



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Itapeva

SOFIA TAFURI ERCOLINI

Análise do potencial biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção de corantes têxteis e efluente coletado de uma lavanderia industrial têxtil: um estudo da biorremediação

Itapeva - SP
2018

SOFIA TAFURI ERCOLINI

Análise do potencial biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção de corantes têxteis e efluente coletado de uma lavanderia industrial têxtil: um estudo da biorremediação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Experimental de Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof^a Dr^a Danielle Goveia

Itapeva - SP
2018

E65a

Ercolini, Sofia Tafuri

Análise do potencial biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção de corantes têxteis e efluente coletado de uma lavanderia industrial têxtil : um estudo da biorremediação / Sofia Tafuri Ercolini. -- Itapeva, 2018

60 f. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Produção) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de Itapeva, Itapeva
Orientadora: Danielle Goveia

1. Biorremediação. 2. Leveduras. 3. Efluente Industrial. 4. Corantes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Câmpus Experimental de Itapeva. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



SOFIA TAFURI ERCOLINI

**ANÁLISE DO POTENCIAL BIODEGRADATIVO DA LEVEDURA
SACCHAROMYCES CEREVISIAE NA REMOÇÃO DE CORANTES
TÊXTEIS E EFLUENTE COLETADO DE UMA LAVANDERIA
INDUSTRIAL TÊXTIL: UM ESTUDO DA BIORREMEDIAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof.^a Dr.^a Danielle Goveia

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

2º Examinador: Prof. Dr. César Augusto Galvão de Moraes

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

3º Examinador: Prof.^a Dr.^a Marília da Silva Bertolini

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 22 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à orientadora Prof. Dra. Danielle Goveia, por todo apoio, orientação, conhecimento transmitido e pela atenção prestada durante o processo de pesquisa. Obrigada pela disposição para atender e sanar todas as dúvidas e, disponibilizar o laboratório para realização dos experimentos.

Ao Prof. Dr André Luis Debiasio Rossi que lecionou as aulas do Trabalho de Conclusão de Curso, disponibilizou os materiais para consulta de normas e se dispôs para sanar todas as dúvidas durante o processo.

Aos meus familiares e amigos que sempre me incentivaram e estavam dispostos a ajudar.

Agradeço também à lavanderia industrial, localizada no município de Cianorte/PR, e seus funcionários que permitiram e ajudaram na coleta da amostra para estudo, possibilitando a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço ao Campus UNESP Itapeva pela disponibilização de laboratórios e material necessário para as pesquisas.

Nossas ações, por menores que pareçam, são capazes de mudar o mundo. Se nos conectarmos com o planeta e uns com os outros em nossas diferenças, seremos uma ponte para um futuro sustentável. Está sempre amanhecendo, em algum lugar do planeta. Cada amanhecer é sempre o mesmo e também sempre diferente. Cada um de nós faz o seu Amanhã. E juntos fazemos o nosso! – os Amanhãs que queremos.

Museu do Amanhã

RESUMO

A inovação tecnológica na área industrial têxtil tem contribuído positivamente para a economia mundial, entretanto, essa inovação gera impactos ao meio ambiente devido à grande produção de resíduos industriais que muitas vezes são descartados nos corpos hídricos sem um tratamento adequado. Esses poluentes provenientes da indústria têxtil são caracterizados por apresentarem alta coloração e difícil degradação, dessa forma, os resíduos gerados pela indústria têxtil têm se tornado uma grande preocupação no que tange a poluição dos recursos hídricos e a alteração do seu ecossistema. Dentre os tratamentos existentes, a biorremediação está emergindo como objeto de pesquisa em diversas áreas. É uma metodologia que se enquadra nos princípios da Química Verde, pois visa à concepção de microrganismos que degradam substâncias tóxicas em formas inócuas. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é um microrganismo aeróbio facultativo que possui a capacidade de se adaptar metabolicamente em condições de aerobiose ou anaerobiose mantendo sua alta velocidade de crescimento. Para tanto, este estudo objetivou analisar o potencial biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção de corantes têxteis através da análise espectrofotométrica de absorção molecular na região do ultra-violeta visível. Para a melhor avaliação do potencial biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* foram utilizados neste trabalho os corantes alaranjado de metila e índigo carmim, para em seguida aplicar em efluente de lavanderia industrial. Os resultados indicam que a levedura é capaz de biodegradar ambos os corantes, entretanto apresentou maior capacidade de biodegradação quando exposta à solução do corante indigóide, reduzindo sua coloração na média de 53%. Ademais, a suspensão foi capaz de biodegradar o efluente têxtil durante todo o período de reação. A levedura conseguiu reduzir a concentração inicial do efluente em até 87%, dessa forma, a biorremediação através da utilização da levedura *Saccharomyces cerevisiae* se mostrou eficaz para o tratamento de águas residuais de lavanderias têxteis.

Palavras-chave: Biorremediação. Leveduras. Efluente Industrial. Corantes.

ABSTRACT

Technological innovation in the textile industrial area has contributed positively to the world economy, however, this innovation generates impacts to the environment due to the large production of industrial waste that is often discarded in the water bodies without adequate treatment. These pollutants from the textile industry are characterized by high coloration and difficult degradation, thus, the waste generated by the textile industry has become a major concern in terms of pollution of water resources and the alteration of their ecosystem. Among the existing treatments, bioremediation is emerging as an object of research in several areas. It is a methodology that fits the principles of Green Chemistry, since it aims at the design of microorganisms that degrade toxic substances in innocuous forms. *Saccharomyces cerevisiae* yeast is an optional aerobic microorganism that has the ability to adapt metabolically under aerobic or anaerobic conditions while maintaining its high growth rate. The objective of this study was to analyze the biodegradable potential of yeast *Saccharomyces cerevisiae* in the removal of textile dyes by the spectrophotometric analysis of molecular absorption in the visible ultraviolet region. For the best evaluation of the biodegradable potential of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, the orange and methyl indigo carmine dyes were used in this work and then applied in industrial laundry effluent. The results indicate that the yeast is capable of biodegrading both dyes. However, it showed a higher biodegradability when exposed to the indigo dye solution, reducing its coloration by 53%. In addition, the suspension was able to biodegrade the textile effluent throughout the reaction period. The yeast was able to reduce the initial effluent concentration by up to 87%, thus, bioremediation through the use of yeast *Saccharomyces cerevisiae* proved to be effective for the treatment of wastewater from textile laundries.

Keywords: Biorremediation. Yeast. Industrial effluent. Dyes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O efeito poluidor de efluentes industriais	16
Figura 2 – Estrutura Química do corante Alaranjado de Metila	19
Figura 3 – Estrutura Química do corante Índigo Carmim	20
Figura 4 – Desafios da Química Verde	22
Figura 5 – Ciclo do Carbono.....	24
Figura 6 – Ação simplificada do microrganismo na biorremediação	26
Figura 7 – Presença do fungo <i>Rhizopus</i> no morango	27
Figura 8 – Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> em microscópio eletrônico de varredura.....	28
Figura 9 – Solução da Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> com sobrenadante translúcido.....	31
Figura 10 – Local de coleta do efluente têxtil	33
Figura 11 – Efluente coletado da Lavanderia Têxtil	33
Figura 12 – Suspensão da Levedura e Efluente em balão volumétrico (100 mL)	34
Figura 13 – Amostras em agitação por 2 horas.....	35
Figura 14 – Gráfico da varredura da solução estoque do corante Índigo Carmim	38
Figura 15 – Gráfico da varredura da solução estoque do corante Alaranjado de Metila.....	39
Figura 16 – Gráfico Concentração x Absorbância do corante Índigo Carmim.....	40
Figura 17 – Gráfico x Absorbância do corante Alaranjado de Metila.....	40
Figura 18 – Gráfico da Concentração degradada pela concentração inicial dos corantes	43
Figura 19 – Gráfico da varredura do efluente têxtil coletado na Lavanderia Industrial	45
Figura 20 – Curva de Calibração do corante Índigo Carmim.....	46
Figura 21 – Amostras do efluente sem a suspensão da levedura e após a exposição com a suspensão da levedura.....	47
Figura 22 – Amostras do efluente, após 24 horas de reação, sem e com a suspensão da levedura, respectivamente	47

Figura 23 – Amostras do efluente, após 48 horas de reação, sem e com a suspensão da levedura, respectivamente	48
Figura 24 – Amostras do efluente, após 72 horas de reação, sem e com a suspensão da levedura, respectivamente	48
Figura 25 – Comparativo comportamental da absorbância pelo comprimento de onda após 24 horas.....	49
Figura 26 – Comparativo comportamental da absorbância pelo comprimento de onda após 48 horas.....	50
Figura 27 – Comparativo comportamental da absorbância pelo comprimento de onda após 72 horas.....	50
Figura 28 – Gráfico da absorbância pelo tempo.....	52
Figura 29 – Gráfico da redução percentual da concentração do efluente têxtil.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de corantes de acordo com o C.I.	19
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comprimento de onda dos corantes analisados correspondentes ao pico de absorbância.....	38
Tabela 2 – Valores da absorbância das soluções do corante Índigo Carmim em diferentes concentrações	41
Tabela 3 – Valores da absorbância das soluções do corante Alaranjado de Metila em diferentes concentrações	41
Tabela 4 – Valores da porcentagem de descoloração dos corantes analisados.....	42
Tabela 5 – Valores da absorbância e concentração do efluente.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
C.I.	Colour Index
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PIB	Produto Interno Bruto

LISTA DE SÍMBOLOS

-N=N-	Ligação dupla de Nitrogênio
-C=C-	Ligação dupla de Carbono

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Contaminação por Efluentes	16
2.2 Indústrias Têxteis	17
2.2.1 Lavanderias Têxteis	17
2.2.2 Efluentes e Corantes Têxteis	18
2.3 Química Verde	21
2.4 Tratamentos de Efluentes	22
2.4.1 Tratamento Biológico	23
2.4.2 Biodegradação	23
2.4.3 Biorremediação	25
2.5 Microrganismos e a Biodegradação	26
2.5.1 Fungos	27
2.5.2 Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	27
3 OBJETIVOS	29
3.1 Objetivo Geral	29
3.2 Objetivos Específicos	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Materiais	30
4.2 Preparo das soluções	30
4.3 Preparo das soluções estoque	30
4.4 Varredura da solução estoque através da análise espectrofotométrica	31
4.5 Preparo da suspensão da levedura fresca 2%	31
4.6 Preparo das soluções para reação de biodegradação com os corantes e suspensão da levedura	32
4.7 Análise de absorbância das soluções de corante no espectrofotômetro	32
4.8 Coleta do efluente	32
4.9 Varredura da amostra de efluente através da análise espectrofotométrica	33
4.10 Preparo da solução para reação de biodegradação com o efluente e	

suspensão da levedura	34
4.11 Análise de absorbância das amostras do efluente têxtil no espectrofotômetro.....	36
4.12 Curva de calibração	36
4.13 Cálculo da porcentagem da remoção	36
4.14 Descarte	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 Varredura da solução estoque através da análise espectrofotométrica	37
5.2 Análise de absorbância das soluções de corante.....	39
5.3 Cálculo da porcentagem da remoção.....	41
5.4 Aplicação da metodologia em efluente de lavanderia industrial	44
5.5 Curva de calibração para determinação das concentrações do efluente têxtil.....	45
5.6 Amostras do efluente	46
5.7 Análise de absorbância das amostras do efluente têxtil	49
5.8 Análise cinética e aplicação da curva de calibração	51
6 CONCLUSÃO	53
7 REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis exercem um importante papel econômico em muitos países, incluindo o Brasil, sendo este setor o segundo maior empregador nas indústrias de transformação. Entretanto, esse segmento industrial apresenta grande potencial para a contaminação ambiental, pois é responsável pela intensa produção de resíduos com baixos níveis de degradação, incluindo corantes indigóides e azóicos que não aderem ao tecido na etapa de tingimento (ALMEIDA et al., 2016). Sem tratamento adequado, o descarte dos resíduos têxteis nos corpos hídricos pode levar ao esgotamento do oxigênio dissolvido, tendo como consequência o desequilíbrio desse ecossistema. A presença de corantes nos ambientes aquáticos afeta as características da água, como sua pureza e cristalinidade, o que impossibilita a penetração de raios solares nas camadas mais profundas, causando sérios danos a fotossíntese das plantas aquáticas resultando em deterioração da qualidade dessa água, diminuição da solubilidade do oxigênio e, consequentemente, provocam efeitos tóxicos na fauna e flora aquática (RAJKUMAR; KIM, 2006).

Atualmente, a busca pela remoção dos corantes industriais dos ambientes aquáticos é um dos grandes desafios enfrentados pela indústria têxtil. Dessa forma, a criação de requisitos e normas para o descarte adequado de resíduos em corpos hídricos leva à busca de técnicas de tratamento para os efluentes industriais. Os principais tratamentos para a remoção de efluentes têxteis dos corpos hídricos envolvem os processos de degradação química e biológica (biodegradação), adsorção, eletroquímica, precipitação, fotoquímica e outros (PASCHOAL; TREMILIOSI-FILHO, 2005).

Os tratamentos de resíduos têxteis industriais visam à redução de parâmetros ambientais como cor, carga orgânica e toxicidade para que assim, a qualidade da água atinja os padrões, normalmente, estabelecidos por órgãos fiscalizadores e de controle (BRITO et al., 2009). Para a redução destes parâmetros, as espécies que são responsáveis pela contaminação ambiental devem ser modificadas, passando a ser espécies inócuas. No entanto, a maioria dos tratamentos citados, com exceção a biodegradação, gera subprodutos tóxicos e de

difícil remoção, resultando na inviabilidade econômica e ambiental para a realização desses tratamentos.

Os tratamentos biológicos ganham destaque no quesito economia quando são comparados com os demais tratamentos. Em escala industrial, a aplicação dos tratamentos químicos e físicos se torna inviável pelo alto custo dos produtos e equipagem. Ademais, a aplicação de microrganismos tem chamado bastante a atenção, devido a sua versatilidade em degradar substâncias recalcitrantes e retirar matérias tóxicas do meio ambiente (KAMIDA et al., 2005; TAN et al. 2016). Na biodegradação utilizam-se microrganismos como fungos, plantas, algas e bactérias e sua estrutura molecular assim como a presença de enzimas capazes em degradar o produto afetam, diretamente, o seu potencial biodegradante no meio ambiente. Deste modo, considerando os microrganismos citados, a biotecnologia aponta os fungos como os mais eficientes na degradação de compostos químicos devido à alta capacidade de recuperação de ambientes poluídos (BRUSCATO, 2011).

