
ECOLOGIA

EMI BRINATTI GUARI

**BIORREMOÇÃO DO CORANTE ACID BLUE 29,
USANDO SERRAGEM (*Pinus* sp.)
COMO BIOSSORVENTE**

EMI BRINATTI GUARI

BIORREMOÇÃO DO CORANTE ACID BLUE 29, USANDO
SERRAGEM (*Pinus* sp.) COMO BIOSSORVENTE

Orientador: Prof. Dr. Carlos Renato Corso

Co-orientador: MSc. Érica Janaína Rodrigues de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Biociências da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro,
para obtenção do grau de Ecóloga.

Rio Claro

2013

620.1122 Guari, Emi Brinatti

G915b Biorremção do corante acid blue 29, usando serragem (Pinus sp.)
como bioissorvente / Emi Brinatti Guari. - Rio Claro, 2013
60 f. : il., figs., gráfs., tabs. + CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro

Orientador: Carlos Renato Corso

Coorientador: Érica Janaína Rodrigues de Almeida

1. Biodegradação. 2. Tratamento de águas residuais. 3. Bioissorção. 4.
Lactuca sativa. 5. Pinus sp.. 6. Toxicidade. I. Título.

**Dedico este trabalho às pessoas,
que assim como eu, tem esperança
numa civilização mais ativa e
preocupada com o meio ambiente.**

AGRADECIMENTOS

Acredito em Deus e em destino, portanto não tenho como deixar de agradecer aos dois por fazerem com que eu tenha sido uma das escolhidas para nascer e viver a vida que construí até hoje, e acho que se tivesse sido diferente não teria a menor graça.

Agradeço a minha família, por sempre estar perto de mim, apoiando qualquer escolha que eu faça. À minha mãe que me ensinou a nunca desistir e buscar meus sonhos, ao amor que me deu, além de tudo que fez por mim; jamais conseguirei pagar por tudo. Ao meu pai que com certeza é o melhor, mesmo sendo desse jeito quieto, sempre esteve ao meu lado me ajudando, me dando conselhos e esperando meu melhor, você é um pai exemplar. Ao meu querido e amado irmão, Cainã, por ser companheiro, amigo fiel e um irmão invejável, sempre esteve aqui pra me abraçar e me ajudar, sou infinitamente grata. Aos meus avós paternos, Arthur e Gertrudes, que mesmo não estando mais comigo, fizeram parte da construção do meu caráter e da infância feliz que tive. Aos avós maternos, Ana e Orazil, por serem preocupados, presentes, companheiros, amorosos, abençoados. Aos meus tios e padrinhos, Hosana e Benão, vocês são pessoas maravilhosas, amadas e extremamente especiais pra mim. Aos meus tios André e Cristiano, sempre me ajudando em tudo, dando opiniões quando eu não sabia o que fazer, me levando para o caminho certo e que me fez feliz. À minha prima de sangue, Gabi e aos de coração Dani, Grazy, Bela e Matheus, crescer junto com vocês foi a melhor coisa, depois das brigas de criança nos amamos mais e isso é maravilhoso. À Iandara, minha amiga que sempre vibrou com minhas vitórias e sempre me deu apoio e conselhos para que eu desse o meu melhor.

Aos meus amigos do Colégio Dom Bosco Cidade Alta, Vena, Nanis, Checoli, Tuti, Zeite, Sorva, Gera, Luigi, Medina, Mota, Evelyn, Marina, Gabi Braga, Jaque, Letícia, Thalita, Dani, Júlia, extremamente especiais e importantes pra mim, sinto muito a falta de vocês, ter a oportunidade de crescer e amadurecer com vocês não teve preço. Obrigada pelas risadas, choros, ajuda nas matérias e mais que tudo isso, pela amizade que construímos e que vai ficar pra sempre. Em especial agradeço a Gabi Herrera e a Thaís, que sempre estiveram comigo e que são irmãs que eu não tive, pois nem o tempo e a distância fez com que não nos amássemos como se nos víssemos todos os dias. Além disso, agradeço a Deisy, minha segunda mãe e que se não fosse por ela, jamais eu estaria aqui, agradecendo pelo maravilhoso colégio que estudei além da completar o curso que escolhi, sou eternamente grata por tudo

que fez por mim, meu amor por você é gigante. E por último aos meus queridos professores e funcionários do DBCA, Sarto, Rosa, Bel, Magda, Sheila, Bia, Mirian, Dudu, Bigaton, Maria do Socorro, Zé de Demarco, Tchê, Ivail, César, Gustavo, vocês são pessoas sensacionais e trabalham com amor.

Às minhas lindas, queridas e amadas amigas, Andressa, Sandra, Ari, Vanessa, Thuani, Thaiza, Angélica, Gabi, Carol, Patrícia, Thaís, Lays, Fran, Priscila, Rafa, Aline, Alessandra, Keane, Bia e Joyce, presentes, amorosas, conselheiras, amigas, irmãs. Nossa amizade é forte, é pra tudo, é pra sempre. E aos meus dois filhinhos Jhony e João Vitor, vocês são meu orgulho!

Às pessoas brilhantes e sensacionais que conheci na faculdade, Mentira, Jorge, Boi, Ana, Mari, Laura, Maria, Bia, Marcel, Sandália, Jaca. Aos meus queridos e amados bixos Tintim, Lilo, Sky, Léo, Gema, Turco, Tradição, Cascão, vocês foram exemplares e sempre estarão no meu coração. Além da mãe e da vó da Poly, Edna e dona Açussena, duas mulheres inteligentes e cativantes que me acolheram muito bem e sempre foram muito simpáticas comigo, muitíssimo obrigada por tudo.

À toda a turma da Eco 09, Urucum, Alessandro, Hugo, Dani, Emily, Nívea, After, Marina, Tampa, Xuxa, Léia, B.O, Bigato, Renata, Sandy, Camila, Kalinka, Bitu, Sinuca, Macia, Amora, Pampers, Simps, Audrei, Roots, nossos babys Endi e Angelo e aquelas que encontraram outros caminhos, Alana, Joyce, Laurinha e Déia. Ecologia 09, amados, queridos, obrigada pelos 4 anos maravilhosos que tivemos juntos, os campos, trabalhos, provas, conversas, dicas, momentos de desespero, de ajuda, almoços no R.U., risadas, choros, momentos de amor, tudo isso foi único, especial, nosso. Jamais me esquecerei de vocês AMIGOS! Sempre estarão no meu pensamento e nas minhas orações. Porque a gente tem mel nesse trem!

E em especial, as minhas amigas do core, Nívea, After, Marina, Kalinka, Sinuca, Emily, Bela, Ju, Batu, Sandy, Joyce, Maibi, Laurinha, Alana, Xuxa, Poly e as que me aguentaram mais intensamente morando comigo na ilustríssima Reptar, Rê, Camelus e Pampers; vocês são um capítulo a parte nessa trajetória. Não consigo me ver longe de vocês, depois de tudo que passamos juntas, depois de tudo o que vivemos. Cada uma de vocês me conquistou de uma forma, e tem um cantinho guardado em meu coração. Saibam que sempre estarei ao lado de vocês pra tudo que for preciso. Vocês são muito especiais pra mim.

Aos meus queridos amigos itrapinenses, Júlio, Ximba, Glaucia, Juninho, Bianca, Danilo, Dani, Andresa, Piu-piu, pessoas lindas e amadas que graças a Rê, conheci. Vocês

sempre estarão comigo nas lembranças dos momentos de risos e companheirismo que tivemos, vocês são sensacionais.

E finalmente gostaria de agradecer ao pessoal do LabMulti, Jaque, Chaw, Grazy, Burns, Luana, Ivo e em especial ao Beto, que sempre esteve lá quando tudo dava errado e me ajudou no que era preciso, fazendo mais do que seu papel de profissional e sendo nosso amigo. À Maria, minha querida amiga peruana, que desde que chegou aqui nunca mediu esforços pra me ajudar nos experimentos, sempre de dando dicas, ideias e me apoiando quando eu precisava; muito obrigada amiga, você é sensacional. À minha veterana, amiga e co-orientadora Xena, que desde o dia em que cheguei ao lab me ajudou e me ensinou técnicas, me deu dicas acadêmicas e sempre estava preocupada comigo, fazendo tudo que estava ao seu alcance e fora dele, não tenho palavras pra agradecer e nem como pagar tudo isso, nunca esquecerei tudo o que fez por mim. Ao meu orientador Corso, que como poucos desempenhou fielmente seu papel de orientador, sendo atencioso e companheiro, ensinando e ajudando todos nós do laboratório. Muito obrigada professor, o senhor é uma grande pessoa e fico muito orgulhosa por dizer que fui sua orientada.

Agradeço também a UNESP pela infraestrutura ofertada a todos nós alunos para que possamos desenvolver nosso pessoal e nossos projetos e a CAPES/ PIBic pela ajuda financeira.

Então, mais uma vez agradeço ao destino e à Deus por ter colocado cada uma dessas pessoas na minha vida, pessoas importantes e que com certeza tem seu lugar no meu coração. Amo muito cada um de vocês.

**“ (...)
Tenho pressa que essa gente
Se conscientize
Que respeite a natureza
E que economize
Acredito que um dia
O homem vá mudar
E as crianças do futuro
Vão poder brincar
É preciso paciência
Para ensinar
E é preciso consciência
Pra poder mudar
(...)”**

Lenine – Bichos do mar

RESUMO

Atualmente, a grande maioria dos produtos que são utilizados no cotidiano, apresentam corantes em sua composição, com destaque para os tecidos, que são utilizados principalmente para a confecção de peças de vestuários. A indústria têxtil é grande consumidora de corantes, pois eles são amplamente utilizados nos processos de tingimento dos tecidos. O impasse desses compostos é o fato de que grande parte dos efluentes gerados nessas indústrias são descartados na sua forma bruta ou tratados de forma incorreta, causando sérios problemas ambientais aos corpos aquáticos que os recebem. Considerando todas essas problemáticas o presente estudo teve como objetivo estudar a descoloração do azo corante têxtil Acid Blue 29 em solução aquosa, onde foi usada a técnica de bioabsorção usando como substrato bioabsorvente a serragem de *Pinus*, que confere facilidade ao processo, além de apresentar baixo custo e baixo impacto ambiental. Além disso, foi realizado o teste de toxicidade com sementes de *Lactuca sativa*, popularmente conhecida como alface, para determinar a LC50 do corante em relação a esse organismo e posteriormente a toxicidade da solução depois do teste bioabsorvente, confirmando que a técnica de bioabsorção é viável não só pela descoloração da solução, como também em relação à queda de toxicidade.

PALAVRAS-CHAVE: Bioabsorção, *Lactuca sativa*, *Pinus* sp., Toxicidade.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVO.....	12
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1. O paradoxo entre meio ambiente e a indústria têxtil.....	13
3.2. Corantes têxteis.....	14
3.3. Toxicidade dos corantes têxteis.....	19
3.4. Testes de toxicidade.....	19
3.5. Testes de fitotoxicidade com sementes de <i>Lactuca sativa</i>	21
3.6. Sistemas de tratamento de efluentes têxteis.....	22
3.7. Mecanismo de bioissorção.....	25
3.7.1. Isotermas de bioissorção.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1. Materiais e equipamentos utilizados.....	28
4.2. Corante Acid Blue 29.....	28
4.3. Preparo das soluções de corante Acid Blue 29.....	29
4.4. Análise qualitativa do corante.....	29
4.4.1. Teste de estabilidade das soluções de corante em dois diferentes valores de pH.....	29
4.4.2. Curva de calibração do corante.....	30
4.4.3. Isotermas de bioissorção.....	31
4.5. Preparo do substrato adsorvente (<i>Pinus</i> sp.).....	32
4.6. Experimentos de adsorção com <i>Pinus</i> sp.....	32
4.7. Teste de fitotoxicidade com sementes de <i>Lactuca sativa</i>	33
4.8. Teste de fitotoxicidade após interação bioisortiva.....	36

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1. Análise qualitativa do corante.....	36
5.1.1. Teste de estabilidade das soluções de corante em dois diferentes valores de pH.....	37
5.1.2. Curva de calibração do corante.....	37
5.1.3. Isotermas de bioissorção.....	39
5.2. Experimentos de bioissorção (<i>Pinus</i> sp.).....	42
5.3. Teste de fitotoxicidade com <i>Lactuca sativa</i>	45
5.4. Teste de fitotoxicidade após interação bioissorativa.....	51
6. CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Com o mundo globalizado e capitalista em crescente ascensão, surgem os conflitos quanto ao uso do espaço, dos recursos e da disposição dos resíduos no ambiente. Nos dois últimos séculos, um modelo de civilização se impôs, trazendo a industrialização como forma de produção e organização de trabalho, e como consequência de sua produção, a disponibilidade de uma diversidade enorme de substâncias químicas e a geração de resíduos em quantidade significativamente prejudicial ao ambiente (LÓPEZ et al., 2006).

Entre essas substâncias existem os corantes sintéticos, que são amplamente utilizados para o tingimento de diversos artefatos como esmaltes, tintas, plásticos e fibras têxteis; levando a indústria a produzir mais de 10.000 diferentes tonalidades de cores a cada ano (FORGACS, 2004). O processo de tingimento têxtil consome grandes volumes de água, gerando consequentemente grandes quantidades de solução de corante que possui como principal característica alta coloração. A cor é proveniente das moléculas de corantes excedentes que não se fixaram as fibras têxteis, durante os banhos de tingimento. O descarte inadequado desses efluentes nos corpos d'água pode causar grande prejuízo ao meio ambiente e a sociedade.

