

BIOSSORÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES UTILIZANDO MUSGO NATIVO *SPHAGNUM PERICHAETIALE*: SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS

Júlia Kranz Kniest - julia-kniest@uegrs.edu.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Litoral Norte/RS

Juçara Bordin - jucara-bordin@uegrs.edu.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Litoral Norte/RS

Daiana Maffessoni - daiana-maffessoni@uegrs.edu.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Litoral Norte/RS

Resumo: A presença de contaminantes emergentes (CEs) em ambientes aquáticos são um dos principais desafios ambientais, devido à dificuldade de remoção por métodos convencionais de tratamento, favorecendo sua persistência no meio ambiente. Entre esses contaminantes se destacam os antibióticos moxifloxacino (MOX) e a tetraciclina (TTC). Nesse contexto, a bioissorção utilizando biomassa vegetal surge como uma alternativa sustentável e de baixo custo para remoção desses compostos. O presente estudo avaliou a eficiência da biomassa seca do musgo nativo *Sphagnum perichaetiale* como bioissorvente de MOX e TTC em diferentes matrizes aquosas. Os resultados demonstram que a eficiência da remoção foi dependente da composição da matriz aquosa. Para a TTC, a maior remoção foi observada na água da torneira de Osório ($37,14 \pm 1,09\%$), com capacidade de adsorção (q_e) de $15,47 \text{ mg/g}$, enquanto para o MOX o melhor desempenho ocorreu em água destilada ($59,26 \pm 6,98\%$), com q_e de $57,74 \text{ mg/g}$. Nos sistemas contendo os dois antibióticos simultaneamente, observou-se alteração no comportamento de adsorção, indicando possíveis interações entre os compostos. A influência de componentes dissolvidos nas matrizes aquosas demonstrou ser essencial para a disponibilidade dos contaminantes e para sua interação com a superfície do bioissorvente. Dessa forma, a biomassa de *S. perichaetiale* apresenta potencial para ser uma alternativa sustentável na remoção de contaminantes emergentes, embora estudos adicionais em matrizes ambientais mais complexas sejam necessários para avaliar sua aplicabilidade em escala real.

Palavras-chave: moxifloxacino; tetraciclina; bioissorvente; adsorção

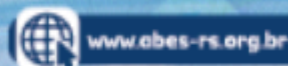
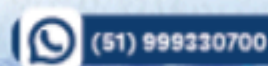
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



BIOSORPTION OF EMERGING CONTAMINANTS USING THE NATIVE MOSS *SPHAGNUM PERICHAETIALE*: NATURE-BASED SOLUTIONS IN DIFFERENT AQUEOUS MATRICES

Abstract: The presence of emerging contaminants (ECs) in aquatic environments is one of the primary environmental challenges today, owing to the difficulty of their removal by conventional treatment methods, which promotes their environmental persistence. Prominent among these contaminants are the antibiotics moxifloxacin (MOX) and tetracycline (TTC). In this context, biosorption using plant biomass emerges as a sustainable and low-cost alternative for removing these compounds. The present study evaluated the efficiency of dry biomass from the native moss *Sphagnum perichaetiale* as a biosorbent for MOX and TTC across different aqueous matrices. The results demonstrate that removal efficiency was dependent on the composition of the aqueous matrix. For TTC, the highest removal was observed in tap water from Osório ($37.14 \pm 1.09\%$), with an adsorption capacity (q_e) of 15.47 mg/g , whereas for MOX, the best performance occurred in distilled water ($59.26 \pm 6.98\%$), with a q_e of 57.74 mg/g . In systems containing both antibiotics simultaneously, an alteration in adsorption behavior was observed, indicating potential interactions between the compounds. The influence of dissolved components in the aqueous matrices proved essential to the availability of the contaminants and their interaction with the biosorbent surface. Therefore, *S. perichaetiale* biomass demonstrates potential as a sustainable alternative for the removal of emerging contaminants, although further studies in more complex environmental matrices are required to evaluate its real-scale applicability.

Keywords: moxifloxacin; tetracycline; biosorbent; adsorption

1. INTRODUÇÃO

Os contaminantes emergentes (CEs) têm sido encontrados de forma recorrente em corpos hídricos, não possuem legislação específica e não estão incluídos nos programas de monitoramento da qualidade das águas, o que representa um grande risco à qualidade ambiental e à saúde pública (Farto *et al.*, 2021). Esses poluentes incluem uma gama de compostos, como antibióticos, fármacos, esteróides, hormônios, produtos químicos, além de microplásticos (Krishnakumar *et al.*, 2022). Deste modo, é essencial o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, eficientes e economicamente viáveis para a remoção desses contaminantes nas águas.