O uso da levedura *Saccharomyces cerevisiae* como microrganismo mediador de reações de degradação tem se tornado objeto de estudo nos últimos anos. A levedura é um microrganismo aeróbio facultativo e, portanto, suas células tem a capacidade de se adaptarem metabolicamente em condições de aerobiose ou anaerobiose mantendo a alta velocidade de crescimento (KRUCKEBERG et al., 1998). Economicamente, a levedura apresenta baixo custo de aquisição, não patogenicidade, sem requerimento de equipamentos específicos e fácil manipulação (BARALDI; CORRÊA, 2004). Dessa forma, o presente trabalho busca avaliar e estudar o potencial biodegradativo das células da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção de corantes e efluentes têxteis de uma lavanderia industrial têxtil através de análises em espectrofotômetros de absorção molecular na região do Ultravioleta Visível (UV-Vis).

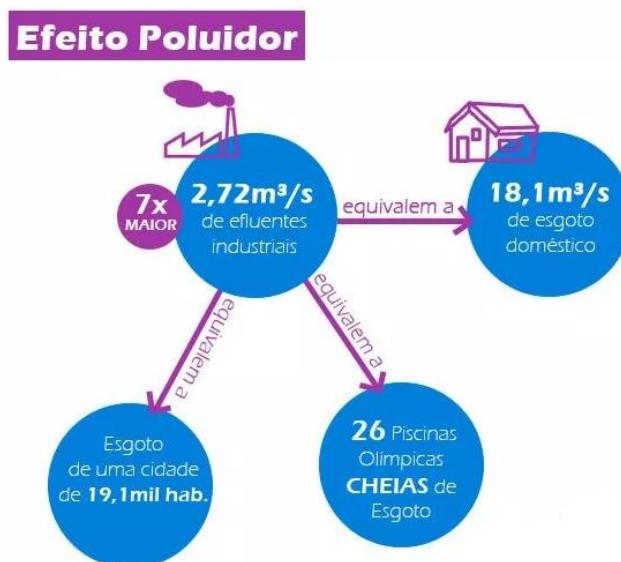
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contaminação por Efluentes

As empresas que geram efluentes industriais devem realizar o tratamento adequado para evitar a produção de resíduos nocivos ao meio ambiente de forma a atender todas as exigências que a lei propõe de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. No entanto, devido ao custo dos tratamentos para efluentes, ainda existem empresas que realizam o descarte de seus resíduos de forma inadequada.

O lançamento de despejos orgânicos pode causar o efeito direto (tóxico) ou indireto através de condições anaeróbias ou aeróbias. Esses efeitos alteram as características do meio ambiente, ocasionando o desequilíbrio do ciclo biodinâmico dos corpos hídricos. O efeito poluidor dos resíduos industriais é sete vezes maior que o efeito gerado pelos resíduos domésticos (PACHECO, 2015), como ilustra a Figura 1.

Figura 1 - O efeito poluidor de efluentes industriais.



Fonte: PACHECO (2015) apud Portal Tratamento de Água (2015)

2.2 Indústrias Têxteis

Os danos causados pela poluição ambiental associada às atividades têxteis são numerosos e vem crescendo a cada dia. A indústria têxtil é um dos setores industriais que possui processos com grande geração de resíduos e com maior consumo de água. Esses fatores contribuem quantitativamente e qualitativamente com carga tóxica para o meio ambiente e que, se não tratados adequadamente, podem gerar grandes problemas de contaminação ambiental. Os impactos causados por esse setor industrial podem ser considerados de forma horizontal, ou seja, desde o cultivo das matérias primas utilizadas no processo até o descarte após o processo produtivo.

No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), a indústria têxtil é responsável por 4,4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e emprega 2% dos brasileiros ativos. A concentração deste setor industrial fica localizada na região sudeste, sul e nordeste do país (LEÃO et al., 2002), de acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) o faturamento do setor deverá registrar um crescimento de 5,5% em 2018 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018).

Inerentemente, a indústria têxtil apresenta um grande potencial poluente e compreende cinco setores distintos de poluição: emissões de gases e partículas nocivas, odores e ruídos, efluentes líquidos e resíduos sólidos. Aliado a isto, o intenso consumo de água em todas as partes do processo produtivo gera água residual com alta vazão e toxicidade se tornando um potencial poluidor (MORAES, 1999).

Considerando as etapas produtivas, o tingimento tem atraído maior atenção devido à utilização de diversos produtos químicos. Entre os compostos químicos utilizados no processo, os corantes têm gerado maior preocupação devido à difícil quebra das ligações que constituem sua estrutura molecular (ARSLAN-ALATON et al., 2008).

2.2.1 Lavanderias Têxteis

Neste mesmo contexto, estão as lavanderias têxteis que, no setor industrial, auxiliam as indústrias de fabricação de jeans. Estas empresas efetuam

atividades como tingimento, secagem, desengomagem, acabamento, amaciamento e alvejamento (ITABORAHY; SILVA, 2006). Como já citado, nestas operações, principalmente, na etapa de tingimento, faz-se o uso de muita água e produtos químicos tóxicos com baixos níveis de degradação, incluindo corantes indigóides e azóicos (ALMEIDA et al., 2016).

2.2.2 Efluentes e Corantes Têxteis

Os resíduos das indústrias têxteis, produzidos nas fases de lavagem e tingimento, são caracterizados por apresentarem carga poluente e alta coloração devido à inaptidão do corante aderir à fibra do tecido durante a etapa de tingimento (KUNZ et al., 2002). Segundo Balan (1998), neste processo, os corantes mais utilizados pertencem à classe de corantes azo e a cuba. Os corantes azo apresentam anéis aromáticos ligados por $N=N$; e os corantes a cuba são constituídos por cromóforos indigóides que podem ser derivados da indigotina ou tioíndigo ou cromóforos derivados basicamente da antraquinona.

Os corantes são utilizados há milhares de anos e sua disponibilidade comercial e suas variedades são enormes. No passado, os corantes utilizados eram de origem orgânica, ou seja, eram extraídos de fungos, plantas, líquens e insetos. Em 1856 criou-se o primeiro corante sintético, a anilina “purple”, o que incentivou a incessante busca pela síntese de novos corantes (WHELFHAM, 2000).

Dessa forma, os corantes são compostos orgânicos de moléculas que apresentam o grupo funcional, que se prende às fibras do tecido, e o grupo cromóforo, responsável pela coloração dos produtos que serão comercializados. A classificação dos corantes é feita de acordo com a estrutura molecular química ou com o método pelo qual ele é ligado à fibra do tecido. São solúveis, não abrasivos e demonstram alta capacidade de absorção luminosa (ABRAHANT, 1977).

Para a identificação dos corantes comercializados é utilizado um catálogo da *American Association of Textile Chemists and Colourists* e da *British Society of Dyers and Colourists*, o *Colour Index* – C.I. (Quadro 1). Este catálogo classifica os corantes de acordo com a sua estrutura química (WESENBERG, KYRIAKIDES, AGATHONS, 2003).

Quadro 1 - Classificação de corantes de acordo com o *Colour Index*.

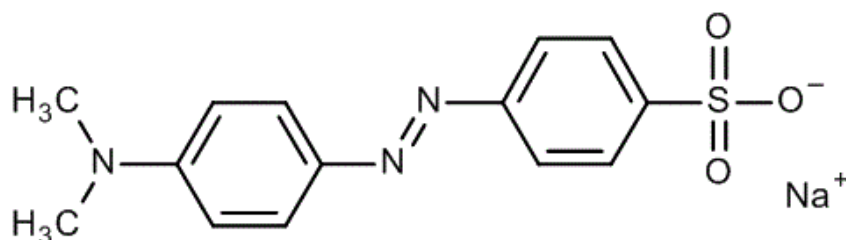
Código	Classe Química	Código	Classe Química
10,000	Nitroso	42,000	Triarilmetano
10,300	Nitro	45,000	Xantenos
11,000	Monoazo	55,000	Lactona
20,000	Diazo	56,000	Aminocetona
30,000	Triazo	57,000	Hydroxicetona
35,000	Poliazo	58,000	Antraquinona
37,000	Azóico	73,000	Índigo
53,000	Sulfur	74,000	Natural
40,800	Carotenóide	75,000	Base de oxidação
41,000	Difenilmetano	76,000	Inorgânico

Fonte: Adaptado de WESENBERG, KYRIAKIDES, AGATHONS, 2003.

Os principais grupos de corantes classificados pelo método de fixação são (GUARATINI; ZANONI, 1999):

- Corantes Azóicos: compostos que apresentam ligações azo ($-N=N-$) como grupo cromóforo e são ligadas a sistemas aromáticos. São insolúveis, porém, durante o tingimento a fibra é impregnada com compostos solúveis em água. O corante Alaranjado de Metila pertence à esta classificação (Figura 2).

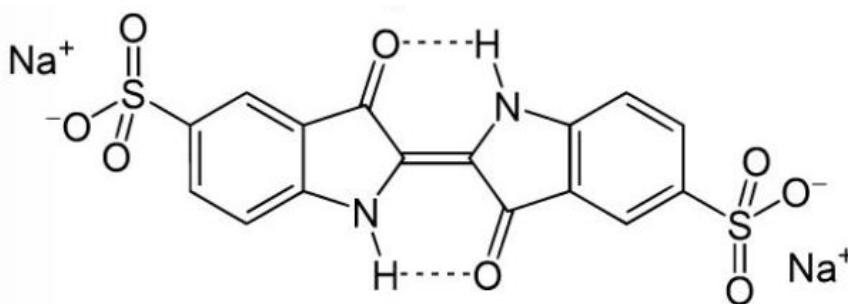
Figura 2 – Estrutura Química do corante Alaranjado de Metila



Fonte: Adaptado de CADORIN, 2009.

- Corantes Diretos: apresentam capacidade de tingir fibras de celulose através de interações de Van der Waals. São solúveis e podem conter mais de um grupo azo ou pré-transformada em complexos metálicos.
- Corantes ácidos: caracterizado por estruturas químicas baseadas em grupos azo, antraquinona e triarilmetano. Ligam-se à fibra do tecido através de trocas iônicas.
- Corantes à cuba: são insolúveis, porém durante o processo de tingimento são reduzidos, tornando-se solúveis. Após a fixação, o corante é regenerado à sua forma original. O corante Índigo-Carmim pertence à esta classificação (Figura 3).

Figura 3 – Estrutura Química do corante Índigo Carmim



Fonte: Adaptado de PAVANELLI, 2010.

- Corantes de enxofre: insolúveis. São compostos macromoleculares que apresentam pontes dissulfeto.
- Corantes dispersos: insolúveis. São aplicados em fibras de celulose através da suspensão devido a presença de agentes dispersantes.
- Corantes pré-metalizados: apresentam um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao grupo azo, permitindo a formação de complexo com íons metálicos.
- Corantes reativos: os principais corantes desse grupo apresentam grupos azo e antraquinona como cromóforos. Apresentam um grupo eletrofílico que possuem a capacidade de formar ligações

covalentes com grupos hidroxilas das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila, tióis das fibras proteicas e grupos aminos das poliamidas.

2.3 Química Verde

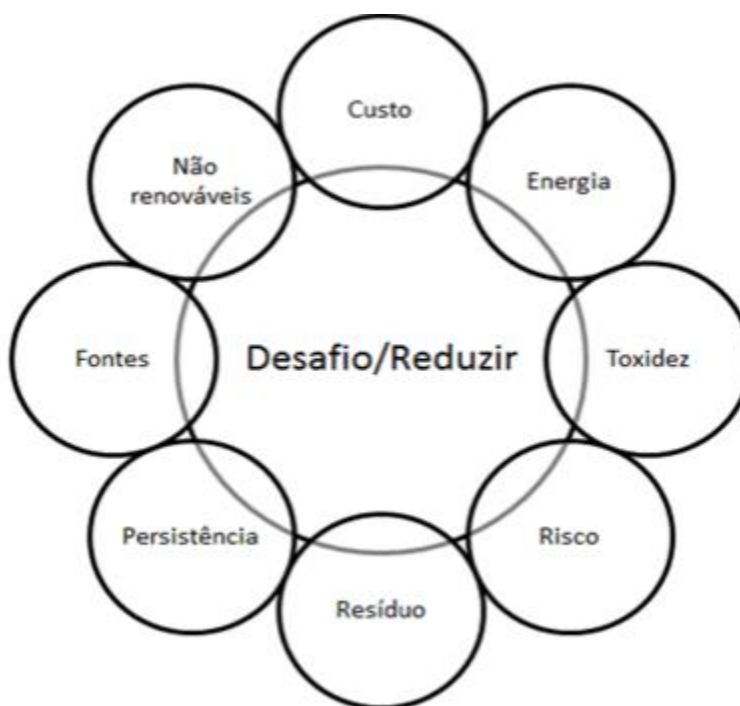
Considerando a atual busca por alternativas de prevenção e correção da poluição está a Química Verde ou Química Limpa. Esta ciência visa à concepção de processos e produtos que reduzem a geração e o uso de matérias nocivas ao meio ambiente. Assim a contaminação ambiental e os gastos com outros tratamentos seriam reduzidos (ANASTAS & EGHBALI, 2009). Segundo Tundo et al. (2000), a química para a sustentabilidade ou a química verde pode ser determinada como o desenvolvimento e a invenção de técnicas de utilização de processos e produtos químicos que possam diminuir ou até banir a geração e o uso de substâncias e subprodutos que oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Ela se baseia em 12 princípios a fim da melhora dos processos químicos em indústrias (LENARDÃO et al. 2003):

1. Prevenção
2. Economia de Átomos
3. Síntese de Produtos Menos Perigosos
4. Desenho de Produtos Seguros
5. Solventes e Auxiliares mais seguros
6. Busca pela Eficiência de Energia
7. Uso de Fontes Renováveis de Matéria Prima
8. Evitar a formação de Derivados
9. Catálise
10. Desenho para a Degradação
11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição
12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes

A concepção da química verde pode ser observada há anos como princípios do homem na modernidade. As iniciativas como o Protocolo de Kyoto, Rio+20 e a ECO-92, exemplificam a continua busca por soluções ou correções

ambientais para o desenvolvimento de processos autossustentáveis (RAMOS, 2009). Dessa forma, essa ciência pode ser considerada como a junção do desenvolvimento da química ao decorrer dos anos à busca pela autossustentabilidade com base nos desafios da química limpa (Figura 4).

