

BIODEGRADAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS POR FUNGOS BASIDIOMICETOS PRODUTORES DE ENZIMAS LIGNINOLÍTICAS: UMA BREVE REVISÃO

HÉLIO MITOSHI KAMIDA¹, HELNA C. PASSINHO SOARES², IRAILDE DA SILVA SANTOS²
& ANA PAULA T. UETANABARO³

¹Pesquisador PRODOC/FAPESB/UEFS (hmkamida@uefs.br)

²Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia/UEFS
(helna@ufba.br) (iira_ss@yahoo.com.br)

³Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Saúde, Km 03, BR 116, Campus, 44031-460, Feira de Santana, Bahia (apaula@uefs.br)

(Biodegradação de efluentes têxteis por fungos basidiomicetos produtores de enzimas ligninolíticas: uma breve revisão) – O uso de fungos basidiomicetos tornou-se uma alternativa relevante no processo de biodegradação de resíduos industriais. Os fungos lignocelulósicos vêm se destacando pelo potencial na degradação desses resíduos, especialmente os efluentes têxteis. Esses fungos apresentam um sistema enzimático eficaz na degradação e mineralização de resíduos lignocelulósicos, podendo ser utilizados também na biorremediação de compostos xenobióticos. Este trabalho teve como objetivo fazer uma breve revisão de estudos realizados com fungos produtores de enzimas ligninolíticas utilizados na biodegradação de efluentes industriais.

Palavras-chave: Fungos basidiomicetos, biodegradação, corantes têxteis.

(Biodegradation of textile effluents by basidiomycetes fungi that produce ligninolytic enzymes: a brief review)

– The use of the basidiomycetes fungi has become an excellent alternative in the process of biodegradation of industrial waste. The lignocellulosic fungi have a notable potential for the degradation of these residues, especially the textile industry effluents. Fungi present an efficient enzymatic system for lignocellulosic residues degradation and mineralization being useful also in the bioremediation of xenobiotic composites. This work had the objective to make a mini-review of studies on fungi that produce ligninolytic enzymes used in the biodegradation of industrial wastewater.

Key words: Basidiomycetes fungi, biodegradation, textile dyes.

INTRODUÇÃO

Os problemas causados ao meio ambiente que caracterizam os tempos modernos são numerosos e bem documentados. As causas são variadas e vão desde o enorme crescimento da população, que contribui de forma significativa para a contaminação ambiental em função da grande quantidade de resíduos produzidos (lixo doméstico, esgoto, dentre outros) e à atividade industrial, que aumenta acompanhando as necessidades da população e contribuindo de forma negativa com grandes volumes de efluentes de natureza diversa e muitas vezes de caráter tóxico, que poluem rios, solos e provocam a morte de diversas espécies vegetais e animais.

Segundo FREIRE *et al.* (2000), o acúmulo de matérias-primas e insumos e a ineficiência dos processos de conversão dos resíduos industriais são os principais fatores de contaminação do ambiente. Nesse contexto, busca-se o melhor e o mais adequado tratamento em função da grande diversidade e complexidade de efluentes, aliado às imposições da legislação que exigem tratamentos eficientes. Novas tecnologias estão sendo estudadas, especialmente processos biológicos baseados na utilização de fungos e bactérias, ou diretamente na utilização de enzimas. Existe a necessidade de considerar fatores como custo, tempo e eficiência dos processos existentes na reciclagem e eliminação

de toxicidade, minimização de impactos ambientais por meio da transformação ou mineralização de compostos poluentes de difícil decomposição, como hidrocarbonetos, organoclorados, e aromáticos – benzeno, tolueno, xileno, piridina, furano, ftalimida entre outros (MINUSSI *et al.*, 2001; BENNET *et al.*, 2002; COHEN *et al.*, 2002; EJECHI, 2003; MACHADO *et al.*, 2005a; YESILADALI *et al.*, 2006; VALENTIN *et al.*, 2006).

As pesquisas que envolvem a degradação de compostos químicos têm mostrado vários microrganismos extremamente versáteis em degradar substâncias recalcitrantes. Os caminhos atuais da biotecnologia indicam fungos basidiomicetos degradadores de lignina como eficientes na degradação de grande variedade de compostos e de corantes, com alto potencial de ação e recuperação de ambientes contaminados. O uso dos fungos basidiomicetos na remediação dos impactos provocados pelos resíduos gerados nos meios de produção em grande escala, como nas indústrias em geral, torna-se altamente conveniente principalmente em função da isenção do uso de reagentes químicos adicionais, da freqüente auto-sustentabilidade do processo e do caráter pouco poluente dada sua natureza biológica.

