

II-134 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COMPOSTO RESIDUAL DA PRODUÇÃO DE FUNGO *PLEUROTUS OSTREATUS* NA REMOÇÃO DE CORANTES EM EFLUENTES TÊXTEIS

André Aguiar Battistelli⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste-PR e Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq na Universidade Federal de Santa Catarina.

Luigi Luckner Bogoni⁽²⁾

Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Maria Eliza Nagel Hassemer⁽³⁾

Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental, Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é Professora Adjunta da Universidade Federal de Santa Catarina.

Flávio Rubens Lapolli⁽⁴⁾

Graduado em Engenharia Civil e mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário UFSC - CTC – Centro Tecnológico Dep. Engenharia Sanitária e Ambiental – Laboratório de Reúso de Águas (LaRA) - 3º andar – Trindade – Florianópolis/SC CEP: 88040-490. Tel: (48) 3721-7750 - e-mail: andreambiental@live.com

RESUMO

A preocupação ambiental existente em torno da indústria têxtil, principalmente por conta de seus efluentes com alta carga de corantes e substâncias tóxicas, exige sistemas de tratamento capazes de remover cor para atendimento da legislação. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo estudar um meio alternativo aos métodos físico-químicos aplicados atualmente, baseado na utilização de resíduos da produção de fungos para degradação e adsorção de corantes. Para tanto, testes laboratoriais foram realizados buscando avaliar a capacidade de remoção de corantes nestes efluentes a partir do emprego de um composto residual (CR) da produção do fungo *Pleurotus ostreatus*, o qual foi aplicado diretamente sobre o efluente sob agitação constante em diversas concentrações (10, 50, 55, 100 e 150 g L⁻¹), temperaturas (25, 45 e 65 °C), e faixas de pH (5, 7 e 9). Além disso, após a determinação da melhor condição experimental, também foram estudados os possíveis mecanismos de remoção ocorridos. Verificou-se que a condição operacional considerada ótima foi obtida com pH 9 e concentração de substrato de 150 g L⁻¹. Sob tal condição a eficiência de remoção de cor obtida foi próxima a 80%. Constatou-se ainda, que o principal mecanismo de remoção ocorrido foi o processo de adsorção, entretanto, o processo de degradação enzimática também contribuiu para o aumento da eficiência observada. Assim, de maneira geral, tais resultados demonstram o elevado potencial da utilização de um resíduo agroindustrial como uma tecnologia sustentável para o tratamento de efluentes da indústria têxtil.

PALAVRAS-CHAVE: Corantes, *Pleurotus ostreatus*, efluente têxtil.

INTRODUÇÃO

O elevado consumo de água e, consequentemente, a alta geração de despejos, são características das várias etapas do beneficiamento de tecidos das indústrias têxteis. Durante tais processos, são utilizados diferentes produtos químicos, os quais são dispostos de maneira imprópria nos corpos hídricos, podendo ocasionar, além da poluição visual, diversos danos ao ambiente, uma vez que tais compostos apresentam alta carga orgânica e presença de poluentes persistentes de estruturas complexas, como os corantes (CPRH, 2001).

Nesse viés, é notável um interesse considerável com o problema da cor nos cursos de água nas últimas décadas. Embora parte dessa cor normalmente se apresente de origens “naturais” como por exemplo, as águas provenientes de regiões pantanosas, uma proporção considerável se origina de efluentes industriais, especialmente em rios que drenam grandes conurbações industriais (METCALF; EDDY, 2014). Dentre estes

efluentes, alguns estão associados à produção e uso de corantes, nesse caso, além do problema da cor, existe a preocupação de que alguns corantes azóicos sejam tóxicos ou possam ser biologicamente modificados para compostos tóxicos ou carcinogênicos (CLARK, 1995).

Diante deste cenário, é importante destacar que os processos biológicos de lodos ativados, que são os sistemas normalmente empregados para o tratamento de efluentes contendo corantes, geralmente apresentam grande dificuldade na degradação desses compostos, provavelmente devido à sua estrutura química complexa e muito variada (SOARES et al., 2014). Da mesma forma, os métodos químicos ou físico-químicos são geralmente caros e de aplicabilidade limitada (SENGIL; OZACAR, 2009). Assim, é evidente a necessidade do desenvolvimento de um método biológico prático de tratamento de resíduos contendo corantes que possa ser usado para uma ampla gama de resíduos.