Normalmente, os CPEs são encontrados em concentrações muito baixas nas águas. Logo, os sistemas convencionais de tratamento não os removem completamente (Krishnakumar *et al.*, 2022). Diante disso, uma tecnologia alternativa e sustentável é a biossorção, visto que é um processo físico-químico que utiliza materiais biológicos, baseado em uma variedade de mecanismos que incluem absorção, adsorção, troca iônica, complexação de superfície e precipitação (Fomina e Gadd, 2014). Essa alternativa representa uma solução promissora aos métodos convencionais, pois apresenta alta eficiência e baixo custo operacional (Ribas *et al.*, 2022).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Dentre os materiais biológicos com potencial para aplicação na bio sorção, destacam-se as briófitas, que formam o segundo maior grupo de plantas terrestres, são criptógamas avasculares, poiquilohídricas e apresentam ampla distribuição geográfica, em razão de sua alta capacidade de adaptação a condições ambientais extremas. O potencial de uso desse grupo é elevado, devido à sua estrutura simples e à rápida taxa de multiplicação (Glime, 2017). Entre os diversos gêneros deste grupo destaca-se o *Sphagnum*, amplamente utilizado em processos de bio sorção. Sua eficiência tem se mostrado promissora na remoção de diversos poluentes, como metais pesados e o etinilestradiol, devido à ampla área superficial, que contribui para a bio sorção (Tholozan et al., 2023; Silveira, 2021).

Pesquisas recentes evidenciam o alto desempenho da espécie *Sphagnum perichaetiale* Hampe na remoção de CPEs em solução aquosa. Os trabalhos de Tesser *et al.* (2021) e Silveira (2021) culminaram no depósito de patente de invenção e uma adição a este pedido (BR 13 2022 013934 1 e BR 10 2018 071745 6) junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Além disso, a biomassa seca alcançou cerca de 95% de remoção de triclosan (Schimer, 2023) e mostrou resultados promissores na remoção do antibiótico moxifloxacino (Delfino, 2025).

Embora a tecnologia de bio sorção tenha apresentado avanços relevantes, ainda são restritas as informações acerca do espectro de poluentes que essa espécie é capaz de remover e das condições que influenciam na sua eficiência. Nesse contexto, o presente estudo propõe avaliar a eficiência de bio sorção de contaminantes emergentes, especificamente os antibióticos Moxifloxacino e Tetraciclina, utilizando biomassa seca do musgo nativo *S. perichaetiale* como bio sorvente em diferentes matrizes aquosas.

2. METODOLOGIA

2.1 Obtenção do material biológico e preparação da biomassa seca

Os espécimes de musgo utilizados para a realização dos testes foram cultivados em aquários nas dependências da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Litoral Norte.

Para a preparação da biomassa seca adotaram-se os protocolos metodológicos de Tesser (2018) e Silveira (2021). O material *in natura* foi submetido a lavagem com água destilada, para remoção de substrato e outros resíduos. Em seguida, realizou-se a secagem em uma Estufa de Secagem e Esterilização SL-100 Solab, a 70 °C por aproximadamente 24 horas. Após, o material foi triturado em um moinho MA630 (Marconi) por 30 a 40 segundos. O material obtido foi classificado granulometricamente com o auxílio de peneiras Granutest, com diâmetro < 0,062 mm; 0,062–0,125 mm; e > 0,125 mm.

2.2 Preparação das Soluções

Para os experimentos de bio sorção, foram preparadas soluções contendo dois CEPs, os antibióticos moxifloxacino (MOX) e tetraciclina (TTC), com 99,8% e 98,91% de pureza, respectivamente. Os medicamentos foram obtidos em farmácia de manipulação localizada na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. As soluções utilizadas foram preparadas a partir da dissolução

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

dos compostos em água da torneira das cidades de Osório, Porto Alegre e Bento Gonçalves e em água destilada, com concentração de 10 mg/L.

As cidades foram escolhidas devido às características de seus mananciais. A cidade de Osório, localizada no litoral norte do RS, é abastecida majoritariamente por água subterrânea, captada por poços tubulares profundos. Já em Bento Gonçalves, na serra gaúcha, a água é captada de manancial superficial, proveniente do rio Burati e do arroio Barracão, enquanto a capital gaúcha, Porto Alegre, é abastecida por águas do lago Guaíba (Ana, 2021).

