⁻¹ e $2,20 \pm 0,17$ mg.L⁻¹, com redução em relação ao esgoto bruto, com eficiência de remoção de nitrogênio de 49,7%. Sob a ótica regulatória, os resultados atendem integralmente aos padrões de lançamento estabelecidos pela CONAMA 430/2011, permanecendo abaixo do limite de 20 mg.L⁻¹. No entanto, embora os valores nominais cumpram a legislação vigente, a relação N-amoniacal/NTK de 12,5 %, indicando que a maior parcela do nitrogênio ainda se encontra na forma orgânica, cuja decomposição lenta pode atuar como fonte contínua de nutrientes, podendo contribuir para o processo de eutrofização.

Por sua vez, o valor médio do P-total foi de $1,02 \text{ mg.L}^{-1} \pm 0,56$, com uma redução em relação ao esgoto bruto, resultando numa eficiência de remoção de fósforo de 46,9%. A remoção de fósforo em lagoas de estabilização é reconhecidamente limitada, ocorrendo majoritariamente por sedimentação ou incorporação à biomassa, a elevada remoção observada pode ser atribuída às algas. No que tange à conformidade legal, a CONAMA 430/2011 não estabelece um padrão de lançamento, mas esse valor pode configurar um risco potencial de eutrofização do corpo receptor.

Nas análises microbiológicas, foi possível observar uma redução dos valores de coliformes totais, $3,8 \times 10^5 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$, e *E. coli*, $1,61 \times 10^5 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$. Esses valores são coerentes com a ação combinada de radiação solar, sedimentação e elevação do pH nas L_E (Leite *et al.*, 2005). É importante destacar que a CONAMA 430/2011 não estabelece um limite fixo para coliformes em efluentes de esgoto sanitário doméstico, mas exige que o lançamento não descaracterize a qualidade do corpo receptor.

Os parâmetros monitorados do Efluente Tratado, permitem avaliar seu atendimento às exigências da Resolução CONAMA 430/2011 para lançamento de efluentes somente com a lagoa facultativa operando, para temperatura, pH, nitrogênio e coliformes, evidenciando processos eficiente. Entretanto, o estado de eutrofização da lagoa compromete o polimento final, resultou em níveis de turbidez elevados e concentrações de DBO, DQO e fósforo total que excedem os limites legais de lançamento. Torna-se importante estudar meios de minimizar o processo de eutrofização, pela redução do aporte de nutrientes ou maximização da remoção destes nutrientes dentro das lagoas de estabilização.

Corpo Receptor - caracterização e comparação com os padrões para rios Classe 2

A Tabela 4 apresenta os dados de monitoramento da qualidade da água no corpo receptor.

Tabela 4 - Resultado estatístico dos parâmetros físico-químicos e biológicos do Corpo Receptor.

Parâmetros	Corpo Receptor				
	DP	Média	Máximo	Mínimo	Mediana
T (°C)	0,29	25,30	25,60	25,00	25,50
Cor (uC)	21,42	65,56	116,00	50,00	58,00
Turbidez (NTU)	2,55	3,14	9,00	1,10	3,00
pH	0,16	7,47	7,59	7,23	7,55
DQO (mg.L ⁻¹)	41,79	93,70	158,35	37,45	82,79
DBO (mg.L ⁻¹)	62,50	67,30	139,20	12,00	59,00
N-NTK (mg.L ⁻¹)	9,53	29,00	34,50	18,00	34,50
N-Amoniacal (mg.L ⁻¹)	0,49	3,57	3,85	3,00	3,85
P-Total (mg.L ⁻¹)	0,41	1,84	2,31	1,60	1,60
Coli-Total (NMP.100 mL ⁻¹)	$1,46 \times 10^5$	$1,61 \times 10^5$	$3,00 \times 10^5$	$3,00 \times 10^1$	$2,00 \times 10^5$
E. coli (NMP.100 mL ⁻¹)	$7,60 \times 10^4$	$4,09 \times 10^4$	$1,00 \times 10^5$	$6,00 \times 10^0$	$6,00 \times 10^4$

No riacho Salgado, a temperatura média foi de 25,30 °C, dentro do limite permitido pela CONAMA 357/2005. A cor aparente apresentou valores que oscilaram entre 50 e 116 uC. Isso pode indicar influência de matéria orgânica dissolvida (Bender *et al.*, 2019). Já a turbidez apresentou valor médio baixo de $3,14 \pm 2,55$ UNT, refletindo a presença de poucos sólidos suspensos na água. No que tange ao enquadramento legal, a turbidez atende ao padrão de 100 NTU entretanto, os valores de cor aparente foram acima do limite máximo de 75 uC, citado pela CONAMA 357/2005.

Os valores de pH apresentaram pouca variabilidade, mantendo-se próximos à neutralidade, com valor de $7,47 \pm 0,16$ não apresentando características de acidificação ou basicidade relevantes. Os valores atendem aos padrões da CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2, que estabelece uma faixa de variação permitida entre 6,0 e 9,0.