Nesse contexto, apesar da maioria dos corantes não apresentarem sensibilidade ao ataque de microrganismos usados convencionalmente (tratamento aeróbio e anaeróbio), muitos pesquisadores têm apontado a biodegradação – por meio de enzimas de fungos e bactérias – e a biomassa (material capaz de retirar o corante dissolvido) como técnicas promissoras para remoção e / ou degradação de efluentes têxteis (ZANONI; CARNEIRO, 2001). De acordo com Stamets (2005) esta condição é possível devido à elevada capacidade de determinadas espécies de fungos degradarem uma ampla gama de substâncias químicas sintéticas, muitas das quais são recalcitrantes à biodegradação, tal qual os corantes.

Dentre os fungos que possuem capacidade de degradar compostos recalcitrantes, destaque pode ser dado aos basidiomicetos degradadores de lignina, os quais têm sido amplamente produzidos para fins comestíveis, como é o caso do *Pleurotus Ostreatus* (STAMETS, 2005). Entretanto, é importante salientar que, atualmente, os produtores não possuem destinação rentável para seu composto usado (meio de cultivo), assim, uma vez que os cogumelos tenham sido colhidos, ele se torna um material sem utilidade. Dessa forma, acredita-se que a utilização deste substrato colonizado pelos fungos pode ser uma alternativa eficiente para a remoção de corantes. Destaca-se, ainda, que tal condição é bastante interessante do ponto de vista ambiental, uma vez que alia a utilização de um resíduo agroindustrial ao desenvolvimento de uma tecnologia sustentável para o tratamento de efluentes da indústria têxtil.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a remoção de cor de efluente sintético simulando efluente têxtil real empregando composto residual da produção do fungo *Pleurotus ostreatus*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a melhor condição experimental para remoção de cor, empregando diferentes concentrações de substrato, bem como diferentes métodos de extração de enzimas;
- Avaliar as possíveis rotas de remoção de cor de efluente têxtil empregando substrato colonizado por fungo *pleurotus*.

METODOLOGIA

EFLUENTE TÊXTEL SINTÉTICO

A preparação do efluente têxtil sintético utilizado nos ensaios seguiu a metodologia de Mo et al. (2007), contendo dois corantes reativos (LevafixBrilliantRed E4BA e Remazol Preto B 133%) e substâncias químicas auxiliares, preparados em três faixas de pH; 5,0, 7,0, e 8,0. Tais corantes representam uma classe importante de poluentes orgânicos, no qual, frequentemente são tóxicos e recalcitrantes (CARDOSO et al., 2011). A concentração de cada componente do efluente está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do efluente têxtil sintético.

Composição	Concentração (g L ⁻¹)
LevafixBrilliantRed E4BA	0,020
Remazol Preto B 133%	0,020
NaCl	2,000
Álcool Polivinílico	0,125
Na ₂ SO ₄	0,188

Fonte: Adaptado de MO et al. (2007).

As concentrações dos corantes foram definidas para não haver saturação no Espectrofotômetro de Absorção UV/Vis de varredura, onde foram realizadas as leituras para obtenção da cor. A concentração de Cloreto de sódio (NaCl) baseou-se na quantidade média encontrada no efluente têxtil industrial real.

O corante LevafixBrilliantRed E4BA 1, de fórmula empírica C₂₉H₂₂ClN₇O₁₁S₃, e peso molecular de 776,16 g mol⁻¹, apresenta ligações fortes contendo grupo electrofílico (reativo) capaz de formar ligações covalentes com os grupos hidroxila das fibras celulósicas, os grupos amino, hidroxilo e tióis das fibras proteicas e também com os grupos amino das poliamidas (GAN; ALLEN; MATTHEWS, 2004). Já o corante Remazol Preto B 133%, de fórmula empírica C₂₆H₂₁N₅Na₄O₁₇S₆, e peso molecular 959 g mol⁻¹, apresenta estrutura química bastante complexa, com duas ligações azo, dois grupamentos reativos e quatro grupos sulfonados. Neste tipo de corante, a reação química se processa diretamente através da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose (GUARATINI; ZANONI, 2000).

De acordo com Guaratini e Zanoni (2000), os corantes reativos caracterizam-se por apresentarem grupos quimicamente ativos, com alta estabilidade hidrolítica em meio neutro, capaz de reagir covalentemente com celulose na indústria têxtil e estendida na bioquímica para purificação de proteínas por comprovada reação com moléculas biologicamente importantes nos seres vivos. Deste modo, resíduos destes corantes são altamente nocivos quando presentes em qualquer organismo vivo e apresentam tempo de vida de 50 anos em ambientes aquáticos (CARDOSO et al., 2011).

RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE FUNGO PLEUROTUS OSTREATUS

O material adicionado ao efluente têxtil utilizado nos experimentos é um composto residual da produção de fungo *pleurotus ostreatus* (CR), cedido por uma produção local de cogumelos e é composto por 76% de serragem, 12% de farelo de trigo, 4% de carbonato de cálcio, e 4% de grãos de trigo inoculado com o fungo *Pleurotus ostreatus*. Este material é disposto na forma de blocos (Figura 1), é utilizado no cultivo de cogumelos comestíveis, após completar o ciclo de produção este fica completamente colonizado pelo micélio do fungo, contendo grande quantidade de enzimas extracelulares (STAMETS, 2005). Destaca-se que estes blocos não têm utilidade para a empresa e atualmente estão sendo descartados, ou usados em processos de compostagem.



Figura 1 – Composto residual da produção de cogumelo, substrato colonizado por *Pleurotus ostreatus*

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram realizados em escala de bancada laboratorial, empregando-se *erlenmeyers* com volume de 1 L, nos quais o CR foi colocado em contato com o efluente têxtil sintético sob agitação constante promovida por agitador magnético (180 rpm).

A eficiência do processo foi avaliada com base na porcentagem de descoloração (GUPTA; TRIPATHI; HARSH, 2011). Para tanto, foram realizadas varreduras espectrais no efluente bruto entre os comprimentos de onda de 380 a 740 nm (luz visível), a fim de obter-se o comprimento de onda relativo ao pico de maior absorbância (548 nm). Em seguida, as amostras submetidas ao tratamento foram filtradas em membrana porosa de 0,45 µm e a absorbância foi medida no referido comprimento de onda (548 nm), possibilitando, assim, o cálculo da descoloração em relação ao efluente bruto. As leituras foram realizadas em um espectrofotômetro Hach modelo DR/5000.

Ao longo dos ensaios, diversas condições operacionais foram testadas, as quais são apresentadas a seguir.

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PRELIMINAR

A fim de avaliar o efeito das variáveis (Concentração de substrato e pH) simultaneamente, bem como a correlação entre tais variáveis, foi realizado inicialmente um planejamento fatorial 2^2 com ponto central em triplicata. Um planejamento fatorial consiste em selecionar as variáveis e determinar os níveis (valores assumidos pelas variáveis) durante os experimentos. A utilização do planejamento fatorial é interessante neste caso, pois, permite determinar a condição operacional otimizada do processo, com um número mínimo de experimentos.

Foram adotados valores dos níveis para as variáveis com base em testes preliminares simples e também na metodologia de Silva, Coelho e Cammarota (2010). Assim, os experimentos foram realizados mediante três concentrações de substrato (10, 55, e 100 g L⁻¹) e três valores de pH diferentes (5, 7, e 9). Cada condição foi avaliada durante 6h. Na Tabela 2 é apresentado o planejamento fatorial, bem como a distribuição dos ensaios com as respectivas condições operacionais utilizadas. No presente estudo, adotou-se a simbologia de níveis máximos (+) e níveis mínimos (-), além do ponto central (0).

Tabela 2 – Planejamento fatorial 2^2 realizado para otimização das condições operacionais

Variável	Nível		
	-	0	+
A. Concentração de substrato (g L ⁻¹)	10	55	100
B. pH	5	7	9
Ensaio	Variáveis		
	A	B	AxB
1	-	-	+
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	+
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

AxB: Efeito combinado entre duas variáveis

A partir do planejamento fatorial preliminar proposto, foi possível determinar faixas ideais de pH e concentração, possibilitando a otimização da remoção de cor do efluente.

PLANEJAMENTO FATORIAL PARA OTIMIZAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR

Com o objetivo de atingir níveis mais altos de descoloração, e fixar parâmetros base para a aplicação mais eficiente do CR no efluente, realizou-se um segundo planejamento fatorial onde as variáveis foram; temperatura (25, 45 e 65 °C), e concentração (50, 100 e 150 g L⁻¹).

Para realização desta etapa, primeiramente o efluente foi colocado em contato com o CR, e a mistura foi aquecida até as faixas de temperatura desejadas, uma vez que este fator influencia a solubilidade dos componentes da parede celular do fungo, o que pode facilitar a extração de enzimas intracelulares, bem como o acesso aos sítios ativos na superfície do micélio (STAMETS, 2005). Outro fator que levou ao aquecimento das amostras é o fato dos efluentes da indústria têxtil normalmente apresentarem altas temperaturas (MERZOUK et al., 2011).

