

ECOLOGIA

Hengli Barbosa Pecora

**UTILIZAÇÃO DAS SEMENTES DE *Moringa oleifera* COMO ADSORVENTE
PARA A REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM MEIO AQUOSO**



Rio Claro
2014

HENGLI BARBOSA PECORA

UTILIZAÇÃO DAS SEMENTES DE *Moringa oleifera* COMO ADSORVENTE PARA A
REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM MEIO AQUOSO

Orientador: PROF. DR. CARLOS RENATO CORSO

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

Rio Claro
2014

604.6 Pecora, Hengli Barbosa
P369 Utilização de sementes de moringa oleifera como
adsorvente para a remoção de corantes têxteis em meio
aquoso / Hengli Barbosa Pecora. - Rio Claro, 2015
41 f. : il., gráfs., transp.

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Carlos Renato Corso

1. Resíduos. 2. Biorremediação. 3. Tratamento de
efluentes. 4. Coagulação/floculação. 5. Adsorção. 6. Esferas
de alginato de cálcio. I. Título.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais Eliete e Antonio, que sempre me apoiaram no que foi preciso, a minha filha Endi e a todos que de alguma forma me apoiaram e fizeram parte da minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me iluminar e mostrar quão bela é a vida mesmo nos momentos mais difíceis, pelas pessoas que proporcionou cruzarem o meu caminho e por todas as experiências vividas, que me amadureceram e fizeram ser quem eu sou hoje.

Aos docentes, por todos os conhecimentos que foram passados possibilitando a minha formação como ecóloga. Em especial agradeço ao professor, orientador e amigo Carlos Renato Corso, por todas as oportunidades, apoio, paciência, carinho e dedicação.

Aos meus pais, por serem minha base e por sempre me ajudarem e apoiarem em todos os momentos. A minha filha, que me fez uma nova pessoa ao entrar em minha vida, me trazendo muita alegria, amadurecimento, força e motivação para ser uma pessoa melhor. Ao meu irmão que sempre foi uma pessoa que admirei e que me motivou a entrar em uma universidade pública, e mesmo longe me apoiou em momentos difíceis na medida do possível.

A todos meus amigos e colegas pelo companheirismo, amizade e pelos momentos especiais que cada um proporcionou. Em especial agradeço aos meus colegas de sala, pessoas que convivi durante anos e que fizeram da minha graduação um período único e especial. Agradeço também a todas as pessoas com quem morei em Rio Claro, em especial a Aline Juca (Caju), que foi a pessoa com quem convivi por mais tempo, sou grata por tudo o que aprendi com ela, pela companhia de todos os dias, por todo apoio e consideração.

RESUMO

Com o grande crescimento da população e conseqüentemente o aumento significativo do consumo de produtos de origem industrial, quantidades enormes de efluentes são geradas, e muitas vezes descartadas de forma imprópria. Esses resíduos industriais comumente são eliminados em mananciais hídricos, afetando lençóis freáticos, córregos, rios e oceanos. Uma das maiores evidências da poluição da água é a alteração de sua cor original. Despejo de efluentes têxteis, por exemplo, além de alterar drasticamente a cor dos mananciais, geram produtos e subprodutos tóxicos, nocivos tanto para a flora como para a fauna aquática. Essas substâncias possuem alta persistência em meio aquático devido a sua natureza química, conferindo a estes efluentes um lento processo de biodegradação e podendo ter efeito bioacumulativo na cadeia alimentar. Assim veem sendo desenvolvidas diversas maneiras de se controlar a quantidade e a qualidade de efluentes industriais, dentre eles os de corantes têxteis. As técnicas mais utilizadas são a cloração, filtração, tratamentos floculantes e adsorção por Carvão Ativado. Porém, muitas vezes esses processos possuem desvantagens, como, por exemplo, o alto custo e alterações drásticas no pH. Assim tratamentos alternativos, como o uso de *Moringa oleifera*, veem sendo muito estudados. Este trabalho visou avaliar o potencial do uso das sementes de *Moringa oleifera* como adsorvente na remoção de corantes têxteis em meio aquoso. Para isso foi analisado a remoção do corante Direct Violet 51, utilizando pó das sementes. Foram realizados testes com diferentes tempos de contato nos valores de pH 2,5, 4,5 e 6,5. Posteriormente novos testes foram realizados, utilizando o sobrenadante e a biomassa das sementes, ambos na forma livre e imobilizada em alginato de cálcio, bem como reutilização destes. Através da análise das amostras, notou-se que o processo de coagulação/floculação sobressaiu-se em relação ao de adsorção no uso das sementes de *Moringa oleifera*. Os melhores resultados ocorrem no pH 2,5, chegando a remover até 93% do corante aos 95 minutos de contato. Nos testes posteriores, as amostras contendo sobrenadante obtiveram menores valores de corante remanescente comparado com as amostras contendo biomassa em todos os testes. As formas livres apresentaram menores valores de corante remanescente do que as formas imobilizadas, porém, as imobilizadas agiram com mais eficiência em sua reutilização.