2.3 Testes de biossorção

Os ensaios de biossorção para o MOX e a TTC foram conduzidos em frascos Erlenmeyer de 250 mL, com 50 mL da solução e 0,26 g/L da biomassa seca com granulometria entre 0,062 e 0,125 mm. As misturas foram submetidas à agitação a 100 rpm, em um agitador magnético Fisatom 752A. Os Erlenmeyers permaneceram em agitação por 60 minutos. Foram realizados testes para os compostos isoladamente e associados às diferentes matrizes aquosas.

2.4 Análise da concentração

As concentrações foram determinadas em duplicatas. Para o MOX, foram retiradas e analisadas alíquotas a 0, 15, 30 e 45 minutos, enquanto para a TTC, as medições das alíquotas ocorreram nos tempos de 0, 30, 45 e 60 minutos. Todas as alíquotas, quando coletadas, foram imediatamente submetidas à filtração em filtros de 0,45 µm, com a finalidade de remover a biomassa em suspensão. Essas amostras foram posteriormente analisadas em espectrofotômetro INSTRUTHERM UV-2000A.

A varredura inicial do espectro permitiu identificar os comprimentos de onda de máxima absorvância em 291 nm para MOX e 379 nm para TTC. A partir disso, foram elaboradas as curvas de calibração.

2.5 Determinação da quantidade de contaminante adsorvido

A capacidade de adsorção, expressa como a massa de contaminante retida por unidade de massa do musgo (q_e , mg/g), foi determinada por meio da seguinte equação:

$$q_e = \frac{(c_i - c_e) \times V}{m}$$

Sendo que:

c_i = concentração inicial do contaminante na solução (mg/L)

c_e = concentração de equilíbrio (após adsorção) (mg/L)

V = volume da solução (L)

m = massa seca do biossorvente (g)

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

q_e = quantidade adsorvida por grama de bioissorvente (mg/g)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi avaliada a bioissorção de tetraciclina e moxifloxacino em diferentes matrizes aquosas.

3.1 Bioissorção de Tetraciclina

Os dados de bioissorção de tetraciclina em diferentes matrizes aquosas estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que a matriz aquosa proveniente da torneira do município de Osório foi mais favorável ao processo de bioissorção ($37,14 \pm 1,09\%$) e a maior capacidade adsorviva ($15,47$ mg/g), seguida pela água da torneira de Bento Gonçalves, que alcançou remoção moderada de $23,08 \pm 2,7\%$ e capacidade adsorviva de $9,23$ mg/g. Em contraste, a água destilada e a água da torneira de Porto Alegre apresentaram os piores desempenhos, com remoção de $9,02 \pm 2,70\%$ e $9,94 \pm 5,60 \%$, respectivamente. Entretanto, enquanto a água destilada apresentou capacidade de adsorção de $4,17$ mg/g, a água de Porto Alegre registrou o menor valor de q_e ($1,83$ mg/g), evidenciando uma redução expressiva na retenção do antibiótico pelo bioissorvente. As diferenças observadas entre os tratamentos sugerem que as características físico-químicas específicas de cada matriz aquosa, podem exercer influência direta sobre a bioissorção, bem como, o ponto de carga zero do bioissorvente.

Tabela 1 -Bioissorção de Tetraciclina em diferentes matrizes aquosas.

Tratamento	% remoção (média $\pm$ DP)	q_e (mg/g)	pH
TTC - destilada	$9,02 \pm 2,70$	4,17	5,48
TTC- torneira (Bento Gonçalves)	$23,08 \pm 2,72$	9,23	10
TTC - torneira (Osório)	$37,14 \pm 1,09$	15,47	7,41
TTC - torneira (Porto Alegre)	$9,94 \pm 5,60$	1,83	6,66

Schirmer (2023) determinou o ponto de carga zero (PCZ) do *S. perichaetiale* como sendo 2,99, ou seja, acima do seu PCZ, o musgo assume carga negativa, e abaixo, carga positiva. Já a tetraciclina apresenta carga positiva baixo de pH 3,3, zwitteriônica (carga neutra) entre 3,3 e 7,7 e negativa acima de pH 7,7 (Hsu *et al.*, 2018) . Ou seja, a faixa de pH entre 2,99 e 7,77 é a região de pH onde esperava-se maior atração eletrostática (Delfino, 2025). Estando apenas a água de Bento Gonçalves fora dessa faixa de pH. No entanto, esse resultado não foi observado e isso pode ser atribuído a outras interações que podem estar prejudicando o processo de bioissorção.