Figura 4 – Desafios da Química Verde



Fonte: Adaptado de GOMES et al., 2018.

No Brasil, a química verde já é considerada uma estratégia importante no que diz respeito aos riscos de poluição ao meio ambiente (ROSE, 2015). Dessa forma, indústrias brasileiras buscam se adequar aos princípios e cumprir os desafios propostos por essa nova área sustentável. Na indústria têxtil, a química verde pode ser vista como um novo modelo de negócio, o qual permite a redução de custos de operações de tratamento, melhor administração de riscos e desenvolvimento diferencial competitivo, mantendo seu desempenho ambiental (GOMES et al., 2018).

2.4 Tratamentos de Efluentes

Existem diversos procedimentos para a extração de efluentes têxteis, os quais podem ser divididos em: biológicos, físicos e químicos. Os tratamentos de resíduos provenientes das indústrias procuram a modificação das substâncias

responsáveis pela contaminação ambiental, para que não apresentem riscos ao meio ambiente. Comumente objetiva-se a atenuação dos indicadores ecossistêmicos como carga orgânica, toxicidade e cor para que a qualidade da água esteja de acordo com as normas estabelecidas pelos órgãos de fiscalização e controle (BRITO et al., 2009).

A clivagem das ligações $-C=C-$, $-N=N-$ dos corantes garante a descoloração da água poluída. Quando degradadas, a absorção da luz pela associação das moléculas varia do visível para a faixa ultra-violeta do espectro eletromagnético (STRICKLAND; PERKINS, 1995).

A criação de requisitos e normas para o descarte adequado de resíduos em corpos hídricos levou à busca de técnicas de tratamento para os efluentes industriais. Os principais tratamentos existentes para a remoção de corantes têxteis das águas envolvem principalmente processos de degradação química e física, adsorção, eletroquímica, precipitação, fotoquímica, biodegradação e outros (PASCHOAL e TREMILIOSI-FILHO, 2005).

2.4.1 Tratamento Biológico

Dentre os tratamentos citados, os biológicos quando comparados aos tratamentos físicos e químicos vêm se destacando por possuírem menor custo de tratamento, alta eficiência e não necessitam da utilização de substâncias químicas no processo de descontaminação. Kamida et al. (2005) e Tan et al. (2016) afirmam que o emprego de microrganismos como agentes biodegradadores tem o objetivo de remover os compostos nocivos do ecossistema, devido à sua versatilidade em degradar compostos recalcitrantes sem a geração de subprodutos que possam causar mais danos ao ambiente.

Segundo Gianfreda e Rao (2004), os processos naturais de atenuação dos poluentes que apresentam maior efetividade são: oxidação abiótica, hidrólise e a biodegradação.

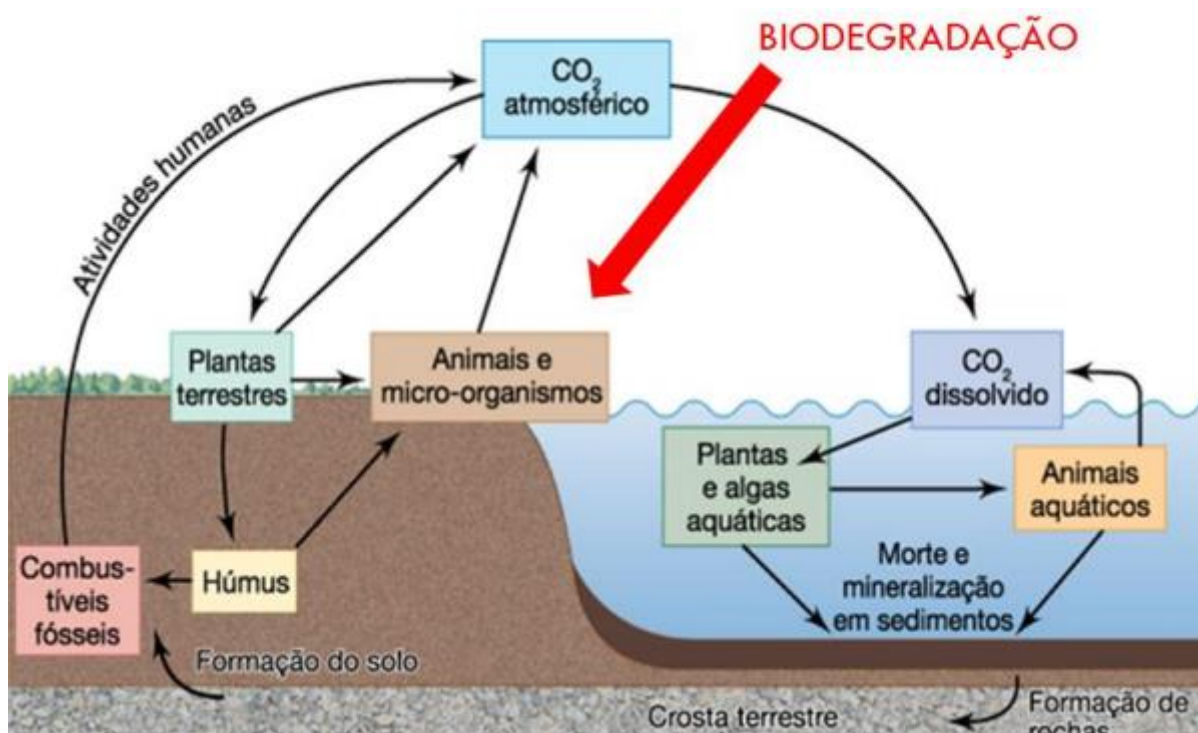
2.4.2 Biodegradação

A biodegradação, como um método do tratamento biológico, é frequentemente aplicada com o propósito de tratar os efluentes industriais através da

utilização de microrganismos como algas, fungos e bactérias capazes de concentrar e degradar diferentes poluentes (CRINI, 2005). Segundo Neves e Pires (2011) este processo é a decomposição de matérias através da ação de microrganismos vivos que se encontram, naturalmente, no meio ambiente. Estes microrganismos podem ser chamados de decompositores, pois são capazes de decompor toda a matéria orgânica para serem reutilizados por outros seres vivos e reintroduzidos nos ciclos biogeoquímicos.

O ciclo do carbono (Figura 5) é um ciclo biogeoquímico estreitamente relacionado com o ciclo do oxigênio e os processos da biodegradação que também contemplam processos como a respiração e a fotossíntese produzindo e removendo O_2 e CO_2 (ZILBERMAN, 1997).

Figura 5 – Ciclo do Carbono



Fonte: Adaptado de MADIGAN et al., 2010.

A biodegradação fundamenta-se na alteração estrutural de substratos poluentes pela ação de microrganismos introduzindo-os no fluxo normal de nutrientes da natureza (GIANDREDA; RAO, 2004). No entanto, segundo Singh e

Sharma (2008), este processo pode ser observado em diversos níveis estruturais, tais quais: macromolecular, molecular, macroscópico e microscópico.

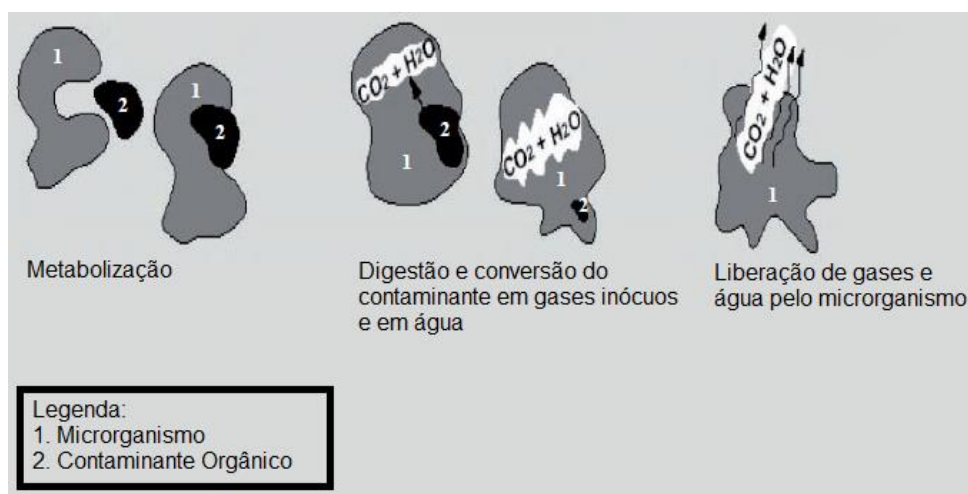
Banat et al. (1996), com muita propriedade, nos lembra que entre todas as possibilidades de tratamento para a eliminação dos corantes têxteis, a biodegradação surge com destaque devido sua consciência ecológica e sua naturalidade. Os organismos participantes da degradação são fungos, bactérias ou plantas, e sua eficiência varia de acordo com a estrutura molecular e da assiduidade de enzimas capazes de degradar o produto (MEYER, 1978).

2.4.3 Biorremediação

O processo de biodegradação é um método que vem sendo estudado devido a sua capacidade de remoção dos contaminantes através dos princípios da química verde. Quando o meio ambiente já está contaminado pelos poluentes originados nas indústrias, a busca é por estratégias da biorremediação (BRUSCATO, 2011).

As tecnologias da biorremediação consistem na aplicação de processos biológicos no tratamento dos efluentes têxteis para regenerar e/ou recuperar ambientes poluídos como a água e o solo. Como ilustra na Figura 6, o microrganismo utiliza o contaminante orgânico como fonte de nutrientes e o transforma em CO_2 e água, os quais são liberados para a superfície dos corpos aquáticos. Uma das técnicas mais utilizadas é a seleção categorizada de micróbios funcionais para acelerar o processo de degradação da matéria. Dessa forma, as tecnologias de biorremediação são utilizadas em locais contaminados onde a biodegradação é imperceptível (POINTING, 2001).

Figura 6 – Ação simplificada do microorganismo na biorremediação.



Fonte: Adaptado de Environmental Protection Agency (EPA), 2004.

Os métodos de aceleração da biodegradação podem empregar microrganismos já existentes no ambiente contaminado. No entanto, estes métodos podem ser melhorados com a introdução de microrganismos que apresentam uma maior capacidade de metabolizar o poluente e que não se encontram no local em questão (BALLAMINUT; MATHEUS, 2007).

Entre os microrganismos, os fungos apresentam maior eficiência devido à sua fabricação de enzimas que atuam sobre diversos efluentes industriais. Dessa forma, a aplicação dos fungos facilita a biodegradação de poluentes que não consistem em substratos aos organismos unicelulares (POINTING, 2001).

2.5 Microrganismos e a Biodegradação

Existe uma grande população de microrganismos capazes de agir em conjunto para atacarem e degradarem o substrato através do processo da biodegradação. No entanto, existem microrganismos já adaptados ao ambiente em que estão inseridos e, portanto, a degradação do poluente é mais acelerada (PALMISANO; PETTIGREW, 1992).

Na biodegradação, os organismos ativos são os fungos, bactérias ou plantas. Entretanto, a biotecnologia aponta os fungos como os microrganismos mais

eficientes na degradação de compostos químicos devido à sua capacidade de recuperar ambientes poluídos sem a geração de subprodutos tóxicos (BRUSCATO, 2011).

2.5.1 Fungos

Os fungos são organismos macroscópicos ou microscópicos eucariotas e heterótrofos, podendo ser pluricelulares, como os fungos filamentosos ou os bolores, e unicelulares, como as leveduras. Na biologia, eles fazem parte do Reino Fungi, dividido em: deuteromicetos, zigomicetos, basidiomicetos, ascomicetos e quitridiomicetos (PELCZAR Jr et al., 1997).

Estes microrganismos estão presentes em todos os nichos ecológicos e podem ser benéficos ou maléficos ao ser humano. Na agricultura, a presença desta espécie, pode estragar os vegetais com infestações de pragas e provocar doenças em seres humanos, animais e plantas (Figura 7). No entanto, são utilizados na fermentação de queijos e pães, na fabricação de enzimas de alto valor para a indústria, ácidos orgânicos, antibióticos e na biorremediação do meio ambiente contaminado. A utilização de microrganismos vivos como agentes biodegradantes é uma técnica bastante explorada, pois oferece menos riscos ao meio ambiente e produz menos resíduos com maior custo benefício (OLIVEIRA et al., 2008).

Figura 7. Presença do fungo *Rhizopus* no morango.



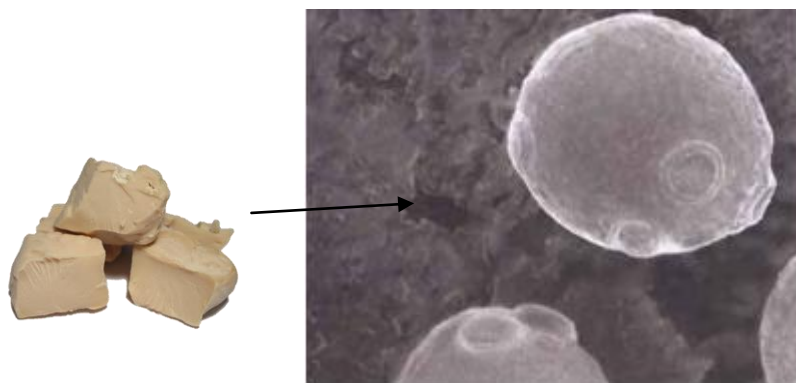
Fonte: JAMES; O'DONNELL, 2007.

2.5.2 Levedura *Saccharomyces cerevisiae*

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é um organismo eucariota unicelular pertencente aos ascomicetos no Reino Fungi com grande destaque na mediação de reações orgânicas por apresentarem células íntegras com ótima capacidade biocatalisadora para reduzir compostos carboxílicos (FABER, 1997; STEWART, 2000).

As leveduras *Saccharomyces cerevisiae* se reproduzem assexuadamente através do brotamento ou gemulação. São elípticas com comprimento de 6 a 8 μm por 55 μm de largura (Figura 8). Sendo a temperatura ideal de crescimento entre 20 e 30°C e pH ácido (COELHO, 2013), onde modifica as condições de seu habitat consumindo nutrientes e excretando produtos. Sua alta velocidade de crescimento é mantida, pois suas células apresentam capacidade de regular a expressão dos genes apropriados ao regime nutricional disponível (KRUCKEBERG et al., 1998). Deste modo, o microrganismo aeróbio facultativo aproveita as diferentes fontes de carbono de acordo com a presença de genes específicos capazes de codificar as enzimas necessárias para a captação (STAMBUK, 1999).

Figura 8 – Levedura *Saccharomyces cerevisiae* em microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Adaptado de Cunha, 2013.