Tais prejuízos podem ser elencados como a diminuição da biomassa fitoplanctônica, devido a camada colorida que se forma na lâmina d'água, impedindo a penetração dos raios solares e consequentemente o processo fotossintético; contaminação dos organismos aquáticos, disfunção intensa nas teias alimentares dos ecossistemas, além da indisponibilidade para o abastecimento humano. Os efeitos nocivos dos corantes são muito amplos, aumentando assim a preocupação com a dificuldade real de se dar um destino correto a essa solução, já que esta é formada por moléculas estáveis, o que proporciona sua permanência por muito tempo no ambiente (KIMURA et al., 1999).

Para que se possa mensurar a toxicidade desse subproduto da indústria, existem os bioensaios, que medem os efeitos nocivos de determinado poluente em contato com algum organismo, podendo este ser vegetal ou animal (SOBRERO; RONCO, 2008). No presente estudo, o organismo-teste escolhido foi a semente de alface (*Lactuca sativa*), graças ao seu fácil manuseio e baixo custo. As sementes são bastante sensíveis, tendo sua germinação alterada quando se tem como única fonte de água, soluções poluídas com corantes.

O corante utilizado no experimento, Acid Blue 29, é classificado como corante ácido, apresentando solubilidade em água e aplicabilidade em fibras proteicas, como lã e seda. Tal característica confere um potencial contaminante relativamente grande, já que no processo final de tingimento do tecido este passa por lavagem em água corrente que retira o excesso do corante original, produzindo uma solução poluente que é o produto alvo da adsorção (GUARATINI; ZANONI, 2000).

A técnica de adsorção consiste na adesão de moléculas presentes em uma solução à uma superfície sólida, como por exemplo a serragem. A quantidade de corante que é adsorvido depende de alguns fatores como pH e a concentração de corante presente na amostra. Esta técnica tem grande importância já que pode ser feita em todos os lugares, sem restrições, por qualquer indústria. No caso desse estudo, o termo adsorção foi trocado por biossorção, já que a adsorção foi feita por um organismo vivo, a serragem de *Pinus*.

Considerando todos esses inconvenientes, este trabalho visa elaborar uma maneira de adsorver tal corante dos corpos d'água, de forma barata e ecologicamente correta, usando a serragem (*Pinus* sp.). Considerado material de baixo custo, já que a serragem é tida como resíduo pela indústria que a utiliza como matéria prima para a fabricação de seus produtos, além da facilidade em adquiri-la e do fato de ser orgânica e de se decompor de maneira fácil e rápida (MONTANHER, 2009).

2 OBJETIVO

O presente estudo apresenta os seguintes objetivos:

- ✓ Testar a capacidade bioassortiva da serragem (*Pinus* sp.), analisando qual pH e quantidade de amostra apresentam maior porcentagem de descoloração, promovendo assim a melhor biorremoval do corante dentre as opções testadas;
- ✓ Testar a toxicidade do corante têxtil azóico Acid Blue 29 utilizando como organismo-teste sementes de *Lactuca sativa*;
- ✓ Realizar novos testes para analisar a toxicidade da solução de corante após o processo de bioassorção.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1. O paradoxo entre meio ambiente e a indústria têxtil

O meio ambiente sofre drasticamente com a poluição causada pelo homem desde os tempos mais remotos. Contudo, pode-se afirmar que depois da Revolução Industrial (Europa-séculos XVIII e XIX) esta aumentou muito, graças aos métodos utilizados para a produção dos diversos tipos de bens de consumo, como o descarte de grandes volumes de água em altas temperaturas que eram usadas no resfriamento das máquinas, desmatamento e a produção de cinzas, lixo e fumaça.

Porém o tipo de poluição mais comum é o das águas, intrinsecamente aliado a seu desperdício, principalmente em países tropicais e que possuem esse recurso em abundância como é o caso do Brasil. É nesse panorama em que se pode destacar a poluição dos recursos hídricos por efluentes têxteis, que carregam consigo moléculas de corante que não se fixaram ao tecido no processo de tingimento conferindo coloração ao efluente. Essa solução que muitas vezes é descartada de forma incorreta e sem tratamento prévio, pode causar muitos efeitos nocivos ao meio ambiente, como perda da biodiversidade, alterações de ciclos biogeoquímicos, efeitos cancerígenos e mutagênicos, além da perda de dinheiro público, impossibilidade de abastecimento humano (HOUK, 1992 apud KUNZ; ZAMORA 2002).

Pode-se destacar também que os metabólitos produzidos quando tais efluentes entram em contato com o meio muitas vezes são mais perigosos e apresentam maior dificuldade de serem retirados do ambiente do que a própria molécula pura de corante; seus produtos e subprodutos podem ocasionar a bioacumulação e a biomagnificação nas cadeias alimentares (DELLAMATRICE, 2005). Apresentam também baixa degradabilidade, pois como o corante é estável, sintético e de alta complexidade molecular não existem na natureza organismos que consigam metabolizar totalmente esse poluente (ALMEIDA, 2010).

São necessários mais estudos na área, para que se consiga determinar todos os malefícios e as possíveis soluções para implantá-las nas indústrias de maneira fácil e rápida, pois apesar de existirem normas e leis a respeito da produção e descarte correto e menos

poluente, são poucas as empresas que realmente seguem tais diretrizes e poucas as que são punidas por não o fazerem.

3.2. Corantes têxteis

A arte de tingir é muito antiga, há cerca de 20 mil anos o homem já desenvolvia essa atividade, fato que confere grande importância na história da civilização humana. Os caçadores do Período Glacial faziam uso das cores pintando com fuligem e ocre (variedade de argila colorida pelo óxido de ferro, rica em hematita, ocre vermelho, ou em limonita, ocre amarelo) as paredes de cavernas reservadas ao culto, obras que permanecem intactas até hoje. O primeiro corante a ser notícia foi o Negro-de-Fumo (Carbon Black) e em torno de 3.000 a.C. foi produzido uns dos primeiros corantes inorgânicos sintéticos, o Azul Egípcio. Com o passar do tempo, muitos corantes naturais foram sendo descobertos, como o vindo de um molusco marinho chamado Murex, que tingia de vermelho as capas dos centuriões romanos e o índigo natural, que apresenta coloração azulada, extraído de uma espécie de planta (*Isatis tinctoria*) amplamente conhecida desde os egípcios até os bretões (ABIQUIM, 2010).

Os corantes são compostos orgânicos que conferem cor permanente a um determinado substrato como tintas, esmaltes, couro, alimentos, papel, plásticos, fibras têxteis, material fotográfico, além de funcionarem como aditivos em derivados de petróleo. Apresentam grande complexidade e por isso muitas vezes é impossível traduzir sua fórmula química, pois alguns são misturas de vários compostos; por isso para identificá-los é usado, além de seu nome comercial, seu Colour Index (CI), nome e número encontrado numa publicação da American Association of Textile Chemists and Colorists e da British Society of Dyers and Colorists usado para designar os diversos tipos (ABIQUIM, 2010).

Segundo Guaratini e Zanoni (2000), os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química, que pode ser azo, antraquinona, enxofre, indigóide, trifênilmetila e derivados de ftalocianina (Figura 1) (FORGACS et al., 2004) ou de acordo com o método pelo qual é fixado à fibra têxtil.

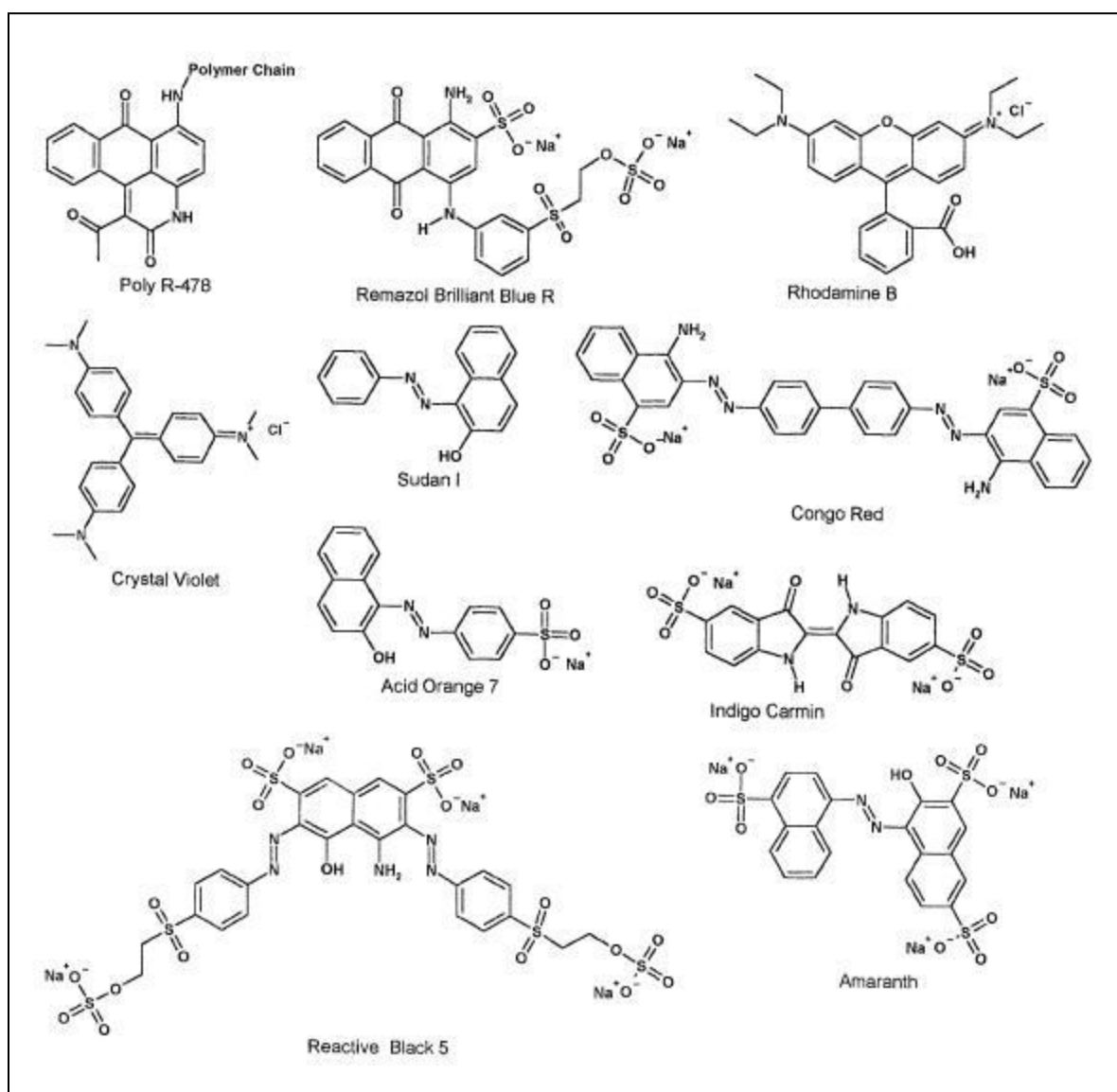


Figura 1 – Estruturas químicas de corantes sintéticos mais estudados em testes de degradação

Fonte: FORGACS et al., 2000.

Os principais grupos de corantes de acordo com a segunda classificação são tratados a seguir.

✓ **Corantes reativos:** contêm um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas. Os principais tipos contêm a função azo e antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos. Apresentam como característica alta solubilidade em água e o estabelecimento de ligação covalente entre o corante e a fibra, cuja ligação

confere maior estabilidade na cor do tecido tingido quando comparado a outros tipos de corante em que o processo de coloração se opera através de ligações de maior intensidade.

✓ **Corantes diretos:** caracterizam-se como compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através de interações de Van der Waals. Essa classe é constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (diazó, triazo) ou pré-transformados em complexos metálicos. Sua grande vantagem é diminuição do conteúdo do corante nas águas de rejeito.

✓ **Corantes azóicos:** são compostos coloridos, insolúveis em água, que são sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Sua principal característica é a presença de uma ou mais ligações azóicas ($-N=N-$).

✓ **Corantes ácidos:** grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. Estes grupos substituintes ionizáveis tornam o corante solúvel em água, e têm vital importância no método de aplicação do corante em fibras proteicas (lã, seda) e em fibras de poliamida sintética. Apresentam alto grau de fixação.

✓ **Corantes à cuba:** grande e importante classe de corantes baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides. A maior aplicação deste tipo de corante tem sido a tintura de algodão, embora devido às suas excelentes propriedades de fixação, outros materiais também têm sido utilizados. Entretanto, como a produção química de hidrossulfito de sódio pode causar problemas ecológicos, o custo desta classe de corantes tem sido bastante alto.

✓ **Corantes de enxofre:** classe de corantes que após a aplicação se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos, os quais são altamente insolúveis em água. Estes compostos têm sido utilizados principalmente na tintura de fibras celulósicas, conferindo cores preto, verde oliva, azul marinho, marrom, apresentando boa fixação. Entretanto, estes corantes usualmente apresentam resíduos altamente tóxicos.

✓ **Corantes dispersivos:** classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão. Esta classe de corantes tem sido

utilizada principalmente para tinturas de fibras sintéticas, tais como: acetato, celulose, nylon, polyester e poliacrilonitrila.

✓ **Corantes pré-metalizados:** usados para tintura de fibras protéicas e poliamida. Os corantes são caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. Neste tipo de tintura explora-se a capacidade de interação entre o metal e os agrupamentos funcionais portadores de pares de elétrons livres, como aqueles presentes nas fibras proteicas. A desvantagem ecológica deste tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal (cromo) nas águas de rejeito.

