AVALIAÇÃO DA EFICIENCIA DA APLICAÇÃO DE ELETROCOAGULAÇÃO EM UM BIORREATOR A MEMBRANA PRECEDIDO POR UM REATOR UASB PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS [1]

Leticia Samara Kruze [2], Tiago José Belli[3]

1 Vinculado ao projeto "Eletrobiorreator à membrana aplicado ao tratamento de efluente da indústria têxtil"
2 Acadêmica do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – ENS/UFSC – Bolsista PIBIC/CNPq.
3 Orientador, Departamento de Engenharia Sanitária – CEAVI – tiago.belli@udesc.br.

A indústria têxtil brasileira, estabelecida no século XIX, consolidou-se a partir dos anos 1980 e hoje é a quinta maior produtora global e a principal produtora do Ocidente. Santa Catarina se destaca, contribuindo com 26,7% da produção nacional. O setor têxtil é o quarto maior contribuinte para o PIB estadual, mas é também um grande consumidor de recursos naturais, especialmente água, utilizando 79 bilhões de metros cúbicos anualmente. O tratamento dos efluentes gerados é crucial, sendo desafiador pela necessidade de remover corantes e reduzir a carga orgânica.

Os corantes, especialmente do tipo *azo*, são amplamente utilizados na indústria têxtil devido ao baixo custo e alta solubilidade, mas são altamente poluentes e difíceis de remover. Cerca de 54% dos efluentes têxteis, contendo aproximadamente 280.000 toneladas de corantes, são despejados anualmente sem tratamento adequado.

Dentre os *azo* corantes, o Remazol Violeta Brilhante 5R (RBV5R), com fórmula molecular $C_{20}H_{16}N_3Na_3O_{15}S_4$, se destaca, principalmente, por sua alta solubilidade em água e por apresentar técnicas simples de aplicação. Apesar das vantagens funcionais, assim como os demais *azo* corantes, este também é extremamente poluente e de difícil remoção, visto sua estrutura conjugada ser extremamente estável e o elevado potencial carcinogênico.

Diante dos desafios ambientais relacionados ao uso de corantes, esta pesquisa avaliou a aplicação de biorreatores para o tratamento de efluente têxtil contendo o *azo* corante RVB5R. O sistema de tratamento consistia em um reator anaeróbio (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Reactor) seguido por um reator aeróbio (BRM - Biorreator a Membrana). Posteriormente, o BRM foi convertido em um Eletrobiorreator a Membrana (EBRM) com densidade de corrente de 20 A/m², visando aumentar a eficiência do biorreator.

O BRM é caracterizado pela associação de tratamentos biológicos aeróbios, análogos ao processo de lodos ativados convencionais, com o processo físico de separação utilizando membranas. No EBRM tem-se a aplicação de um campo elétrico entre dois eletrodos metálicos instalados no interior de um BRM. A adição do processo de eletrocoagulação causa a oxidação anódica, responsável por solubilizar os cátions metálicos do licor misto.

A pesquisa foi realizada em duas estratégias, E-1 e E-2, onde o sistema operou continuamente por 50 dias cada. Seu desempenho foi avaliado em função da remoção do corante RVB5R, demanda química de oxigênio (DQO) e ortofosfato ($P\text{-}PO_4^{-3}$), além de avaliar a variação da pressão transmembrana, que é um parâmetro crucial para avaliar a colmatação das membranas.

Durante as estratégias foram realizadas análises físico-químicas duas vezes por semana para determinar a eficiência de remoção de DQO, ortofosfato e corante, seguindo a metodologia APHA.

Também, diariamente era monitorado o Potencial de Oxirredução (ORP), Oxigênio Dissolvido (OD), pH e temperatura, utilizando sonda multiparâmetros e a pressão transmembrana foi monitorada com o uso de vacuômetros.

A unidade experimental do estudo está esquematicamente representada na Figura 1. O reator UASB (5) constitui-se de um cilindro de PVC com um volume útil de 96,0L e equipado de um separador trifásico em seu interior, o qual separa a fase líquida das fases sólida e gasosa. O BRM (7), por sua vez, foi construído em acrílico, também em formato cilíndrico, com 60L de volume útil, no qual foi submerso um módulo de membranas (9) de ultrafiltração para reter sólidos, resultando em um efluente final com baixa turbidez. Este módulo está posicionado sobre o sistema de aeração (8). A unidade experimental também possui: painel de controle (1), reservatório do afluente (2), cilindro de nitrogênio (3) para purga de oxigênio dissolvido no afluente, bombas peristálticas (4), vacuômetros (6) e reservatório do permeado (12). Entre a estratégia E-1 e E-2, as únicas diferenças na estrutura do sistema são a presença do eletrodo (10) e da fonte de alimentação de corrente continua (11), que promovem a eletrocoagulação.