Palavras chave: Tratamento de efluentes, *Moringa oleifera*, Coagulação/floculação, Adsorção e Esferas de alginato de cálcio.

SUMÁRIO

	página
1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	8
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	8
3.1. A industria têxtil.....	9
3.2. Corantes têxteis.....	9
3.3. Corantes e o meio ambiente.....	10
3.4. Métodos de remoção de corantes em efluentes têxteis.....	11
3.4.1 Adsorção.....	12
3.4.2 Floculação.....	13
3.5. Imobilização em alginato de cálcio.....	14
3.6. <i>Moringa oleifera</i>	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. Material.....	17
4.2. Solução estoque.....	17
4.3. Análises qualitativas e quantitativas do corante.....	18
4.3.1. Curva de calibração.....	18
4.3.2. Teste de estabilidade do corante.....	19
4.4. Preparo das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	19
4.5. Metodologia de Kjeldahl.....	20
4.6. Experimentos analisados no Espectrofotômetro.....	20
4.6.1. Teste relacionado ao tempo de contato e pH.....	20
4.6.2 Testes Relacionados à Biomassa e Sobrenadante na Forma Livre e Imobilizada.....	20
4.7. Análises quantitativas.....	22

5. RESULTADOS	24
5.1 Curvas de Calibração e Teste de Estabilidade.....	24
5.2 Metodologia de Kjeldahl.....	26
5.3. Experimentos Analisados no Espectrofotômetro.....	26
5.3.1. Teste Relacionado ao Tempo de Contato e pH.....	26
5.3.2. Testes Relacionados à Biomassa e Sobrenadante na Forma Livre e Imobilizada.....	29
6 DISCUSSÃO	36
7 CONCLUSÃO	38
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

A contaminação de mananciais tem sido um dos principais problemas ambientais atuais sendo que a urbanização e industrialização têm crescido nos últimos anos, consequentemente gerando mais resíduos, descartados muitas vezes de forma imprópria. Na economia brasileira a indústria têxtil é um setor de destaque, e associado ao alto desempenho produtivo está o grande consumo de água e geração de grande volume de efluentes líquidos. Estes resíduos são carregados de corantes sintéticos que são muitas vezes tóxicos e possuem alta persistência em meio aquático devido à sua natureza química, conferindo a estes efluentes um lento processo de biodegradação. As principais consequências de sua potencialidade tóxica nos organismos estão associadas à bioacumulação na cadeia alimentar e problemas carcinogênicos e mutagênicos causando alterações nos ciclos biológicos, além de produzir poluição visual de grandes dimensões devido ao tingimento de corpos d'água.

Verificando o grande problema ambiental que esses efluentes representam, tem sido necessário estudos de novos processos de degradação, remoção e neutralização destes compostos poluentes. Processos de remoção de baixo custo, como coagulação/floculação e adsorção, são empregados no tratamento de efluentes com a utilização de carvão ativado, como adsorvente, e de sais de alumínio, cal e polímeros, como agentes coagulantes/floculantes, porém novos estudos têm sido feitos com outros materiais que sejam potencialmente adequados para a implantação no tratamento de efluentes de escala industrial, associando características como baixo custo e eficiência na remoção de substâncias tóxicas.