Destaca-se que a temperatura máxima utilizada no aquecimento foi de 65 °C durante uma hora, baseada na metodologia de Ball e Jackson (1995), que definem este valor para a máxima atividade de uma enzima lignocelulósica extraída de composto residual da produção de cogumelos. Na Tabela 3 são apresentadas as condições utilizadas para cada ensaio do planejamento proposto.

Tabela 3 - Planejamento fatorial para otimização da remoção de cor

Variável	Nível		
	-	0	+
A. Concentração de substrato (g L ⁻¹)	50	100	150
B. Temperatura (°C)	25	45	65
Ensaio	Variáveis		
	A	B	AxB
1	-	-	+
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	+
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

AxB: Efeito combinado entre duas variáveis

ENSAIOS COMPLEMENTARES

A partir dos resultados obtidos nos ensaios descritos nos itens anteriores foi possível determinar a condição operacional otimizada do processo para a remoção de cor, considerando as variáveis concentração, pH e temperatura.

Em seguida, foram realizados ensaios complementares objetivando avaliar as possíveis rotas de remoção de cor do efluente têxtil, sendo considerados os processos de oxidação química, adsorção no substrato, adsorção na estrutura do fungo e degradação enzimática. Dessa forma, a partir da comparação entre diferentes condições operacionais, foi possível estimar a contribuição da remoção por cada um destes processos. Para tanto, a condição operacional otimizada foi replicada de acordo com os diferentes cenários, à saber:

Condição I: O sistema foi operado sob as mesmas condições operacionais da condição otimizada.

Condição II: Não foi utilizado qualquer substrato, ou seja, inseriu-se somente a amostra de efluente têxtil sintético no sistema. Dessa forma, excluiu-se a possibilidade da ocorrência dos processos remoção por adsorção e de degradação enzimática.

Condição III: Utilizou-se uma amostra de substrato não colonizada por fungos, excluindo-se, assim, a possibilidade de ocorrência dos processos de remoção por degradação enzimática e por adsorção na estrutura dos fungos.

Condição IV: Aplicou-se sulfito de sódio (Na_2SO_3) (160 mg L^{-1}) e cloreto de cobalto (CoCl_2) (2 mg L^{-1}) como catalisador, de modo que a concentração de oxigênio dissolvido no sistema atingisse um valor próximo de $0,00 \text{ mg/L}$ (PUSKEILER; WEUSTER-BOTZ, 2005). Além disso, aplicou-se durante todo o ensaio um fluxo de nitrogênio gasoso (N_2) na amostra, objetivando manter a concentração de OD próxima a $0,0 \text{ mg/L}$ ao longo de todo o ensaio. Esta metodologia foi empregada considerando que o processo de degradação enzimática necessita de oxigênio disponível para ocorrer (AKSU et al., 2007; KAUSHIK e MALIK, 2009). Assim, foi possível avaliar a remoção de cor sob ausência de oxigênio e compará-la com as demais condições.

Condição V: O efluente foi substituído por água destilada, assim foi possível verificar uma possível liberação de cor por parte do composto residual quando o mesmo entra em contato com o efluente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é apresentado o gráfico de superfície de resposta elaborado com base nos resultados do planejamento experimental.

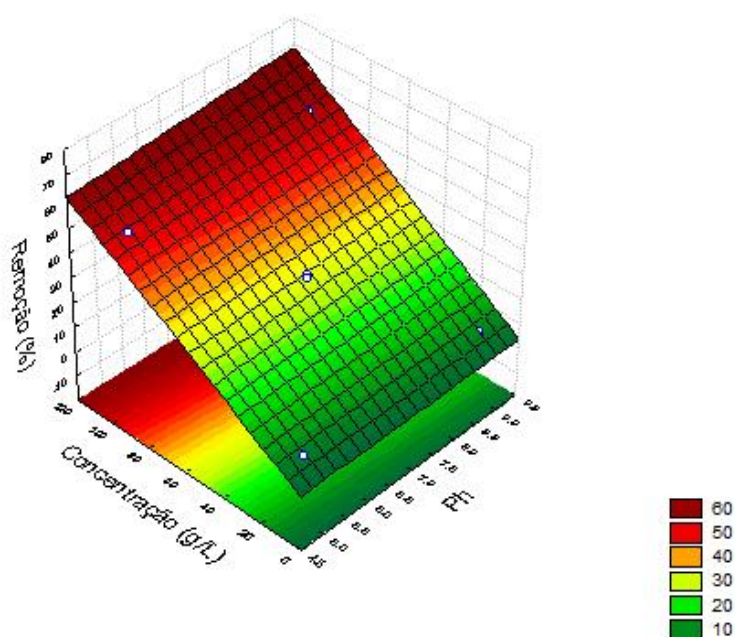


Figura 2 - Gráfico de superfície de resposta elaborado em função da remoção de cor

