REVISTA
DO INSTITUTO DE LATICÍNIOS CÂNDIDO TOSTES
v. 79, n. 2, abr-jun 2024

EPAMIG
Pesquisa Agropecuária

Artigo DOI: 10.67619/2238-6416.v79i2.982

SISTEMA ALAGADO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL DE QUEIJARIA ARTESANAL: REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA

Constructed wetland system for the treatment of wastewater from artisanal cheese production: organic load removal.

Claudety Barbosa Saraiva[1], Clarice Coimbra Pinto[2], Liz Marques Souza Duque[2], Mariana Campos Lima[2]

RESUMO

O estudo teve como objetivo avaliar o uso de Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial (SACs-EHSS) no tratamento da água residuária gerada em queijaria artesanal e nas operações de higienização da ordenha, com a análise de suas respectivas eficiências na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Para isso, foram adquiridos dois tanques de polipropileno com 8 mm de espessura, com 5,5 m de comprimento, 2,5 m de largura e 0,60 m de altura. O dimensionamento dos tanques foi realizado a partir do método WC-Reed. Um dos tanques foi vegetado com espécie *Zantedeschia aethiopica*, popularmente conhecida como Copo-de-leite (SAC-CCL), enquanto o outro permaneceu sem vegetação (SAC-SCL). Ambos os sistemas, SAC-CCL e SAC-SCL, apresentaram resultados satisfatórios em relação à remoção da $DBO_{5,20}$ e DQO, embora não tenham atingido os limites estabelecidos pela legislação para o lançamento de efluentes em corpos d'água (Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022). Com maior tempo de operação e monitoramento, é possível melhorar a remoção de matéria orgânica e atender os limites da legislação. Conclui-se que os sistemas alagados construídos podem ser uma opção para o tratamento de águas residuárias de queijarias artesanais, oferecendo uma solução eficaz e sustentável.

Palavras-chaves: águas residuárias, remoção, queijos artesanais, impactos ambientais.

1 EPAMIG Instituto de Laticínios Cândido Tostes. Rua Tenente Luiz de Freitas, 116, Santa Terezinha, 36045-560, Juiz de Fora, MG, Brasil. E-mail: claudety@epamig.br
2 Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

*Autor para correspondência

Recebido / Received: 22/02/2024
Aprovado / Approved: 29/04/2024

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the use of Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands (HSSF-CWs) for the treatment of wastewater generated in artisanal cheese production and milking hygiene operations, analyzing their respective efficiencies in removing Biochemical Oxygen Demand ($BOD_{5,20}$) and Chemical Oxygen Demand (COD). For this purpose, two polypropylene tanks with 8 mm thickness, 5.5 m length, 2.5 m width, and 0.60 m height were acquired. The sizing of the tanks was carried out using the WC-Reed method. One of the tanks was vegetated with the species *Zantedeschia aethiopica*, commonly known as calla lily (SAC-CCL), while the other remained without vegetation (SAC-SCL). Both systems, SAC-CCL and SAC-SCL, showed satisfactory results regarding $BOD_{5,20}$ and COD removal, although they did not meet the limits established by legislation for effluent discharge into water bodies (Joint Normative Deliberation COPAM/CERH-MG No. 08/2022). With longer operation and monitoring time, it is possible to improve organic matter removal and meet the limits established by legislation. It is concluded that constructed wetland systems can be an option for the treatment of wastewater from artisanal cheese production, offering an effective and sustainable solution.

Keywords: effluent, removal, artisanal cheeses, environmental impacts.

INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios desempenha um papel importante no fornecimento de alimentos e na economia, com o Brasil destacando-se como um dos maiores produtores globais e, o estado de Minas Gerais, como líder nacional nesse setor. Contudo, esse cenário de produção intensiva traz consigo desafios ambientais, especialmente relacionados à geração de efluentes.

Conforme evidenciado por Carvalho; Prazeres; Rivas (2013), a produção e higienização nas indústrias de laticínios demandam quantidades significativas de água, resultando na geração de águas residuárias com elevadas cargas orgânicas (MENDONÇA *et al*., 2015). Esse cenário não se restringe apenas às grandes indústrias, as queijarias artesanais e pequenas indústrias também contribuem para a poluição hídrica devido aos processos de higienização semelhantes, gerando também águas residuárias com potencial poluidor.