A partida dos reatores foi realizada com a inoculação do lodo do reator UASB e do reator aeróbio da Estação de Tratamento de Efluentes localizada no bairro Lagoa da Conceição, em Florianópolis/SC. O reator UASB foi inoculado com 50,0 litros desse lodo, que foi inserido diretamente no reator. Após um período de 140 dias reservado para aclimatação da biomassa, o sistema foi alimentado com efluente sintético. A utilização de efluente sintético teve como objetivo manter uma carga consistente no sistema ao longo dos dias de operação, evitando assim as oscilações que são comuns na utilização de efluentes reais.

O sistema de tratamento foi projetado para proporcionar um ambiente redutor no reator UASB e oxidante no BRM, indicados principalmente pelos valores de ORP e OD, apresentados na Tabela 1. A etapa redutora promove a clivagem do azo corante, e é identificada a partir do ORP negativo e da baixa concentração de OD, abaixo de 0,5 mg/L. Na etapa oxidante, indicada pelo OD próximo a saturação com 5,2 mg/L e o ORP acima de 200 mV, ocorre a oxidação dos subprodutos anaeróbios, especialmente aminas aromáticas. As principais vantagens deste tipo de sistema são o tamanho compacto, menor produção de lodo e a alta qualidade do efluente, permitindo seu reúso para fins não potáveis.

Conforme exposto na Tabela 2, que apresenta as concentrações médias de corante, DQO e ortofosfato em cada etapa do tratamento, o afluente com características industriais possui ambos os parâmetros elevados. Apesar disso, nas duas estratégias o sistema de tratamento apresentou elevado desempenho, com eficiências de remoção médias na E-1 de corante e DQO de 85,9% e 95,8%, e de 88,1% e 97,6%, respectivamente, para a E-2. É possível observar que na segunda estratégia, com a presença da eletrocoagulação, a eficiência foi maior.

A remoção da DQO ocorreu em sua maioria no ambiente não aerado, com o reator UASB alcançando uma eficiência de 52%, onde a matéria orgânica foi usada principalmente para desnitrificação e redução do azo corante. Um resultado que se difere das pesquisas anteriores é a elevada remoção da DQO na fase aerada, o que é fundamental para justificar a necessidade da associação dos processos anaeróbio e aeróbio.

A legislação estadual (181/CONSEMA) e nacional (430/CONAMA) não aborda o parâmetro DQO, contudo cita-se o parâmetro DBO para lançamento em corpos hídricos. No estado de Santa Catarina, a Resolução 181/CONSEMA estipula o limite de 60 mg/L para o efluente final de ETEs. Assim, pode-se inferir que o permeado da E-1 e E-2 apresenta um teor de orgânicos inferior ao estipulado nesta resolução, uma vez que o valor médio da DQO (27,7 mg/L e 23,8 mg/L, respectivamente) é inclusive inferior ao limite da DBO.

Em relação ao corante, não há menção na legislação ambiental brasileira. Encontra-se apenas na Resolução 357/CONAMA que o lançamento de efluentes de ETEs não devem alterar a cor do corpo receptor de modo que altere a sua classe de enquadramento, o que é esperado considerando a baixa concentração no permeado.

Quanto a degradação do ortofosfato, constata-se que a presença da eletrocoagulação é fundamental, visto que na estratégia E-1 a eficiência de tratamento foi de 15,4% e na E-2 foi de 68,7%. O fato da estratégia com eletrocoagulação ter eficiência 53,3% maior é associada a presença de íons metálicos que reagem com os fosfatos solúveis no efluente, formando fosfato de alumínio ($AlPO_4$) ou fosfato férrico ($FePO_4$), que são espécies insolúveis e retidas na filtração de membranas. Além disso, esses íons também reagem com hidróxidos no cátodo, criando hidróxidos metálicos que se fixam nos flocos de lodo ativado e facilitam a adsorção do fósforo solúvel pelos microrganismos.

A Resolução 181/CONSEMA estabelece padrões de lançamento de efluentes para fósforo total, que incluem, portanto, os ortofosfatos. A norma determina que a eficiência de tratamento deve ser de no mínimo 75,0%, o que se aproxima do resultado alcançado na E-2, onde a eficiência foi de 68,7%. Essa eficiência pode ser aprimorada ao aumentar a densidade de corrente no BRM, embora seja necessário considerar o impacto na atividade microbiana e os custos com energia elétrica.

Em relação a velocidade de colmatação da membrana, também apresentada na Tabela 2, houve um decréscimo de aproximadamente 22% quando adicionada a eletrocoagulação. Pesquisas anteriores que estudaram o uso do EBRM destacam a melhora das características do lodo, como o tamanho do floco e o índice de volume do lodo, o que ocasiona o retardo da colmatação da membrana ao induzir os mecanismos eletroquímicos de eletroosmose e eletroforese. O alívio da colmatação das membranas diminui a necessidade de limpeza e substituição das mesmas, ou acoplamento de um sistema complementar ao tratamento

De maneira geral, entende-se que o sistema de tratamento composto por reator UASB seguido de BRM apresentou elevada habilidade na remoção de DQO e corante, com eficiências superiores obtidas por sistemas convencionais de tratamento, a exemplo dos lodos ativados. Também foi possível verificar que a introdução do processo eletroquímico apresenta vantagens em relação ao BRM convencional, potencializando a remoção da concentração de DQO e corante, mas, principalmente dos fosfatos e na redução da velocidade de colmatação da membrana.

