

**DESEMPENHO DE CLARIFICAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO
DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE CAMPUS UNIVERSITÁRIO****Gustavo Stolzenberg Colares** – gustavoscolares@gmail.comUniversidade Federal do Rio Grande do Sul - IPH
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bairro Agronomia,
91501-970, Porto Alegre – RS**Érika Sander Rambor da Silva** - erikasander398@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH

Gracielle Dias Aguirre - gracielle.aguirre@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH

Maria Clara Segaspini Golombieski - mariasgolombieski@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH

Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues - luciarrodrigues@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de clarificação de um sistema de Wetlands Construídos Híbridos (Fluxo Vertical + Horizontal subsuperficial) no tratamento de efluentes brutos gerados em um prédio dentro de um campus universitário na região sul do Brasil. Os tanques foram construídos em alvenaria com revestimento interno com geomembranas, preenchidos com brita e vegetados com *Canna sp.* O sistema foi operado com alimentação intermitente – 4 pulsos diários de 125 litros cada. Além disto, durante 3,5 dias da semana o sistema era alimentado com efluentes e nos dias seguintes permanecia sem alimentação (descanso). As coletas de amostras ocorreram duas vezes por estação ($n = 6$), com amostragem composta e em triplicata. Os parâmetros analisados foram: turbidez, cor aparente, sólidos suspensos, condutividade elétrica e pH. De forma geral, o sistema foi eficiente na redução destes parâmetros, com reduções médias de 92,6% para sólidos suspensos, 77,1% para turbidez, 69,4% para cor aparente e 40,2% para condutividade elétrica. Observou-se uma leve acidificação do pH das amostras, passando de 8,2 para 7,4. Dessa forma, os parâmetros analisados atendem a legislação ambiental vigente no estado do Rio Grande do Sul (CONSEMA 355/2017).

Realização



Apoio Institucional

REBOB
Rede Brasileira de
Resíduos e Resíduos Orgânicos

Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



13º Simpósio
Internacional de
Qualidade Ambiental

Tecnologias Ambientais e Inovação

23, 24 e 25 de setembro de 2026

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza. Fitorremediação. Saneamento. Esgotos sanitários. Macrófitas. Alagados construídos.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



REBOB
Rede Brasileira
de Biotecnologia



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

CLARIFICATION PERFORMANCE OF A HYBRID CONSTRUCTED WETLANDS SYSTEM FOR WASTEWATER TREATMENT FROM A UNIVERSITY CAMPUS

Abstract: This study aims to evaluate the clarification efficiency of a hybrid constructed wetland system (vertical flow + subsurface horizontal flow) for treating raw wastewater generated in a building on a university campus in southern Brazil. The tanks were constructed of masonry lined with geomembranes, filled with crushed stone, and planted with *Canna sp.* The system operated with intermittent feeding—four daily pulses of 125 liters each. Furthermore, the system was fed with wastewater for 3.5 days a week, followed by a period without feeding (3.5 days for a rest phase). Samples were collected twice per season ($n = 6$) using composite sampling and analyzed in triplicate. The parameters monitored were turbidity, apparent color, suspended solids, electrical conductivity, and pH. Overall, the system was efficient in reducing these parameters, achieving average reductions of 92.6% for suspended solids, 77.1% for turbidity, 69.4% for apparent color, and 40.2% for electrical conductivity. A slight acidification of the pH was observed, shifting from 8.2 to 7.4. Therefore, the analyzed parameters comply with the environmental regulations currently in force in the state of Rio Grande do Sul (CONSEMA 355/2017).

Keywords: Nature based solutions. Phytoremediation. Sanitation. Sewage. Macrophytes.

1. INTRODUÇÃO

No último século, diversas cidades do mundo têm enfrentado desafios e dificuldades relacionados à degradação e escassez de recursos naturais, crescimento populacional e as mudanças climáticas. Dessa forma, torna-se cada vez mais necessária a conversão destes centros urbanos em sistemas com maior sustentabilidade, mantendo os recursos usados e reutilizados dentro da própria cidade, e aproximando-se do conceito de economia circular. Nesse sentido, as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) têm o potencial de alcançar estes objetivos, além de promover diversos outros benefícios adicionais (ATANASOVA et al., 2021).