O descarte de efluentes em corpos d'água está sujeito a regulamentações rigorosas, como a Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011), e leis estaduais específicas, como a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 08/2022 em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2022). No entanto, a implementação de tratamentos que sejam eficientes muitas vezes é limitada por desafios financeiros e operacionais.

Diante desse cenário, os Sistemas Alagados Construídos (SACs), conhecidos como *wetlands* construídos ou jardins filtrantes, surgem como uma alternativa para o tratamento de efluentes da produção de queijos artesanais e pequenas indústrias. Essa tecnologia oferece simplicidade, facilidade de operação, baixo custo e benefícios adicionais, como a produção de biomassa verde e a melhoria do aspecto paisagístico (SEZERINO *et al*., 2018; KIFLAY *et al.,* 2021). Embora os custos de instalação e manutenção possam variar, estudos como os de Kadlec; Wallace (2009) apontam para uma eficiência comparativa favorável em relação aos sistemas convencionais.

Ainda pouco difundida no Brasil, mas, já consagrada internacionalmente como solução de saneamento sustentável, as *wetlands* construídos, são tecnologias de tratamento de efluente bastante promissoras para tratamento de efluentes das indústrias de laticínios. De acordo com Dotro *et al.* (2017) são mecanismos compostos por lagoas/tanques ou canais artificiais rasos que possuem um leito filtrante e abrigam plantas que promovem a atenuação de diversos tipos de contaminantes que possam estar contidos no efluente.

No trabalho realizado por Vieira *et al*. (2019), um protótipo de SACs foi utilizado para fins

experimentais no tratamento de efluente de laticínios e apresentou remoção de 89% de DQO e 92% de sólidos dissolvidos, apresentando desempenho compatível com padrões legais.

Assim, o estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de SACs-EHSS no tratamento da água residuária gerada em queijaria artesanal, com a análise de suas respectivas eficiências na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio ($DBO_{5,20}$ e DQO).

MATERIAL E MÉTODOS

Montagem do experimento

O experimento, em escala piloto, foi conduzido em uma queijaria artesanal na zona rural de Tiradentes, Minas Gerais. Para o dimensionamento dos sistemas alagados de escoamento horizontal subsuperficial (SAC-EHSS), foi realizada a caracterização da água residuária e quantificada a vazão de efluente. Foram construídos dois tanques em polipropileno, com chapa de 8 mm de espessura, posicionados sob o solo, com as seguintes dimensões: 5,5 m de comprimento, 2,5 m de largura e 0,60 m de altura e preenchidos com brita número 1 até 0,50 metros de altura. O dimensionamento dos tanques foi realizado a partir do método *WC-Reed*.

A distribuição do afluente se deu no ponto central, na entrada de cada tanque, sendo controlada por registros para monitorar a vazão. O sistema de drenagem dos SAC-EHSS foi composto por tubos de Policloreto de Vinila (PVC) perfurados, com 50 mm de diâmetro, instalados no fundo da saída. O controle do nível de efluente foi realizado ajustando a altura do tubo conectado ao sistema de drenagem, mantendo o nível nos SAC-EHSS de 0,45 m.

Um dos tanques foi vegetado com a espécie *Zantedeschia aethiopica*, popularmente conhecida como Copo-de-leite (SAC-CCL), enquanto o outro permaneceu sem vegetação (SAC-SCL), com o propósito de comparar a eficiência do sistema em ambas as condições. As Figuras 1, 2, 3 e 4 ilustram a montagem das unidades experimentais em campo.

Figura 1 - Nivelamento do terreno para assentamento das caixas.



Fonte: Dos autores, 2024

Figura 2 - Tanque de armazenamento e registros para alimentar os SACs.



Fonte: Dos autores, 2024

Figura 3 - Tubo de PVC perfurado no fundo para drenagem da água residuária.



Fonte: Dos autores, 2024

Figura 4 - Plantio das mudas.