✓ **Corantes branqueadores:** as fibras têxteis no estado bruto por serem compostas primariamente de materiais orgânicos, apresentam como característica uma aparência amarelada por absorver luz particularmente na faixa de baixo comprimento de onda. A diminuição dessa tonalidade tem sido diminuída na indústria ou na lavanderia pela oxidação da fibra com alvejantes químicos ou utilizando os corantes brancos também denominados de branqueadores ópticos ou mesmo branqueadores fluorescentes. Estes corantes apresentam grupos carboxílicos, azometino ou etilênicos aliados a sistemas benzênicos, naftalênicos, pirênicos e anéis aromáticos que proporcionam reflexão por fluorescência na região de 430 a 440 nm quando excitados por luz ultra-violeta.

Atualmente, a exportação de corantes no Brasil teve um aumento de 40%, como mostra a Tabela 1 (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Tabela 1. Produção e emprego dos principais tipos de corantes têxteis no Brasil.

			Quantidade (toneladas)				
Tipos de Corantes		Principal Destino do Corante	1992	1993	1994	1995	1996
Ácidos	Produção	1	3.489	4.425	4.339	4.011	4.506
	vendas internas		3.168	3.707	3.585	3.375	3.877
	vendas externas		442	840	902	1.167	1.129
Azóicos	Produção	2	116	171	128	108	180
	vendas internas		117	159	133	107	134
	vendas externas		0	0	0	28	46
Básicos	Produção	3	394	582	411	315	326
	vendas internas		458	562	512	355	333
	vendas externas		81	57	67	216	188
Diretos	Produção	4	1.510	1.544	1.432	1.323	1.038
	vendas internas		1.510	1.510	1.397	1.137	1.292
	vendas externas		36	36	51	56	88
Dispersos	Produção	5	691	763	821	1.057	758
	vendas internas		637	747	771	690	795
	vendas externas		86	20	35	352	276
Reativos	Produção	6	2.755	3.363	3.095	2.790	4.133
	vendas internas		2.551	2.918	3.058	2.473	2.882
	vendas externas		350	525	252	257	1.964
Sulfurosos	Produção	7	2.755	3.363	3.095	2.790	4.133
	vendas internas		1.457	1.104	1.120	715	1.100
	vendas externas		78	146	160	100	92
À Cuba	Produção	8	1.600	1.312	1.329	810	660
	vendas internas		250	227	224	174	200
	vendas externas		9	14	26	175	127
Pré-metalizados	Produção	9	-	-	167	185	117
	vendas internas		-	-	230	243	217
	vendas externas		-	-	0	0	1

1 - couro, fibras sintéticas (nylon e elastoméricas) e fibras naturais de lã e papel.

2 - fibras naturais de algodão e fibras sintéticas de poliéster.

3 - papel e fibras sintéticas acrílicas.

4 - fibras naturais de algodão, fibras artificiais de viscose, couro e papel.

5 - fibras sintéticas (poliéster, nylon) e fibras artificiais de acetato e viscose.

6 - fibras naturais de algodão e lã e fibras artificiais de viscose, couro e papel.

7 - fibras naturais de algodão.

8 - fibras naturais de algodão.

9 - tintas, plásticos, couro e papel.

Fonte: GUARATINI; ZANONI, 2000.

Segundo Pandey et al. (2006), estima-se que em 1994 foram produzidos 1 milhão de toneladas de corantes, sendo que destes, 50% eram azo corantes. Tal classe possui um ou mais agrupamentos $-N=N-$ ligados a sistemas aromáticos e são geralmente resistentes à degradação graças a sua natureza xenobiótica, porém existem maneiras de realizar a sua descoloração através de bioensaios. Mas o que mais preocupa no despejo incorreto desses compostos é que na sua biotransformação eles podem liberar aminas aromáticas livres, benzinas e outros compostos extremamente tóxicos para a biota (ALMEIDA, 2010).

3.3. Toxicidade dos corantes têxteis

Graças às variadas composições químicas que as moléculas de corantes têxteis apresentam, muitos microrganismos presentes no ambiente natural são capazes de realizar a biodegradação destas estruturas, deixando livres no meio alguns compostos como grupos hidroxila, acetamida ou nitro grupos ligados a um anel aromático que apresentam nível extremamente alto de toxicidade para os organismos expostos a esse poluente. Os que apresentam maior taxa de toxicidade são os que pertencem ao grupo azo, pois por serem desenvolvidos para resistir ao desbotamento por suor, sabão, água, luz ou agentes oxidantes apresentam estruturas mais estáveis e menos suscetíveis à biodegradação; dificultando assim sua biorremocção do ambiente (CARNEIRO et al., 2005); esta classe de corantes também é a maior, cerca de 60 à 70% do volume total produzido (KHAN; BANERJEE, 2010).

Muitos corantes azóicos são usados para tingir medicamentos, alimentos e cosméticos e podem ser reduzidos por suspensão de células intestinais, levando a efeitos deletérios como o encontrado por Bonser (1956), que desenvolveu um estudo comprovando que o metabólito 1-amino-2-naftol, encontrado na biodegradação do corante Acid Orange 7, pode causar tumores na bexiga de ratos, pois assim como outras aminas aromáticas também encontradas como metabólitos de corantes em geral, se convertem no corpo do animal em orto-hidro-aminas, substâncias extremamente tóxicas.

O efluente industrial em que as moléculas de corante estão inseridas, também apresenta outras substâncias químicas como soda cáustica, gomas, detergentes, sabões, emulsões, antiespumantes, cloro, formóis, óleos, resinas e dispersantes que conferem um potencial tóxico ainda maior a solução do que somente a composto básico de água com corante (DELLAMATRICE, 2005).

3.4. Testes de toxicidade

Diariamente são produzidos milhares de compostos poluentes que servem como base para produção de artefatos de uso comum pela população humana; estes podem causar desde efeitos letais dizimando populações inteiras, até problemas no desenvolvimento de alguns indivíduos (DELLAMATRICE, 2005).

O ambiente em que a maioria desses compostos são descartados são os ecossistemas aquáticos, graças a facilidade e baixo custo dessa operação. Porém o que não é levado em

conta é que as propriedades físicas e químicas desses ambientes podem afetar de maneira significativa a atividade biológica ali existente e segundo Costa (2008), sua vulnerabilidade depende dos produtos resultantes das transformações ocasionadas pela presença dos poluentes, da concentração destes, da duração e do tipo da descarga (podendo ser contínua ou intermitente), das propriedades do ecossistema que lhe permitem resistir às alterações resultantes da presença dos contaminantes, a capacidade tamponante das águas, a concentração de matéria orgânica dissolvida nelas e da localização do ecossistema em relação ao sítio de lançamento.

A fim de se investigar a influência dessas substâncias no ambiente, nos anos 30 foram iniciados os primeiros testes de toxicidade, que tinham como objetivo analisar a causa e o efeito de tais compostos em populações de peixes. Estes estudos foram focados para comprovar se um determinado contaminante era mesmo o responsável pela mortalidade de organismos vivos (ROMERO; CANTÚ, 2008).

Os testes de toxicidade são realizados sob condições experimentais específicas e controladas e podem ser divididos em testes de toxicidade aguda, onde se observa os efeitos subletais como inibição de germinação, crescimento das raízes e hipocótilo e a mortandade total dos organismos-testes e testes de toxicidade crônica, observando alterações no crescimento, reprodução e comportamento dos mesmos. A Tabela 2 apresenta um resumo dos termos utilizados nos testes de toxicidade. Nestes estudos avaliam-se os efeitos causados ao organismo-teste por meio da sua exposição às várias concentrações do efluente ou da substância potencialmente tóxica a ser testada, por período determinado (BRETANO, 2006).

Portanto tais estudos apresentam extrema importância já que é através deles que se pode comprovar que determinada substância descartada de maneira incorreta no meio ambiente pode causar efeitos nocivos às populações naturais.

Tabela 2. Termos usados para testes de toxicidade.

Parâmetro	Definição	Tempo de exposição
DL ₅₀	Dose Letal Média: dose de amostra que causa mortalidade de 50% dos organismos no tempo de exposição e condições do teste.	24 a 96 h
CL ₅₀	Concentração Letal Média: concentração de amostra que causa mortalidade de 50% dos organismos no tempo de exposição e nas condições do teste.	24 a 96 h
CE ₅₀	Concentração Efetiva Média: concentração de amostra que causa um efeito agudo (imobilidade, por exemplo) a 50% dos organismos no tempo de exposição e nas condições do teste.	24 ou 48 h
CENO	Concentração de Efeito não Observado: maior concentração de agente tóxico que não causa efeito deletério estatisticamente significativo nos organismos no tempo de exposição e nas condições do teste.	7 dias
CEO	Concentração de Efeito Observado: menor concentração de agente tóxico que causa efeito deletério estatisticamente significativo nos organismos no tempo de exposição e nas condições do teste.	7 dias

Fonte: COSTA; OLIVI, 2008.

3.5. Testes de fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa*

Testes de fitotoxicidade apresentam garantia de sucesso já que alguns contaminantes que não mostram toxicidade em relação a peixes, crustáceos e daphnias podem ser tóxicos para as plantas; além do fato destas serem organismos bioacumuladores, o que potencialmente pode causar implicações nos níveis superiores da cadeia alimentar. A toxicidade para uma planta depende de alguns fatores que variam de quantidade de matéria orgânica, pH, temperatura até alcalinidade, fatores que podem ser facilmente controlados em laboratório de acordo com o objetivo do teste (WANG; FREEMARK, 1995).

Os testes com *Lactuca sativa* são amplamente utilizados pois apesar de não ser uma espécie representativa de ecossistemas aquáticos, a informação gerada a partir deste bioensaio fornece dados sobre as fitocomunidades marginais de corpos d'água poluídos, além de apresentar fácil manuseio, ser economicamente viável, elevado período de validade, pouco tempo de germinação (SOBRERO, RONCO, 2008).

3.6. Sistemas de tratamento de efluentes têxteis

Segundo Lu (2010) muitos métodos de tratamentos químicos, físicos e biológicos tem sido desenvolvidos para remover os azo corantes dos efluentes industriais, porém devido ao seu elevado custo, muitos desses não são realizados. Os mais conhecidos e estudados são adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica e biodegradação. (GUARATINI; ZANONI, 2000). As Tabelas 3 e 4 mostram um resumo das técnicas mais usadas para remoção dos corantes dos efluentes têxteis.

Os processos físicos são aqueles que removem a molécula do corante como um todo da solução colorida, sem produzir metabólitos que podem deixar a solução mais tóxica como nos processos biológicos, porém nos processos físicos a disposição final das fases sólidas continua sendo um problema. Em geral na indústria têxtil o que se pode observar é a junção das duas classes de tratamentos, porém ainda é necessário que muitos estudos sejam feitos nessa área para que os rejeitos sem tratamento sejam cada vez mais diminuídos (KUNZ; PERALTA-ZAMORA, 2001). A Figura 2 mostra uma análise espectrofotométrica da cor dos efluentes descartados em corpos d'água e o padrão de cor que estes deviam seguir, reforçando que a fiscalização ainda é deficiente.

Tabela 3. Resumo dos tratamentos (não biológicos) disponíveis para efluentes têxteis.

	Princípios Gerais	Corantes Alvo	Vantagens	Desvantagens
Degradação Química Ozônio	Para tratamento de efluente têxtil o ozônio se mostra muito atrativo. Geralmente os cromóforos com grande número de conjugação de ligações duplas podem ser atacados pelo ozônio direta ou indiretamente, descolorando o efluente.	A dosagem aplicada no efluente depende do total de cor e COD presentes (agente oxidante poderoso com capacidade de reagir com inúmeros compostos).	Aplicado no estado gasoso: sem alteração do volume.	Meia-vida curta (20 minutos) implica na ozonação continuada, conseqüentemente o alto custo. Possível aumento da toxicidade de alguns intermediários de reação, o que implica no acompanhamento do processo através de testes de toxicidade.
Hipoclorito de Sódio (NaOCl)	Em solução é completamente dissociado a Na^+ e ClO^- , enquanto uma pequena porção é hidrolisada a hidróxido de sódio e ácido hipocloroso. O poder oxidante deste e do hipoclorito quebram as moléculas de corante.	Não indicado para os corantes dispersos e diretos. Boa ação para os corantes monoazo e antraquinona.	Inicia e acelera a clivagem da ligação azo.	Liberação de aminas aromáticas.
Eletrólise	A degradação da molécula é realizada eletroquimicamente através do potencial ou corrente controlada, ou através de componentes secundários gerados no processo.	Indicado para todas as classes de corantes.	Compostos resultantes da degradação não são tóxicos. Baixo ou gasto inexistente de compostos químicos.	Alto gasto de eletricidade. Porém a produção de reações paralelas que geram cloro, radicais hidroxila, tem diminuído a potencialidade do método.
Reações Fotoquímicas	Degrada moléculas de corantes a CO_2 e água, pelo uso de UV na presença de H_2O_2 . A degradação ocorre em função da formação de radicais hidroxila.	Inúmeros corantes, principalmente azóicos.	Sem produção de lodo. Mineralização de uma vasta gama de substâncias de relevância ambiental, inclusive muito corantes têxteis.	Formação de subprodutos como halídeos, metais, sais inorgânicos, aldeídos e ácidos carboxílicos. Problemas de ordem prática: como fonte de radiação ultravioleta artificial, penetração da radiação no meio de reação, dificuldades na separação dos fotocalisadores. Difícil implementação em larga escala pelos motivos acima citados.
Coagulação Eletrocinética	Adição de sulfato férrico e cloreto férrico.	Excelente remoção de corantes diretos.	Econômico e interessante método para remoção de corante.	Produção de grande volume de lodo, e conseqüentemente aumento do custo para a disposição final do lodo.

Fonte: ALMEIDA, 2010

Tabela 4. Resumo dos tratamentos (não biológicos) disponíveis para efluentes têxteis.