Wetlands construídos (WC) são SBN projetadas para utilizar processos naturais na transformação e remoção de poluentes, entretanto em um ambiente mais controlado do que em sistemas naturais. As macrófitas aquáticas desempenham um importante papel nestes sistemas, seja pela absorção direta de nutrientes, ou de forma indireta, através da disponibilização de oxigênio em condições anóxicas, superfície para o crescimento de biofilmes microbianos, redução do vento, entre outros. Estes sistemas podem ser classificados em WC de fluxo superficial, ou em WC de fluxo subsuperficial, e estes podem ainda ser divididos de acordo com a direção de fluxo, podendo ser vertical ou horizontal (VYMAZAL, 2022). Uma variedade

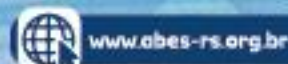
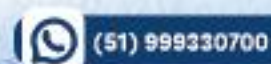
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



de WC capaz de receber e tratar efluentes brutos (apenas tratamento preliminar) são os sistemas do tipo francês, configuração já difundida no continente europeu. O sistema do tipo francês, além da alimentação intermitente, opera alternando períodos de alimentação e descanso das unidades de tratamento, para evitar a colmatação do leito filtrante e aumentar a vida útil do sistema (ARAND et al., 2025).

Nesse contexto, os sistemas WC podem promover simultaneamente a expansão dos serviços de saneamento, através do tratamento de forma eficiente e descentralizada. Não somente, esta tecnologia pode converter estações de tratamento de efluentes (ETEs) em unidades produtoras/recuperadoras de recursos, pois, além de purificar águas residuárias, pode promover a geração de água para reuso, bioinsumos (fertilizantes orgânicos, biogás), serviços ecossistêmicos, integração paisagística, entre outros benefícios (COLARES et al., 2025).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi de avaliar a eficiência de clarificação um sistema híbrido de tratamento composto por um reator anaeróbio (taque séptico) WC de fluxo vertical seguido por um WC de horizontal subsuperficial, aplicado no tratamento de efluentes líquidos gerados em um prédio dentro de campus universitário.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Sistema de tratamento

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de unidades experimentais construídas dentro de um campus universitário no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O sistema de tratamento teve início de operação em períodos diferentes: o WC de fluxo vertical teve partida em outubro de 2024. Já o estágio de tratamento seguinte, teve início da operação nos meses seguintes, após ajustes com vazamento na unidade. Durante o primeiro ano de operação (2025), o sistema foi alimentado com efluente bruto oriundo de um prédio composto por salas de estudo, salas de aula e laboratórios. Os *wetlands* construídos foram implantados construídos em tanques de alvenaria e revestidos internamente com geomembrana para evitar vazamentos.

O primeiro tanque (WCFV) possui dimensões aproximadas de 2,5 x 1,5 m, sendo preenchido com brita n. 0 (pedrisco) na superfície, brita n. 1 na camada intermediária e brita n. 2 na camada de fundo. A alimentação e drenagem do efluentes foram conduzidas por tubulação acima e no fundo do material filtrante, respectivamente. Já a segunda unidade tratamento (WCFH) consistiu em um tanque com dimensões 3,0 x 2,0 m preenchido com brita n. 3 na entrada e saída do tanque e brita n. 2 na zona central do leito filtrante. Diferentemente do primeiro estágio (WCFV), que era insaturado, este segundo tanque permanecia constantemente afogado, i.e., com o leito filtrante preenchido com o efluente em tratamento. Ambos sistemas foram vegetados com macrófitas da espécie *Canna* sp., com flores avermelhadas e consideradas plantas ornamentais. Na Figura 1, são apresentados registros fotográficos das unidades experimentais avaliadas no presente estudo.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