Fonte: Dos autores, 2024

A água residuária utilizada no experimento, aqui denominada ARQO, é proveniente da queijaria artesanal e da higienização do local de ordenha. De acordo com a proprietária, todos os produtos químicos utilizados na higienização desses locais são biodegradáveis. É relevante ressaltar que todo o soro gerado na queijaria é destinado à alimentação animal.

A ARQO passava por um tratamento preliminar, uma caixa de gordura de 80 litros e, depois, para uma caixa de polipropileno com capacidade para 5.000 litros, que por sua vez alimentava os SACs (Figura 5).

Figura 5 - Sistema Alagado Construído de fluxo horizontal.



Fonte: Dos autores, 2024.

Para cálculo do Tempo de Detenção Hidráulico teórico (TDH), adotou-se o valor de espaços vazios da brita número 1 de 50%, conforme estudos de Pitaluga *et al*. (2011), resultando em um TDH de 3 dias.

Monitoramento dos SACs-EHSS

Para avaliar a eficácia dos tratamentos na remoção de poluentes, foram realizadas coletas de amostras de afluente e efluente a cada 15 dias, durante os meses de junho, julho e agosto de 2023 (nos dias 15, 30, 45, 60 e 75). O procedimento de coleta, preservação das amostras e análises foi realizado com base nas recomendações e métodos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), conforme Tabela 1.

As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro de 500 mL, mantidas refrigeradas em caixas térmicas com gelo e, posteriormente, submetidas às análises laboratoriais realizadas no Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG ILCT).

Para avaliar a eficiência do sistema de tratamentos, foram analisados os parâmetros de $DBO_{5,20}$ e DQO e, a eficiência na remoção, foi calculada utilizando a Equação 1

$$EP = \frac{(CAf)-(CEf)}{CAf} \qquad \text{Eq. (1)}$$

em que:
EF= eficiência na remoção do poluente (%);
CAf= concentração de entrada (unidade variável);
CEf= concentração efluente (unidade variável).

Os dados foram analisados estatisticamente com o software SISVAR versão 5.3, por meio de análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adaptação das plantas

O plantio das mudas de *Zantedeschia aethiopica*, comumente conhecida como Copo-de-leite, foi realizado em maio de 2023. Após um período de 45 dias, destinado à estabilização e adaptação da espécie vegetal ao sistema, foi feita a primeira coleta da água residuária.

Tabela 1 - Variáveis avaliadas e os respectivos métodos.

Variável	Métodos
Demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$).	Obtido por determinação do oxigênio dissolvido pelo método iodométrico (processo *Winkler*).
Demanda química de oxigênio (DQO).	Obtido pelo método de oxigenação química em refluxo aberto

Fonte: Dos autores, 2024.

Durante os primeiros dias após o plantio, foram observados sinais de ressecamento e amarelamento em algumas mudas, especialmente aquelas posicionadas na parte inicial do sistema, enquanto as mudas mais próximas à saída apresentaram adaptação mais rápida. De acordo com Mendonça (2011), o amarelamento vegetativo pode estar associado a um estresse hídrico pelo uso de soda cáustica e outros produtos saneantes pelo processo de lavagem dos equipamentos na indústria de laticínios. Além disso, uma maior carga orgânica na parte inicial do sistema pode intensificar o estresse das plantas, principalmente durante os estágios iniciais de adaptação.

Para assegurar o funcionamento adequado dos sistemas, foram realizadas limpezas periódicas, incluindo a remoção de pragas, a fim de evitar contaminação. Apesar das variações observadas no estágio inicial, de modo geral, as plantas apresentaram um bom desenvolvimento ao longo deste período. Os registros fotográficos do período de estabilização do SAC estão apresentados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Desenvolvimento das mudas ao longo do período experimental.



Fonte: Dos autores, 2024.

Figura 7 - Planta (Copo-de-leite) adaptada.



Fonte: Dos autores.