É possível observar que as melhores condições operacionais foram obtidas com a variável concentração no nível superior, ou seja, com 100 g L^{-1} . Destaca-se que, sob tal condição, a remoção de cor do efluente têxtil foi próxima a 70%. Além disso, verifica-se que a variável pH parece não ter influenciado expressivamente a eficiência do processo, uma vez que esta manteve-se estável nos diferentes pH estudados. Tais resultados indicam que a condição ótima do processo poderia ser obtida com qualquer pH testado, porém, com a concentração máxima de substrato.

Entretanto, ao realizar um planejamento fatorial é importante identificar ainda, a influência que o aumento de cada variável apresenta sobre a resposta, assim como determinar a interação entre elas. Para este fim, é apresentada na Figura 3 a influência dos efeitos principais e de suas interações através do diagrama de Pareto, para um intervalo de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

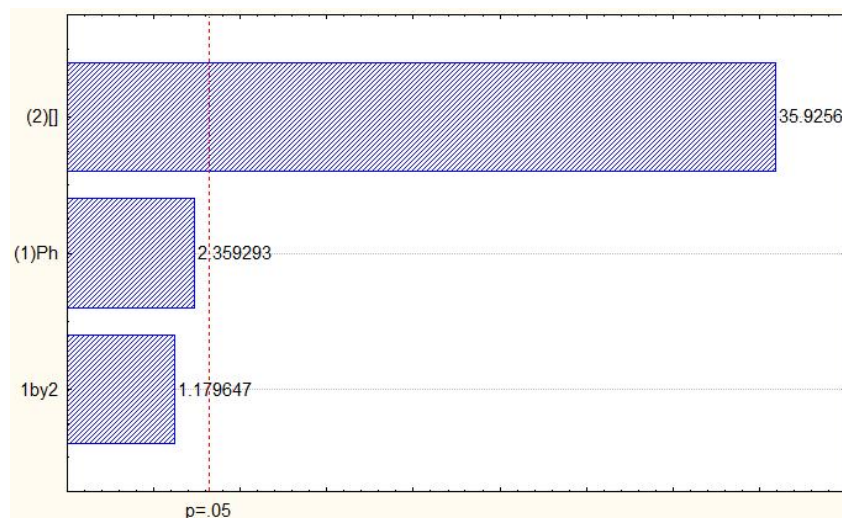


Figura 3 - Diagrama de Pareto dos efeitos de cada variável e da interação entre as variáveis

Observa-se que, de forma semelhante aos resultados apresentados no gráfico de superfície de resposta, o diagrama de Pareto indica que a única variável que apresentou efeito estaticamente significativo no processo foi a concentração de substrato. Ou seja, o efeito do pH e da interação entre as variáveis possui pouca influência na capacidade de remoção de cor do efluente.

Em função disto, considerando que grande parte dos efluentes têxteis apresentam pH mais alcalino (CPRH, 2001), optou-se por determinar a condição com as duas variáveis no nível superior como a condição ótima do processo, ou seja, com pH de 9 e concentração de substrato de 100 mg L⁻¹.

RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR

Levando-se em consideração os resultados obtidos nos ensaios preliminares, realizou-se outro planejamento experimental buscando-se a otimização do processo de descoloração. Para este ensaio empregou-se o pH considerado ideal (9), porém, optou-se por ampliar a faixa de concentração utilizada (50, 100 e 150 g L⁻¹), a fim de avaliar se ocorreria um aumento da eficiência do processo. Além disso, foram testadas diferentes temperaturas (25, 45 e 65°C), uma vez que este pode ser um fator importante da degradação enzimática do corante (STAMETS, 2005).

Na Figura 4 é apresentado o gráfico de superfície de resposta elaborado com base nos resultados do planejamento para a otimização da remoção de cor.