Este trabalho teve como objetivo fazer uma breve revisão de estudos realizados com fungos produtores de enzimas ligninolíticas utilizados na biodegradação de

efluentes industriais.

USO DE FUNGOS NA BIODEGRADAÇÃO

Os basidiomicetos diferenciam-se dos demais fungos por produzirem esporos (basidiósporo) de origem sexuada em uma estrutura especializada denominada de basídio e são popularmente chamados de cogumelos e orellhas-de-pau. São reconhecidos pelos produtos metabólicos que produzem, como enzimas e polissacarídeos (MATHEUS & OKINO, 1998). A maioria das espécies dessa classe utiliza a madeira como matéria-prima para seu crescimento. De acordo com a forma que degradam a madeira, os basidiomicetos podem ser agrupados em: fungos causadores da podridão branca (PB) e fungos causadores da podridão parda (PP). Ambos possuem um sistema enzimático eficiente capaz de utilizar fontes complexas de carbono (Tabela 1). Os fungos da PB e PP se diferenciam pelo fato do primeiro produzir degradação seletiva da lignina na parede celular, deixando a celulose praticamente intacta, enquanto que o segundo produz uma quebra extensiva dos polissacarídeos da madeira (p.ex., celulose e hemicelulose) agindo muito pouco sobre a lignina (MATHEUS & OKINO, 1998; MATHEUS, 2003).

Tabela 1. Reações de degradação de madeira por fungos e espécies enzimáticas envolvidas.

Tipo de Fungo	Degradação	
	Celulose	Lignina
Podridão Branca	Hidrolíticas (Endo e exoglucanases) Oxidativas (Celobiose) Oxiredutases (Celobiose-quinona oxireductase)	Fenol oxidases Lacase, Lignina peroxidase (LiPs), manganês peroxidase (MnPs).
Podridão parda	Despolimerização oxidativa (Radicais livres de oxigênio, metaloproteínas) Hidrolíticas (Endoglucanases)	Desmetoxilação desconhecido

Fonte: ALEXOPOULUS *et al.* (1996).

Existem mais de 1.500 espécies diferentes de fungos PB, onde seus representantes possuem inerentes potencialidades de aplicação biotecnológica (BENNET *et al.*, 2002) por serem os únicos aparentemente capazes de degradar a lignina (FACKLER *et al.*, 2006), o que torna o estudo desses organismos uma importante alternativa para bioconversão de resíduos lignocelulósicos e de grande aplicação nos processos de biodegradação de compostos xenobióticos, como, por exemplo, na biorremediação de solos contaminados e no tratamento de efluentes da indústria química, de papelaria, têxtil, de petróleo, agrícola, como tam-

bém de resíduos sanitários e domésticos (FREIRE *et al.*, 2000; POINTING, 2001; BHATT *et al.*, 2002; SHAN & NERUD, 2002; COULIBALY *et al.*, 2003; FRAGOEIRO & MAGAN, 2005; CAJTHAML *et al.*, 2006). O mecanismo de descoloração de corantes poliméricos por fungos PB envolve as enzimas lignina peroxidase (LiPs), as manganês peroxidases (MnPs) e lacases. Entretanto, estes fungos diferem na habilidade e capacidade de degradar corantes com base nas diferenças qualitativas e quantitativas dessas enzimas (VYAS & MOLITORIS, 1995).

Os fungos PB isolados de ecossistemas brasileiros têm sido analisados para a degradação de muitas moléculas xenobióticas, como corantes têxteis e organoclorados. Algumas linhagens de fungos envolvidas na degradação destas moléculas pertencem às espécies: *Hygrocybe* sp., *Lentinus crinitus*, *Peniophora cinerea*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Phellinus gilvus*, *Pleurotus sajor-caju*, *Pleurotus ostreatus*, *Psilocybe castanella*, *Pycnoporus sanguineus*, *Trametes villosa* e *Trametes versicolor* (GUGLIOTTA, 2001; MATHEUS, 2003; MACHADO *et al.*, 2005a, 2005b).