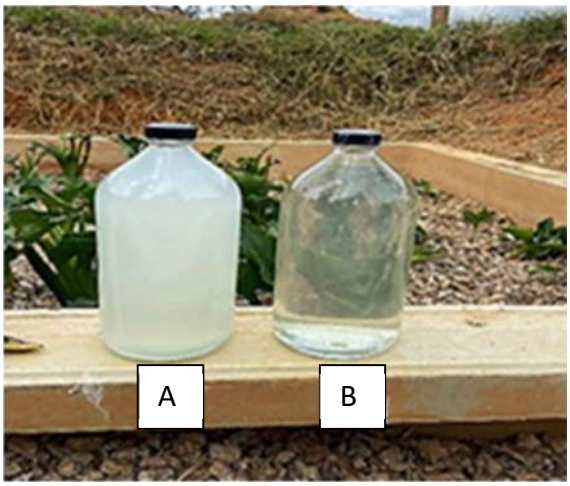
Remoção de poluentes: Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os SACs foram expostos, cada um deles, a uma taxa de carga orgânica superficial média de 33 g $DBO_{5,20}$, $m^2 dia^{-1}$. De acordo com Caselles-Osorio *et al*. (2007), a carga orgânica superficial aplicada é o fator mais importante para a colmatação do meio poroso de SACs, devendo-se observar os valores para não ocorrer risco de aceleração da sua obstrução. A USEPA (2000), por exemplo, sugere uma faixa de 6,0 a 13,3 g $m^{-2}d^{-1}$ de $DBO_{5,20}$, para ter efetivo tratamento de esgotos domésticos. Em países de clima quente, no tratamento de outras águas residuárias, como as agroindustriais, utilizam-se valores recomendados menos conservadores, de até 50 g $m^{-2}d^{-1}$ de $DBO_{5,20}$ (MATOS; MATOS, 2017). No estudo de Mendonça *et al*. (2022), o SAC foi utilizado como pós-tratamento de uma lagoa facultativa aerada que recebia o efluente de uma indústria de laticínios, o sistema operou com uma taxa de carga orgânica variando

de 0,02 kg $DBO_{5,20}$ m^{-2} a 0,41 kg DQO $m^{-2}dia^{-1}$. Os autores constataram que não houve perda de eficiência do sistema.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentados registros no momento da coleta de afluente e efluente. Observa-se uma notável diferença visual, onde o efluente, após passar pelo tratamento, exibe um aspecto visivelmente mais claro. Esse resultado visual sugere uma melhoria da qualidade da água residuária.

Figura 8 – Afluente de entrada (A) e água residuária de saída (B).



Fonte: Dos autores.

Figura 9 – Afluente de entrada.



Fonte: Dos autores.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios, desvio padrão da média e coeficiente de variação (%) da concentração de $DBO_{5,20}$ e DQO do afluente, efluente e da eficiência de remoção desta variável.

Após análise estatística dos dados, não houve diferença entre as médias dos tratamentos, ao nível de significância de 5%, para a eficiência de remoção de $DBO_{5,20}$ e DQO, ou seja, o SAC-CCL (com vegetação) e SAC-SCL (sem vegetação) não influenciaram na eficiência na remoção de $DBO_{5,20}$ e DQO. O mesmo comportamento estatístico foi verificado por Mendonça *et al*. (2015) e Matos *et al*. (2012) ao tratar água residuária da indústria de laticínios (ARL) em SACs, indicando que as vegetações cultivadas não influenciam na remoção destes parâmetros.

A $DBO_{5,20}$ e DQO são análises importantes para estimar a quantidade de oxigênio que é consumido na decomposição de poluentes orgânicos presente nas águas residuárias. Os SACs são considerados eficientes na remoção de uma variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos por meio de mecanismos como degradação microbiana, absorção de plantas, oxidação química, adsorção, filtração, precipitação biológica, volatilização e bioestabilização (LU *et al*., 2020 ; VYMAZAL *et al*., 2020). Além disso, relação DBO/DQO expressa a biodegrabilidade do efluente, o que pode interferir diretamente na escolha do tipo de tratamento adotado. O coeficiente DBO/DQO da ARTL foi de 0,5. Segundo Machado *et al*. (2002), os efluentes líquidos brutos de laticínios apresentam valores de DBO/DQO na faixa de 0,5 a 0,7. Quanto maior for esse valor, maior será a fração biodegradável dos efluentes e mais indicado é o seu tratamento por processos biológicos.