Dentre as possibilidades de estudos futuros relacionados à pesquisa, destacam-se o reaproveitamento do resíduo proveniente da passivação do eletrodo e a potencialização da remoção de fosfatos, com seu posterior uso como insumo. Além disso, ressalta-se a importância de elaborar legislações que estabeleçam concentrações adequadas de corante nos padrões de lançamento de efluentes para preservar os recursos hídricos, incentivando, assim, o reúso do efluente tratado para fins não potáveis.

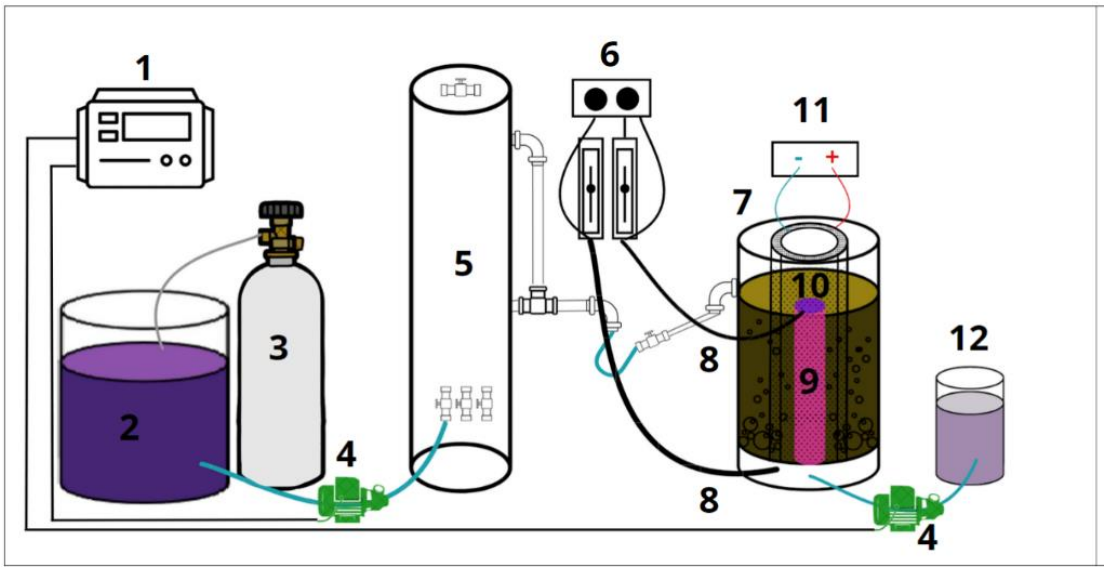

Figura 1. *Representação da unidade experimental.*

Tabela 1. *Resultados médios do monitoramento diário de cada reator durante as operações.*

	E-1		E-2	
	UASB	**BRM**	**UASB**	**BRM**
pH	8,1 ± 0,2	8,2 ± 0,2	8,0 ± 0,3	8,3 ± 0,2
Temperatura (°C)	29,6 ± 0,7	24,4 ± 1,3	29,9 ± 0,9	26,8 ± 1,3
OD (mg/L)	0,4 ± 0,1	5,4 ± 1,3	0,4 ± 0,2	5,1 ± 0,4
ORP (mV)	-189,8 ± 8,6	225,4 ± 5,2	-182,5 ± 6,9	253,3 ± 4,3
Velocidade de colmatação (%)	-	22,4	-	0,41

Tabela 2. *Concentrações médias de corante, DQO e ortofosfato com seus respectivos desvios padrões por etapa de tratamento e eficiência de remoção.*

		Afluente (mg/L)	**UASB (mg/L)**	**BRM/EBRM (mg/L)**	**Permeado (mg/L)**	**Eficiência (%)**
E-1	RBV5R	38,8 ± 0,5	3,9 ± 1,3	5,2 ± 1,0	5,7 ± 1,2	85,9 ± 0,1
	DQO	982,1 ± 4,8	497,3 ± 4,5	53,8 ± 4,7	26,7 ± 4,3	94,3 ± 3,7
	Ortofosfato	50,1 ± 1,6	42,4 ± 1,8	40,6 ± 2,5	41,4 ± 3,2	15,4 ± 0,1
E-2	RBV5R	39,2 ± 0,5	3,7 ± 0,5	4,2 ± 0,5	4,7 ± 0,6	88,1 ± 0,1
	DQO	942,1 ± 3,6	453,4 ± 4,1	28,9 ± 2,5	22,5 ± 3,4	97,8 ± 0,2
	Ortofosfato	47,5 ± 1,7	40,6 ± 2,1	15,1 ± 4,6	15,0 ± 4,2	68,7 ± 0,1

Palavras-chave: Eletrobiorreator. Corantes Têxteis. Tratamento Biológico.