EFLUENTE TÊXTEL

A indústria têxtil têm se destacado entre as maiores poluidoras do ambiente, pois consome grande quantidade de água e de produtos químicos, gerando grandes volumes de efluentes corados o que acarreta a contaminação dos corpos d'água (KUNZ *et al.*, 2002). Os processos de tinturaria e lavagem são as principais fontes de poluição da água, sendo produzidos cerca de 40-65 litros de água por quilograma de tecido processado. Essas águas caracteristicamente possuem uma cor acentuada, pois cerca de 10-15% do corante inicial não é fixado à fibra durante o processo de tingimento, sendo lançado no efluente (YESILADALI *et al.*, 2006). A etapa final da tintura pode contribuir significativamente no lançamento de rejeitos de diversas substâncias químicas com composição variável, como corante, umectante, antiespumante, eletrólitos, dispersantes etc. (GUARATINI & ZANONI, 2000).

Os danos primários dos corantes nos efluentes têxteis são: diminuição da transparência da água, que, conseqüentemente, impede a penetração da radiação solar diminuindo a atividade fotossintética; e redução da concentração de oxigênio dissolvido (CHANDER & ARORA, 2007). Como exemplo de danos secundários, temos as doenças mutagênicas, carcinogênicas e toxidez (VERMA & MADAMWAR, 2005; CHANDER & ARORA, 2007).

Algumas metodologias vêm sendo utilizadas no tratamento dos efluentes industriais, como os métodos químicos, físicos e biológicos (FREIRE *et al.*, 2000; KUNZ *et al.*, 2002). Os primeiros são normalmente dispendiosos, demandam um maior aporte de energia e tecnologia, não eliminando completamente o agente contaminante do ambiente, apenas reduzem a sua presença (FREIRE *et al.*, 2000; KUNZ *et al.*, 2002; YESILADALI *et al.*, 2006). Como exemplos de métodos

físicos e químicos para remoção de corantes, temos a adsorção, transformação química, incineração, fotocatalise ou ozonização (DE MORAES *et al.*, 2000). Uma alternativa promissora é o método biológico, que busca diminuir ou eliminar os resíduos produzidos pela ação antrópica com um custo relativamente baixo (FREIRE *et al.*, 2000; KUNZ *et al.*, 2002).

É importante salientar que o método (químico, físico ou biológico) a ser aplicado no tratamento do efluente industrial depende de outros fatores, como o tipo de agente contaminante (propriedades físicas e químicas) e relação custo/benefício (TOH *et al.*, 2003; WESENBERG *et al.*, 2003). Considerando que as abordagens biotecnológicas têm sido cada vez mais aplicadas, pode-se utilizar em combinação com processos físico-químicos no tratamento de efluentes (KUNZ *et al.*, 2002; CHANDER & ARORA, 2007).

CORANTE TÊXTIL

Os corantes sintéticos são mundialmente empregados na indústria têxtil (YESILADALI *et al.*, 2006) e a diversidade estrutural destes corantes é atribuída à presença de diferentes grupos cromóforos que dão cor ao composto e grupos auxiliares que facilitam sua afinidade pelo substrato (tecido, couro, fibra e outros) (KUNZ *et al.*, 2002). Os grupos mais conhecidos são: azo, trifenilmetano, antraquinona e ftalocianina (NOVOTNÝ *et al.*, 2001; CHANDER & ARORA, 2007) (Fig. 1). Estruturalmente, um dos aspectos comuns a praticamente todos os corantes é a presença de um ou mais anéis benzênicos ou aromáticos, que conferem as características recalcitrantes aos compostos, por isso são também chamados de benzenóides (Fig. 1).

O azo é a classe mais ampla de corante sintético equivalendo a 60% do mercado mundial (KUNZ *et al.*, 2002). É caracterizado por um ou mais grupamentos do tipo —NP%N— (Fig. 1) ligados a estruturas aromáticas; possui alta estabilidade fotolítica e resistência em relação à maioria dos agentes oxidantes (YESILADALI *et al.*, 2006).

Os corantes sintéticos utilizados nas indústrias têxteis são desenvolvidos para resistir à exposição, à transpiração, luz, água, produtos químicos como agentes oxidantes e ataque microbiano. Dessa forma, mantêm-se como compostos recalcitrantes no meio ambiente (WESENBERG *et al.*, 2003). Os corantes ficam aderidos aos substratos por adsorção física, formando compostos complexos com metais e sais, e por retenção mecânica ou ligações covalentes, iônicas, de hidrogênio, ou de Van der Waals (GUARATINI & ZANONI, 2000; BALAN & MONTEIRO, 2001).

TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTE TÊXTIL

Várias espécies de fungos PB vêm sendo utilizadas no tratamento biológico de efluentes têxteis (MATHEUS & OKINO, 1998; KAMIDA *et al.*, 2005; MACHADO *et al.*, 2005b; CHANDER & ARORA, 2007), como resultado do processo enzimático que degrada e/ou mineraliza compostos

lignocelulósicos (MATHEUS & OKINO, 1998; FREIRE *et al.*, 2000).

O fungo PB utiliza um sistema enzimático constituído por várias combinações de diferentes enzimas ligninolíticas, como lacase, manganês peroxidase (MnP), lignina peroxidase (LiP) e peroxidase (KAMIDA *et al.*, 2005; YESILADALI *et al.*, 2006). Essas enzimas extracelulares têm a capacidade de quebrar várias ligações de moléculas heterogêneas (CHANDER & ARORA, 2007). Por esse motivo, elas vêm sendo utilizadas na degradação ou mineralização de compostos recalcitrantes (KUNZ *et al.*, 2002; MACHADO *et al.*, 2005b).

O sistema enzimático dos fungos utilizados no tratamento de efluentes da indústria têxtil tem demonstrado influência no processo de descoloração, especialmente os fungos da podridão branca, potencialmente biorremediadores de corantes têxteis: azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, corantes heterocíclicos, assim como outros efluentes industriais (NOVOTNÝ *et al.*, 2001; KUNZ *et al.*, 2002; RAMSAY & GOODE, 2004; CONCEIÇÃO *et al.*, 2005b; MACHADO *et al.*, 2005; RIGAS & DRITSA, 2006; CHANDER & ARORA, 2007).

Entre os fungos filamentosos, *Phanerochaete chrysosporium* é uma espécie mundialmente utilizada como modelo de sistema na compreensão do processo da degradação da lignina e biodegradação de poluentes ambientais (FREIRE *et al.*, 2000; KUNZ *et al.*, 2002; MACHADO *et al.*, 2005b; CHANDER & ARORA, 2007). Em condição aeróbicas, essa espécie possui habilidade para degradar efluentes industriais (TOH *et al.*, 2003). Existem diversos fungos PB (Tabela 2) com diferentes padrões enzimáticos ligninolíticos que resultam em grandes diferenças na habilidade de degradação de xenobiótico (MACHADO *et al.*, 2005b).

FREIRE *et al.* (2000) consideraram que a eficiência do sistema enzimático do fungo pode ser otimizada quando esse sistema é imobilizado em suporte adequado, o que resultaria em ganho econômico na sua aplicação. YU *et al.* (2006) relataram que a enzima bruta é grandemente aplicada na engenharia ambiental por ser mais viável quando comparada com os altos custos do procedimento de purificação da enzima. No entanto, estudos extensivos ainda são necessários para aplicação em larga escala de enzimas ligninolíticas na remoção de corantes têxteis (YU *et al.*, 2006).

Na biodegradação de corantes têxteis a eficiência do processo depende da natureza do corante e da afinidade do organismo envolvido (MACHADO *et al.*, 2005b; CHANDER & ARORA, 2007). No caso dos fungos lignocelulósicos, a ativação do sistema enzimático varia entre as espécies e linhagens, de acordo com o substrato utilizado e com fatores ambientais (MATHEUS *et al.*, 1998).

A utilização de compostos xenobióticos como substrato para fungos lignocelulósicos apresenta algumas desvantagens quando eles são comparados com os substratos convencionais que são estáveis, solúveis e apresentam baixa toxicidade (MACHADO *et al.*, 2005b). Além disso, a maioria das pesquisas realizadas resulta de observa-