A concentração média de $DBO_{5,20}$ no afluente foi de 409 $mg.L^{-1}$ e, enquanto no efluente, de 129 $mg.L^{-1}$ (SAC-CCL) e 127 $mg.L^{-1}$ (SAC-SCL). As eficiências médias na remoção foram 68 % (SAC-CCL) e 69% (SAC-SCL). Lemes *et al*. (2008), estabeleceram uma comparação entre diversos sistemas de tratamento de águas residuárias, quanto à eficiência na remoção de matéria orgânica, conferindo ao SAC uma faixa de remoção entre 77 e 98%. Em estudo realizado por Almeida *et al*. (2020) foi verificada uma remoção média de 83% de $DBO_{5,20}$ ao utilizar SAC com consórcio de duas espécies vegetais, *Hedychium coronarium* (Lírio-do-brejo) e *Typha domingensis* (Taboa), eficiências superiores às encontradas neste trabalho.

Tabela 2 – Valores médios, desvio padrão da média e coeficiente de variação (CV) da concentração de $DBO_{5,20}$ do afluente e efluente e da eficiência na remoção nos SAC -CCL e SAC-SCL*.

TRATAMENTO	PARÂMETRO (mg.L^{-1})		EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO (%)
	$DBO_{5,20}$ (afluente)	$DBO_{5,20}$ (efluente)	
SAC-CCL	409±64	129±42	68[a]
SAC-SCL	409±64	127±57	69[a]
CV (%)			25,61
	DQO (afluente)	DQO (efluente)	
SAC-CCL	831±92	231±92	72[a]
SAC-SCL	831±92	264±112	68[a]
CV (%)			29,76

Fonte: Dos autores, 2024.

* SAC-CCL (sistema alagado construído de fluxo subsuperficial vegetado com Copo-de-leite); SAC-SCL (sistema alagado construído de fluxo subsuperficial sem Copo-de-leite). [a,] médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Tuckey* ao nível de significância de 5 %.

A concentração média de DQO no afluente foi de 831 mg.L^{-1} e, enquanto nos efluentes, de 231 mg.L^{-1} (SAC-CCL) e 264,4 mg.L^{-1} (SAC-SCL). As eficiências médias na remoção de DQO foram 72% no SAC-CCL e 68% no SAC-SCL. As eficiências médias encontradas nesta pesquisa são similares ao encontrado por Quege *et al*. (2013), que obteve uma média percentual de remoção de 72,7%. Em sistema *Wetland* construído plantado com *Zantedeschia aethiopica*, Silveira; Arsego (2014) analisaram água residuária doméstica e encontraram eficiência média de 63,3% na remoção de DQO. Lu *et al*. (2021) em seu trabalho obteve a remoção de DQO de 53-91,5%, utilizando o cascalho como substrato do meio suporte. Em outro estudo Konrad *et al*., (2015) obtiveram remoção média semelhante para DQO de 78%, semelhante aos valores encontrados neste estudo.

De acordo com o Art. 32 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para o lançamento direto ou indireto de efluentes em corpos hídricos, a concentração de DQO deve ser de até 180 mg L^{-1} ou o tratamento deve atingir eficiência de redução em no mínimo 80% e, para a DBO5,20, de 60 mg.L^{-1} e eficiência de redução de DBO5,20 de no mínimo 85%. Assim, as águas residuárias dos SAC-CCL e SAC-SCL não atenderam os critérios de legislação, não podendo ser lançados em corpos receptores. Porém, é importante ressaltar que houve uma redução na concentração de DBO5,20 e DQO em ambos os tratamentos, embora não tenha atendido aos padrões de lançamento.

CONCLUSÃO

Ambos os sistemas, SAC-CCL e SAC-SCL, demonstraram resultados satisfatórios em relação à remoção da $DBO_{5,20}$ e DQO, embora não tenham atingido os limites estabelecidos pela legislação para o lançamento de efluentes em corpos d'água.

Com um tempo de operação e monitoramento mais longo, é possível melhorar a remoção de matéria orgânica, o que poderia garantir a conformidade com os padrões legais.