Considerando o contexto hidrogeológico do município de Osório, os poços de captação possuem profundidades inferiores a 30 metros, associados ao Sistema Aquífero Quaternário Costeiro

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

(SAQC). Esse sistema apresenta elevada variabilidade hidroquímica, influenciada por fatores naturais e antrópicos, representando valores de pH variando entre 4,84 e 7,67, baixa concentração de sais (condutividade elétrica entre 0 e 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos inferiores a 400 mg/L (Paim, 2018), caracterizando um meio de baixa força iônica.

A baixa eficiência observada em água destilada ($9,02 \pm 2,70\%$), indica que a ausência de íons e outras espécies químicas capazes de atuar como pontes de interação pode ter limitado os mecanismos de adsorção, resultando em menor retenção do contaminante. Esse resultado demonstra que o desempenho do bioissorvente não depende exclusivamente da ausência de interferentes, mas também de outras características físico-químicas da matriz aquosa.

Ainda é observado um baixo desempenho para a água de torneira de Porto Alegre ($9,94 \pm 5,60$), esse resultado pode ser relacionado à composição química da matriz aquosa, uma vez que o principal manancial de abastecimento da cidade, o Lago Guaíba, é reconhecido por receber aportes significativos de matéria orgânica, nutrientes e outros contaminantes oriundos de atividades urbanas e industriais ao longo de sua bacia hidrográfica (Schäffer, 2024). Embora o tratamento convencional torne a água adequada para consumo humano, alguns compostos dissolvidos, íons inorgânicos e demais contaminantes emergentes podem permanecer presentes em baixas concentrações, devido às limitações dos processos convencionais na remoção de determinados poluentes, podendo interferir nas interações entre o contaminante e o bioissorvente durante o processo de bioadsorção (Francisco et al., 2012; Ribas e Silva, 2022). Esse efeito de inibição indica uma forte competição pelos sítios ativos disponíveis na superfície do bioissorvente, podendo ser gerada pela presença de matéria orgânica dissolvida. Além disso, essas macromoléculas também podem promover repulsão eletrostática ou causar impedimento estérico, consequentemente bloqueando os poros do bioissorvente e restringindo o acesso da tetraciclina aos sítios de adsorção.

3.2 Bioadsorção de Moxifloxacino

A bioadsorção de moxifloxacino em diferentes matrizes aquosas está apresentada na Tabela 2. Ao contrário da TTC, foi possível observar que a maior eficiência de adsorção de moxifloxacino foi no tratamento com água destilada, atingindo $59,26 \pm 6,98\%$, com capacidade de adsorção de 57,74 mg/g, indicando um melhor desempenho do bioissorvente. Em contraste, nos ensaios com água da torneira proveniente dos municípios de Bento Gonçalves e Osório, observa-se uma diminuição na eficiência de remoção, para $5,52 \pm 1,05\%$ e $9,75 \pm 2,91\%$, respectivamente. Ainda pode-se notar, um resultado melhor desempenho, a água da torneira de Porto Alegre, com remoção de $23,01 \pm 0,50\%$ e capacidade de adsorver 37,15 mg/g. (Tabela 2).

Tabela 2 -Bioadsorção de Moxifloxacino em diferentes matrizes aquosas.

Tratamento	% remoção (média $\pm$ DP)	qe (mg/g)	pH
MOX - destilada	$59,26 \pm 6,98$	57,74	6,49

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

MOX- torneira (Bento Gonçalves)	5,52 ± 1,05	1,74	6,05
MOX - torneira (Osório)	9,75 ± 2,91	4,98	7,31
MOX - torneira (Porto Alegre)	23,01 ± 0,50	37,15	6,93