O sistema era alimentado diariamente com 4 pulsos de 1 minuto de duração e de 125 litros cada, totalizando aproximadamente 500 L/dia. A alimentação das unidades experimentais ocorria através de um tanque pulmão de 1000 litros, no qual uma bomba submersa era acionada por um sistema de automação instalado próximo a ETE. Durante este período, o sistema era operado alternando, a cada semana, períodos de alimentação (3,5 dias) e de descanso (3,5 dias), desta forma com a operação semelhante a configuração de WC recebendo efluentes brutos conhecida como sistema francês. Após aproximadamente um ano, foi instalado um reator anaeróbio (tanque séptico) antes do primeiro WC, buscando-se aumentar a vida útil do sistema e avaliar a aplicação de cargas volumétricas superiores. A Figura 2 apresenta um registro fotográfico do tanque pulmão (1000 L) e do tanque séptico instalados junto aos WC.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 1: Sistema de tratamento composto por WCs híbridos. A) WC de fluxo vertical. B) WC de fluxo horizontal subsuperficial.



Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 2: Reator anaeróbico (tanque séptico) e tanque pulmão (para bombeamento).



É importante destacar que apenas uma fração do efluente gerado no bloco universitário era tratado pelas unidades experimentais. O volume que não era bombeado para os tanques, transbordava por um vertedouro do tipo “ladrão” no tanque pulmão e era encaminhado a uma fossa séptica e posteriormente descartado no solo.

2.2. Amostragem e monitoramento analítico

A caracterização analítica dos efluentes em tratamento incluiu a coleta de amostras de efluentes antes do primeiro tanque de WC (efluente bruto), após o WC de fluxo vertical (WCFV) e após o WC de fluxo horizontal subsuperficial (WCFHSS). A coleta de amostras foi realizada duas vezes por estação na forma de amostragem composta, nas quais foram coletados 4 litros de amostra ao longo de 48 horas. O monitoramento das unidades experimentais do presente trabalho ocorreu entre agosto de 2025 e maio de 2026, totalizando 6 campanhas de amostragem. Os parâmetros incluídos no monitoramento analítico visando a avaliação do efluente foram: sólidos suspensos, turbidez e cor