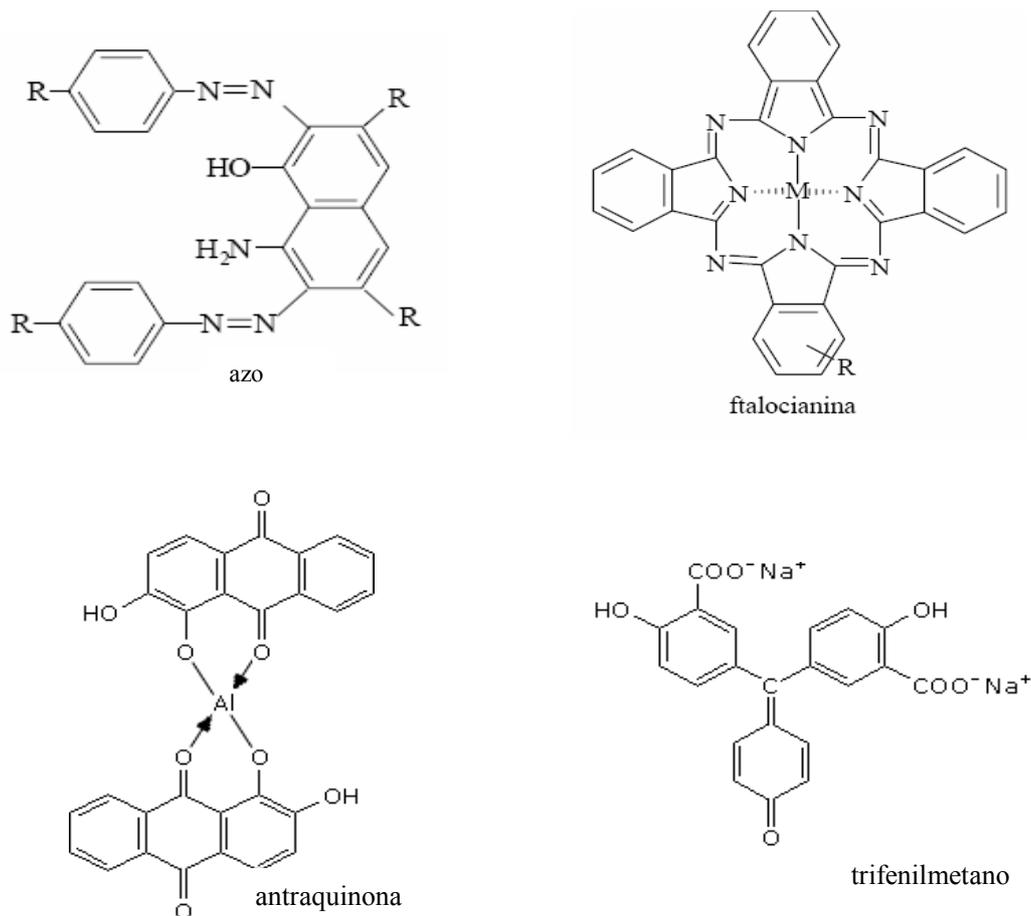


Fig. 1. Exemplos de estruturas moleculares de alguns corantes têxteis.

Tabela 2. Exemplos de fungos lignocelulósicos com potencial aplicação no tratamento de efluentes industriais.

Fungo	Enzima	Aplicação	Referência
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Lacase	Degradam hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, vários corantes sintéticos	VERMA <i>et al.</i> (2005)
	LiP		
	MnP		
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Peroxidase	Oxidação de metais compostos orgânicos e inorgânicos	COULIBALY <i>et al.</i> (2003)
	Lacase	Mineralização de hidrocarbonetos; oxidação de fenóis, clorofenóis, antraceno, acenofileno	BENNET <i>et al.</i> (2002)
<i>Pleurotus sp.</i>	Lacase	Mineralização de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, atrazina, organofosforados	COHEN <i>et al.</i> (2002)
	MnP		COHEN <i>et al.</i> (2002)
	LiP	Oxidação de fenóis, clorofenóis, nitro-aromáticos e compostos poliaromáticos; mineralização de hidrocarbonetos aromáticos	TOH (2003) BENNET <i>et al.</i> (2002)
<i>Trametes versicolor</i>	Lacase	Oxidação de fenóis, clorofenóis e variados poliaromáticos; mineralização de hidrocarbonetos aromáticos	RAMSAY & GOODE (2004) YI-CHIN <i>et al.</i> (2003)
<i>Trametes versicolor</i>	LiP	Oxidação de corante azo e ftalocianina	RAMSAY & GOODE (2004)
<i>Trametes hirsuta</i>	Lacase	Corantes têxteis: azo, antraquinona, índigo, triarilmetano	ABDULLA <i>et al.</i> (2000)
<i>Trichophyton rubrum</i>	MnP	Oxidação dos corantes reativos: azul R, preto R; e corantes ácidos: turquesa S	YESILDALI <i>et al.</i> (2006)
	Lacase		
	MnP	Oxidação de fenóis monoaromáticos e corantes aromáticos	BENNET <i>et al.</i> (2002)
<i>Coprinus macrorhizus</i>	Peroxidase	Oxidação de fenóis, descoloração de efluentes	BENNET <i>et al.</i> (2002) COHEN <i>et al.</i> (2002)
<i>Ganoderma australe</i>	...	Descolorização - corantes poli R-478	RIGAS & DRITSA (2006)