Método	Princípios Gerais	Corantes Alvo	Vantagens	Desvantagens
Técnicas de Adsorção	Passagem da amostra em adsorvente na forma de filtro. Carvão ativado, sílica gel, bauxita, resinas de troca iônica.	O sucesso da adsorção é determinado pela interação do corante e do adsorvente.	Efetivo para tratamento de pequenos volumes.	Lento e não econômico.
Carvão Ativado	A técnica mais usada e conhecida para remoção de corantes. Superfície adsortiva é positiva.	Remoção de corantes catiônicos mordentes, e ácidos, e em menor extensão corantes dispersos, direto e reativos.	Alta eficiência da remoção da cor.	Custo elevado. Reativação não é totalmente efetiva.
Alternativas (Turfa, serragem, e outros derivados de celulose, como bambu, casca de eucalipto e quitosana)	Adsorção.	Boa remoção de uma vasta gama de corantes, exceto os catiônicos. Boa capacidade adsortiva para corantes ácidos.	Bom adsorvente devido à estrutura celular.	Áreas específica para adsorção menor do que a do carvão ativado. Tempo de retenção elevado.
Troca-Iônica	O efluente é removido através de uma resina até que todos os sítios estejam saturados.	Corantes catiônicos e aniônicos podem ser removidos.	Regeneração sem perda dos adsorventes. Recuperação do solvente após o uso e remoção dos corantes solúveis.	Não efetivo para corantes dispersos. Custo elevado dos solventes orgânicos.
Coagulação/Filtração	Uso de polieletrólitos – $Al_2(SO_4)_3$, amônia e/ou floculantes (sais de ferro e alumínio).	Tratamento mais adotado nas indústrias têxteis, geralmente seguidos de tratamento biológico.	Graus variados de sucesso para tratamento terciário do efluente, especialmente na remoção da cor.	Resultado depende do tipo de corante a ser removido, composição, concentração e fluxo do rejeito. A alta eficiência está ligada à utilização de um excesso de polieletrólitos, o que acrescenta grande volume de resíduo ao efluente e grande formação de lodo.
Fentons Reagentes H_2O_2-Fe (II) Sais.	Separação química que se utiliza da propriedade de sorção ou de ligação com o corante.	Descoloração de corantes solúveis e insolúveis.	Técnica química indicada quando o efluente é resistente ao ataque microbiano ou tóxico para a biomassa.	Geração de lodo devido à floculação do reagente e das moléculas de corante.

Fonte: ALMEIDA, 2010

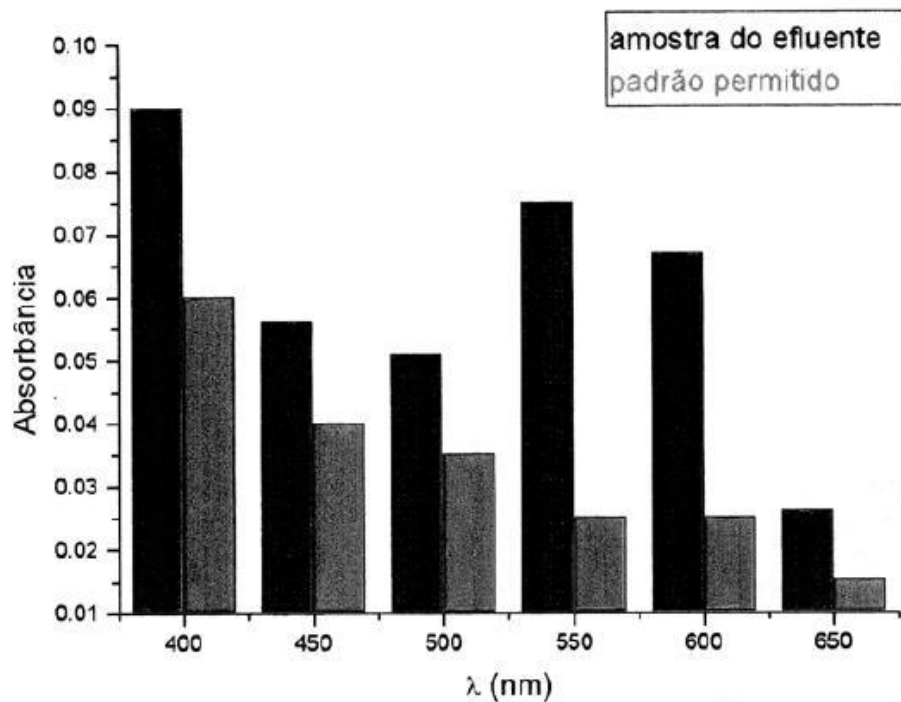


Figura 2 - Análise espectrofotométrica da amostra de efluente de indústria têxtil comparada com o padrão permitido.

Fonte: GUARATINI; ZANONI (2000).

Vale lembrar que a alta ou baixa concentração desse contaminante no rejeito intervirá no funcionamento do ecossistema em que este foi descartado, principalmente os corantes que são solúveis em água, contribuindo para a contaminação dos mananciais, sendo assim novas técnicas mais objetivas, ecologicamente corretas e com menor volume de corante remanescente possível devem ser desenvolvidas (GUARATINI; ZANONI, 2000).

3.7. Mecanismo de biossorção

O método de biossorção tem se mostrado a opção mais promissora entre as opções de tratamentos de efluentes têxteis, pois pode ser usado para remover diferentes tipos de corantes. Ela se baseia na descoloração da solução através da passagem das moléculas de corante para algum substrato adsorvente, ou seja, na separação efetiva dessas moléculas com

dimensão suficientemente grande para serem separadas do efluente (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Segundo Lu (2010), esse método se divide em 4 etapas:

- 1) *Difusão de massa*: migração da maior parte do azo corante presente na solução para a superfície do adsorvente;
- 2) *Difusão filme*: difusão do azo corante restante para a superfície do adsorvente;
- 3) *Difusão poro ou difusão intrapartícula*: transporte da molécula de azo corante que estava aderido a superfície para dentro dos poros do adsorvente;
- 4) *Reação química*: adsorção do azo corante de um sítio ativo na superfície do adsorvente através de troca iônica, complexação e/ou quelação.

A maioria dos sistemas usa como biossorvente o carvão ativado graças a sua versatilidade e excelente capacidade de adsorção, por apresentar estrutura porosa e superfície carregada positivamente, proporcionando sítios ativos de ligações com as moléculas dos azo corantes. Porém seu uso é restrito já que ele apresenta custo elevado, pouco praticidade para uso em larga escala e resulta em perdas consideráveis de adsorvente. Por isso estudos estão sendo realizados para que se encontre outro tipo de biossorvente que possa substituir o carvão ativado com a mesma eficiência de biossorção, porém com baixo custo de aquisição e que possa ter um descarte ecologicamente correto, como por exemplo casca de banana e laranja, fibra de coco e de eucalipto, bagaço de cana-de-açúcar, lodo ativado (AKSU, 2005) e como apresentado nesse estudo a serragem de Pinus, que mostra grande facilidade de biossorção do corante por apresentar superfície porosa assim como o carvão ativado.

3.7.1. Isotermas de biossorção

As isotermas de biossorção são importantes ferramentas uma vez que descrevem a distribuição das moléculas da solução na camada do substrato biossorvente, no equilíbrio (KURNIAWAN et al, 2012). Também

... fornecem informações sobre como o adsorvente efetivamente adsorverá as impurezas presentes e se a purificação desejada será obtida. Além disso, é possível estimar a quantidade máxima de impurezas que será adsorvida e, ainda, é útil na avaliação econômica do uso de um determinado substrato adsorvente e na remoção de um contaminante específico durante o tratamento de efluentes. (ROOSTAEI; TEZEL, 2004 apud ALMEIDA, 2010, p. 32).

As duas isotermas mais utilizadas são a de Freundlich e Lagmuir.

Segundo Moore (1968), a isoterma de Langmuir se baseia em três hipóteses: (i) a superfície do adsorvente é homogênea, portanto a adsorção ocorre de maneira constante e independente do tamanho da superfície; (ii) a adsorção ocorre em sítios específicos, sem interação entre as moléculas do adsorvato; (iii) a adsorção é máxima quando ocorre preenchimento de uma monocamada da superfície adsorvente. Já a isoterma de Freundlich de acordo com Goldberg (1995) segue as hipóteses: (i) a superfície do adsorvente é heterogênea; (ii) a energia de adsorção diminui logarithmicamente à medida que a superfície adsorvente vai sendo recoberta pelo adsorvato; (iii) a adsorção ocorre em múltiplas camadas e não é igualitária em todos os sítios ativos disponíveis na biomassa utilizada como adsorvente (PATEL; VASHI, 2010; KURNIAWAN et al., 2012, apud ALMEIDA, 2013, p.33).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais e equipamentos utilizados

✓ Equipamentos

Balança analítica Imprint do Brasil LTDA, Câmara de germinação tipo BOD Marconi modelo MA403, Centrífuga Catel modelo 205 N, Agitador de tubos Phoenix modelo AP50, Shaker Catel, Espectrofotômetro Shimadzu Ultravioleta-Visível modelo 2401 PC, pHmetro Digimed modelo DMPH-2, Microsoft Oringin 6.0 ® e ImageJ ®.

✓ Material

Tubo de ensaio, béquer, balão volumétrico, espátula, bastão de vidro, placa de Petri, proveta e outros materiais de uso comum em laboratório.

✓ Reagentes

Corante Acid Blue 29 fabricado pela *Aldrich Chemical Company Inc*; sementes de *Lactuca sativa* Grand Rapids TBR, safra 2011/2011, lote: 0002302220000020, marca Feltrin; serragem de Pinus (*Pinus sp.*); ZnSO₄ 0,05M.

4.2. Corante Acid Blue 29

Fabricado pela Aldrich Chemical Company®

C.I.: 20460

Solúvel em água

Grau de pureza: ~ 40%

Peso molecular: 616.49

Absorbância máxima: 602 nm

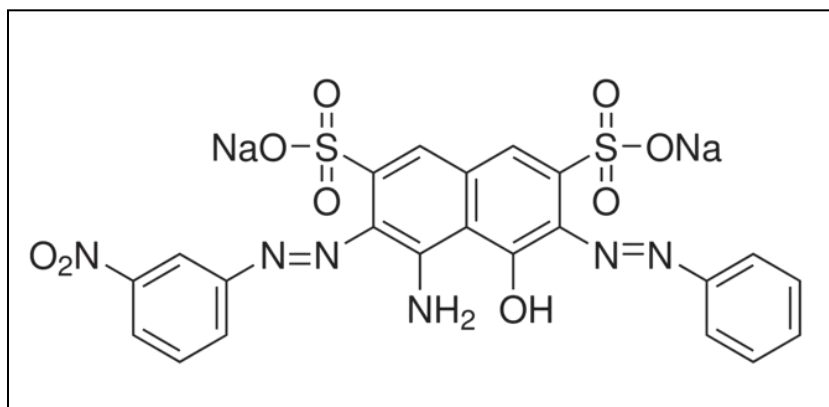


Figura 3 – Estrutura química do corante Acid Blue 29

Fonte: Sigma-Aldrich Chemical Company, Inc

4.3. Preparo das soluções de corante Acid Blue 29

O corante em questão foi dissolvido em 100 mL de água destilada em temperatura ambiente para o preparo das soluções estoque. Essas soluções foram usadas nos testes de bioadsorção com *Pinus sp.* e de estabilidade do corante (1.000 µg/mL), no teste de toxicidade com *L. sativa* (3.000 µg/mL) e no teste de toxicidade após a bioadsorção (2.100 µg/mL).

- ✓ Preparo do teste de bioadsorção e de estabilidade: 0.1 g de corante em pó dissolvido em 100 mL de água destilada.
- ✓ Preparo do teste de toxicidade: 0.3 g de corante em pó diluído em 100 mL de água destilada, e depois diluído em água destilada para que se chegasse as concentrações de 50, 100, 500, 1.000, 1.500 e 2.500 µg/mL.
- ✓ Preparo do teste de toxicidade após a bioadsorção: 0.21 g de corante em pó dissolvido em 100 mL de água destilada.

4.4. Análise qualitativa do corante

4.4.1. Teste de estabilidade das soluções de corante em dois diferentes valores de pH

O teste de estabilidade espectral é realizado para que se descubra se o corante estudado é estável ou não em diferentes pH (no caso, 2,5 e 6,5), ou seja, se existem alterações espectrais na presença de diferentes concentrações hidrogeniônicas nas soluções.

Para isso foram preparadas soluções, em triplicata, de proporção 9:1 (9 mL de água destilada, ajustada para os pH's em questão com ajuda de HCl e NaOH com concentrações variando de 0.01 a 1.00 M e 1 mL de corante da solução estoque) e feita a leitura em espectrofotômetro UV-Vis, na região de 750 até 190 nm, em cubeta de quartzo e caminho óptico de 5 mm. Para a calibração do aparelho, foi usada água destilada como referência.

4.4.2. Curva de calibração do corante

Nesse caso, a água destilada usada para fazer as diluições teve seu pH ajustado para 2,5 e 6,5, respectivamente. A curva de calibração foi obtida a partir de uma solução diluída como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Protocolo de preparo da curva da calibração; a concentração inicial do corante Acid Blue 29 é de 1.000 µg/mL.

Tubo	Corante (mL)	Água destilada (mL)	Concentração (µg/mL)	Ab_{max} (602 nm)
1	0	5.0	0	
2	0.1	4.9	20	
3	0.2	4.8	40	
4	0.3	4.7	60	
5	0.4	4.6	80	
6	0.5	4.5	100	

A solução foi analisada no espectrofotômetro e em seu λ máximo (602 nm), gerando a chamada curva de calibração, a qual traz informações sobre equação da reta ($Ab_{max} = a + b * []$). É a partir dela que foram feitas as análises sobre porcentagem de descoloração e quantidade de corante remanescente após os tratamentos biossortivos.