O PCZ do MOX é 6,3 (Langlois et al., 2005), apresentando atração eletrostática com o musgo abaixo desse pH. No entanto, da mesma forma que a TTC, não foi possível relacionar a eficiência de bioissorção com o pH da solução. Delfino (2024) observou que, em água da torneira de Bento Gonçalves, 46,05% do moxifloxacino ficou retido pelo filtro de 0,45 µm, enquanto na água de Osório a retenção foi de apenas 3,7%. Essa diferença pode ser explicada pelas características distintas dos mananciais de abastecimento, visto que o município de Bento Gonçalves utiliza predominantemente águas superficiais, provenientes do rio Burati e do arroio Barracão (Ana, 2021), o município de Osório é abastecido majoritariamente por água subterrânea, captada por poços tubulares com profundidade inferior a 30 metros (Paim, 2018). Sendo assim, é possível que a presença de matéria orgânica dissolvida, tenha favorecido a formação de complexos químicos com o MOX, consequentemente aumentando o tamanho dessas moléculas, promovendo sua retenção durante a filtração e alterando sua disponibilidade para os processos de bioissorção.

O melhor desempenho em água destilada sugere que, na ausência de matéria orgânica dissolvida, o MOX ficou disponível para interagir diretamente com os sítios ativos da biomassa de *S. perichaetiale*. Por outro lado, para TTC, não observou-se retenção do antibiótico no filtro em nenhuma matriz aquosa, isso pode estar relacionado com o tamanho da molécula. Silveira (2021), fez uso da mesma biomassa para testar a remoção de 17α-etinilestradiol em solução com água destilada, e obteve um percentual médio de 65%. Em contrapartida, Tesser e colaboradores (2021) alcançaram uma remoção de 97% de ferro e 95% de cromo, utilizando água da torneira.

O desempenho intermediário observado para a água de Porto Alegre sugere que sua composição química exerce menor interferência sobre a disponibilidade do moxifloxacino quando comparada à água de Bento Gonçalves. Ainda assim, a redução da eficiência em relação à água destilada demonstra que componentes presentes em matrizes ambientais reais podem influenciar significativamente os mecanismos de adsorção. Considerando os resultados obtidos, constata-se que o desempenho do *Sphagnum* como bioissorvente é influenciado tanto pelo tipo de contaminante quanto pela composição da matriz aquosa.

3.3 Bioissorção da interação de MOX com TTC

Os resultados da bioissorção de TTC e MOX na mesma solução aquosa estão representados na Tabela 3, onde é perceptível que a presença conjunta dos dois antibióticos alterou o comportamento observado anteriormente nos ensaios individuais, além de demonstrar que a eficiência de remoção é dependente da matriz aquosa utilizada. Em água destilada, a TTC atingiu 30,57 ± 16,00% de remoção, Enquanto o MOX apresentou remoção de 46,31 ± 6,97%, com capacidades de adsorção de 9,84 mg/g

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

e 73,57 mg/g, respectivamente. Comparado aos ensaios individuais, observa-se que a presença simultânea dos contaminantes reduziu a remoção do MOX (anteriormente 59,26%) e aumentou a remoção da TTC (anteriormente 9,02%), sugerindo que a interação entre os contaminantes pode modificar sua especiação química ou favorecer novas formas de interação com a superfície do bioissorvente. Essa matriz apresentou pH 5,09, indicando uma condição mais ácida em comparação aos demais tratamentos, o que pode ter influenciado na interação eletrostática dos antibióticos e a disponibilidade dos grupos funcionais presentes na superfície do bioissorvente. Esse comportamento sugere que a presença simultânea dos contaminantes acabou favorecendo a adsorção da TTC.

Na água de Osório, ambos apresentaram remoções moderadas com $24,35 \pm 0,55\%$ para TTC e $13,09 \pm 11,23\%$ para MOX, apresentando capacidades de adsorção de 10,98 mg/g e 15,66 mg/g, respectivamente. A matriz apresentou pH 7,41, próximo à neutralidade, condição semelhante à observada no ensaio individual da TTC. Comparando com os ensaios individuais, observa-se redução na remoção da TTC em relação ao tratamento isolado (37,14%), enquanto o MOX apresentou comportamento semelhante ao observado anteriormente, indicando que os componentes presentes nessa matriz podem ter influenciado a competição pelos sítios ativos. A água de Porto Alegre, apresentou remoções de $16,91 \pm 1,07\%$ para TTC e $18,54 \pm 12,23\%$ para MOX, com valores de q_e de 5,58 mg/g e 28,79 mg/g. A presença de matéria orgânica dissolvida e outros contaminantes pode favorecer a competição pelos sítios ativos, alterar a disponibilidade dos contaminantes ou dificultar sua interação com a superfície do bioissorvente.