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



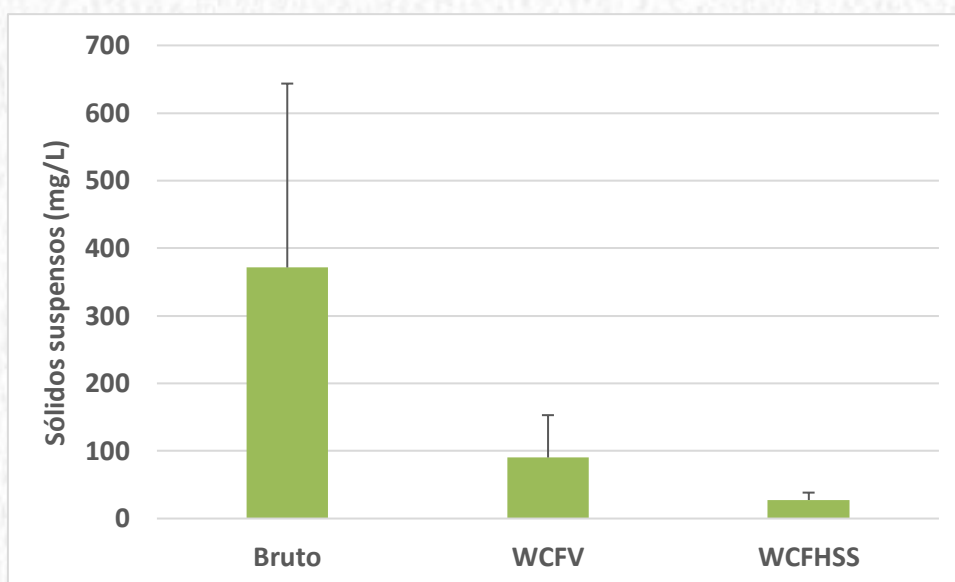
www.abes-rs.org.br

aparente. Além destes, foram monitorados também os parâmetros condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico (pH). Todas as análises de amostras foram realizadas em triplicata.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos em relação ao monitoramento analítico das amostras de efluentes antes do tratamento (Bruto), após o primeiro WC (WCFV) e após o segundo WC (WCFHSS) estão apresentados na Figura 3 (sólidos suspensos), Figura 4 (turbidez), Figura 5 (cor aparente), Figura 6 (condutividade elétrica) e Figura 6 (pH). O monitoramento considerou as coletas de amostras de 6 campanhas (n=6), considerando as estações inverno de 2025, primavera de 2025 e verão de 2026, sendo realizadas duas campanhas por estação do ano.

Figura 3: Concentrações médias de sólidos suspensos ($\pm$ desvio padrão).



De forma geral, o sistema de tratamento foi eficiente na redução de sólidos suspensos dos efluentes em tratamento, alcançando uma eficiência média de remoção de 92,6% considerando os dois WCs integrados. O desempenho superior do WCFV em relação ao WCFH já era esperado, uma vez que este tanque foi preenchido com um material filtrante mais fino (capaz de reter mais os sólidos de suspensão) e receber o uma carga maior de sólidos na entrada da ETE. Entretanto, após aproximadamente um ano de operação, observou-se um acúmulo de sólidos no leito filtrante do primeiro estágio (WCFV), e por este motivou optou-se por incluir um tanque séptico antes das unidades experimentais dos WCs.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



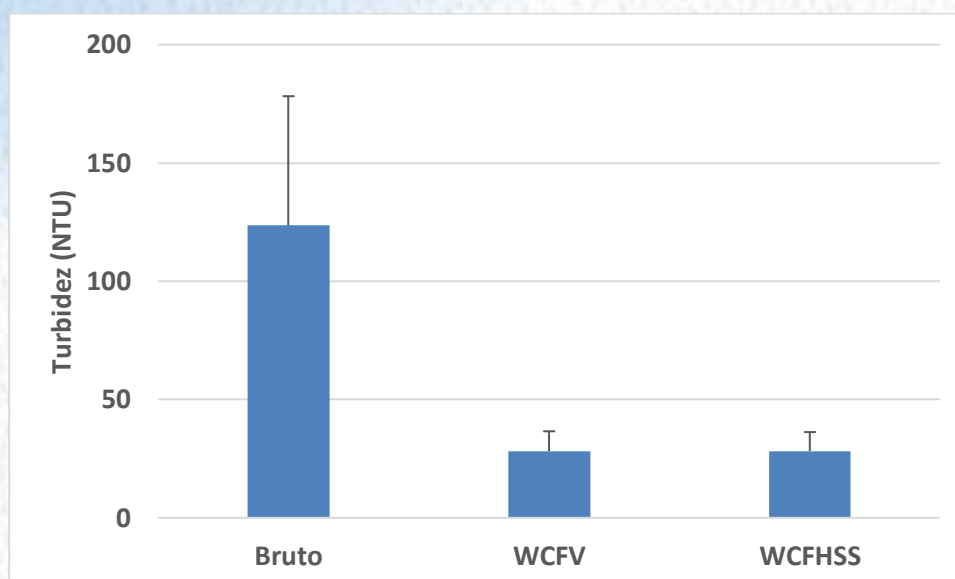
abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Dessa forma, o tratamento empregado pelo sistema monitorado atendeu o padrão de legislação ambiental vigente no estado do Rio Grande do Sul para descarte de efluentes líquidos em águas superficiais (CONSEMA 355/2017), que é de 20 mg/L para sólidos suspensos totais.

Figura 4: Valores médios de turbidez ($\pm$ desvio padrão).