Como espécie mais explorada comercialmente, é utilizada na produção do etanol de primeira geração, proteínas recombinantes, biomassa, alimentos entre outros produtos (PORRO et al., 1995). Sua ampla utilização deve-se ao fácil isolamento e manutenção, pouca exigência nutricional, bom crescimento em meios constituídos por resíduos industriais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho objetiva avaliar e estudar o potencial biodegradativo das células da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção de corantes e efluentes têxteis de uma lavanderia industrial têxtil através de análises em espectrofotômetros de absorção molecular na região do Ultravioleta Visível (UV-Vis).

3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Desenvolvimento e melhoria de procedimentos analíticos (análises da reação de biodegradação em corantes têxteis em soluções).
- ✓ Aplicação do procedimento desenvolvido em amostra real (efluente coletado numa lavanderia industrial).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico apresenta as equações e os procedimentos experimentais realizados, bem como os materiais utilizados. As análises experimentais foram realizadas em duas principais etapas:

- ✓ Desenvolvimento e melhoria de procedimentos analíticos
- ✓ Aplicação de procedimentos em análise real

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ciências Ambientais localizado no Campus Itapeva/SP.

4.1 Materiais

Foram utilizados diversos materiais de uso comum em laboratórios de química analítica. Também se utilizou os seguintes equipamentos: Peagâmetro (Hanna pH21), Centrífuga (Nova Técnica NT810), Espectrofotômetro de Absorção Molecular na região do Ultravioleta Visível (AnalytikJena SPECORD 50), Balança Analítica (Shimadzu, AW220) e mesa agitadora (Quimis).

Para realização do experimento, foram utilizados os seguintes materiais: suspensão da Levedura *Saccharomyces cerevisae*, obtida a partir do fermento biológico fresco comercializado, da marca Fleischmann, corante sintético Índigo-Carmim P.a. ($C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$), Corante sintético Alaranjado de Metila de fórmula ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$), Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), Hidróxido de Sódio (NaOH), Ácido Nítrico (HNO_3).

4.2 Preparo das soluções

Todas as soluções foram preparadas com reagentes pró-análise em água ultrapura de um sistema de tratamento ultra ionic (VEOLIA ULT 2372 - resistividade > 18MΩ.cm).

4.3 Preparo das soluções estoque

A solução controle ou solução estoque de cada corante utilizado foi preparada a partir da pesagem de 10 miligramas de cada corante diluídos em balões de 100 mL avolumados em água ultrapura a fim de obter uma solução de cada corante na concentração 100 mgL^{-1} . A partir dessa solução, preparou-se a curva de calibração, diluindo em água ultrapura para obtenção das seguintes concentrações: 4 mgL^{-1} , 2 mgL^{-1} , 1 mgL^{-1} e $0,5 \text{ mgL}^{-1}$.

4.4 Varredura da solução estoque através da análise espectrofotométrica

A partir das soluções estoques, de concentração 100 mgL^{-1} , realizou-se a leitura espectrofotométrica a fim de obter o comprimento de onda com o pico máximo de absorção para cada corante, fazendo a varredura de 400 a 1100nm. Foram retiradas alíquotas usando sucção por pipetagem automática. A partir da determinação do comprimento de onda máximo realiza-se a leitura de absorbância para os corantes nas diferentes concentrações.

4.5 Preparo da suspensão da levedura fresca 2%

A suspensão da levedura foi preparada a partir da pesagem de 2,0 gramas do fermento biológico fresco da marca “Fleischmann”, e diluída em 14 mL de água ultrapura em um tubo Falcon. Posteriormente a solução foi levada à centrifuga por um intervalo de tempo de 10 minutos à 3000 rpm para purificação da levedura (Figura 9). Dessa forma, o sobrenadante foi descartado e transferiu-se o precipitado para um balão volumétrico de 100 mL e avolumou-se o mesmo com água ultrapura.

Figura 9 – Solução da Levedura *Sacchormyces cerevisiae* com sobrenadante



Fonte: Próprio Autor

4.6 Preparo das soluções para reação de biodegradação com os corantes e suspensão da levedura

Para cada solução obtida de corante, realizou-se o ajuste do pH no valor de 2,50, para melhor ação da levedura conforme metodologia proposta por Rodrigues (2010), com a adição das soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou hidróxido de sódio (NaOH) de acordo com o pH inicial que a amostra apresentava.

Após o ajuste do pH, 50 mL de cada solução foi transferida para um béquer de 100 mL no qual ocorreria a reação de biodegradação com a suspensão da levedura *Saccharomyces cerevisiae* durante o intervalo de 24 horas. O restante da solução permaneceu no balão volumétrico para controle da reação.

4.7 Análise de absorbância das soluções de corante no espectrofotômetro

Após as 24 horas de reação, as soluções de controle e de reação foram submetidas à análise espectrofotométrica (no comprimento de onda obtido através da metodologia citada no item 4.4 para cada corante). Deste modo, obtiveram-se os valores de absorbância das soluções de controle e reação para realizar os cálculos e as análises de comparação entre as soluções com a presença ou ausência das células livres da levedura.

4.8 Coleta do Efluente

A coleta do efluente foi realizada numa lavanderia industrial localizada no município de Cianorte/PR. A empresa está no mercado a mais de 35 anos e trabalha com mais de 15 marcas de jeans. Conta com um processo sustentável de tratamento de água e, com um padrão norte americano, são reutilizados cerca de 40 mil litros de água por dia.

As peças de jeans passam por diversos processos artesanais como processos que utilizam tecnologia a laser, clareamento, efeitos 3D, tingimento entre outros. Posteriormente aos tratamentos, os jeans são lavados e secos. A limpeza das peças é realizada através de um método sustentável que visa economizar mais de 3 mil litros de água por peça limpa. Atualmente a empresa utiliza processo de precipitação química no tratamento do efluente e reutiliza a água tratada no processo industrial. Porém o resíduo sólido contendo agentes precipitantes e o corante na forma de precipitado é destinado ao aterro sanitário específico para resíduos químicos (Figura 10).

A coleta do efluente bruto foi feita na saída da lavanderia, diretamente no ponto de descarte, antes de passar pelas lagoas de tratamento da empresa.

Figura 10 – Local de coleta do efluente têxtil



Fonte: Próprio Autor

4.9 Varredura da amostra de efluente através da análise espectrofotométrica

A partir de 50 mL da amostra coletada de efluente (Figura 11), realizou-se a varredura espectrofotométrica a fim de obter o comprimento de onda máximo de absorção do efluente entre os valores de 400 e 1100nm. A partir da determinação do comprimento de onda máximo realiza-se a leitura de absorbância para as amostras de controle e reação.

Figura 11 – Efluente coletado da Lavanderia Têxtil



Fonte: Próprio Autor

4.10 Preparo da solução para reação de biodegradação com o efluente e suspensão da levedura

A partir da amostra coletada da lavanderia industrial, separou-se 100 mL de efluente em um balão volumétrico (Figura 12). Em seguida, constatou-se, por meio do pHmetro, que o efluente apresentava pH no valor de 6,50, portanto, foi necessário realizar o ajuste para o valor de 2,50 com a adição da solução de ácido nítrico (HNO_3).

Figura 12. Suspensão da Levedura e Efluente em balão volumétrico (100 mL)



Fonte: Próprio Autor

Após o ajuste do pH, 50 mL da amostra foi transferida para um béquer de 100 mL no qual ocorreria a reação de biodegradação com 5 mL da suspensão 2% da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O restante da solução também foi transferido para outro béquer de 100 mL para meio de controle da reação. As amostras foram levadas a uma mesa agitadora na qual permaneceram por 2 horas (Figura 13) a fim de simular a agitação que o tanque de tratamento de efluentes promove e aumentar o contato da levedura com o efluente.

Figura 13 – Amostras em agitação por 2 horas



Fonte: Próprio Autor

4.11 Análise de absorvância das amostras do efluente têxtil no espectrofotômetro

Após as primeiras 24 horas de reação, as amostras de controle e de reação foram submetidas à análise espectrofotométrica UV-Vis (no comprimento de onda obtido através da metodologia citada no item 4.4). Deste modo, obtiveram-se os valores de absorvância das amostras para realizar os cálculos de porcentagem de descoloração do efluente. O mesmo procedimento foi realizado após 48 e 72 horas de reação.

4.12 Curva de calibração

O índigo carmim é o corante usado na pigmentação de tecido tipo “Jeans”. A partir da definição do comprimento de onda do corante índigo Carmim e da constatação de que o valor definido é semelhante ao comprimento de onda do efluente, por se tratar de uma lavanderia cuja atividade majoritária é a lavagem de jeans, realizou-se o cálculo da concentração do efluente a partir da curva de calibração. Dessa forma, para obter a curva de calibração e a equação da reta (Equação 1), utilizou-se os valores dos comprimentos de ondas máximos obtidos através das análises espectrofotométricas nas concentrações 0,5 mL⁻¹, 1 mL⁻¹, 2 mL⁻¹ e 4 mL⁻¹ do corante realizadas no espectrofotômetro.

$$Y = A + B.X \quad (1)$$

Onde Y é a absorvância encontrada, A é o ponto em que a reta intercepta o eixo vertical, B é o coeficiente de regressão e X a concentração da solução.

4.13 Cálculo da porcentagem da remoção

Através dos valores obtidos antes e depois da reação com a levedura, realiza-se o cálculo de porcentagem de descoloração seguindo a metodologia de Won et al. (2004) e El-Rahin et al. (2009) de acordo com a equação 2:

$$\% \text{ descoloração} = \frac{\text{Absorvância Controle} - \text{Absorvância Amostra}}{\text{Absorvância Controle}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Absorbância Controle é a absorbância obtida através da solução de controle; Absorbância Amostra é a absorbância obtida através da amostra de solução do corante com a presença das células livres da levedura que passou pelo ensaio de biodegradação.

4.14 Descarte

Para evitar possíveis contaminações, após os ensaios de biodegradação e as análises espectrofotométricas, as soluções e seus resíduos foram armazenados em frascos identificados e encaminhados para descarte seguindo as instruções da UNESP. Entretanto, o sobrenadante proveniente da suspensão da levedura foi descartado diretamente na pia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos valores alcançados após as análises de absorção das amostras foi possível verificar os picos de onda máximos no pico de absorção de cada amostra, a concentração do efluente antes e após o tratamento com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e a biodegradação das moléculas através do cálculo de porcentagem de descoloração.

5.1 Varredura da solução estoque através da análise espectrofotométrica

Os resultados da análise espectrofotométrica de absorbância e os comprimentos de onda no pico de absorção das soluções estoque de concentração 100 mgL^{-1} são apresentados na tabela (Tabela 1) e nos gráficos (Figura 14 e Figura 15) abaixo.

As Figuras 14 e 15 demonstram o comportamento da absorbância que a solução do corante apresenta ao emitir um raio de luz na faixa do visível, do ultravioleta e do infravermelho próximo. Nota-se que, para cada corante, o pico de absorção da luz ocorre em comprimentos de ondas diferentes de acordo com a coloração da solução, influenciada diretamente pelos grupos cromóforos presentes na estrutura das moléculas.

A absorvência apresentada é o resultado da absorção seletiva de diferentes comprimentos de onda que o corante apresenta. Geralmente, os materiais de cor preta, absorvem toda a gama de radiações visíveis, não transmitindo e nem refletindo a luz, apresentando uma absorvência de 100%. Já, os materiais na cor branca apenas refletem a luz incidente e, portanto, a absorvência é nula. Os materiais ou substâncias coloridas apresentam transmitância e absorvência inversamente proporcionais.

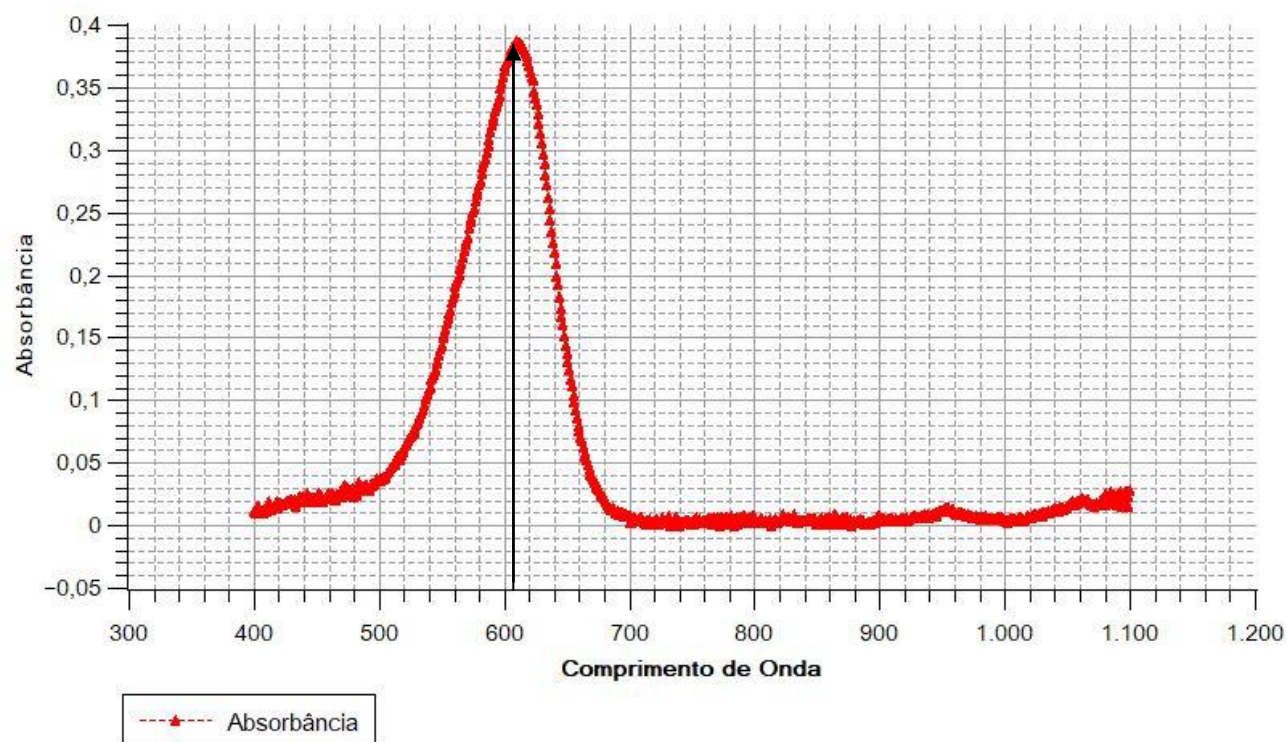
O valor obtido do comprimento de onda no pico de absorção (610 nm) para o Índigo Carmim corresponde ao valor encontrado por Martins et al. (2014). Entretanto, o comprimento de onda correspondente ao Alaranjado de Metila (504 nm) difere do valor (464 nm) encontrado por Martendal et al. (2011). A divergência observada para o corante azóico pode corresponder ao grau de pureza do reagente usado. Martendal et al. (2011) realizou a varredura do corante Alaranjado de Metila através de um espectrofotômetro de absorção ultra-violeta visível de feixe simples, em contrapartida, o presente estudo operou através do equipamento de absorção com feixe duplo, podendo ocorrer pequenas divergências.