De maneira geral, os resultados demonstram que o comportamento dos antibióticos em sistemas multicomponentes é mais complexo quando comparado aos ensaios individuais. A presença simultânea dos antibióticos não resultou exclusivamente em competição pelos sítios ativos da biomassa. Em água destilada, observou-se aumento expressivo da remoção da tetraciclina, sugerindo que a interação entre os contaminantes pode modificar sua especiação química ou favorecer novas formas de interação com a superfície do bioissorvente. Em contrapartida, nas matrizes naturais, especialmente na água de Osório, predominou um comportamento competitivo, indicando que a influência da matriz aquosa se sobrepõe às interações entre os contaminantes.

Tabela 3 -Biossorção de Moxifloxacino com Tetraciclina em diferentes matrizes aquosas.

Tratamento	% remoção (média $\pm$ DP)		q_e (mg/g)		pH
	TTC	MOX	TTC	MOX	
TTC + MOX - destilada	$30,57 \pm 16,00$	$46,31 \pm 6,97$	9,84	73,57	5,09
TTC + MOX - torneira (Osório)	$24,35 \pm 0,55$	$13,09 \pm 11,23$	10,98	15,66	7,41
TTC + MOX - torneira (Porto Alegre)	$16,91 \pm 1,07$	$18,54 \pm 12,23$	5,58	28,79	6,49

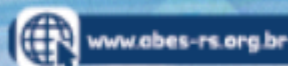
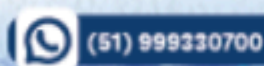
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou a eficiência da biomassa seca do musgo *S. perichaetiale* na remoção dos antibióticos tetraciclina (TTC) e moxifloxacino (MOX) em diferentes matrizes aquosas, bem como o comportamento do processo em sistemas contendo os dois antibióticos simultaneamente. Os resultados demonstraram que a eficiência da bioissorção é diretamente influenciada pelas características do contaminante, pela composição físico-química da matriz aquosa e pelas interações estabelecidas entre os compostos presentes na solução e a superfície da biomassa.

Os resultados demonstraram que a composição da matriz aquosa exerce influência sobre a bioissorção dos contaminantes emergentes pelo *S. perichaetiale*, porém de forma distinta para cada composto. Enquanto a tetraciclina apresentou maior remoção em águas naturais, sugerindo que a presença de íons dissolvidos pode favorecer mecanismos de adsorção, o moxifloxacino apresentou maior eficiência em água destilada, indicando que constituintes presentes nas matrizes naturais, como matéria orgânica dissolvida e outros componentes químicos, podem reduzir sua disponibilidade para interação com a biomassa. Esses resultados evidenciam que os mecanismos envolvidos na bioissorção são específicos para cada contaminante e não podem ser explicados exclusivamente por interações eletrostáticas relacionadas ao pH e ao ponto de carga zero do bioissorvente.

Nos ensaios em sistema multicomponente, a presença simultânea de TTC e MOX alterou o comportamento observado nos ensaios individuais. Os resultados indicam que as interações entre os contaminantes podem tanto favorecer quanto limitar sua remoção, dependendo da composição da matriz aquosa. Enquanto em água destilada foi observado aumento expressivo da remoção da tetraciclina, sugerindo alterações na especiação química ou nas interações com a biomassa, nas matrizes naturais predominou o efeito competitivo, demonstrando que constituintes da água, como íons dissolvidos e matéria orgânica, exercem papel determinante nos mecanismos de bioissorção.

Embora a biomassa de *S. perichaetiale* tenha apresentado potencial para remoção de antibióticos em solução aquosa, os resultados indicam que ensaios com um único contaminante podem não representar adequadamente o comportamento esperado em estações de tratamento de efluentes, onde diferentes compostos coexistem e interagem entre si e com os constituintes da matriz aquosa. Além disso, estudos futuros devem realizar testes em efluentes reais, visando validar a eficiência do bioissorvente em condições mais próximas às encontradas no ambiente.

Com isso, a biomassa de *S. perichaetiale* apresenta-se como uma alternativa promissora e sustentável para aplicação na remoção de contaminantes emergentes, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias baseadas em soluções naturais.