4.4.3. Isotermas de bioissorção

Após os teste com a serragem de Pinus, é possível aplicar as equações das isotermas de bioissorção de Freundlich e Langmuir; os cálculos são realizados a partir das concentrações remanescentes dos corantes e respectivas quantidades de biomassa em peso seco (mg/mL) utilizadas em cada teste. A aplicação das isotermas realizada por Allen et al. (2004) e Kurniawan et al. (2012) estão descritas na equação (1) e (2) abaixo.

Equação da isoterma de Freundlich:

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log K + n \cdot \log Cr \quad (1)$$

Onde:

$\underline{x}$ = concentração de corante adsorvido ($\mu\text{g/mL}$); $\underline{m}$ = concentração de biomassa (mg/mL); $\underline{x/m}$ = concentração de corante adsorvido por unidade de biomassa ($\mu\text{g/mL}$); $\underline{Cr}$ = concentração de corante remanescente ($\mu\text{g/mL}$); $\underline{K} = \underline{x/m}$, quando Cr é igual a 1; $\underline{\log K}$ = intercepto em y; $\underline{n}$ = inclinação.

Equação da isoterma de Langmuir:

$$Cr \left(\frac{m}{x}\right) = \frac{1}{K1K2} + \left(\frac{1}{K2}\right) \cdot Cr \quad (2)$$

Onde:

$\underline{K1}$ = índice de capilaridade expresso em mL de solução de corante, por corante adsorvido na saturação ($1/\mu\text{g}$); $\underline{K2}$ = quantidade de soluto que satura uma unidade de biomassa adsorvente com uma monocamada ($\mu\text{g/mL}$).

Para que se possa afirmar que uma substância se enquadra em uma isoterma, é preciso que o resultado dos cálculos seja muito próximo de 1.

4.5. Preparo do substrato adsorvente (*Pinus* sp.)

Os testes de adsorção foram realizados com serragem (*Pinus* sp.), crua, moída até alcançar uma granulometria menor do que 1.41 mm (medido em peneira de aço).

4.6. Experimentos de adsorção com *Pinus* sp.

Para a realização dos experimentos de adsorção foram utilizados 20 mL de solução de corante na concentração de 100 µg/mL (sendo 2 mL de solução estoque de corante adicionados à 18 mL de água destilada ajustada ao pH estudado, 2.5 e 6.5), colocados em contato com o material adsorvente, em Erlenmeyers devidamente nomeados, com diferentes quantidades de biomassa (Tabela 6). A solução de corante ficou em contato com o adsorvente por um período de 2 horas em BOD com temperatura controlada a 28° C ± 2° C, e após esse intervalo de tempo o sobrenadante foi centrifugado por 15 minutos à 3000 rpm. O teste foi realizado em triplicata.

Após a centrifugação, o sobrenadante de cada uma das amostras foi retirado e analisado em espectrofotômetro UV-Vis. A partir dos valores de absorbância foi possível calcular a capacidade de descoloração de cada um dos adsorventes testados (equação 3), bem como a concentração de corante remanescente em cada uma das amostras (equação 4), segundo Vitor e Corso (2008).

$$\% \text{ de descoloração} = \frac{\lambda_{\text{máx } 602\text{nm}} \text{ inicial} - \lambda_{\text{máx } 602\text{nm}} \text{ final}}{\lambda_{\text{máx } 602\text{nm}} \text{ inicial}} * 100 \quad (3)$$

Equação 3: Equação da porcentagem de descoloração da solução.

$$Abs^{m\grave{a}x} = a + b * x \quad (4)$$

Equação 4: Equação da concentração de corante remanescente, onde x é variável resposta.

Tabela 6. Protocolo para preparo dos frascos Erlenmeyers para o teste bioassortivo. A concentração inicial de corante é de 100 µg/mL.

Frascos		$Ab^{m\grave{a}x}$
Erlenmeyer	Biomassa (g)	(602 nm)
1	0,4	
2	0,8	
3	1,2	
4	1,6	
5	2,0	

4.7. Teste de fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa*

Para realização dos testes, foram utilizadas as diluições acima descritas, além do controle negativo com água destilada e o positivo, sulfato de zinco (ZnSO₄ – 0,05 N) também diluído em água destilada; tal substância funciona como inibidora do crescimento vegetal, mostrando que se houver algum tipo de crescimento ou germinação das sementes testadas, essas não são bons organismos-testes, ou seja, apresentam baixa sensibilidade.

Em placas de Petri foram colocadas 20 sementes de alface sobre papel filtro e umidificadas com 3 mL de cada concentração, do controle positivo e do negativo (cada concentração foi preparada em triplicata), vedadas com plástico filme que impede a evaporação da água e papel alumínio para que ficassem ao abrigo da luz; incubadas em BOD à 22°C ± 2 °C por 72 horas. Após as primeiras 24 horas, foram contabilizadas as sementes que germinaram e ao término do experimento, foram tomados os comprimentos dos hipocótilos e das raízes das plântulas, medidos com ajuda do programa ImageJ (SOBRERO & RONCO, 2008). A Figura 4 mostra os elementos das sementes que foram medidos no experimento.

Para determinar a toxicidade do corante, foi calculada a porcentagem de inibição do crescimento das raízes e dos hipocótilos (equação 5), e através da equação da reta pode-se calcular a LC50 do corante Acid Blue 29. A Figura 5 mostra um esquema do teste de toxicidade.

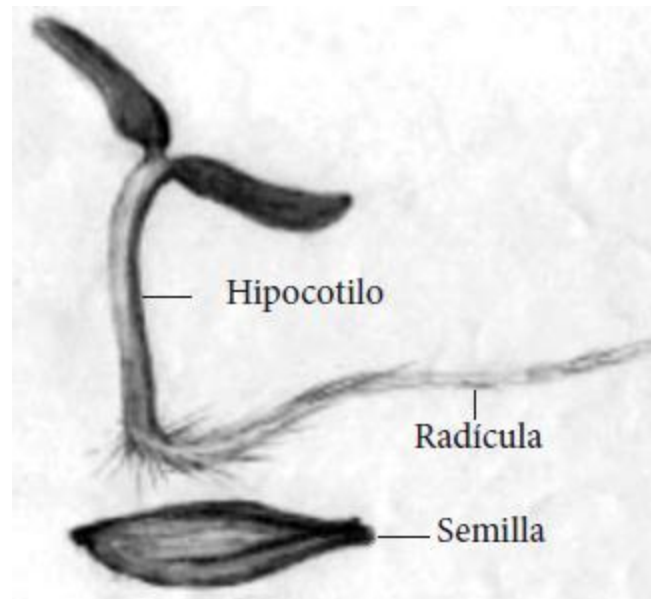


Figura 4 – Morfologia da semente e da plântula de alface (*Lactuca sativa*)

Fonte: SOBRERO; RONCO, 2008.

$$\% \text{ de inibição} = \frac{(\text{cres. controle} - \text{cres. tratamento})}{\text{cresc. controle}} * 100 \quad (5)$$

Equação 5: Equação da porcentagem de inibição para hipocótilo e raiz das plântulas.

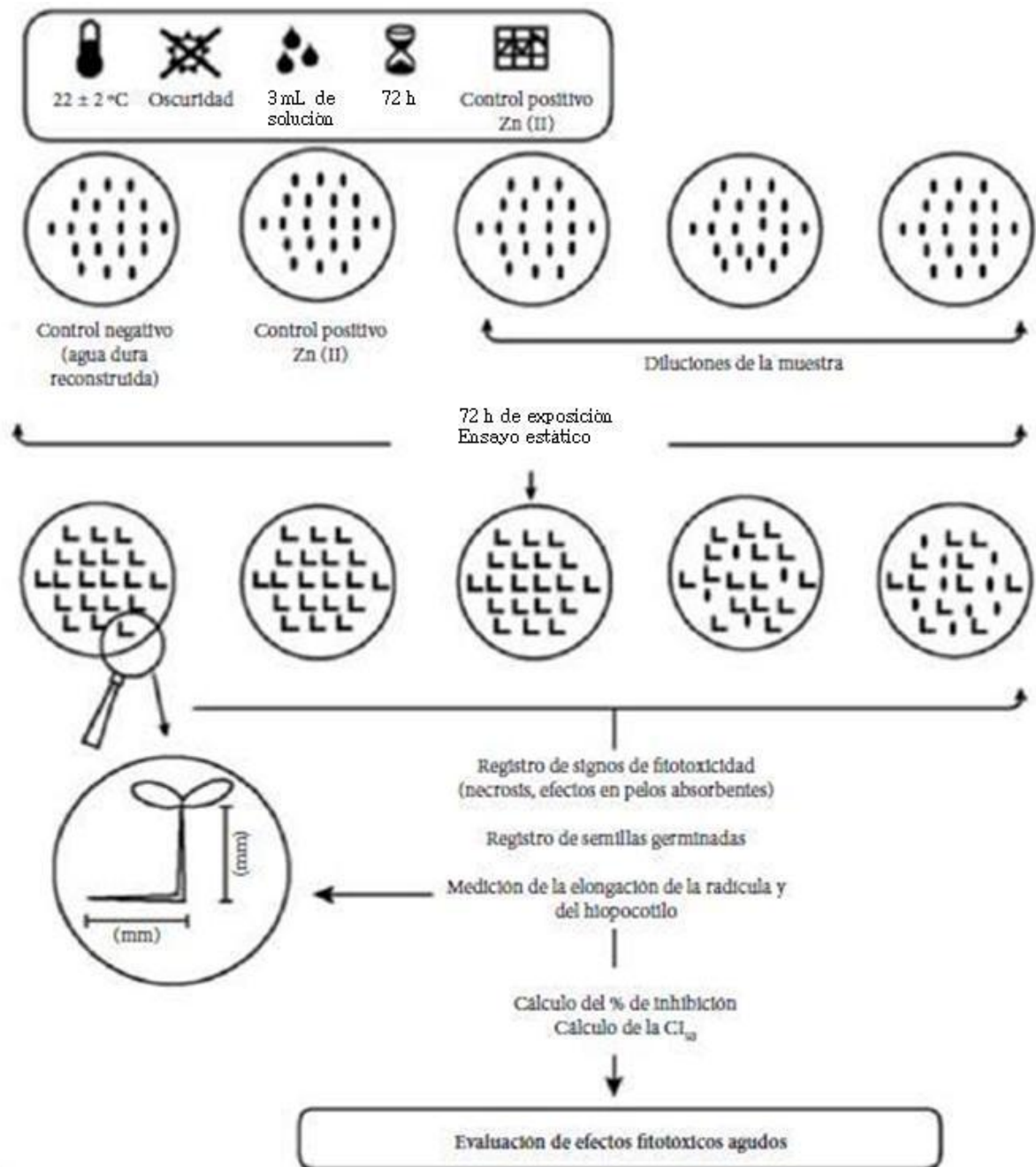


Figura 5 – Esquema do teste de toxicidade.

Fonte: Adaptado de SOBRERO; RONCO, 2008.

4.8. Teste de fitotoxicidade após interação biossortiva

A LC50 descoberta anteriormente foi usada como solução teste para essa bateria de testes e a quantia de biomassa de serragem utilizada foi a que obteve maior porcentagem de descoloração no teste de biossortividade descrito no item 4.6.

Em Erlenmeyers foram colocados 20 mL de solução estoque diluída (2 mL de solução estoque de corante adicionados à 18 mL de água destilada) em contato com 2 g de serragem. A solução foi colocada em BOD à $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 2 horas. Após esse período, o sobrenadante foi centrifugado por 15 minutos à 3.000 rpm e o segundo sobrenadante foi diluído na proporção de 7:1 (1 mL de sobrenadante diluído em 7 mL de água destilada) e analisado em espectrofotômetro UV-Vis; 1 mL da solução vinda direta da biossorção também foi diluída na proporção de 7:1 e dessa diluição foram destinados 3 mL ao teste de fitotoxicidade descrito anteriormente. Os bioensaios foram realizados em triplicata.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise qualitativa do corante

5.1.1. Teste de estabilidade das soluções de corante em dois diferentes valores de pH

A partir da leitura do espectro, pode-se observar que o corante Acid Blue 29 apresenta estabilidade, já que os desenhos espectrais dos diferentes pH's ficaram quase sobrepostos (Figura 6).

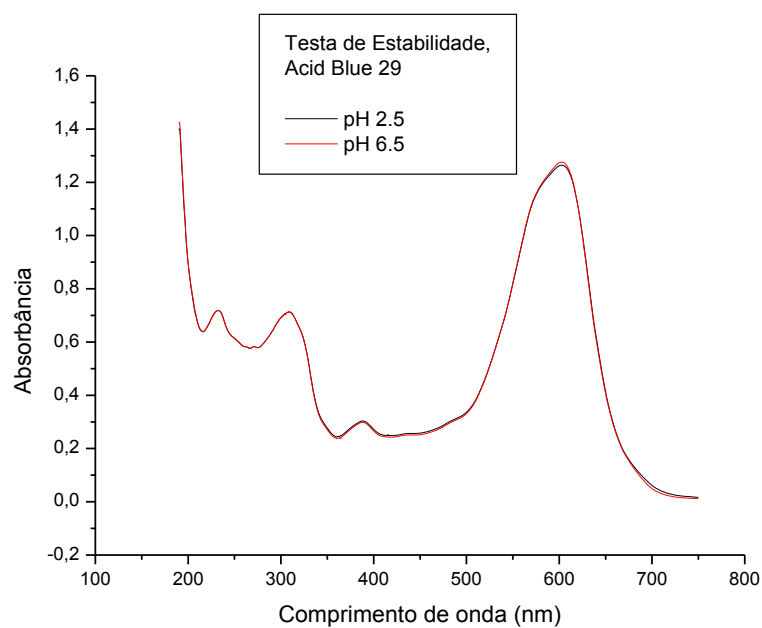


Figura 6 – Varredura espectral do teste de estabilidade do corante Acid Blue 29.