Em relação a redução de turbidez das amostras, o sistema híbrido alcançou uma eficiência média de 77,1% considerando as duas unidades integradas. Novamente, o primeiro estágio (WCFV) foi responsável pela maior redução de turbidez, resultado que deve estar diretamente relacionado a presença de sólidos suspensos nas amostras analisadas (Figura 3). Apesar da legislação ambiental vigente no estado do Rio Grande do Sul para descarte de efluentes líquidos em águas superficiais (CONSEMA 355/2017) não estabelecer limites de turbidez para tratamento, este é um importante parâmetro para indicar o desempenho de tratamento de forma geral de uma ETE, assim como quando o objetivo do tratamento é o reuso não potável da água residuária após o tratamento.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

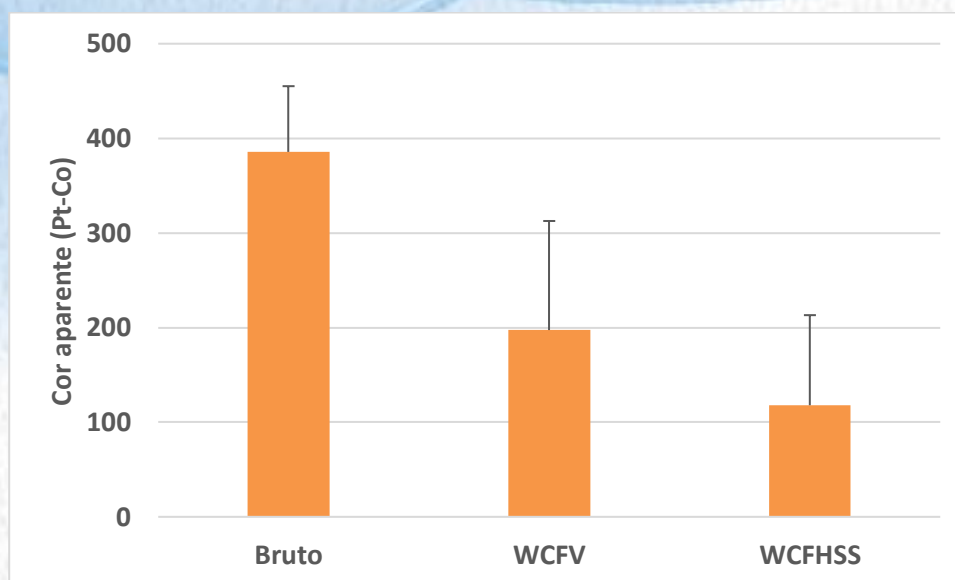


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 5: Valores médios de cor aparente ($\pm$ desvio padrão).



A média de redução do parâmetro Cor aparente foi de 69,4% considerando as duas unidades de tratamento integradas. A Resolução CONSEMA 355/2017 estabelece como critério que o descarte do efluente “não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor”. Não somente, este é um importante parâmetro de monitoramento quando se visa a utilização de efluentes para reuso não potável, uma vez que afetando diretamente o aspecto visual. Segundo Colares et al. (2019), a presença de cor nas amostras pode influenciar diretamente a aceitação do público geral para o reuso de água, por exemplo para descarga de vasos sanitários.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