ções em escala laboratorial com poucos relatos de trabalhos em campo sobre a degradação ou mineralização de compostos contaminantes por fungos lignocelulósicos, o que reforça a importância de mais pesquisas que ratifiquem a aplicação dos basidiomicetos no processo de biodegradação e que favoreçam, conseqüentemente, o aumento da possibilidade de uso desses organismos no controle da poluição da água (CHANDER & ARORA, 2007). É importante salientar que a depender da atuação do fungo no substrato (degradação e/ou mineralização) durante o processo de biorremediação de compostos xenobióticos, os resultados obtidos, às vezes, podem não ser muito favoráveis. Isso porque os produtos desse processo podem ter um maior efeito contaminante do

que o próprio resíduo. O ideal seria buscar espécie(s) de fungo(s) que propicie(m) não apenas a degradação, mas também a mineralização dos produtos da biodegradação, provocando assim a retirada total do agente contaminante do ambiente. A Tabela 3 apresenta alguns fungos PB utilizados na biorremediação de corantes de efluentes têxteis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os danos provocados pelos efluentes industriais, especialmente os têxteis, no ambiente podem ser atenuados ou eliminados com pesquisa que possibilite o uso adequado de tecnologias para seu tratamento. Atualmente existe

Tabela 3. Trabalhos que relatam biodegradação de corantes através de fungos.

Fungos	Corante	Taxa de decoloração (%)	Tempo (dias)	Referências
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Orange II	99,5	1	MIELGO <i>et al.</i> (2001)
<i>Phellinus gilvus</i>		100		
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	CI Vat Blue I	90	4	BALAN & MONTEIRO (2001)
<i>Pleurotus sajor-caju</i>		94	4	
<i>P. sajor-caju</i>	Corante indigo	100	14	KAMIDA <i>et al.</i> (2005)
		94	4	
<i>Phellinus gilvus</i>		100	4	BALAN & MONTEIRO (2001)
<i>Pycnoporus sanguineus</i>		91	4	
<i>P. chrysosporium</i>	Poly R-478	95	8	COUTO <i>et al.</i> (2000)
<i>P. chrysosporium</i>	Sp-g (diazó)	89	28	MARTINS <i>et al.</i> (2001)
	Cm-s (diazó)	88	28	
<i>Lentinus edodes</i>			07	
<i>Trametes versicolor</i>	Reactive Blue	100	12	MINUSSI <i>et al.</i> (2001)
<i>T. villosa</i>		100	12	
<i>P. chrysosporium</i>		50	05	
<i>P. chrysosporium</i>	Remazol Blue RR	95	8	TOH <i>et al.</i> (2003)
	Remazol Red RR	97	8	
<i>Dichomitos squalens</i>	Brilhant green	100	5	GILL <i>et al.</i> (2002)
	Cristal violeta	100	5	
	Vermelho cresol	100	5	
	Vermelho congo	100	5	
	Orange II	100	5	
<i>P. chrysosporium</i>	Brilhant green	100	5	GILL <i>et al.</i> (2002)
	Cristal violeta	58,3	5	
	Vermelho cresol	20	5	
	Vermelho congo	84	5	
	Orange II	52,9	2	
<i>Geotrichum sp.</i>	Reactive Black 5	100	10	MÁXIMO <i>et al.</i> (2003)
	Reactive Red 158	100	20	
	Reactive Yellow 27	100	20	
<i>Flavodon flavus</i>	Azure B 96 11	96	11	RAGHKUMAR (2000)
	Brilhant gree	73	9	
	Vermelho congo	93	9	
	Cristal violeta	87	11	
	Poly-B	93	9	
	Poly-R	80	5	
	RBBR	93	9	

uma variedade de métodos físicos, químicos e biológicos e a escolha do melhor, ou melhores métodos deve ser feita levando-se em consideração os objetivos a serem alcançados com o tratamento. Contudo, a utilização de processos biotecnológicos no tratamento de efluentes seguramente