Tabela 1 – Comprimento de onda dos corantes analisados correspondentes ao pico de absorvência

Corante	Comprimento de Onda (nm)	Absorvência
Índigo Carmim	610	0,3867
Alaranjado de Metila	504	0,9942

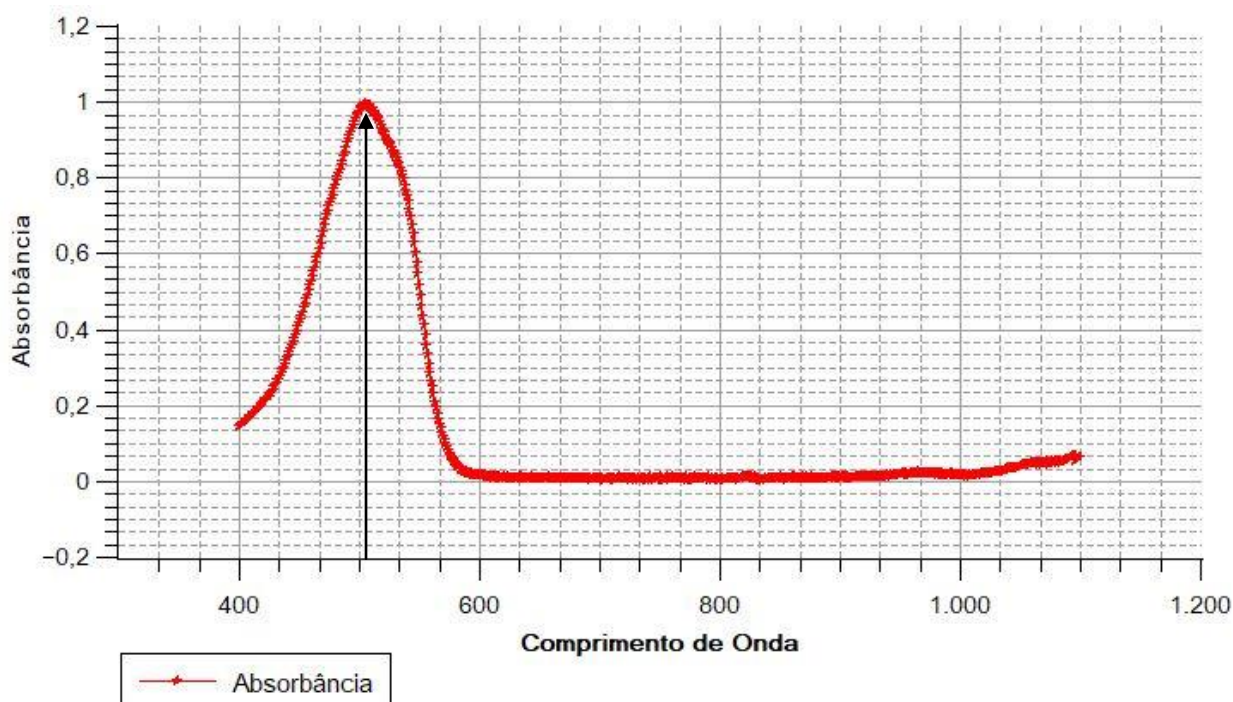
Fonte: Próprio Autor

Figura 14 – Gráfico da varredura da solução estoque do corante Índigo Carmim



Fonte: Próprio Autor

Figura 15 - Gráfico da varredura da solução estoque do corante Alaranjado de Metila



Fonte: Próprio Autor

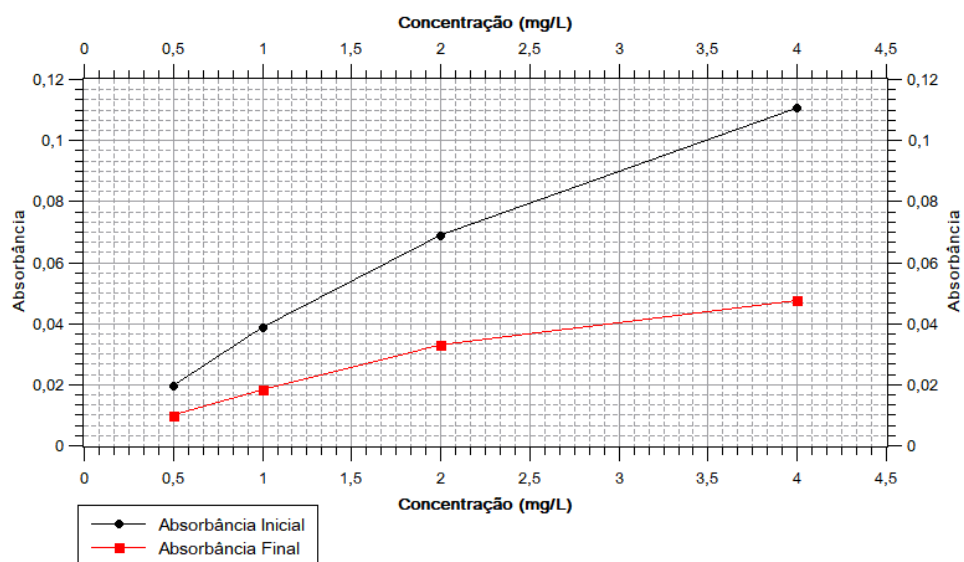
5.2 Análise de absorbância das soluções de corante

A partir da definição do comprimento de onda máximo de cada solução de corante no item anterior, obtiveram-se os valores da absorbância correspondente das soluções de amostragem em diferentes concentrações, com a presença e ausência da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Destarte, a partir dos valores obtidos na análise espectrofotométrica, plotou-se os gráficos de concentração pela absorbância, ilustrados nas figuras 16 e 17.

As figuras abaixo apresentam o comportamento dos corantes, com a variação da concentração e em pH 2,5, retratando certa relação proporcional entre concentração e absorção. Constata-se que ambos as soluções com corantes apresentaram redução após o tratamento de biorremediação com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (*absorbância final*), entretanto, a reação do tratamento mostrou-se mais eficiente quando exposto à solução do corante Índigo Carmim, ou seja, os valores de absorção após a reação de biodegradação foram menores em relação aos valores obtidos para o corante Alaranjado de Metila. Sabe-se que os corantes azóicos, como o Alaranjado de Metila, contém em sua estrutura molecular, referente ao grupo cromóforo, ligações $-N=N-$ que apresentam maior dificuldade de

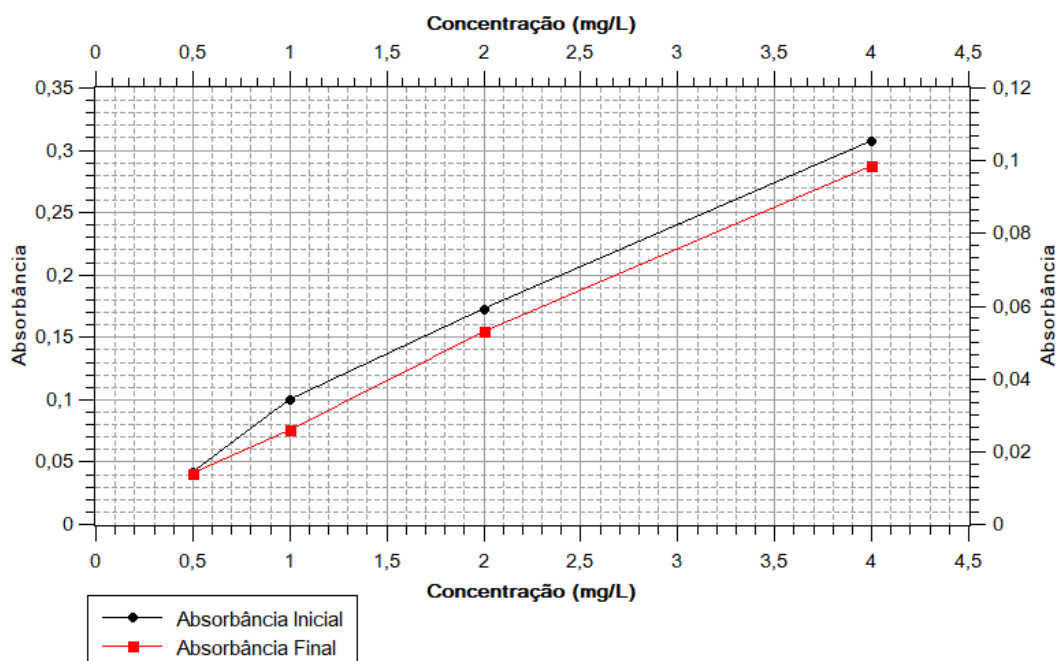
degradação, mesmo em ambientes controlados como no caso dos tanques de tratamento.

Figura 16 – Gráfico Concentração x Absorbância do corante Índigo Carmim



Fonte: Próprio Autor

Figura 17 – Gráfico Concentração x Absorbância do corante Alaranjado de Metila



Fonte: Próprio Autor

As tabelas abaixo (Tabela 2 e Tabela 3) apresentam os valores da absorbância para cada concentração do corante, antes e após o tratamento com a levedura.

Tabela 2 - Valores da absorbância das soluções do corante Índigo Carmim em diferentes concentrações

Concentração (mg/L)	Absorbância	
	Sem <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Com <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
0,5	0,0196	0,0099
1	0,0386	0,0182
2	0,0689	0,0329
4	0,1105	0,0474

Fonte: Próprio Autor

Tabela 3 - Valores da absorbância das soluções do corante Alaranjado de Metila em diferentes concentrações

Concentração (mg/L)	Absorbância	
	Sem <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Com <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
0,5	0,0417	0,0409
1	0,0999	0,0753
2	0,1727	0,1542
4	0,3073	0,2871

Fonte: Próprio Autor

Através das tabelas 2 e 3 e figuras 16 e 17, nota-se a redução constante do corante durante todo o processo de biodegradação nas diferentes concentrações. De acordo com os valores obtidos, pode-se afirmar a relação proporcional entre as variáveis, ou seja, conforme se observa o aumento dos valores de concentração também se percebe o aumento nos valores de absorbância.

5.3 Cálculo da porcentagem da remoção

Os valores obtidos na análise do item anterior dispostos nas tabelas acima (Tabela 2 e Tabela 3) foram utilizados para realizar o cálculo da porcentagem

da remoção de acordo com a equação 2. Os resultados são apresentados na tabela abaixo (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores da porcentagem de descoloração dos corantes analisados

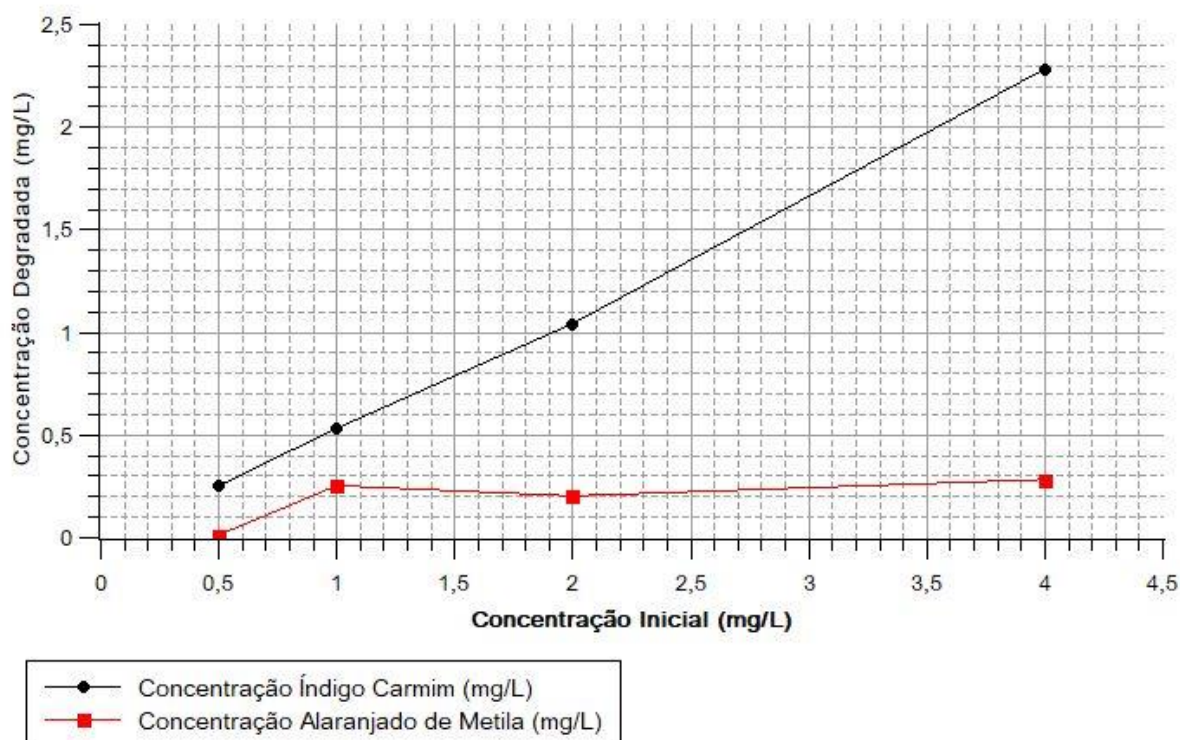
Corante	Concentração (mg/L)	Concentração degradada	% de Descoloração
Índigo Carmim	0,5	0,25	49%
	1,0	0,53	53%
	2,0	1,04	52%
	4,0	2,28	57%
Alaranjado de Metila	0,5	0,01	2%
	1,0	0,25	25%
	2,0	0,20	11%
	4,0	0,28	7%

Fonte: Autor Próprio

Como já observado nas análises anteriores, o cálculo da porcentagem de descoloração afirma a maior facilidade que a levedura *Saccharomyces cerevisiae* apresenta em degradar o corante Índigo Carmim em relação ao corante Alaranjado de Metila.