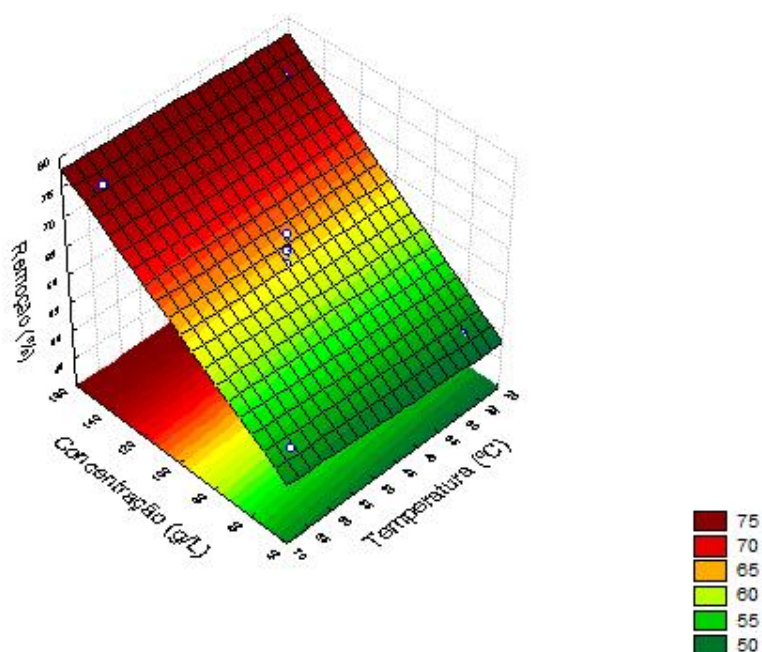


Figura 4 - Gráfico de superfície de resposta elaborado variando concentração e temperatura, em função da remoção de cor

Nota-se que o aumento da variável concentração para 150 g.L^{-1} acarretou em uma remoção ainda maior em relação ao planejamento preliminar. Sob tal condição, a remoção de cor do efluente têxtil foi próxima a 80%. Por outro lado, a variação de temperatura não influenciou expressivamente a eficiência do processo, uma vez que esta manteve-se estável nas diferentes temperaturas estudadas. Portanto, os resultados obtidos mostram que a remoção de cor não está ligada ao aumento da temperatura como esperado, e é diretamente proporcional à concentração de CR.

A influência dos efeitos principais e de suas interações é apresentada na Figura 5 através do diagrama de Pareto, para um intervalo de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

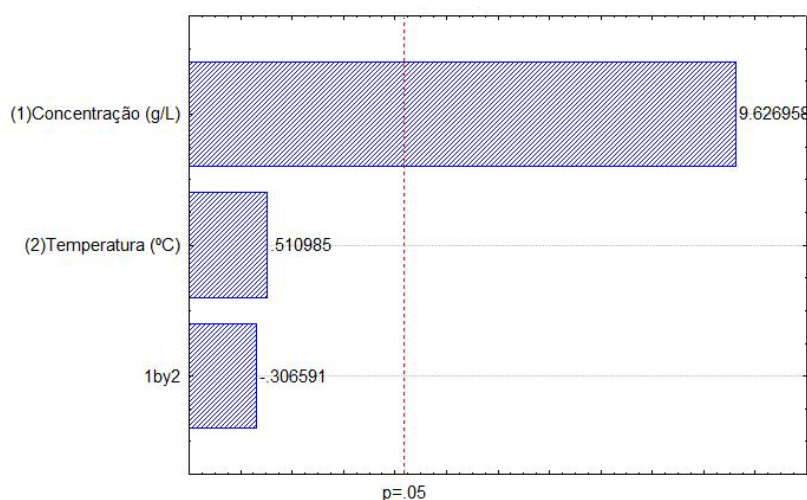


Figura 5 - Diagrama de Pareto dos efeitos da variação da concentração e da temperatura e da interação entre elas

De forma semelhante aos resultados observados no gráfico de superfície de resposta, este diagrama indica que a única variável que apresentou efeito estaticamente significativo no processo foi a concentração de substrato. Estes resultados indicam que um aumento da concentração de CR poderia proporcionar eficiências de remoção

ainda maiores ao processo. Entretanto, cabe destacar, que esta variável apresenta um limite máximo de aplicação devido às suas características físicas, o que tornaria inviável sua aplicação em sistemas em escala real. Sendo assim, foi considerada como condição ideal de operação: 150 g L⁻¹ de concentração, pH 9,0 e temperatura ambiente

RESULTADOS COMPLEMENTARES

Após a realização dos ensaios para determinação das melhores condições operacionais, foram realizados ensaios complementares para avaliar as possíveis rotas de remoção de cor do efluente. Todas as condições propostas foram testadas em triplicata e seus resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados complementares