Esses resultados indicam que os sistemas alagados construídos podem ser uma opção para o tratamento de águas residuárias de queijarias artesanais, oferecendo uma solução eficaz e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pelas bolsas e pelo fomento à pesquisa (APQ-04000-17) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG ILCT).

REFERÊNCIAS

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2012. 1496 p.

ALMEIDA, N. C. S. *et al*. Sistemas alagados construídos: tratamento de baixo custo para esgoto sanitário em áreas rurais. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5678.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 16 mai. 2011.

CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. Cheesewhey wastewater: Characterization and treatment. **Science of the Total Environment**, v. 445-446, p. 385-396, 2013. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.12.038.

CASELLES-OSORIO, A. *et al*. Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. **Water Research**, v. 41, n. 6, p. 1388-1398, 2007. DOI:10.1016/j.watres.2006.12.019.

DOTRO, G. *et al*. **Biological Wastewater Treatment Series.** Treatment Wetlands. Chennai: IWA Publishing, v. 7, 2017.

KADLEC, R. H.; WALLACE, R. D. **Treatment Wetlands**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

KIFLAY, E.; SELEMANI, J.; NJAU, K. Integrated constructed wetlands treating industrial wastewater from seed production. **Water Practice & Technology**, v. 16, n. 2, p. 504-515, 2021.

KONRAD, O. *et* al. Avaliação da eficiência de *wetland* construído para tratamento de efluente proveniente de vinícola. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, n. 7, p. 10-17, 2015.

LEMES, J. L. V. B. *et al*. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 169-179, 2008.

LU, J. *et al*. Recent advances in the enhanced nitrogen removal by oxygen-increasing technology in constructed wetlands. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 205, 2020.

LU, J. *et al.* Enhanced removal of pollutants in constructed wetlands: a review of recent advances. **Science of the Total Environment**, v. 780, p. 146543, 2021.

MACHADO, R. M. G. *et al.* **Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios**. Projeto Minas Ambiente, 224 p. 2002.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da indústria de laticínios. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 6, p. 1144-1155, 2012.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 371 p.

MENDONÇA, H. V. **Avaliação da eficiência de sistemas alagados construídos em operação por bateladas no tratamento de efluentes da indústria de laticínios**. Orientador: Celso Bandeira de Melo Ribeiro. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em ecologia aplicada ao manejo e conservação de ecossistemas) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

MENDONÇA, H. V. *et al*. Pós-tratamento de uma lagoa facultativa aerada com *wetland* construído: primeiros dois anos de operação em uma indústria de laticínios. **Engenharia Ecológica**, v. 179, n. 106623, 2022.

MENDONÇA, H. V. M. et al. Sistemas alagados construídos em bateladas: remoção de demanda bioquímica de oxigênio e regulação do pH no tratamento de efluentes de laticínios. **Revista Ambiente e Água,** v. 10, n. 2, p. 442-453, 2015.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 08, de 21 de novembro de 2022. 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 do Executivo**: Belo Horizonte, MG, p. 8, 02 dez. 2022.

PITALUGA, P. S. D. *et al*. Tratamento de esgoto de uma unidade de ensino superior por meio de um sistema de zona de raízes. **Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 6, p. 82-96, 2011.

QUEGE, K. E.; ALMEIDA, R. A.; UCKER, F. E. Utilização de plantas de bambu no tratamento de esgoto sanitário pelo sistema de alagados construídos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2069-2080, 2013.

SEZERINO, P. H. *et al*. **Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. 1. ed. Florianópolis: Copiart, 2018. 56 p.

SILVEIRA, D. F.; ARSEGO, N. R. **Avaliação da eficiência do tratamento de esgoto por estação de zonas de raízes**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 2000. (EPA/625/R-99/010).

VIEIRA, S. P. *et al*. Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios por meio de wetland construído. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 13, p. 309-316, 2019.

VYMAZAL, J. *et al*. Constructed wetlands with subsurface flow for nitrogen removal from tile drainage. **Ecological Engineering, The Journal of Ecosystem Restoration**, v. 155, n. 105943, 2020.