Como ilustra a Figura 18, na reação com o corante indigóide, o microrganismo apresentou ação biodegradativa crescente diante de todas as concentrações analisadas, dessa forma na concentração 4mgL^{-1} a levedura apresentou maior porcentual de descoloração (57%) em relação as condições de absorção analisadas. Contudo, na reação com o corante azóico, a levedura mostrou-se mais eficiente na concentração 1mgL^{-1} , descolorindo a amostra em apenas 25% o que indica que a levedura se apresenta estável perante o corante alaranjado de metila, ou seja, em concentrações do corante maiores que 2mgL^{-1} a levedura não apresenta aumento na capacidade em biodegradar a substância.

Figura 18 – Gráfico da Concentração degradada pela concentração inicial dos corantes.



Fonte: Próprio Autor

Ademais, a descoloração das soluções pode ser correlacionada com a estrutura química do composto em questão. Como já citado, o corante Alaranjado de Metila é classificado como um corante azóico, ou seja, apresentam ligações $-N=N-$ no grupo cromóforo (ligados a sistemas aromáticos) e possuem grupos metil em sua estrutura molecular que neutralizam a ação dos grupos sulfonados e inibem a degradação.

Martins et al. (2014) estudou a degradação do índigo carmim a partir do fungo filamentoso *Aspergillus niger*, que apresentou potencial biodegradativo removendo o corante indigóide em 66,98%, entretanto foi utilizado um reator com biomassa imobilizada o que pode influenciar positivamente na eficiência do microrganismo. Entretanto, a espécie utilizada ainda é inviável para aplicações industriais devido à falta de consenso em relação as condições operacionais ótimas e o custo dos materiais adicionais para a realização da imobilização em escala industrial.

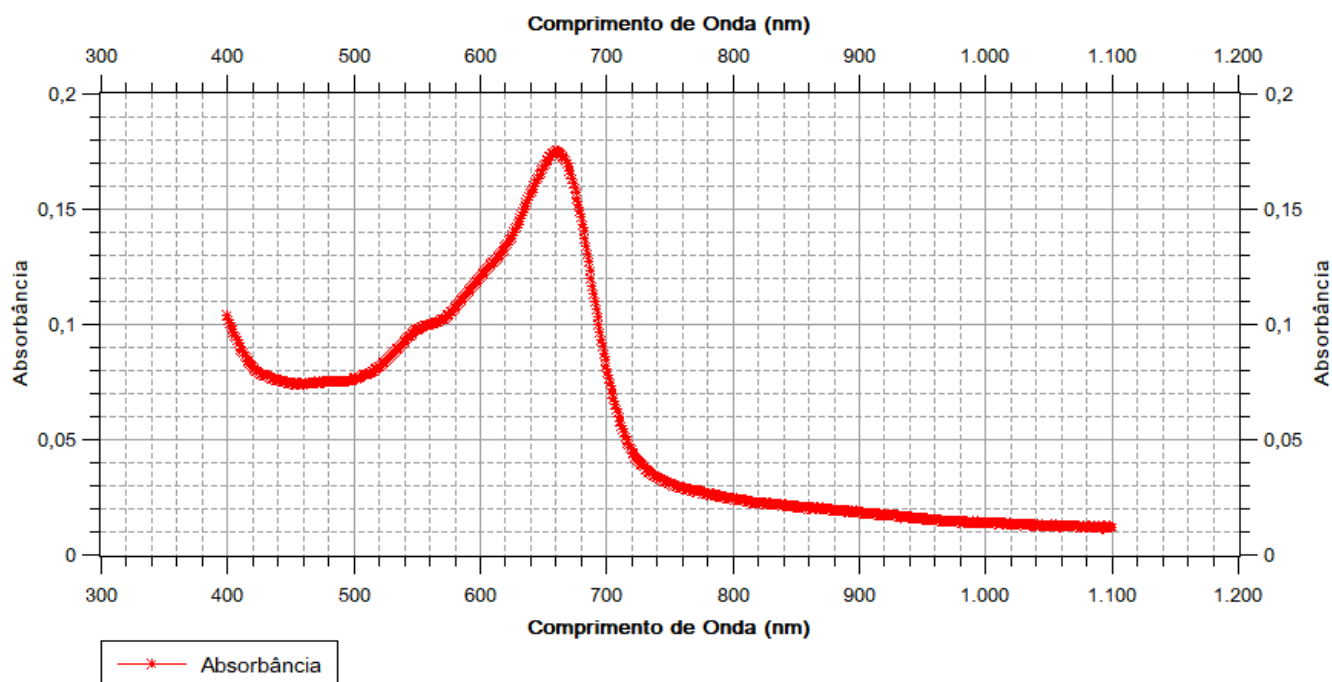
Contudo, Rodrigues (2010) avaliando o potencial biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em alginato de cálcio e quando em célula livre concluiu que, após 360 horas, o microrganismo imobilizado apresenta maior eficiência para o corante azoico (81,9% de remoção) quando comparado à reação com o índigo (61,7% de remoção). Em célula livre, os primeiros resultados da biodegradação começaram a surgir somente após 72 horas.

5.4 Aplicação da metodologia em efluente de lavanderia industrial

Com objetivo de determinar o comprimento de onda máximo correspondente ao pico de absorção realizou-se a varredura do efluente têxtil proveniente da lavanderia industrial através do espectrofotômetro seguindo os mesmos procedimentos dos corantes. A Figura 19 demonstra o comportamento da absorção pelo comprimento de onda.

O pico de absorção ocorre no comprimento de onda 650 nm com absorbância no valor 0,1750. Dessa forma, através da realização da curva de calibração do corante Índigo Carmim, que apresenta comportamento similar ao efluente (com pico de absorção no comprimento de onda 610 nm) será possível determinar a concentração de coloração que o efluente apresenta quando retirado da estação de lavagem na Lavanderia em questão. Esta pequena diferença é devido aos demais componentes não mensurados presentes no efluente, como detergentes e/ou clareadores.

Figura 19 – Gráfico da varredura do efluente têxtil coletado na Lavandeira Industrial



Fonte: Próprio Autor

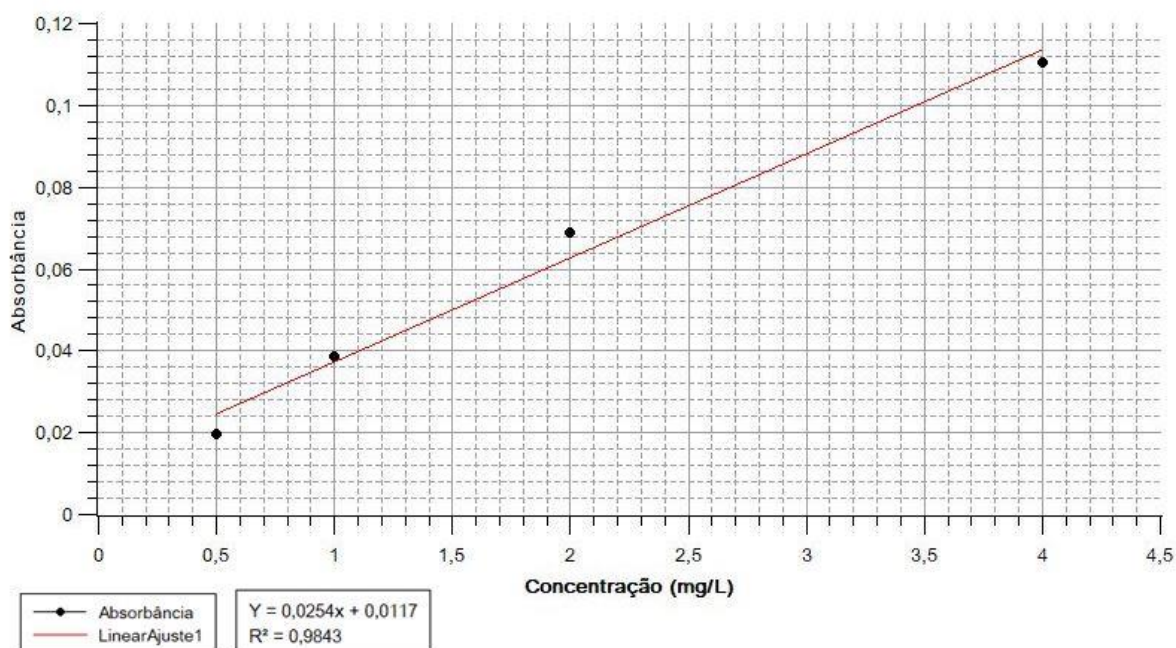
5.5 Curva de Calibração para determinação das concentrações do efluente têxtil

A partir da varredura realizada para a solução de corante Índigo Carmim, nas concentrações $0,5 \text{ mgL}^{-1}$, 1 mgL^{-1} , 2 mgL^{-1} e 4 mgL^{-1} (Figura 20), obteve-se a equação da reta para então determinar, através dos valores de absorbância, as respectivas concentrações.

O comportamento linear da absorbância do corante indigóide com a variação da concentração pode ser afirmado através do coeficiente de determinação linear no valor $R^2=0,983$. Os parâmetros como coeficiente angular e coeficiente linear foram avaliados segundo a equação da reta por meio do software QtiPlot.

A equação da reta, onde o coeficiente angular é $A = 0,0254$; coeficiente linear $B = 0,0117$ e Y foram as leituras de absorbância, possibilitou determinar o valor de x correspondente aos valores de concentração.

Figura 20 – Curva de Calibração do corante Índigo Carmim



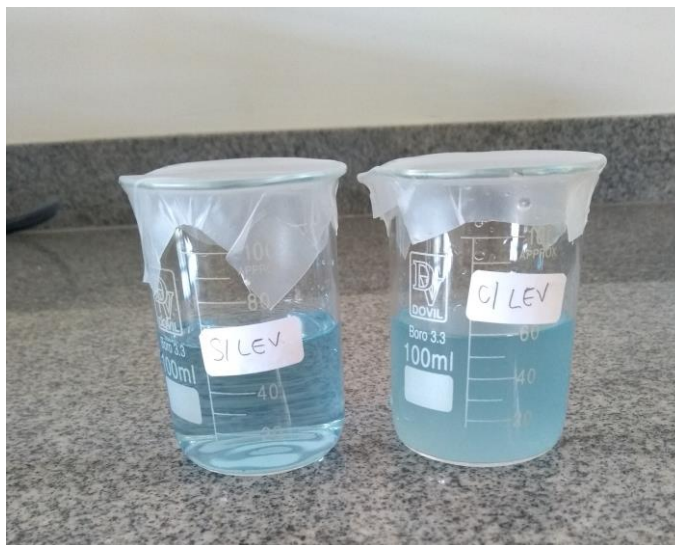
Fonte: Próprio Autor

5.6 Amostras do efluente

As figuras abaixo (Figura 21, 22, 23 e 24) retratam as amostragens do efluente coletado da lavanderia têxtil durante as 72 horas de experimento. As amostras com e sem a suspensão da levedura permaneceram por 2 horas na mesa agitadora para aumentar o contato da levedura com o efluente. Nota-se, na Figura 21, a opacidade presente no béquer da direita (com a levedura) devido à dispersão das partículas da suspensão do microrganismo no efluente.

Observando as figuras abaixo, pode-se constatar a diferença de coloração entre a amostra com e sem a adição da levedura. Na figura 24, após as 72 horas de exposição à suspensão do microrganismo, a solução encontra-se transparente e com menor coloração quando comparada as amostras anteriores, apontando a ação ativa da suspensão após as 48 horas.

Figura 21 – Amostras do efluente sem a suspensão da levedura e após a exposição com a suspensão da levedura



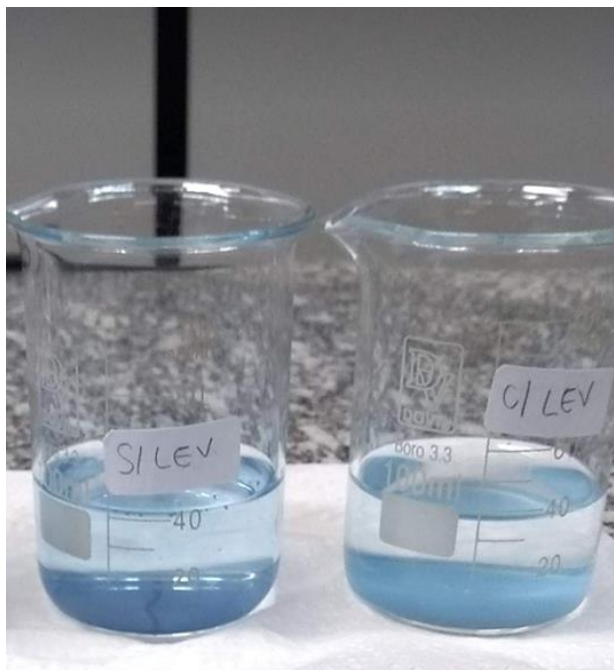
Fonte: Próprio Autor

Figura 22 – Amostras do efluente, após 24 horas de reação, sem e com a suspensão da levedura, respectivamente



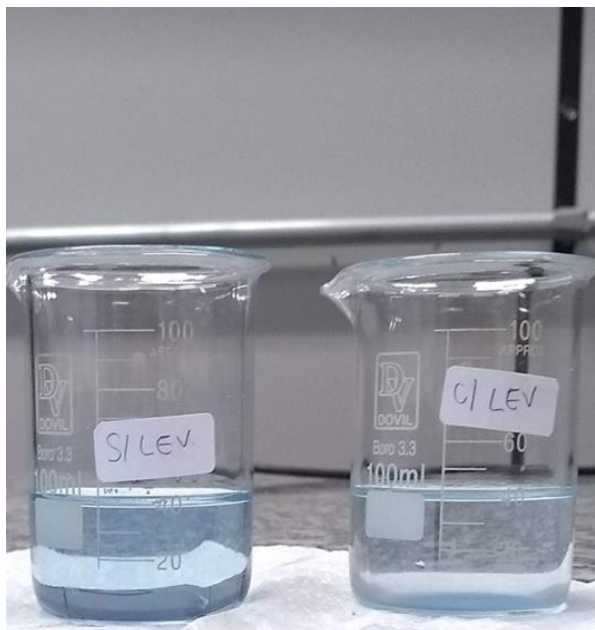
Fonte: Próprio Autor

Figura 23 – Amostras do efluente, após 48 horas de reação, sem e com a suspensão da levedura, respectivamente