A espécie *Moringa oleifera* já é conhecida pelo seu uso em tratamentos de água, agindo como coagulante natural, possibilitando remover impurezas. Certas características da planta como o rápido crescimento, resistência e floração durante todos os períodos do ano a tornam apropriada para ser utilizada como tratamento alternativo. Mediante os testes realizados com o corante Direct Violet 51 o potencial das sementes da *M. oleifera* será avaliado para um possível uso em tratamento de efluentes têxteis.

2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo:

- Avaliar o potencial de sementes de *Moringa oleifera*, como superfície adsorvente e agente coagulante/floculante, na remoção do corante Direct Violet 51;
- Definir qual pH apresenta melhores resultados na remoção do corante;
- Realizar testes utilizando o sobrenadante e a biomassa das sementes, nas formas de suspensão e imobilização em alginato de cálcio.
- Avaliar a possibilidade de reutilização das suspensões e dos pellets de alginato.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 A Indústria Têxtil

A utilização de corantes acontece desde a antiguidade, havendo relatos do ato de tingir tecidos há cerca de 2000 a.C na Índia e a há 3200 a.C. no Egito. Nesta época os corantes utilizados eram de origem natural, extraídos de plantas, animais e minerais (OLIVEIRA, 2005). Um exemplo de um corante que foi muito utilizado na antiguidade pelos egípcios, e é utilizado até os dias de hoje, é o corante índigo, extraído das espécies de plantas *Indigofera tinctoria* e *Isatis tinctoria*. Esses corantes naturais não apresentavam risco algum para o meio ambiente e para a saúde humana, diferente dos corantes sintéticos utilizados nos dias de hoje (revista eletrônica da UFSC).

Os primeiros corantes sintéticos foram produzidos no século XIX, *Willian Henry Perkin em 1856 sintetizou o primeiro corante sintético, a malveína (revista eletrônica do departamento de química da UFSC). Assim os corantes sintéticos começaram a ser produzidos em larga escala, devido a grande expansão populacional. Hoje em dia a utilização de corantes passou a ser amplamente utilizada por diversos ramos da indústria, como em tintas, plásticos e principalmente no setor têxtil.

Atualmente estima-se que 200 mil toneladas de corante são utilizadas mundialmente por diversos ramos da indústria. Acredita-se que deste total, 60 mil são usadas apenas pela indústria têxtil (ABIQUIM, 2013).

3.2 Corantes têxteis

Os corantes são substâncias amplamente utilizadas em diversos produtos da atualidade, como tintas, alimentos, plásticos, cosméticos e substratos têxteis. Estas substâncias possuem em sua composição dois grupos, o cromóforo, responsável pela cor que absorve a luz solar, e o grupo funcional que promove a fixação no substrato, estes grupos funcionais podem ser de diversos tipos, como nitro, azo e antraquinona (ROSALEN et al., 2004). A fixação no substrato pode ocorrer de diversas formas, as mais comuns são formação de soluções, sais ou complexos com metais, por adsorção e retenção mecânica e, também,

podendo envolver ligações de hidrogênio, interações iônicas, ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Atualmente os corantes sintéticos da família azo são os mais amplamente utilizados, representando 60% de todos os corantes. Estes corantes caracterizam-se por apresentarem um ou mais agrupamentos $-N=N-$ ligados a anéis aromáticos (DURÁN, 2000).

3.4 Corantes e o Meio Ambiente

Atualmente a preocupação com recursos ambientais tem ganhado ênfase. A degradação de mananciais hídricos, devido à grande quantidade de efluentes industriais e de rede de esgoto, é um fator que tem chamado cada vez mais a atenção pública (LEONAS; LEONAS, 1994).