Condição	Descrição	Abs. Média	Desvio Padrão	Eficiência de remoção (%)
I	Condição otimizada (6h)	0,143	0,005	80,5
II	Efluente Bruto	0,734	0,000	0,0
III	Serragem não colonizada	0,227	0,005	69,1
IV	Ausência de O ₂	0,225	0,009	69,4
V	Água destilada	0,060	0,002	--

A partir dos resultados obtidos no ensaio V, é possível observar que a liberação de cor por parte do composto residual é bastante baixa, indicando que este não é um fator que possui influência expressiva no processo. Observa-se, ainda, que a eficiência de remoção obtida no ensaio II (efluente sem qualquer substrato) foi nula, indicando que a remoção de cor por meio do processo de oxidação química pode ser considerada desprezível no presente estudo. Resultados semelhantes foram observados por Silva, Coelho e Cammarota (2010), que avaliaram a remoção de cor de efluentes têxteis empregando cogumelos e verificaram que a liberação de cor pelos fungos é desprezível, além disso, estes autores também não constaram a ocorrência do processo de oxidação química.

Destaca-se, também, que as eficiências de remoção obtidas nos ensaios III e IV (69,1 e 69,4%, respectivamente) foram bastante semelhantes. Considerando que em ambos os ensaios não seria possível a ocorrência do processo de degradação enzimática, uma vez que no ensaio III o substrato não era colonizado por fungos e que no ensaio IV a ausência de oxigênio impossibilita a ocorrência desse processo (KAUSHIK e MALIK, 2009), acredita-se que o processo de adsorção foi o principal mecanismo responsável pelo processo de remoção de cor ocorrido sob tais condições. É importante salientar, ainda, que a presença dos fungos não potencializou a eficiência de remoção de cor pelo processo de adsorção, indicando que tal processo ocorre, sobretudo, na superfície da serragem. Resultados semelhantes foram obtidos por Antunes et al. (2010), que avaliaram a remoção de corantes empregando serragem com concentração de 10 g L⁻¹ e tempo de contato de 60 horas e obtiveram eficiências de remoção de até 78%. De acordo com estes autores, a capacidade de adsorção da serragem é superior à de outros adsorventes normalmente utilizados, o que, aliado a seu baixo custo, demonstra a potencialidade de sua utilização para o tratamento de efluentes têxteis.

Por fim, avaliando-se comparativamente os resultados de remoção obtidos no ensaio I (condição otimizada) e os resultados obtidos nos ensaios III (serragem não colonizada) e IV (ausência de O₂), observa-se um aumento de cerca de 10% na eficiência do processo no ensaio com a presença do fungo e disponibilidade de oxigênio. Dessa forma, acredita-se que tal aumento pode ser atribuído a ocorrência do processo de degradação enzimática realizado pelos fungos. Balan e Monteiro (2001) estudaram a remoção de corantes empregando fungos *Pleurotus* e obtiveram eficiência de remoção de até 94%, entretanto, tais resultados foram obtidos após 4 dias de contato. Estes autores atribuíram a elevada eficiência obtida ao processo de degradação enzimática.

Kamida et al. (2005), por sua vez, avaliaram a remoção de cor de efluentes têxteis empregando fungos *Pleurotus* e constataram a produção de enzimas ligninolíticas durante os ensaios, o que os levou a concluir que, de fato, as enzimas produzidas estão envolvidas no processo de descoloração. Segundo Stamets (2005), a eficácia dos cogumelos *Pleurotus* na remoção de vários tipos corantes pode ser atribuída à atividade das enzimas lignina peroxidase, manganês peroxidase e, sobretudo, à lacase.