5.1.2. Curva de calibração do corante

A curva de calibração foi realizada para os dois pH's (2.5, Figura 7 e 6.5, Figura 8) e assim gerados duas equações da reta. A Figura 9 mostra as soluções usadas na curva de calibração do corante Acid Blue 29.

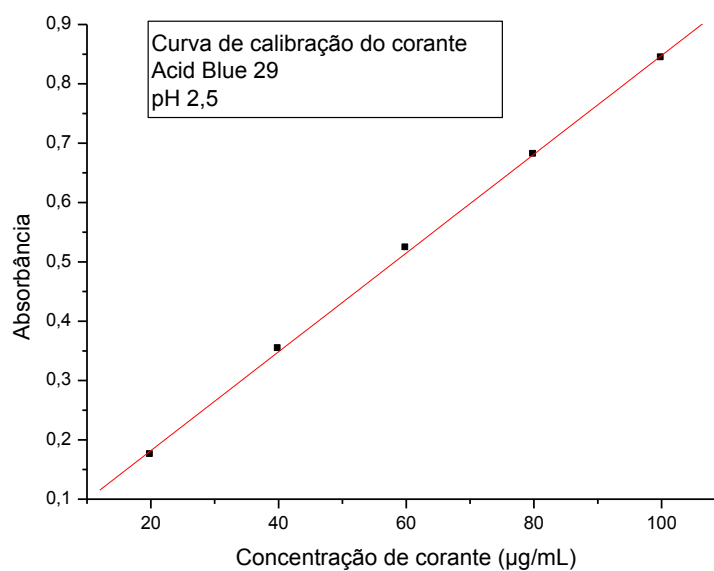


Figura 7 – Curva de calibração do corante Acid Blue 29, pH 2,5

Nota: $Abs^{602nm} = 0,00832 + 0,01539 * [corante]; R = 0,999$.

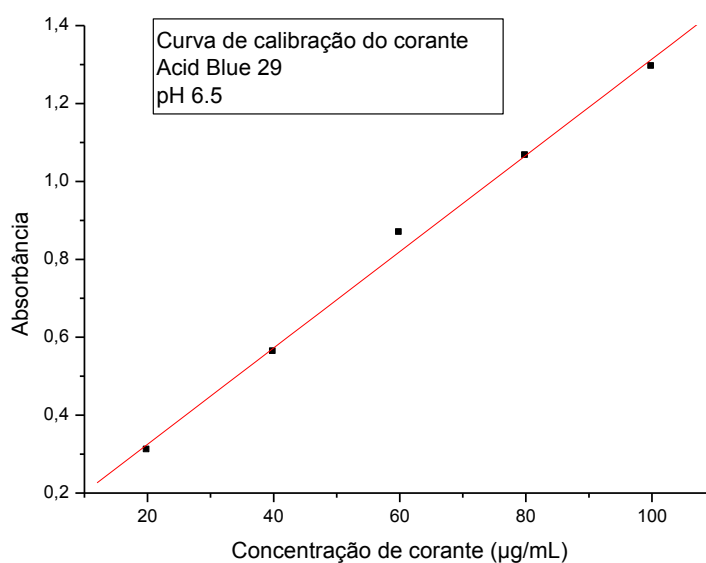


Figura 8 – Curva de calibração do corante Acid Blue 29, pH 6,5

Nota: $Abs^{602nm} = 0,07295 + 0,01257 * [corante]; R = 0,998.$

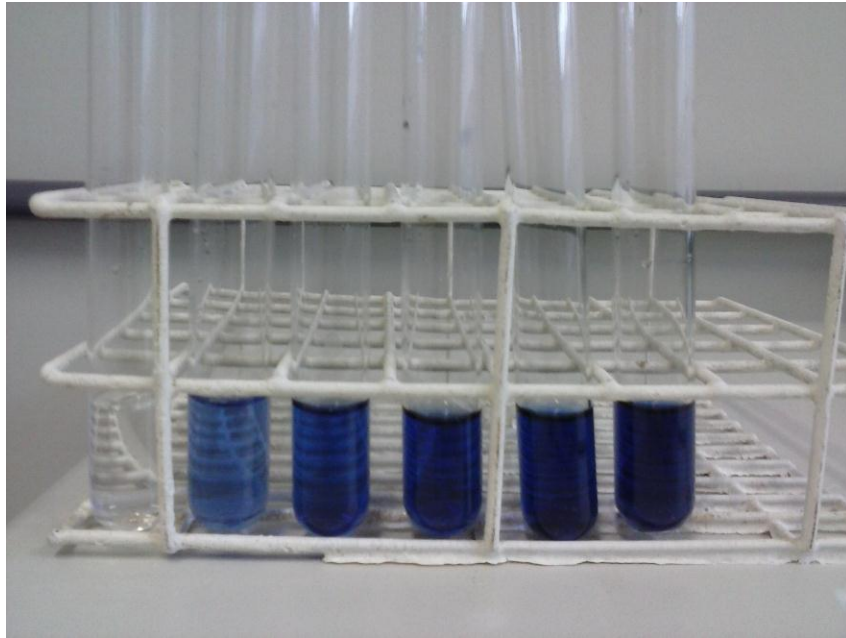


Figura 9 – Diluições do corante Acid Blue 29, utilizadas para a curva de calibração.

5.1.3. Isotermas de bioissorção

Os dados experimentais obtidos estão expressos nas Figuras 10 e 11 para o pH 2,5 e 12 e 13 para o pH 6,5.

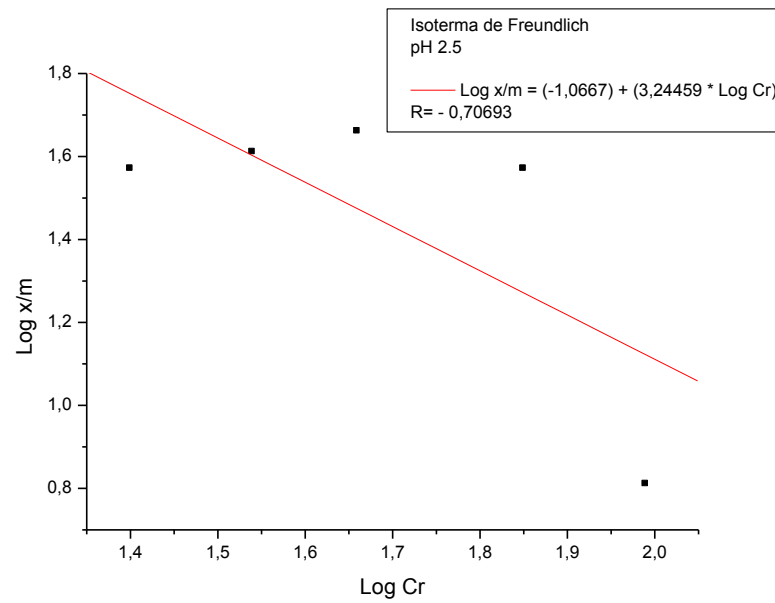


Figura 10 – Isoterma de Freundlich para o pH 2,5

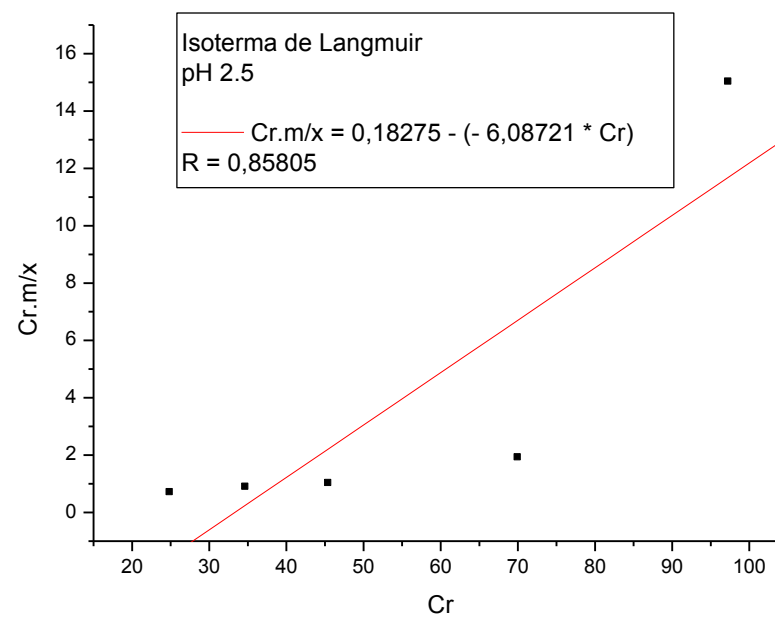


Figura 11 – Isoterma de Langmuir para o pH 2,5

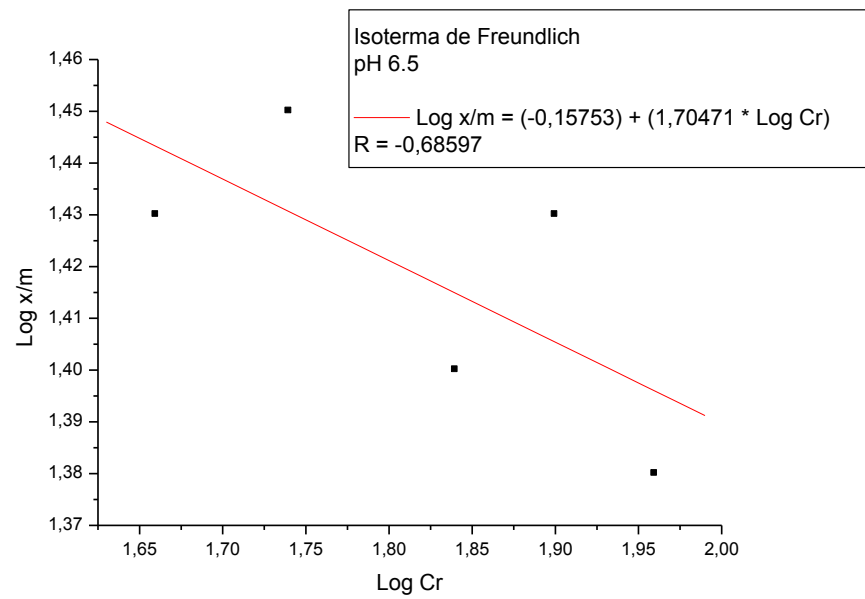


Figura 12 – Isoterma de Freundlich para o pH 6,5

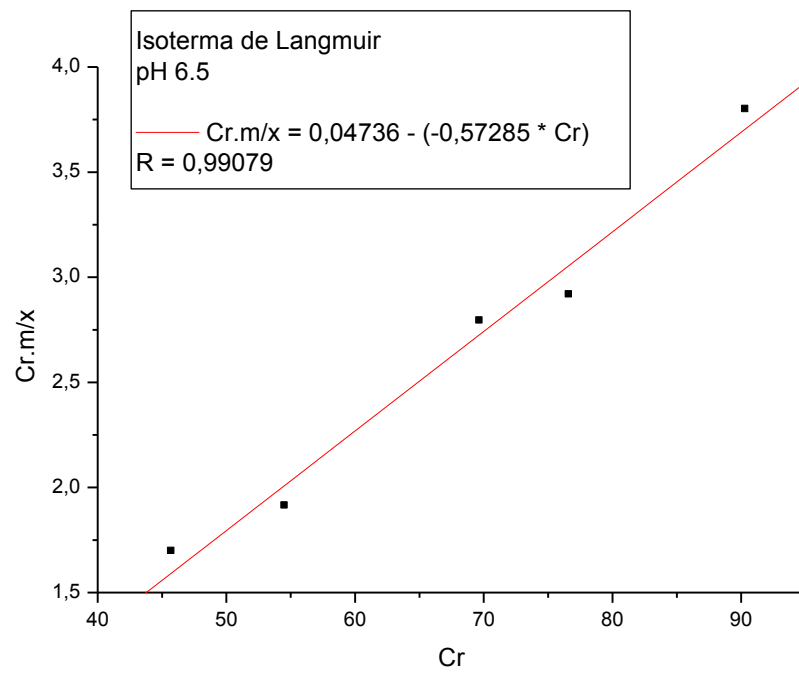


Figura 13 – Isoterma de Langmuir para o pH 6,5

Como foi possível verificar, a isoterma que melhor se aplica para o substrato biossorvente foi a isoterma de Langmuir, já que o fator R da reta se aproximou mais de 1 nos dois pH's; 2,5 – $R = 0,85805$ e 6,5 – $R = 0,99079$. Isso mostra que cada sítio ativo do adsorvente só pode acomodar apenas uma espécie adsortiva, ou seja, as moléculas se fixam em monocamadas ao substrato.

5.2. Experimentos de biossorção (*Pinus* sp.)

A partir dos dados amostrais foi possível gerar os espectros que são apontados nas Figuras 14 e 15, mostrando claramente a descoloração da amostra controle (100 µg/mL) de acordo com o aumento da biomassa de serragem de *Pinus* para cada valor de pH. A Figura 16 mostra as quantidades de serragem utilizadas no teste de biossorção.