A água é um recurso de extrema importância para a manutenção da vida de todos os seres vivos. Embora seja encontrada em abundância no planeta, sendo que cerca de 70% da superfície terrestre é composta por água, apenas 0,3% são disponibilizadas para o consumo. A maior parte da água em nosso planeta, cerca de 97%, se encontra em geleiras, oceanos, na atmosfera ou em profundidades maiores que 800 m (BASSOI; GUAZELLI, 2004).

A falta de água, devido à distribuição desigual, ou contato e consumo de água de péssima qualidade tem causado nas últimas décadas milhares de mortes. A grande descarga de resíduos proveniente das atividades humanas compromete a qualidade da água dos mananciais hídricos, tornando-se fonte de diversas doenças. A falta de gestões públicas e ambientais agrava ainda mais este quadro com o passar do tempo (SILVA, 2012).

Os resíduos provenientes da indústria têxtil, muitas vezes descartados de forma imprópria, têm contribuído para a degradação dos mananciais, alterando drasticamente a qualidade da água (BANAT *et al*, 1996). Estima-se que os processos de tingimento lançam mundialmente, nos corpos receptores, cerca de 100.000 toneladas de corante por ano (VANHULLE *et al*, 2008).

Embora os resíduos gerados por uma única indústria têxtil podem parecer, a princípio, pouco expressivos, deve-se levar em conta a grande toxicidade de alguns desses compostos, e o alto potencial de coloração (GUARATINI; ZANONI, 2000). Esses corantes podem ser

detectados na água, a olho nu, em concentrações muito baixas, a partir de 1 mg/L (WANG *et al*, 2007; HARRELKAS *et al*, 2009). Os efluentes têxteis contêm corantes em concentrações que variam, normalmente, de 10 a 100 mg/L. Desta forma estes efluentes se demonstram altamente coloridos, assim bloqueando a penetração da luz e impedindo a fotossíntese (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Certas características em relação à diversidade de cores, à resistência da cor em exposição à luz, a lavagem e à transpiração são exigidas dos produtos têxteis pelas indústrias (CORREIA *et al.*, 1994). Estas exigências fazem com que os corantes utilizados sejam, por natureza, de difícil degradação por processos naturais, assim podendo permanecer por mais de 50 anos no ambiente, oferecendo riscos à estabilidade dos ecossistemas aquáticos, assim como à saúde pública (BANAT *et al.*, 1996).

Esses compostos possuem grande potencial tóxico, principalmente porque essas moléculas são formadas por benzeno e outros compostos aromáticos, os quais podem ser biotransformados pelo metabolismo microbológico e gerarem subprodutos aromáticos tóxicos e/ou carcinogênicos (CLARKER & ANLIKER, 1980). Além da toxicidade os corantes também podem alterar os valores de sólidos em suspensão, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, calor, acidez, basicidade e contaminantes inorgânicos (BELTRAME, 1999).

A indústria têxtil pode ocasionar perdas de corantes sintéticos para o meio ambiente por quatro vias: descarte de sobras e resíduos do processo, descarte de embalagens usadas, por meio da eliminação acidental e, principalmente, emissões de efluentes nos processamentos rotineiros (BOLETIM ETAD, 1995).

3.5 Métodos de remoção de corantes em efluentes têxteis

Diversas técnicas de remoção de corantes já foram testadas e utilizadas, envolvendo tratamentos biológicos e físico-químicos. Ultimamente vem sendo estudado o uso conjunto de diferentes técnicas, para maior eficiência na remoção de corantes dos efluentes têxteis. Também há procura por diferentes tratamentos que sejam eficientes e possuam vantagens como aplicabilidade em larga escala, baixo custo, curto período de tempo e baixa demanda de energia (CARDOSO, 2012)