Fonte: Próprio Autor

Figura 24 – Amostras do efluente, após 72 horas de reação, sem e com a suspensão da levedura, respectivamente



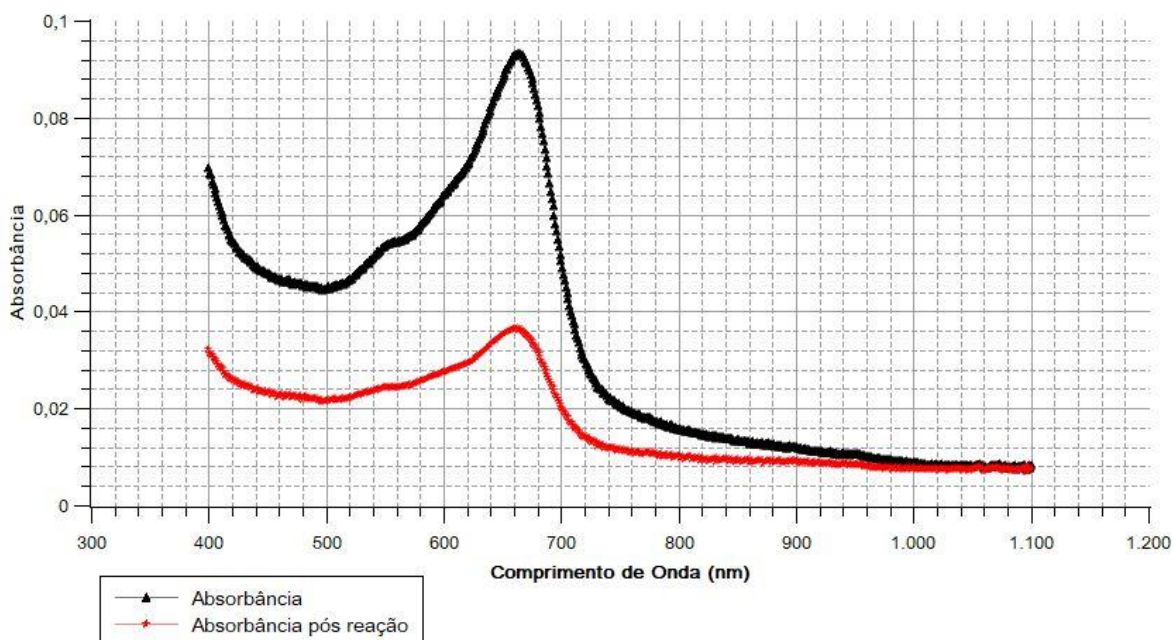
Fonte: Próprio Autor

5.7 Análise de absorvância das amostras do efluente têxtil

Através da mesma metodologia proposta para os corantes analisados, as amostras do efluente têxtil, com pH ajustado para 2,5, foram analisadas no espectrofotômetro UV-Vis. Entretanto, as medições foram realizadas com um intervalo de 24 horas e ocorreram até o período de 72 horas de exposição à suspensão da levedura. As figuras abaixo (Figura 25, 26, 27) ilustram o gráfico comportamental da absorvância pelo comprimento de onda das amostras com e sem a levedura no período de tempo definido.

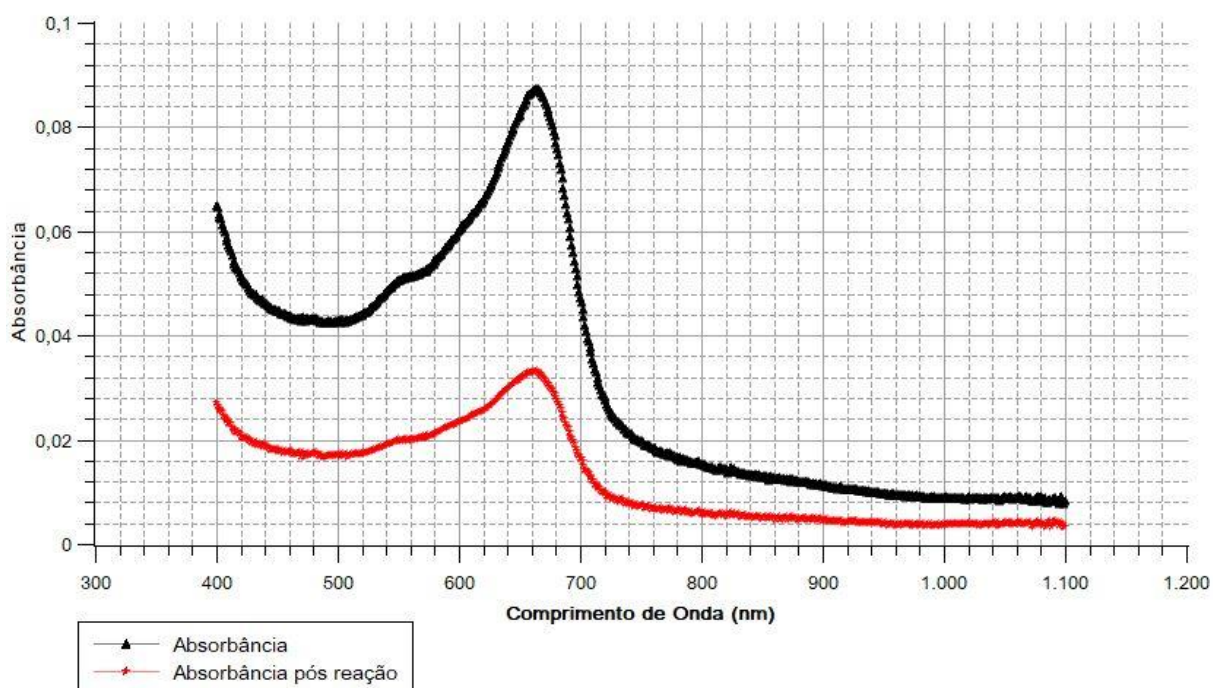
Foi possível diagnosticar a ação da levedura no efluente durante as 72 horas. A levedura apresentou redução constante e significativa da coloração da amostra. Entretanto, as amostragens sem a levedura também apresentaram uma redução mínima da coloração devido à deposição das partículas espessas do efluente no fundo do béquer, como ilustra as figuras acima (Figura 22, 23, e 24).

Figura 25 – Comparativo comportamental da absorvância pelo comprimento de onda após 24 horas



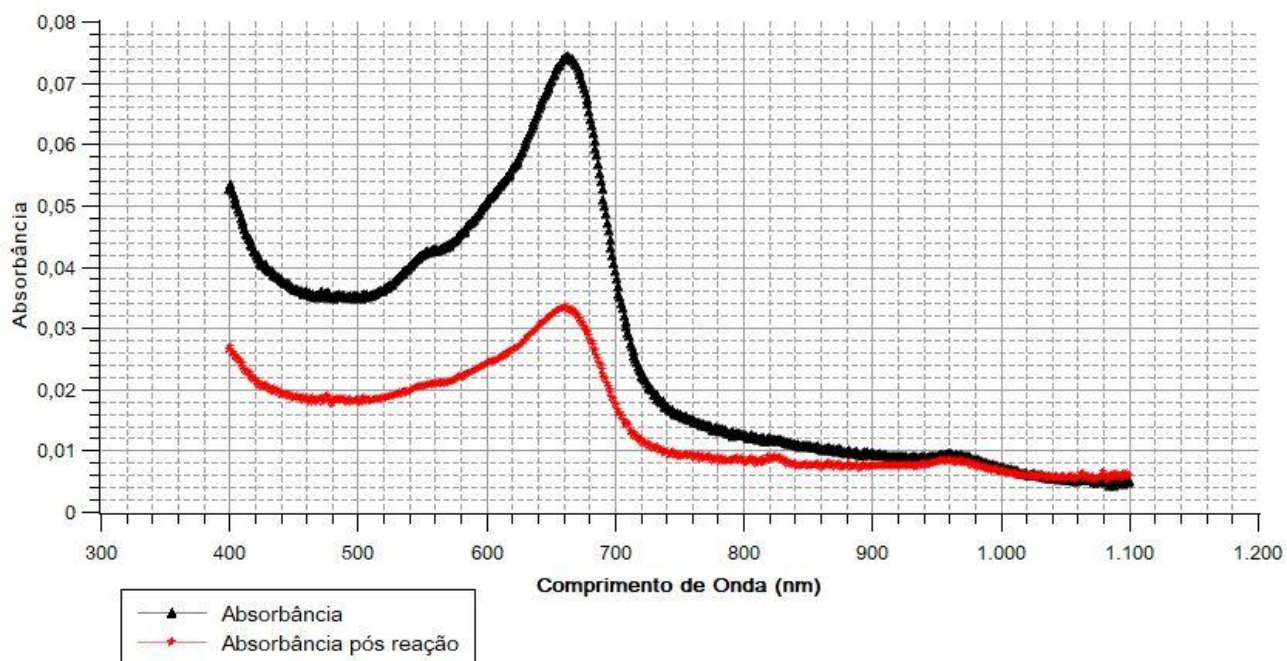
Fonte: Próprio Autor

Figura 26 – Comparativo comportamental da absorbância pelo comprimento de onda após 48 horas



Fonte: Próprio Autor

Figura 27 - Comparativo comportamental da absorbância pelo comprimento de onda após 72 horas



Fonte: Próprio Autor

5.8 Análise cinética e aplicação da curva de calibração

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos da absorbância e os valores de concentração determinados através da equação da reta obtida no item 5.5.

Tabela 5 – Valores da absorbância e concentração do efluente

Tempo de reação (horas)	Absorbância		Concentração (mg/L)	
	Sem Levedura	Com Levedura	Sem Levedura	Com Levedura
0	0,1750	-	6,4300	-
24	0,0880	0,0351	3,0044	0,9218
48	0,0824	0,0315	2,7837	0,7787
72	0,0743	0,0330	2,4670	0,8386

Fonte: Próprio Autor

Nota-se que após as primeiras 24 horas os valores para as amostras sem o microrganismo diminuíram, no entanto, apresentaram-se superior ao valor da solução com a levedura. O mesmo pode ser observado para os valores de concentração. Isto ocorre devido à diminuição do pH da solução.

A concentração da solução com a levedura não foi calculada para o tempo inicial (0 hora), considerando a leitura imediatamente anterior à adição da levedura e equivalente à $6,4300 \text{ mg.L}^{-1}$.

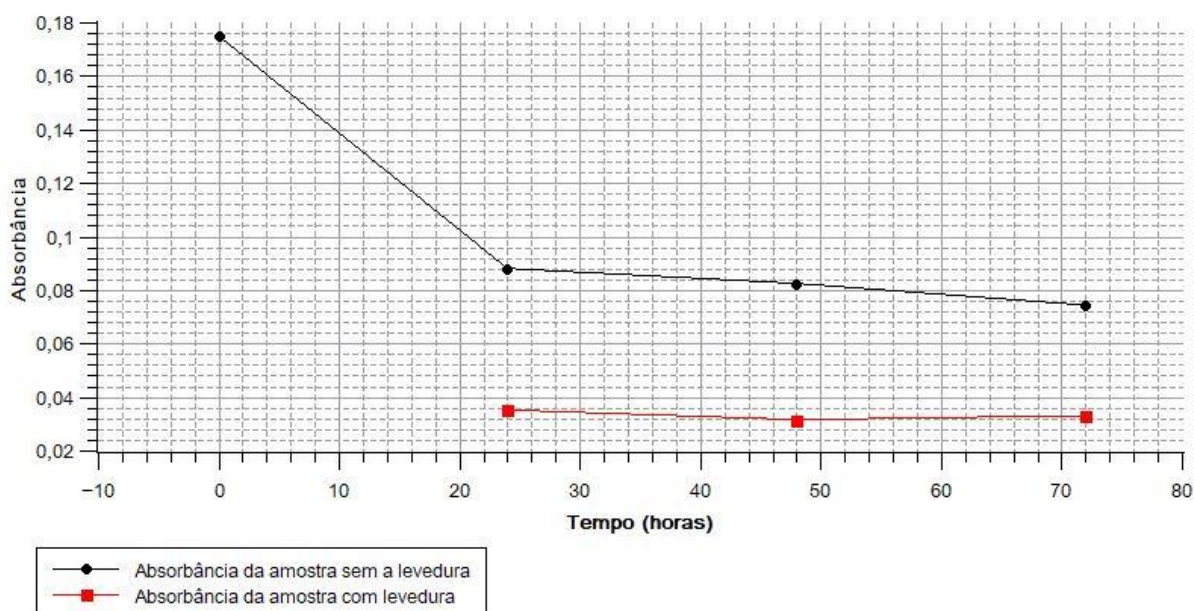
O microrganismo conseguiu degradar o efluente durante todo o período de tempo em que foi exposto à amostra. O gráfico da absorbância pelo tempo, representado na Figura 28, possibilita a visualização da ação do microrganismo durante todo o processo de exposição. A maior redução da absorbância na solução sem a levedura, observada no período de 0 a 24 horas, se dá pela deposição das partículas mais densas no fundo do béquer, esta redução atenua com o passar do tempo. Nota-se que a redução da absorbância observada nas amostras sem a suspensão da levedura é irrelevante perante a redução constatada devido à ação do microrganismo.

A levedura conseguiu reduzir a concentração do efluente em até 87% em relação à concentração inicial ($6,43 \text{ mg.L}^{-1}$). Na Figura 29, nota-se que a maior porcentagem de redução (72%) ocorreu nas primeiras 48 horas de exposição e após

as 72 horas, a suspensão apresentou uma redução no percentual biodegradativo (66%) em relação à leitura anterior.