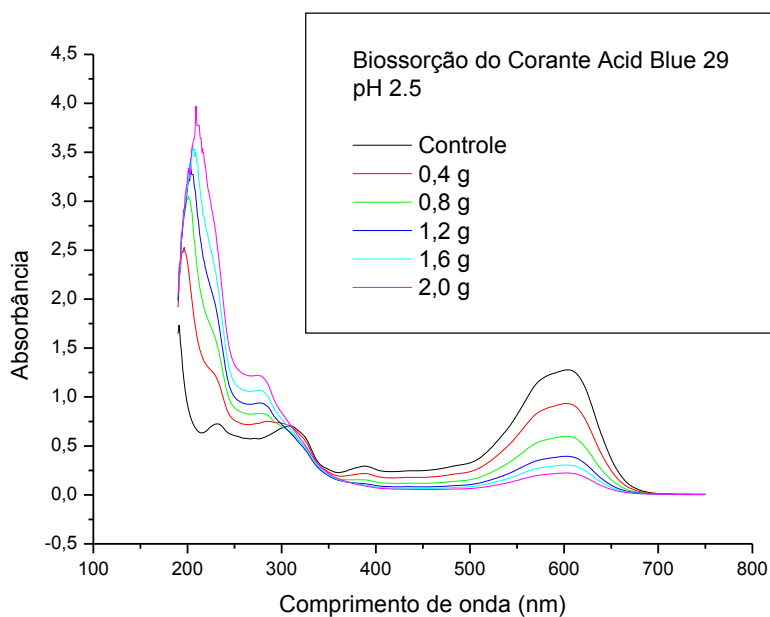


Figura 14 – Espectro de biossorção do corante Acid Blue 29, pH 2,5

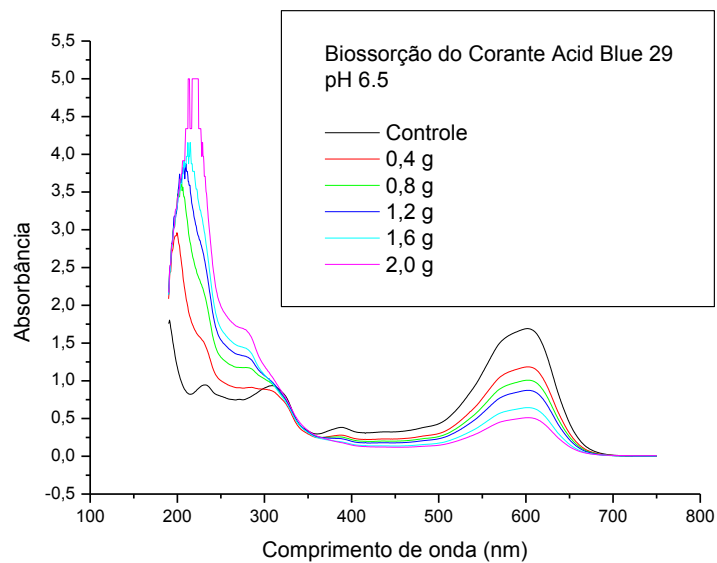


Figura 15 – Espectro de biossorção do corante Acid Blue 29, pH 6,5

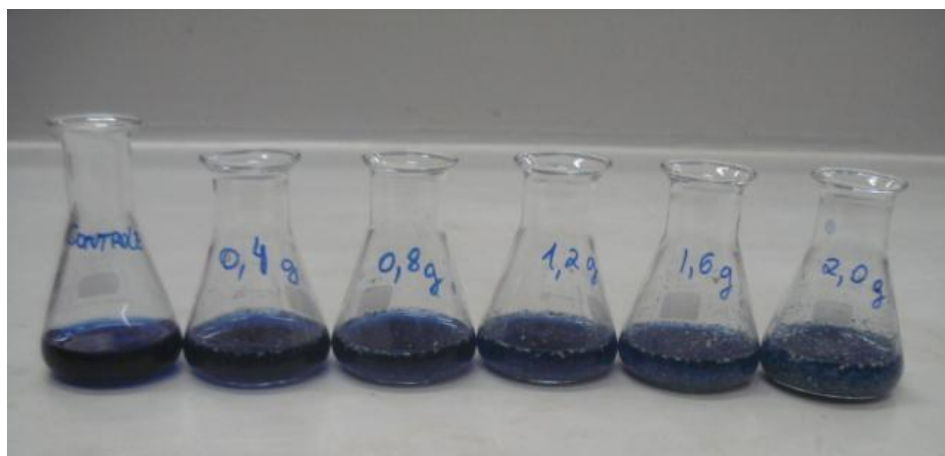


Figura 16 – Serragem de Pinus em contato com a solução de Acid Blue 29

A partir dos dados obtidos, foi possível calcular a porcentagem de descoloração nos dois pH's (Tabela 7 e 8).

Tabela 7. Dados obtidos através da adsorção por serragem, pH 2,5.

Biomassa (g)	% de descoloração	Corante remanescente ($\mu\text{g/mL}$)
0,4	0,99	97,40
0,8	28,19	70,13
1,2	52,69	45,57
1,6	63,43	34,80
2,0	73,19	25,02

Tabela 8. Dados obtidos através da adsorção por serragem, pH 6,5.

Biomassa (g)	% de descoloração	Corante remanescente ($\mu\text{g/mL}$)
0,4	11,21	90,38
0,8	24,45	78,68
1,2	34,56	69,74
1,6	51,72	54,58
2,0	61,68	45,78

O pH que se mostrou mais eficiente foi o de valor 2,5, ou seja, evidenciando que no meio mais ácido ocorre maior porcentagem de descoloração da amostra de corante. A diferença na eficiência dos testes de bioadsorção quanto ao pH já foi mostrado por Asgher e Bhatti (2010), para os corantes Reactive Yellow 42 e Reactive Red 45, onde o pH ótimo foi

o de valor 2, usando biomassa de *Citrus sinensis* como bioissorvente. Existem também estudos realizados por Gong et al. (2005) que também mostram a remoção ideal de três corantes aniônicos, Sunset Yellow, Amaranth e Fast Green FCF, em pH 2 (GONG et al., 2005). Isso pode ser explicado pela maior disponibilidade de sítios catiônicos sobre a superfície do substrato em meios altamente ácidos, pois o pH mais baixo aumenta a ligação entre moléculas aniônicas de corante e a superfície catiônicas do bioissorvente influenciando a maior remoção da cor.

Já para a quantidade de biomassa testada, a que se mostrou mais adequada para o sucesso do teste foi 2 g, ou seja, quanto maior a concentração de corante presente no efluente, maior a quantidade de biomassa de serragem deve ser empregada. Porém, ressaltando mais uma vez a importância do pH da solução, a Tabela 9 mostra uma estimativa da quantidade de serragem que deve ser usada para remoção total de corante numa solução de concentração 100 µg/mL, enfatizando que quanto mais ácido for o pH do efluente a ser tratado, menor a quantidade de serragem utilizada para remover todo o corante ali presente.

Tabela 9. Estimativa da quantia de serragem de Pinus que deve ser usada para remoção total do corante Acid Blue 29, numa solução de concentração inicial de 100 µg/mL.

	pH 2,5	pH 6,5
Biomassa de serragem (g)	2,41	3,59

5.3. Teste de fitotoxicidade com *Lactuca sativa*

A semente de *L. sativa* apresentam alta sensibilidade como é mostrado na Figura 17, mostrando que as sementes do Controle negativo não germinam ao contrário das do Controle positivo.

Na Figura 18 é possível perceber a diferença de inibição do crescimento das raízes e dos hipocótilos em função das diferentes concentrações de corante, mostrando que as duas estruturas apresentam reações diferentes frente às mesmas quantidades de corante.



Figura 17 – Sementes de *L. sativa* após o tratamento no Controle positivo e no Controle negativo.

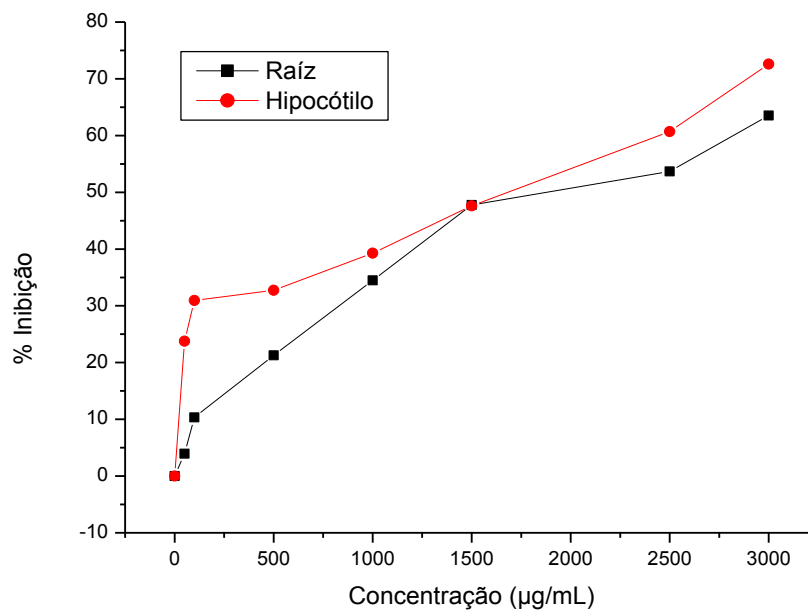


Figura 18 – Comparação entre inibição do crescimento das raízes e dos hipocótilos de *L. sativa* em relação às diferentes concentrações de corante testadas.

Os resultados do teste para o corante Acid Blue 29, mostraram que seu grau de toxicidade para *Lactuca sativa* é alto para o hipocótilo, com LC50 igual a 1639,39 µg/mL (Figura 19) e um pouco mais baixo para as raízes, com LC50 igual a 2105,6 µg/mL (Figura 20), mostrando assim que as raízes são mais resistentes a altas concentrações de Acid Blue 29, o que não acontece com o hipocótilo. Isso pode acarretar grandes problemas no desenvolvimento das plântulas, já que esta terá o crescimento de cada estrutura afetado de maneira diferente. A Figura 21 mostra a diferença de crescimento das raízes e do hipocótilo das plântulas quanto aos tratamentos, sendo mostrado do Controle negativo, passando pela maior concentração de corante para a menor concentração e por último o Controle positivo, da direita para esquerda.

Os dados expressos na Tabela 10 são referentes ao hipocótilo e na Tabela 11 referentes à raiz das plântulas.

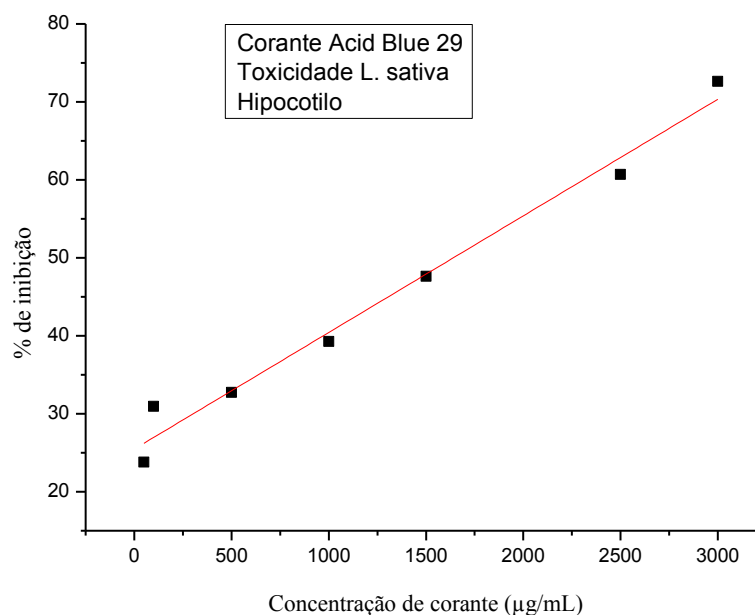


Figura 19 – Porcentagem de inibição do crescimento do hipocótilo de *L. sativa* expostos a diferentes concentrações do corante Acid Blue 29.

Nota: $\% \text{ inibição} = 25,47022 + 0,01496 * [\text{corante}]; R=0,978$.

$LC50 = 1639,39 \mu\text{g/mL}$

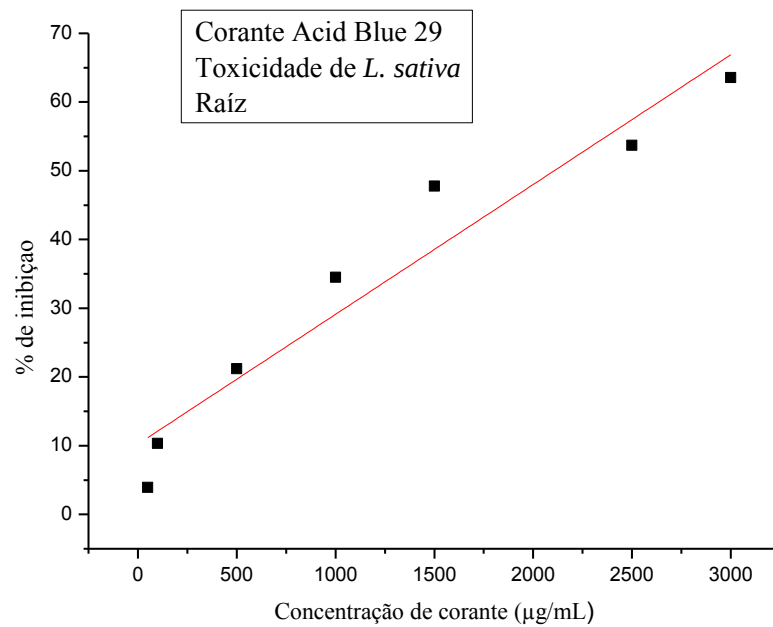


Figura 20 – Porcentagem de inibição do crescimento da raiz de *L. sativa* expostos a diferentes concentrações do corante Acid Blue 29.