Quanto a presença de matéria orgânica, os valores de DQO obtidos foram de $93,7 \pm 41,8$ mg.L⁻¹, enquanto o de DBO foi de $67,3 \pm 62,5$, indicando não apenas influência de descargas pontuais de águas residuárias no corpo receptor, mas possivelmente contribuição adicional de outras fontes difusas, como o escoamento superficial urbano. Esses resultados não atendem aos padrões da CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2, que limita a DBO a um máximo de 5 mg.L⁻¹. Além disso, as concentrações obtidas e a razão DBO/DQO de 0,66, esses valores são semelhantes aos observados para esgoto doméstico bruto de concentração média a baixa.

Para NTK observou-se valores de $29,0 \pm 9,5$ mg.L⁻¹, bastante elevados para um corpo receptor, reforçando a contribuição de fontes poluidoras difusas. A concentração de N-amoniaco foi de $3,6 \pm 0,5$ mg.L⁻¹, atendendo ao CONAMA 357/2011. O fósforo total apresentou valores altos de $1,8 \pm 0,4$ mg.L⁻¹, que não atende ao padrão de Classe 2, que limita este nutriente a 0,1 mg.L⁻¹. As concentrações de fósforo, aponta para o potencial de ocorrência de eutrofização do corpo receptor.

Os parâmetros microbiológicos apresentaram coliformes totais de $1,6 \times 10^5 \pm 1,5 \times 10^5$ NMP.100 mL⁻¹, enquanto *E. Coli* apresentou valores de $4,1 \times 10^4 \pm 7,6 \times 10^4$ NMP.100 mL⁻¹. Os resultados não atendem aos critérios de balneabilidade da CONAMA 274/2000, de *E. coli* de 200 NMP.100 mL⁻¹.

O corpo de água receptor não atende aos limites de classe 2 para água doce e se assemelha a um esgoto sanitário de baixa concentração, visto que recebe contribuições difusas de vários efluentes.

CONCLUSÕES

Durante a operação da lagoa facultativa, ocorreu um processo de eutrofização comprometendo o processo de remoção cor e turbidez. Porém apresentou remoção moderada para DQO em torno de 58,6%. Embora a CONAMA 430/2011 tenha como referência a DBO_{5,20} com valor máximo de 120 mg.L⁻¹, e eficiência de remoção mínima de 60%, tomando como referência a DQO foi possível observar que a SbN por lagoa facultativa, operando nesta condição, atingiu eficiência média próxima

ao valor mínimo permitido pela legislação para remoção de matéria orgânica. Em termos de nutrientes, a eficiência de remoção foi de 46,9% de P-Total e 49,7% de Nitrogênio, com valor remanescente de N-amoniaco dentro dos parâmetros permitidos pela CONAMA 430/2011, com valor de $2,20 \pm 0,17 \text{ mg.L}^{-1}$.

REFERÊNCIAS

- ANA (2017). Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 88 p.ISBN: 978 85-8210-050-9.
- APHA (American Public Health Association) (2017) American Water Works Association and Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. Washington DC: Apha.
- BENDER, A. F. (2019). Advanced treatment technologies for the removal of color and phenol from the effluent of paper industry wastewater. p. 571–582.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Resolução Nº 274, DE 28-12-2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 53, Seção 1, p. 58-63, 18 março 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 92, Seção 1, p. 89, 16 maio 2011.
- BERTOLINO, S. M. (2008). Caracterização e biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitário.
- FRAGA, R. G. F.; SAAGO, D. A. V. (2020), Soluções baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito. In: Parcerias Estratégicas. Brasília-DF. v. 2, n. 50, p. 67-82 • jan-jun • 2020. Disponível em: [cgee_rpe_50-libre.pdf](#)
- JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A. (2017). Tratamento de esgotos domésticos. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES.
- LIMA, F. G.; SÁ, M. B.; SILVA, J. C., SILVA, C. B.; SANTOS, D. P.; SANTOS, M. A. L. (2017). Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Maceió/AL. IV INOVAGRI International Meeting, 2017.
- METCALF & EDDY (2016). Tratamento de efluentes e recuperação de recursos Tradução: Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH.
- MAHAPATRA, S.; SAMAL, K.; DASH, R. R. (2022). Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 308, n. February, p. 114668.
- SANTOS, V. B. dos; PAULO, P. L.; CAVALHERIA, P. S.; LIMAC, P. de M.; MAGALHAES FILHO, F. J. C. (2021). Avaliação quantitativa de risco microbiológico à saúde humana associado ao reúso de esgoto doméstico tratado por soluções baseadas na natureza. Gesta, v. 9, n. 2, p. 105 - 110, ISSN: 2317-563X. Disponível em: [25058-libre.pdf](#).