Os métodos envolvendo tratamento biológico consistem no uso de seres vivos como fungos e bactérias para degradar moléculas de corantes. A técnica pode envolver processos aeróbios ou anaeróbios (KUNS et al., 2002; VAGHELA et al., 2005). Em processos aeróbios, normalmente as moléculas de corantes são quebradas por enzimas excretadas por bactérias (GOODELL et al, 2004). O processo anaeróbio pode ser utilizado para descoloração de corantes azóicos, resultando na clivagem das duplas ligações azo, dando origem a fragmentos menores. Alguns desses fragmentos podem apresentar toxicidade, como as aminas aromáticas. Porém essa toxicidade pode ser significativamente diminuída com o uso posterior de processos aeróbios. Os tratamentos biológicos possuem como vantagem o baixo custo e como principal desvantagem o tempo (KAMMRADT, 2004; GUPTA; SUHAS, 2009)

Os tratamentos físico-químicos envolvem uma série de técnicas que consistem basicamente em degradar ou transformar moléculas de corantes (ZANONI; CARNEIRO, 2001), como é o caso de tratamentos utilizando fotocatalise ou processos oxidativos, ou separar as moléculas de corante do efluente, como é o caso da adsorção, filtração, osmose reversa e tratamentos coagulantes e flutuantes (CARDOSO, 2012)

3.5.1 Adsorção

Apesar de existirem diversas técnicas de tratamentos de efluentes têxteis, muitas delas não são satisfatoriamente eficazes ou apresentam um elevado custo. A adsorção é uma técnica que vem ganhando destaque no tratamento de efluentes têxteis, uma vez que é eficiente e, dependendo do material adsorvente utilizado, pode tornar-se de baixo custo. O processo de adsorção consiste no agrupamento de sólidos em suspensão, denominados adsorvatos, na superfície de determinada substância, denominado adsorvente, que estejam presentes em uma solução aquosa (ADAMSON & GAST, 1997). O processo de adsorção é explicado pela existência de forças de tração perpendiculares ao plano da superfície da fase sólida, que, dessa forma, passa a apresentar instauração. Dependendo da força das ligações entre as moléculas que estão sendo adsorvidas e o material adsorvente, podem-se diferenciar dois tipos principais de adsorção: adsorção física e a adsorção química (ORTIZ, 2000).

Uma superfície adsorvente para ser considerada eficiente precisa apresentar certas características, como resistência mecânica, baixa perda de carga, baixo poder de aglomeração, elevada inércia química, alta afinidade com o adsorvato e uma grande área interfacial, que é a área externa mais área dos poros. O adsorvente pode ser proveniente de diversos materiais, o mais conhecido e comumente utilizado é o carvão ativado. Este, embora muito eficiente, apresenta algumas desvantagens como o custo relativamente alto, falta de seletividade e uma limpeza difícil e cara da sua superfície para posteriores aplicações (KUMAR, 2000). Com isso novos materiais vêm sendo estudados para a utilização como adsorventes alternativos de baixo custo, como restos de frutas, cascas de cereais, resíduos industriais, etc. (MORAIS, 2007).

3.5.2. Coagulação/Floculação

O processo de coagulação/floculação consiste na aglomeração de partículas em suspensão. Porém, o termo coagulação está mais associada à diminuição das forças que tendem a manter as partículas em suspensão separadas quando adicionado um determinado agente coagulante à solução. A floculação está associada ao processo de aglomeração destas partículas por meio de transporte fluido, assim formando partículas maiores que posteriormente decantam (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 2003).

O tratamento de efluentes utilizando agentes coagulantes vem sendo implantado há alguns anos. Substâncias como polieletrólitos e sais metálicos, principalmente sais de alumínio e ferro, são amplamente utilizados no tratamento de efluentes líquidos. Porém, a utilização destas substâncias pode acarretar consequências negativas, como causar danos à saúde devido a presença de metais residuais, produção de grande quantidade de lodo e alteração significativa do pH, o que muitas vezes obriga a utilização de produtos químicos adicionais para sua correção (SILVA, 2007).