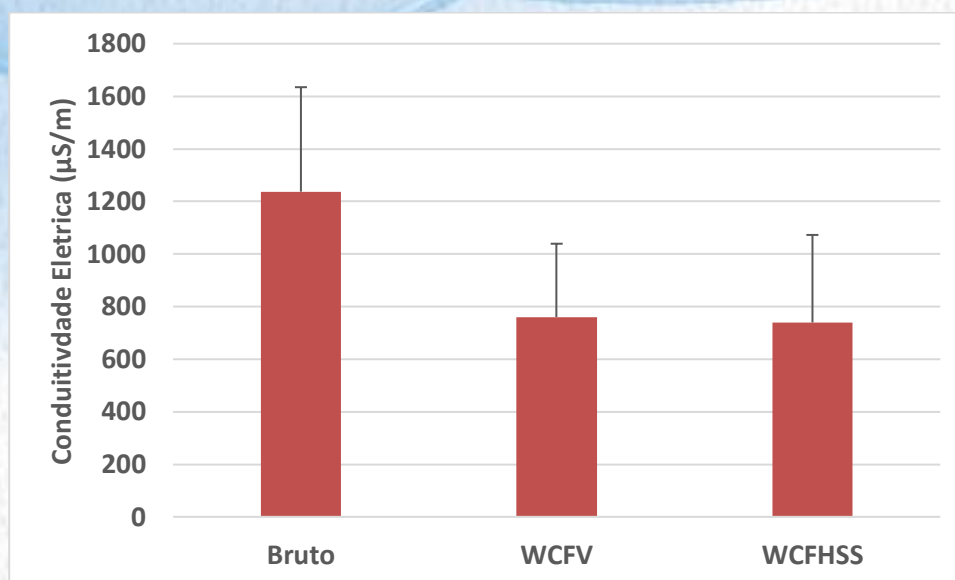


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 6: Valores médios de condutividade elétrica ($\pm$ desvio padrão).



A condutividade elétrica é um parâmetro diretamente ligada à presença de sólidos totais dissolvidos (STD) em amostras de efluentes, sendo, portanto, um popular indicador de desempenho de tratamento. No presente trabalho, a eficiência de redução deste parâmetro pelo sistema de tratamento proposto foi de 40,2%, novamente sendo o primeiro estágio (WC de fluxo vertical) responsável pela redução de condutividade elétrica.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

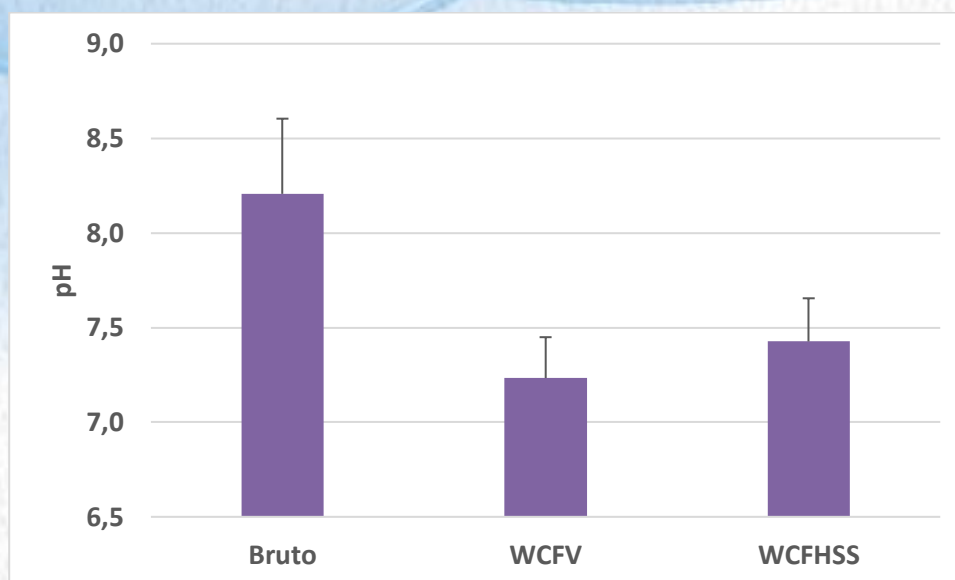


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 7: Valores médios de pH ($\pm$ desvio padrão).



A partir dos dados verificados em relação ao pH das amostras coletadas (Figura 7), pode-se observar uma acidificação do efluente ao longo do tratamento. A Resolução CONSEMA 355/2017 estabelece que o valor de pH do efluente tratado deve encontrar-se entre 6,0 e 9,0. Desta forma, novamente o sistema de tratamento monitorado atendeu a legislação ambiental vigente.