propicia um leque de alternativas de uso. Em se tratando dos fungos PB o fato de apresentarem um sistema enzimático único, com abrangentes resultados na degradação e/o mineralização de compostos complexos diversos, os torna importantes no tratamento de poluentes industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXOPOULUS CJ, CW MIMS & M BLACKWELL M. 1996. **Introductory mycology**. New York: John Wiley & Sons.
- ABADULLA E, T TZANOV, S COSTA, KH ROBRA, CP ARTUR & GM GU BITZ. 2000. Decolorization and detoxification of textile dyes with a laccase from *Trametes hirsuta*. **Applied and Environmental Microbiology** 66: 3357-3362.
- BALAN DSL & RTR MONTEIRO. 2001. Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi. **Journal of Biotechnology** 89: 141-145.
- BENNET JW, KG WUANCH & BD FAISON. 2002. Use of fungi biodegradation, p. 960-971. In: CJ HURST (ed.). **Manual of environmental microbiology**. 2ª ed. Washington, D. C.: ASM Press.
- BHATT M, T CAJTHAML & V SÁSK. 2002. Mycoremediation of PAH contaminated soil. **Folia Microbiologica** 47: 255-258.
- CAJTHAML T, P ERBANOVA, V SÁSK & M MOEDER. 2006. Breakdown products on metabolic pathway of degradation of benz[a]anthracene by a ligninolytic fungus. **Chemosphere** 64: 560-564.
- CHANDER M & DS ARORA. 2007. Evaluation of some white-rot fungi for their potential to decolourise industrial dyes. **Dyes and Pigments** 72: 192-198.
- CONCEIÇÃO DM, DA ANGELIS, ED BIDOIA & D DE F DE ANGELIS. 2005. Fungos filamentosos isolados do Rio Atibaia, SP e refinaria de petróleo biodegradadores de compostos fenólicos. **Arquivos Instituto Biológico São Paulo** 72(1): 99-106.
- COHEN R, L PERSKY & Y HADAR. 2002. Biotechnological applications and potencial of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. **Applied Microbiology and Biotechnology** 58: 582-594.
- COULIBALY L, G GOURENE & NS AGATHOS. 2003. Utilization of fungi for biotreatment of raw wastewaters. **African Journal of Biotechnology** 2(12): 620-630.
- COUTO SR, I RIVELA, MR MUÑOZ & A SANROMÁN. 2000. Stimulation of ligninolytic enzyme production and the ability to decolorize Poly R-478 in semisolid-state cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. **Bioresource Technology** 74: 159-164.
- DE MORAES SG, RS FREIRE & N DURÁN. 2000. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation process. **Chemosphere** 40: 369-373.
- EJECHI BO. 2003. Biodegradation of wood in crude oil-polluted soil. **World Journal of Microbiology & Biotechnology** 19: 799-804.
- FACKLER K, C GRADINGER, B HINTERSTOISSER, K MESSNER & M SCHWANNINGER. 2006. Lignin degradation by white rot fungi on spruce wood shavings during short-time solid-state fermentations monitored by near infrared spectroscopy. **Enzyme and Microbial Technology** 39: 1476-1483.
- FRAGOIRO S & N MAGAN. 2005. Enzymatic activity, osmotic stress and degradation of pesticide mixtures in soil extract liquid broth inoculated with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trametes versicolor*. **Environmental Microbiology** 7(3): 348.
- FREIRE S, R PELEGRINI, LT KUBOTA & N DURÁN. 2000. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova** 23(4): 504-511.
- GILL PK, DS ARORA & M CHANDER. 2002. Biodecolourization of azo and triphenylmethane dyes by *Dichomitus squales* and *Phlebia* spp. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology** 28: 201-203.
- GUARATINI CCI & MVB ZANONI. 2000. Corantes têxteis. **Química Nova** 23: 71-78.
- GUGLIOTTA AM. 2001. **Utilização de basidiomicetos nativos na remoção de corantes em efluentes na indústria têxtil**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- KAMIDA HM, LR DURRANT, RTR MONTEIRO & ED ARMAS. 2005. Biodegradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. **Química Nova** 28(4): 629-632.
- KIRK PM, PF CANNON, JC DAVID & JA STALPERS. 2001. **Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi**. Wallingford: C.A.B. International.
- KUNZ A, P PERALTA-ZAMORA, SG DE MOARES & N DURÁN. 2002. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova** 25(1): 78-82.
- MACHADO KMG, DR MATHEUS & VLR BONONI. 2005a. Ligninolytic enzymes production and remazol brilliant blue R decolorization by tropical Brazilian basidiomycetes fungi. **Brazilian Journal of Microbiology** 36: 246-252.
- MACHADO KMG, DR MATHEUS & VLR BONONI. 2005b. Biodegradation of pentachlorophenol by tropical basidiomycetes in soils contaminated with industrial residues. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 21: 297-310.
- MARTINS MAM, IC FERREIRA, IM SANTOS, MJ QUEIROZ & N LIMA. 2001. Biodegradation of bioaccessible textile azo dyes by *Phanerochaete chrysosporium*. **Journal of Biotechnology** 89: 91-98.
- MATHEUS DR & LK OKINO. 1998. Utilização de basidiomicetos em processos biotecnológicos, p. 106-139. In: VLR BONONI (ed.). **Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos: noções básicas de taxonomia e aplicações biotecnológicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, Secretaria de Estado do Meio Ambiente.
- MATHEUS DR. 2003. **Otimização da biodegradação de hexaclorobenzeno por fungos basidiomicetos em solos contaminados com resíduos industriais**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- MÁXIMO C, TPA MARIA & M COSTA-FERREIRA. 2003. Biotransformation of industrial reactive azo dyes by *Geotrichum* sp. CMI 1019. **Enzyme Microbial Technology** 32: 145-151.
- MIELGO I, MT MOREIRA, G FEIJOO & JM LEMA. 2001. A packed-bed fungal bioreactor for the continuous decolourisation of azo-dyes (Orange II). **Journal of Biotechnology** 89: 99-106.
- MINUSSI RC, SG MORAES, GM PASTORE & N DURÁN. 2001. Biodecolorization screening of synthetic dyes by four white-rot fungi in a solid medium: possible role of siderophores **Letters in Applied Microbiology** 33: 21-25.
- NOVOTNÝ C, B RAWAL, M BHATT, M PATEL, V SASEK & HP MOLITORIS. 2001. Capacity of *Irpex lacteus* and *Pleurotus ostreatus* for decolorization of chemically different dyes. **Journal of Biotechnology** 89: 113-122.
- POINTING SB. 2001. Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology** 57: 20-33.
- RAGHUKUMAR C. 2000. Fungi from marine habitats: an application in bioremediation. **Mycology Research** 104(10): 1222-1226.
- RAMSAY JA & C GOODE. 2004. Decoloration of a carpet dye effluent using *Trametes versicolor*. **Biotechnology Letter** 26: 197-