CONCLUSÕES

A utilização do composto residual da produção do fungo *Pleurotus ostreatus* mostrou-se eficiente para remoção de cor de efluente sintético simulando efluente têxtil real. De acordo com os ensaios para otimização do processo, verificou-se que a condição operacional considerada ótima foi obtida com pH 9 e concentração de substrato de 150 g L⁻¹. Destaca-se que, sob tal condição, a eficiência de remoção de cor obtida foi próxima a 80%. Verificou-se, ainda, que o processo de adsorção no substrato foi o principal mecanismo de remoção de cor observado. Entretanto, o processo de degradação enzimática permitiu um aumento da eficiência do processo, o que indica sua potencialidade de aplicação mediante a realização de estudos mais detalhados. Dessa forma, de maneira geral, tais resultados demonstram o elevado potencial da utilização de um resíduo agroindustrial como uma tecnologia sustentável para o tratamento de efluentes da industrial têxtil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKSU, Z. KILIÇ, N. K., ERTUĞRUL, S., & DÖNMEZ, G. **Inhibitory effects of chromium (VI) and Remazol Black B on chromium (VI) and dyestuff removals by *Trametes versicolor***. Enzyme and Microbial Technology, v. 40, n. 5, p. 1167–1174, abr. 2007.
- ANTUNES, M. L. P.; CAMARGO, S. R. G. D.; JESUS, C. P. C. D.; RUSSO, A. C. **Estudo da utilização de serragem de madeira como adsorvente para o tratamento de efluentes têxteis**. Revista de Estudos Ambientais, v.12, n. 2, p. 6-14, 2010.
- BALAN, D. S.; MONTEIRO, R. T. **Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi**. Journal of Biotechnology, v. 89, n. 2-3, p. 141-145, 2001.
- BALL, Andrew S.; JACKSON, Anita M. **The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost**. Bioresource Technology, v. 54, n. 3, p. 311-314, 1995.
- CARDOSO, N.F., LIMA, E.C., PINTO, I.S., AMAVISCA, C.V., ROYER, B., PINTO, R.B., ALENCAR, W.S., PEREIRA, S.F. Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1237-1247, 2011.
- CLARK, E. Corantes e o meio ambiente – Guia para usuários. *Química Têxtil*, v.28, p. 2231, 1995.
- CPRH – COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE. **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização para tipologia têxtil**. Recife: CPRH/GTZ. 2001. 125 p.
- GAN, Q.; ALLEN, S.J.; MATTHEWS, R. Activation of waste MDF sawdust charcoal and its reactive dye adsorption characteristics. **Waste Management**, 24, n. 8, p.841-848, 2004
- GUARANTINI, C.I.; ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. **Química Nova**. Sociedade Brasileira de Química, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.
- GUPTA, N; TRIPATHI, A. K.; HARSH N. S. K.; **Bioremediation of cotton-textile effluent using fungi**. BEPLS – Bulletin of Environment, Pharmacology & Life Sciences. v. 1, n.1, p. 15-19, 2011.
- KAMIDA, H. M.; DURRANT, L. R.; **Biodegradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju***. Química Nova. v. 28, n. 4, p. 629-632, 2005.
- KAUSHIK, P.; MALIK, A. **Fungal dye decolourization: recent advances and future potential**. Environment international, v. 35, n. 1, p. 127–41, jan. 2009.
- MERZOUK, B.; GOURICH, B.; MADANI, K.; VIAL, C.; SEKKI, A. **Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study**. Desalination, v. 272, p. 246-253, 2011.
- METCALF, EDDY. *Wastewater Engineering - Treatment and reuse*. 5ª ed. Boston: McGraw-Hill, 2014.
- MO, J., HWANG, J.E., JEGAL, J., KIM, J. Pretreatment of a dyeing wastewater using chemical coagulants. *Dyes and Pigments*, v, 72, p. 240-245, 2007.
- PUSKEILER, R.; WEUSTER-BOTZ, D. Combined sulfite method for the measurement of the oxygen transfer coefficient kLa in bioreactors. **Journal of biotechnology**, v. 120, n. 4, p. 430-438, 2005.

17. SENGIL, I.A. OZCAR, M. The decolorization of CI Reactive Black 5 in aqueous solution by electrocoagulation using sacrificial iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, v. 161, n. 2-3, p. 1369-1376, 2009.
18. SILVA, R.L.L., COELHO, M.A.Z, CAMMAROTA, M.C. Remoção de cor de efluentes têxteis com cogumelos *Agaricus bispora*. *Acta Scientiarum. Technology*, n. 32 v. 3, p. 219-225, 2010.
19. SOARES, P.A., SILVA, T.F.C., MANENTI, D.R., SOUZA, S.M.A.G.U., BOAVENTURA, R.A.R., VILAR, V.J.P. Insights into real cotton-textile dyeing wastewater treatment using solar advanced oxidation processes. *Environmental Science and Pollution Research*, v.21, p.932-945, 2014.
20. STAMETS, P. *Mycelium Running*. Berkeley: Ten Speed Press, 2005.
21. ZANONI, M.V.B., CARNEIRO, P.A. O descarte dos corantes têxteis. *Ciência Hoje*. v. 9, n. 174, p. 61-64, 2001.