Resultados semelhantes foram verificados por Marchioro et al. (2025), que monitoraram um sistema de WC de fluxo vertical para o tratamento de efluentes brutos em um campus universitário. Os autores também verificaram uma acidificação do efluente durante o tratamento, e eficiências médias de remoção de sólidos suspensos totais superiores a 80% considerando o sistema de fluxo vertical sem a presença zona de saturação (semelhante ao presente trabalho), e superiores a 90% considerando o sistema com a presença de zona de saturação no fundo do tanque.

Colares et al. (2025) avaliaram um sistema multiestágio composto por diferentes Soluções Baseadas na Natureza (Tanque de Microalgas, WC flutuante, WC de fluxo vertical e um WC de fluxo horizontal superficial) em escala piloto para o tratamento de efluentes gerados em um laboratório de análises químicas dentro de um campus universitário. Os autores observaram eficiências de tratamento semelhantes ao presente de trabalho no que tange redução de turbidez (89,3%) cor aparente (68,4%). Colares et al. (2025) destacaram, em seu trabalho, a variação do desempenho de tratamento do sistema de acordo as condições climáticas, tais como o aumento da temperatura e a proliferação de microalgas no sistema estudado.

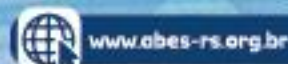
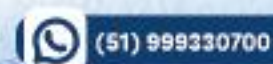
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



2.6. Autorizações/Reconhecimento

Os autores ao enviarem seus trabalhos cedem os direitos autorais à Organização do Simpósio para a publicação. A responsabilidade pelo uso de material de terceiros é exclusiva do autor do trabalho.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram um desempenho eficiente do sistema de tratamento híbrido considerando os parâmetros analisados. Entretanto, deve-se destacar a importância da continuidade do monitoramento do sistema, principalmente considerando a inclusão do tanque séptico antes dos WCs e a influência das condições ambientais (temperatura, precipitação) e o desenvolvimento das macrófitas empregadas. Não somente, é fundamental o monitoramento de parâmetros que avaliem a presença de matéria orgânica carbonácea (como Demanda Bioquímica de oxigênio e Carbono Orgânico Total), bem como do potencial eutrofizante dos efluentes antes e após o tratamento proposto (N e P). Em adição, cabe ressaltar que o presente trabalho faz parte de um projeto maior intitulado *Naturebiopromo* (Biodiversa), um projeto internacional que busca avaliar o desempenho de tratamento de SBNs em relação a parâmetros gerais de qualidade de água, remoção de contaminantes emergentes, bem como aspectos sociais e econômicos destas tecnologias em diferentes países.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Não somente, deve-se agradecer também o suporte do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPQ), Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Instituto de Ciência e Tecnologia em Soluções Baseadas na Natureza (INCT – SbN).

REFERÊNCIAS

ANAND, Shivraj et al. French type vertical flow constructed wetland as a sustainable solution for domestic sewage treatment. **Environmental Management**, v. 75, n. 8, p. 2078-2088, 2025.

ATANASOVA, Nataša et al. Nature-based solutions and circularity in cities. **Circular Economy and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 319-332, 2021.

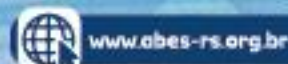
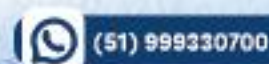
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



COLARES, Gustavo S. et al. Multistage treatment system integrating constructed wetlands and microalgae for wastewater reuse and bioenergy recovery. **Journal of Water Process Engineering**, v. 76, p. 108102, 2025.

COLARES, Gustavo Stolzenberg et al. Combined system for the treatment and reuse of urban wastewater: the efficiency of anaerobic reactors+ hybrid constructed wetlands+ ozonation. **Water Science and Technology**, v. 80, n. 2, p. 254-264, 2019.

CONSEMA. CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - Resolução n. 355/2017. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padrees-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>.

MARCHIORO, L. G. et al. Influence of partial saturation and organic loading on the performance of vertical wetlands for raw wastewater treatment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 22, n. 8, p. 6585-6594, 2025.

VYMAZAL, Jan. The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment. **Land**, v. 11, n. 2, p. 174, 2022.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br