- 201.
- RIGAS F & V DRITSA. 2006. Decolourisation of a polymeric dye by selected fungal strains in liquid cultures. **Enzyme and Microbial Technology** 39: 120-124.
- SHAN V & F NERUD. 2002. Lignin degrading system of white-rot fungi and its exploitation for dye decolorization. **Canadian Journal Microbiology** 48: 857-870.
- TOH Y, JIL YEN, JP OBBARD & Y TING. 2003. Decolourisation of azo dyes by white-rot fungi (WRF) isolated in Singapore. **Enzyme and Microbial Technology** 33: 569-575.
- VALENTÍN L, G FEIJOO, MT MOREIRA & JM LEMA. 2006. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in forest and salt marsh soils by white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation** 58: 15-21.
- VERMA P & D MADAMWAR. 2005. Decolorization of azo dyes using Basidiomycete strain PV 002. **World Journal of microbiology** 21: 481-485.
- VYAS BRM & HP MOLITORIS. 1995. Involvement of an extracellular H₂O₂-dependent ligninolytic activity of white rot fungus *Pleurotus ostreatus* in the decolorization of remazol brilliant blue R. **Applied Environmental Microbiology** 61(11): 3919-3927.
- WESENBERG D, I KYRIAKIDES & SN AGATHOS. 2003. White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. **Biotechnology Advances** 22: 161-187.
- YESILADALI S, KORAY, PEKIN, G LSEREN, BERMEK, HAKAN, I ARSLAN-ALATON, ORHON DERIN, TAMERLE, CANDAN TAMERLE. 2006. Bioremediation of textile azo dyes by *Trichophyton rubrum* LSK-27. **World Journal of Microbiology & Biotechnology** 22: 1027-1031.
- YU G, X WEN, R LI & Y QIAN. 2006. In vitro degradation of a reactive azo dye by crude ligninolytic enzymes from nonimmersed liquid culture of *Phanerochaete chrysosporium*. **Process Biochemistry** 41: 1987-1993.