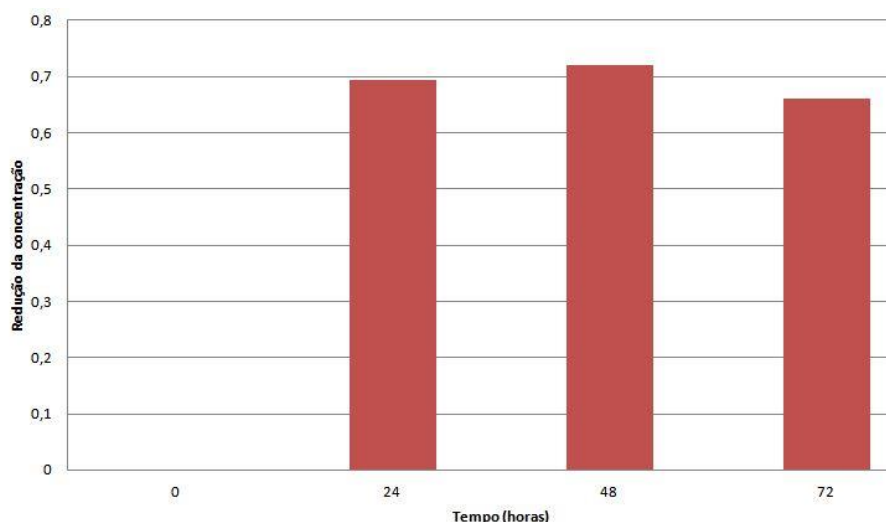
Pereira et al. (2010) analisou a biodegradação de um efluente têxtil através dos fungos *Lentinula edodes* e *Geotrichum candidum*. O fungo lignolítico, *L. edodes* apresentou capacidade de até 90% de redução da concentração do efluente, porém necessitou de agitação e de solução tampão de acetato de sódio o que torna o processo oneroso. Sem a utilização da solução tampão, o fungo lignolítico retrata uma redução na capacidade biodegradativa (40%). Ademais, o fungo *G. candidum* demonstrou uma redução na concentração de 36,5%. O resultado obtido foi relacionado à ação enzimática observada em fungos do gênero (*Saccharomyces*). Entretanto, ao comparar os resultados obtidos na literatura, o presente estudo apresentou maior eficiência na redução da concentração do efluente têxtil com a utilização da suspensão da levedura *Saccharomyces cerevisiae* que, mesmo pertencendo ao mesmo gênero do fungo *G. candidum*, a levedura foi capaz de biodegradar o efluente em 87% sem a necessidade de técnicas auxiliares que oneram o procedimento.

Figura 28 – Gráfico da absorbância pelo tempo



Fonte: Próprio Autor

Figura 29 – Gráfico da redução percentual da concentração do efluente têxtil



Fonte: Próprio Autor

6 CONCLUSÃO

O microrganismo apresentou potencial biodegradativo para ambos os corantes têxteis testados, conseguindo biodegradá-los de forma proporcional à sua concentração. Entretanto, demonstrou maior afinidade com a solução do corante Índigo Carmim do tipo cuba, uma vez que conseguiu descolorir a amostra na média de 53%. A solução com o corante Alaranjado de Metila apresentou redução de coloração na média de 11%. A diferença entre os percentuais de descoloração pode estar relacionada com a estrutura química dos corantes utilizados. Os grupos azóicos apresentam ligações com maior resistência à degradação além de possuírem grupos metil que inibem a biodegradação.

A determinação da concentração inicial e final do efluente coletado em uma lavanderia têxtil foi realizada a partir da curva de calibração do corante Índigo Carmim, pois o mesmo apresentou comprimento de onda no pico de absorbância semelhante ao valor encontrado através da varredura espectrofotométrica com o efluente têxtil.

A partir das análises através o espectrofotômetro e os cálculos da concentração, conclui-se que a levedura fresca *Saccharomyces cerevisiae* apresenta capacidade de biodegradar o efluente têxtil durante todo o período de

tempo em que foi exposta à amostra. A levedura conseguiu reduzir a concentração inicial do efluente em até 87%, entretanto, considerando apenas as análises diárias, a maior porcentagem de redução da concentração do efluente foi observada nas primeiras 48 horas de exposição onde conseguiu degradar o efluente em até 72%.

O presente estudo demonstrou que a biorremediação através da utilização da suspensão da levedura *Saccharomyces cerevisiae* é eficaz para o tratamento de águas residuais de lavanderias têxteis com a presença de corantes. Ademais, se faz interessante realizar testes para verificar a composição do efluente têxtil após o tratamento de biorremediação para assegurar a sua inocuidade.

7 REFERÊNCIAS

- ABRAHANT, E. N.; *Dyes and Their Intermediates*; **Edward Arnold Ltd.**; London, 1977.
- ALMEIDA, E.J.R., DILARRI, G., CORSO, C.R., **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro – SP, 2016. Disponível em <<http://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/01>> Acesso em 12 de abril de 2018
- ANASTAS, P.; EGHBALI, N. Green Chemistry: Principles and Practice. **Chemical Society Reviews**, New Haven, Connecticut, 20th Nov. 2009. p.39, 301 – 312,
- ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. Advanced Oxidation of Acid and Reactive Dyes: Effect of fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic process. **Dyes and Pigments**, v. 78, p. 117-130, 2008.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL (Brasil). **Focus - Relatório de Mercado**. Sem Cidade, 2018. 26 de janeiro de 2018. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/R20180126.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2018.
- BALLAMINUT, N. e MATHEUS, D. R. Characterization of fungal inoculum used in soil bioremediation. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, p. 248-252, 2007.
- BALAN, D. S. L. **Biodegradação e toxicidade de efluentes têxteis: corante indigo**. 1998. 130f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.
- BANAT, I. M.; NIGAM, P.; SINGH, D.; MARCHANT, R. Microbial decolorization of textile-dye containing effluents: a review. **Bioresource Technology**, v. 58, p. 217-227, 1996.
- BARALDI, Patrícia T. e CORREA, Arlene G.. O emprego de fermento de pão, *Saccharomyces cerevisiae*, na síntese de feromônios. **Quím. Nova** [online]. 2004, vol.27, n.3, pp.421-431. ISSN 0100-4042. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000300012>.
- BRITO, N.N.; ZAMORA, P.P.; NETO, A.L.O.N.; BATTISTI, A.; PATERNIANI, J.E.S.; PAEGRINI, R. T. Utilização de fungos na remediação de efluentes industriais. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.2, n.1, p. 121-139, jan./abr. 2009 - ISSN 1981-9951

BRUSCATO, E.C., **Potencial Biotecnológico de Fungos Endofíticos na Descoloração de Corantes da Indústria Têxtil**. 2011. 118F. Dissertação de pós-graduação – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CARDORIN, B. M.; **Degradação do corante alaranjado de metila por plasma frio de descarga corona**. 2009. 47 f. Relatório de Estágio (Graduação) – Departamento de química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CUNHA, Gladis Franck da (Comp.). **Fermentação: O destino ANAERÓBICO do PIRUVATO**. 2013. Disponível em: <<http://www.teliga.net/2013/01/fermentacao-o-destino-anaerobico-do.html>>. Acesso em: 19 out. 2018.

COELHO, P.; **Saccharomyces cerivisiae**. Santos: ENGQUIMICASANTOSSP, 2013. Apresenta textos relacionados a engenharia química. Disponível em: <<https://www.engquimicasantoss.com.br/2013/09/saccharomyces-cerevisiae.html>>. Acesso em: 27 de setembro de 2018.

CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. **Bioresource Technology**. v. 97, n. 9, p. 1061-1085, Jun 2005.

EL-RAHIN, W. M. A.; EL-ARDY, O. A. M.; MOHAMMAD, F. H. A. The effect of pH on bioremediation potential for the removal of the removal of direct violet textile dye by *Aspergillus niger*. **Desalination**, v.249, p. 1206-1211, 2009.

EPA: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, UNITED STATES. **How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers**. Chapter XIII - Chemical Oxidation, EPA 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007 and EPA 510-R-04-002, 2004a. 52p.

FABER, K. **Biotransformations in Organic Chemistry**. 3 ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 402p.

GIANFREDA, L. e RAO, M. A. Potential of extra cellular enzymes in remediation of pollute soils: a review. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 25, p. 339-354, 2004.

GOMES, Rachel Novaes et al. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. **Revista Fitos Eletrônica**, [S.l.], p. 80-89, set. 2018. ISSN 2446-4775. Disponível em: <<http://revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/580>>. Acesso em: 27 set. 2018.

GUARATINI, C. C. I. ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v.1, n.23, p.71-78, 1999.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e estatística**. Contas Nacionais Trimestrais Indicadores de Volume e Valores Correntes. 2017. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2017/pib-vol-val_201704caderno.pdf>

ITABORAHY, M.A.; SILVA, V.H. Indústrias de confecção no município de Cianorte-Pr e a necessidade de implantação de programas de Gestão Ambiental. **Revista Ciências Empresariais**, v.12, n. 1, p.360-387, 2006.

KAMIDA, H.M.; DURRANT, L.R.; MONTEIRO, R.T.R.; ARMAS, E.D. Biodegradação de Efluente Têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. **Química Nova**, V. p. 6229-62, 2005.

KRUCKEBERG, A.L.; WALSH, M.C.; DAM, K.V. How do yeast cells sense glucose? **BioEssays**, Cambridge, v. 20, n. 12, p. 972-976, 1998.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S.G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan./fev. 2002.

LEÃO, M. M. D. et al. **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. Belo Horizonte. Segrad Editora e Gráfica, 2002. 356 p.

LENARDÃO, E. J. et al. Green Chemistry – Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**. São Paulo. v. 26, n. 1, jan. 2003.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; DUNLAP, P. V.; CLARK, D. P. **Microbiologia de Brock**. 12 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

MARTENDAL, João M P et al. **Determinação dos parâmetros analíticos do alaranjado de metila por espectroscopia UV-Vis**. 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/entequi/2011/trabalhos/1/1-18-10940.htm>>. Acesso em: 19 out. 2018.

MARTINS, Aurenivia Maria Cavalcante et al. **Estudo da degradação do corante índigo carmim de efluente sintético de indústria têxtil em reator de bateladas sequenciais com *Aspergillus niger* AN 400**. 2014. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/IX-021.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2018.

MEYER, U. Biodegradation of synthetic organic colorants. In: BROWN, A. W. A. **Ecology of Pesticides**. New York: Jonh Willey, 1978. 525 p.

MORAES, S. G. 1999. “**Processo fotocatalítico combinado com sistemas biológicos no tratamento de efluentes têxteis**”, Tese de Doutorado do Instituto de Química, Unicamp, Campinas SP, p 141.

NEVES, A. A.; PIRES, C. F. **Biodegradação de Materiais Poliméricos por Fungos Filamentosos**. 2011 – 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Presidente Prudente, 2011.

OLIVEIRA, S. D.; LEMOS, J. L. S.; BARROS, C. A.; LEITE, S. G. F. Emprego de Fungos Filamentosos na Biorremediação de Solos Contaminados por Petróleo: Estado da Arte. **Série Tecnologia Ambiental**, n. 45. 67 p. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

PACHECO, E. **Efluentes industriais são 7 vezes mais poluentes que o esgoto doméstico**. São Paulo: Portal Tratamento de Água, 2015. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/efluentes-industriais-sao-7-vezes-mais-poluente-que-o-esgoto-domestico/>> . Acesso em: 24 de set. 2018.

PALMISANO, A. C.; PETTIGREW, C. A. **Biodegradability of Plastics**. **BioScience**, v. 42, n. 9, p. 680-685, out. 1992.

PASCHOAL, F. M. M.; TREMILIOSI-FILHO, G. Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 766-772, Oct. 2005.

PAVANELLI, S. P. **Degradação de corantes da indústria alimentícia por processos oxidativos e redutivos: monitoramento por espectrometria de massas com ionização electrospray (ESI-MS)**. 2010 - 101 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Química. Disponível em: Acesso em: 12 out. 2017.

PELCZAR Jr, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: Conceitos e Aplicações**. 2 ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1997. v. 1.

PEREIRA, Aline Ramalho Brandão et al. Biodegradação de corantes e efluentes têxteis por fungos. **Holos Environment**, Rio Claro Sp, v. 10, n. 2, p.165-200, jan. 2010. Não Informada. Disponível em: <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/2156/3762>>. Acesso em: 20 out. 2018.

POINTING, S.B. Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 57, p. 20-33, 2001.

PORRO, D.; BRAMBILLA, L.; RANZI, B. M.; MARTEGANI, E.; ALBERGHINA, L. Development of metabolically engineered *Saccharomyces cerevisiae* cells for production of lactic acid. **Biotechnology Progress**, New York, v. 11, p. 294-298, 1995.

RAJKUMAR, D.; KIM J. G. Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment, **Journal Of Hazardous Materials**, V. 136, P. 203-212, 2006.

RAMOS, M. A. **Química Verde: Potencialidades e Dificuldades da sua Introdução no Ensino Básico e Secundário**. 2009. 117 f. Mestrado em Química para o Ensino – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2009.

RODRIGUES, Heide Dayane Prates. **Potencial biossortivo e biodegradativo da *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em alginato de cálcio e em células livres na remoção de corantes têxteis de efluente**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2010.

ROSE, R. E.; **Química verde avança também no Brasil: A química verde utiliza matérias primas e processos menos agressivos ao meio ambiente e à saúde humana e também avança no Brasil**. 2015. Disponível em: <www.administradores.com.br/artigos/negócios/quimica-verde-avanca-tambem-no-brasil/890408/>. Acesso em: 31 jul. 2017.

SINGH, B.; SHARMA, N., Mechanistic implications of plastic degradation, **Polym. Degrad. Stabil.**, v. 93, p. 561-584, 2008.

STAMBUK, B.U. A simple experiment illustrating metabolic regulation: induction versus repression of yeast α -glucosidase. **Biochemical Education**, New York, v. 27, n. 3, p. 177-180, jul. 1999.

STEWART, J. D. Organic transformations catalyzed by engineered yeast cells and related systems. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 11, n. 4, p. 363-368, ago. 2000.

STRICKLAND, A. F.; PERKINS, W. S. Decoloration of contínuos dyeing wastewater by ozonation. **Textile Chemist and Colorist**. v.27, p. 11-15,1995.

TAN, L.; HE, M.; SONG, L.; FU, X.; SHI, S. Aerobic Decolorization, Degradation and detoxification of azo dyes by a newly isolated salt-tolerant yeast *scheffersomyces spartinae* tlhs-sf1. **Bioresourse Technology**, V. 203, P. 287-294, 2016.

TUNDO, P. et al. Synthetic pathways and processes in Green chemistry: Introductory overview. **Pure Appl. Chem.** 2000, 72, 1207.

WELHAM, A. The theory of dyeing (and the secret life). **Journal Society Dyers Colour**, [S.l.], v. 116, p. 140-143, 2000.

WESENBERG, D.; KYRIAKIDES, I., AGATHOS, S. N. White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. **Biotechnology Advances** v. 22, p. 161-187, 2003.

WON, S. W.; CHOI, S. B.; CHUNG, B. W.; PARK, D.; PARK, J. M.; YUN, Y. S. Biosorptive Decolorization of Reactive Orange 16 Using the Waste Biomass of *Corynebacterium glutamicum*. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 43, p. 7865-7869, 2004.

ZILBERMAN, I. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 1 ed. Canoas: Editora Ulbra, 1997, 107 p.