Agradecimentos PROPPG-Uergs. FAPERGS, grupo de pesquisa CNPQ “Briófitas: florística, bioprospecção, ensino e conservação”

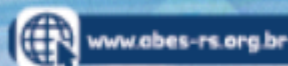
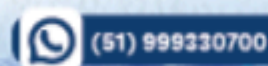
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



3. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano - Brasília : ANA, 2021 332 p.: il. ISBN:978-65-88101-19-3. Disponível em:

https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/asp/download.asp?codigo=151307&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=90683&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0

ARBOITE, A.; PEREIRA, J. H.; EVALDT, N. S.; FRANCO, N. S.; CLEMENTE, I. M. Análise da qualidade das águas subterrâneas através de poços no município de Osório. **Anais do 10º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão - SIEPE** - Santana do Livramento. 2018. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/16552/seer_16552.pdf

DELFINO, I. B. Biossorção com musgo Sphagnum perichaetiale em água contaminada com poluentes emergentes. **Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia** - Bento Gonçalves. 2025.

FARTO, C., JÚNIOR, G., SENA, R., & ROSENHAIM, R. Contaminantes de preocupação emergente no Brasil na década 2010-2019 - Parte I: ocorrência em diversos ambientes aquáticos. **Revista de Gestão de Água Da América Latina**, 18(1), 60, 2021.

FOMINA, Marina; GADD, Geoffrey Michael. Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. **Bioresource Technology**, Volume 160, 2014, Pages 3-14, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>

FRANCISCO, A. A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência. **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS**. Paraná. 2011.

GLIME, Janice M. Physiological Ecology. In: **BRYOPHYTE ECOLOGY**. V. 1, 2017.

HSU, L.-C.; LIU, Y.-T.; SYU, C.-H.; HUANG, M.-H.; TZOU, Y.-M.; TEAH, H. Y. Adsorption of tetracycline on Fe (hydr) oxides: effects of pH and metal cation (Cu²⁺, Zn²⁺, Al³⁺) addition in various molar ratios. **R. Soc. open sci.**, v. 5, e171941, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171941>

KRISHNAKUMAR, S.; SINGH, D. S. H.; GODSON, P. S.; THANGA, S. G. Emerging pollutants: impact on environment, management, and challenges. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 72309–72311, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-22859-3.

LANGLOIS, M. H. et al. Protonation equilibrium and lipophilicity of moxifloxacin. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 37, n. 2, p. 389–393, 2005.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

PAIM, R. A.; REGINATO, P. A. R. Avaliação da qualidade da água subterrânea de poços ponteira no município de Osório, RS. **Dissertação/Tese do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental** - Porto Alegre. 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/179912>

RIBAS, F. B. T.; DA SILVA, W. L. Biosorption: a review of promising alternative methods in wastewater treatment. **Revista Materia**. 2022.

RIBAS, F. B. T.; SILVA, W. L. Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. **REVISTA MATÉRIA**. V.27 N.02. Santa Maria. 2022.

SCHÄFFER, G. P.; BASSO, L. A. A Influência da estação de tratamento de esgoto Serraria na qualidade da água do Lago Guaíba - RS. **Trabalho de conclusão de Curso Geografia** - Porto Alegre 2024. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/273026>

SCHIRMER, 2023. Biomassa de Sphagnum perichaetiale Hampe como bioissorvente na adsorção do poluente emergente Triclosan em soluções aquosas. **Trabalho de Conclusão de Curso Ciências Biológicas Ênfase em Biologia Marinha e Costeira** - Imbé. 2023.

SHABBIRAHMED, A.M., Jacob, A., Dey, P. et al. Biomass as eco-friendly adsorbents for the removal of emerging pollutants from wastewater: A review. **Discov Appl Sci** 7, 771 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07463-7>

SILVEIRA, 2021. Biomassa de musgo Sphagnum perichaetiale Hampe (SPHAGNACEAE, BRYOPHYTA) -ETINILESTRADIOL. **Trabalho de Conclusão de Curso Ciências Biológicas Ênfase em Biologia Marinha e Costeira** - Osório. 2021.

TESSER, T. T.; BORDIN, J.; ROCHA, C. M. DA; SILVA, A. DA. Application of the dry and wet biomass of bryophytes for phytoremediation of metals: Batch experiments. **Environmental Challenges**, v. 5, e100382, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100382>

THOLOZAN, L. V.; VALÉRIO FILHO, A.; MARON, G.; CARRENO, N. L. V.; DA ROCHA, C. M.; BORDIN, J.; DA ROSA, G. S. Sphagnum perichaetiale Hampe biomass as a novel, green, and low-cost biosorbent in the adsorption of toxic crystal violet dye. **Environmental Science and Pollution Research**. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26068-4>.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br