Nota: % inibição = $10,22544 + 0,01889 * [\text{corante}]$; $R = 0,978$.

$LC50 = 2105,6 \mu\text{g/mL}$

Tabela 10. Dados obtidos a partir do teste de toxicidade com *L. sativa*, referentes ao hipocótilo das plântulas.

[] inicial de corante ($\mu\text{g/mL}$)	Média do crescimento (cm)	Desvio padrão	% de inibição
Controle (-)	1,68	0,11	0
50	1,23	0,08	23,78
100	1,16	0,26	30,95
500	1,13	0,15	32,73
1.000	1,02	0,12	39,28
1.500	0,88	0,13	47,61
2.500	0,66	0,16	60,71
3.000	0,46	0,18	72,61

Tabela 11. Dados obtidos através do teste de toxicidade com *L. sativa*, referentes a raiz das plântulas.

[] inicial de corante ($\mu\text{g/mL}$)	Média do crescimento (cm)	Desvio padrão	% de inibição
Controle (-)	2,03	0,19	0
50	1,95	0,16	3,94
100	1,8	0,11	10,34
500	1,6	0,17	21,18
1.000	1,33	0,10	34,48
1.500	1,06	0,37	47,78
2.500	0,94	0,44	53,69
3.000	0,74	0,24	63,54



Figura 21 – Sementes de *L. sativa* nos diferentes tratamentos testados, da esquerda para a direita do Controle negativo, passando pela maior concentração de corante para a menor concentração e por último o Controle positivo.

5.4. Teste de fitotoxicidade após interação bioassortiva

A solução inicial utilizada nesse teste foi a LC50 descoberta no teste de fitotoxicidade descrito anteriormente, porém como hipocótilo e raiz obtiveram LC50 diferente, a concentração utilizada foi a maior, de 2,100 $\mu\text{g/mL}$, pois assim foi possível abranger as duas situações.

Após passar pelo processo de bioassorção, a concentração de corante presente na amostra diminuiu (Figura 22) e foi possível analisar que a toxicidade da solução aquosa de corante Acid Blue 29 também diminuiu, assim como mostram as Tabelas 12 e 13.

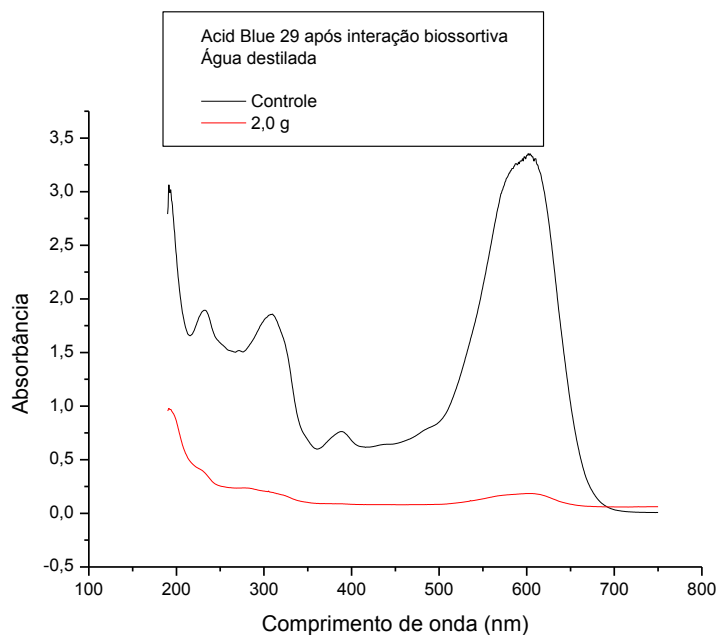


Figura 22 – Espectro de bioassorção do corante Acid Blue 29 após a interação bioassortiva.

Nota: % de descoloração = 94,47

[] de corante remanescente = 11,65 $\mu\text{g/mL}$.

Tabela 12. Dados obtidos através do teste de fitotoxicidade com *L. sativa* após a interação bioassortiva, referentes a raiz das plântulas.

LC50	[] inicial de corante (µg/mL)	[] final de corante (µg/mL)	Média do crescimento (cm)	Desvio padrão	% de inibição
Controle (-)	0	0	1,79	0,45	0
Teórica	2.100	1.050	0,89	0,22	50
Após bioassorção	2.100	11,65	1,16	0,44	35,20

Tabela 13. Dados obtidos através do teste de fitotoxicidade com *L. sativa* após a interação bioassortiva, referentes ao hipocótilo das plântulas.

LC50	[] inicial de corante (µg/mL)	[] final de corante (µg/mL)	Média do crescimento (cm)	Desvio padrão	% de inibição
Controle (-)	0	0	1,36	0,27	0
Teórica	2.100	1.050	0,68	0,13	50
Após bioassorção	2.100	11,65	1,06	0,34	22,05

A porcentagem de inibição após o teste bioassortivo reduziu de 50 para 35% para as raízes e de 50 para 22%, evidenciando que o teste teve sucesso na diminuição na toxicidade do corante, ou seja, cumprindo seu objetivo inicial.

6 CONCLUSÕES

Como foi mostrado ao longo desse trabalho, os corantes têxteis representam extremo perigo aos ecossistemas em geral, com ênfase nos ambientes aquáticos, tanto a respeito dos problemas físico - químicos como dos biológicos. Porém técnicas de despoluição vêm sendo estudadas e testadas a fim de diminuir esse impacto antropogênico tão negativo para o meio ambiente.

O estudo mais aprofundado do corante Acid Blue 29 evidencia que este apresenta um alto nível de toxicidade quanto as sementes de *L. sativa*; porém esta toxicidade se manifesta de maneira diferente quanto as estruturas das plântulas, ou seja, apresenta uma LC50 baixa para o hipocótilo (1639,39 µg/mL) e uma LC50 um pouco mais alta para as raízes (2105,6 µg/mL), concluindo que o hipocótilo é mais sensível à presença do referido corante do que as raízes. Isso pode acarretar problemas morfológicos de crescimento para as plantas e consequentemente problemas ambientais ao longo dos níveis tróficos. O problema quanto a toxicidade do corante também se estende para os outros organismos já que o organismo-teste do bioensaio é bastante sensível a presença de poluentes e mostra que isso pode afetar os demais elementos ecossistêmicos.

Uma alternativa de sucesso para essa problemática é a técnica de bioissorção, já que esta não quebra a molécula de corante deixando livre os metabólitos mais tóxicos, como em outras técnicas de remoção da cor de efluentes têxteis, e sim retira a molécula inteira da solução, gerando menos impactos. De acordo com os dados obtidos nesse estudo foi possível concluir que a serragem de Pinus se mostra como um bom bioissorvente por ser um material orgânico, de baixo custo, de fácil aquisição e manuseio, além de desempenhar o papel de ótimo bioissorvente, já que numa solução inicial de 100 µg/mL de corante foi capaz de descolorir aproximadamente 73% da solução.

Para tanto, os bioensaios foram repetidos após a solução aquosa de corante passar pela bioissorção, para comprovar sua eficiência funcional. Os resultados apresentados são animadores, já que as porcentagens de inibição de crescimento tanto para as raízes quanto para o hipocótilo diminuíram, ou seja, passando pela bioissorção com a serragem de Pinus o efluente têxtil pode sim ficar menos agressivo ao meio em que este será descartado.

Muitos estudos na área ainda precisam ser desenvolvidos, para que cada vez mais a quantidade de corante seja menor a cada processo, deixando o efluente menos poluente e consequentemente menos tóxico. O presente estudo inicia uma linha de pesquisa que pode ser explorada e futuramente aplicada na indústria para o tratamento de efluentes.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/>>. Acesso em: 08 de setembro de 2013.

AKSU, Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 997-1026, 2005.

ALLEN, S.J.; MCKAY, G.; PORTER, J.F. Adsorption isotherm models for basic dye adsorption by peat in single and binary component systems. **Colloid and Interface Science**, v. 280, p. 322-333, 2004.

ALMEIDA, E.J.R. **Avaliação da toxicidade de corantes azóicos por *allium cepa* e estudo da capacidade de remoção destes compostos em solução por *Saccharomyces cerevisiae***. 2010. 86 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia em Ecologia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2010.

ALMEIDA, E.J.R. **Estudo da biorremediação dos azo corantes têxteis Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B por fungos filamentosos em solução simples e solução binária associado a testes de toxicidade com *Lactuca sativa* e *Artemia salina***. 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2013.

ASGHER, M.; BHATTI, H.N. Mechanistic and kinetic evaluation of biosorption of reactive azo dyes by free, immobilized and chemically treated *Citrus sinensis* waste biomass. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 1660-1665, 2010.

BONIOLO, M. R.; YAMAURA, M. **Viabilidade do uso da casca de banana como adsorvente de íons de urânio**. Anais da Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN). Santos, 2005.

BONSER, G.M. et al. A further study of the carcinogenic properties of Ortho hydroxy-amines and related compounds by Bladder implantation in the mouse. **Br J Cancer**, v.10, p. 539–46, 1956.

BRENTANO, D.M. **Desenvolvimento e aplicação do teste de toxicidade crônica com *daphnia magna*: avaliação de efluentes tratados de um aterro sanitário**. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CARNEIRO, P.A. et al. Evaluation of different electrochemical methods on the oxidation and degradation of Reactive Blue 4 in aqueous solution. **Chemosphere**, v. 59, p. 431-439, 2005.

CHARLES, J. et al. Evaluation of the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 74, p. 2057-2064, 2011.

CLARKE, C. E.; KIELAR, F.; TALBOT, H. M.; JOHNSON, K. L. Oxidative Decolorization of acid azo dyes a Mn oxidative containing waste. **Environ. Sci. Technol**, v.44, p. 1116–1122, 2010.

COSTA, C.R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

CRUZ, M.A.R.F.; GUERRA, A.R.; ISHIKAWA, D.N.; ALFAYA, R.V.S.; ALFAYA, A.A.S. **Farinha da casca de banana: um biosorvente para metais pesados de baixo custo**. Anais da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Foz de Iguaçu, 2009.

DELLAMATRICE, P.M. **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes da estação de tratamento de águas residuárias de Americana, SP**. 2005. 137 f. Dissertação

(Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FORGACS, E.; CSERHA'TI, T.; OROS, G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. **Environment International**, v. 30, p. 953-971, 2004.

GARG, V.K.; KUMAR, R.; GUPTA, R. Removal of malachite green dye from aqueous solution by adsorption using agro-industry waste: a case study of *Prosopis cineraria*. **Dyes and pigments**, v. 62, p. 1-10, 2004.

GONG, R. et al. Utilization of powdered peanut hull as biosorbent for removal of anionic dyes from aqueous solution. **Dyes and pigments**, v. 64, p. 187-192, 2005.

GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M. V. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23(1), p. 71-78, 2000.

JESUS, D.M.A; ROCHA, J. F.; ALFAYA, A.A.S. **Utilização da farinha de casca de banana na remoção de corante têxtil em solução aquosa**. Anais da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Florianópolis, 2011.

KHAN, R.; BANERJEE, U.C. Decolorization of azo dyes by immobilized bacteria: Toxicity caused by azo dyes. In: BARCELÓ, D.; KOSTIANOV, A.G. **Biodegradation of azo dyes**. v. 9. Barcelona: Springer, 2010, p. 221.

KIMURA, I.R. et al. Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 51-57, jul. 1999.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, p. 78-82, 2002.

KURNIAWAN, A. et al. Removal of basic dyes in binary system by adsorption using rarasaponin–bentonite: Revisited of extended Langmuir model. **Chemical Engineering Journal**, v. 189-190, p. 264-274, 2012.

LÓPEZ, M.J.; GUISADO G.; VARGAS-GARCIA M.C.; SUAREZ-ESTRELLA F.; MORENO J. Descolorization of industrial dyes by ligninolytic microorganism isolated from composting environment. **Enzyme Microb Technol**, v. 401. p. 42-45, 2006.

LU, X.; LIU, R. Treatment of azo dye-containing wastewater using integrated processes. In: BARCELÓ, D.; KOSTIANOY, A.G. **Biodegradation of azo dyes**. v 9. Barcelona: Springer, 2010, p. 221.

MONTANHER, S. F. **Utilização da biomassa de bagaço de laranja como material sorvente de íons metálicos presentes em soluções aquosas**. 2009. 158 f. Dissertação (Doutorado em Ciências) - Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

MORAIS, L.C.P. **Tratamento de efluentes têxteis simulados usando técnicas de adsorção**. 1996. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 1996.

PANDEY, A.; SINGH, P.; IYENGAR, L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. **Internation biodeterioration & biodegradation**. v. 59. p 73-84, 2007.

PARSHETTI G.; KALME S.; SARATALE G.; GOVINDWAR S. Biodegradation of Malachite Green by *Kocuria rosea* MTCC 1532. **Acta Chim Slov** . v. 53. p. 492-498, 2006.

ROMERO, P.R; CANTÚ, A.M. Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas em agua y suelo. La experiencia en Mexico. In:_____. **Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas em água y solo**. 1 ed, México: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais, 2008, p. 428.

SOBRERO, M.C.; RONCO, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa L.* In: ROMERO, P.R.; CANTÚ, A.M. **Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas em água y solo**. 1 ed, México: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais, 2008, p. 428.

VITOR, V.; CORSO, C.R. Decolorization of textile dye by *Candida albicans* isolated from industrial effluents. **Journal Industrial Microbiology & Biotechnology**. v. 35, p. 1353-1357, 2008.

WANG, W.; FREEMARK, K. The use of plants for environmental monitoring and assessment. **Ecotoxicology and environmental safety**. v. 30, p. 289-301, 1995.