A utilização do pó de semente de *Moringa oleifera* como coagulante natural é um tratamento alternativo potencial. Características como a sua grande capacidade de coagulação e propriedades como não ser tóxica há humanos e outros animais, não alterar significativamente o pH e baixo custo torna uso da *Moringa oleifera* vantajoso (NDABIGENGESERE et al., 1995; MUYIBI & EVISON, 1995). Estudos realizados com a semente de *Moringa oleifera* relatam que o agente floculante é uma proteína catiônica dimérica com alta massa molecular (entre 12-14kDa) e um ponto isoelétrico de entre 10 e 11.

Esta é encontrada em grande quantidade no interior das sementes e atuam desestabilizando as partículas contidas na água, floculando os coloides mediante um processo de neutralização e adsorção seguindo-se de sedimentação (NDABIGENGESERE et al., 1995).

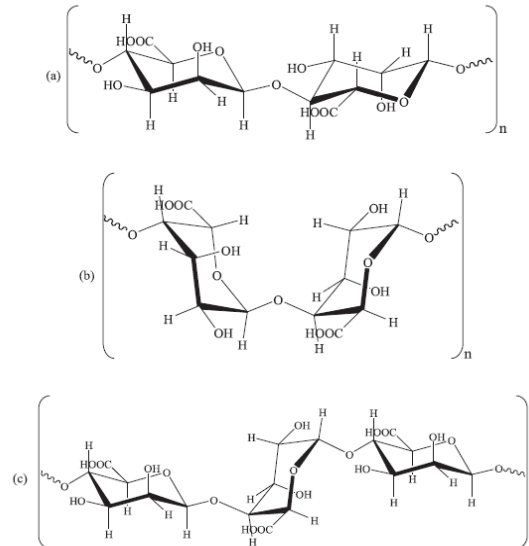
3.6. Imobilização utilizando Alginato de Cálcio

A imobilização de células, enzimas e microrganismos vem sendo amplamente utilizadas nas mais diversas áreas, e vem sendo aplicada em tratamentos de efluentes. A técnica de imobilização consiste em misturar determinado material biológico em uma solução prepolimérica, onde esta solução é fracionada em pequenas partículas e posteriormente o seu exterior é solidificado (KNAEBEL et al., 1997). Apesar da consistência externa sólida, essa matriz externa é semipermeável, permitindo a circulação de substâncias, de modo que os agentes biológicos conservem suas atividades metabólicas (CHIBATA; TOSA, 1981; HYDE et al., 1991). A imobilização é interessante, pois além da possibilidade de reutilização, substitui a utilização de materiais que ficariam em suspensão diretamente na solução, evitando a necessidade de removê-los posteriormente (BICKERSTAFF, 1997). Os principais polímeros utilizados para imobilização celular são o alginato, goma gelana, carragenana, agarose, poliuretano, poliacrilamida e metacrilato (KNAEBEL et al., 1997).

O alginato é um biopolímero proveniente de algas, e quando diluído em água na quantidade correta apresenta uma consistência gelatinosa. A fórmula molecular é de estrutura de um polissacarídeo linear composto de dois blocos principais formados por unidades de ácido manurônico e ácido glucurônico, unidos por ligação 1,4. A composição e frequência podem variar dependendo da espécie da alga de onde é extraído (CLARCK; ROSS-MURPHY, 1987).

Quando o alginato entra em contato com uma solução contendo cálcio, o intercâmbio de íons cálcio e o sódio, proveniente do alginato, formam uma matriz de alginato de cálcio semipermeável, onde as células de interesse ficam retidas (KAWAGUTI; SATO, 2008). A utilização de alginato para imobilização apresenta uma série de vantagens, como a simplicidade da técnica, baixo custo e biocompatibilidade (GRYTA, 2002).

Figura 1. Alginato



Composição de alginatos: (a) cadeia de resíduos de ácidos manurônicos; (b) cadeia de resíduos de ácidos glucurônico; (c) cadeia de resíduos de ácidos manurônicos e ácidos glucurônico alternados. Fonte: Kawaguti e Sato (2008, p. 138).

3.7. *Moringa oleifera*

A espécie *Moringa oleifera* é uma árvore tropical, pertencente à família Moringaceae, originária do nordeste indiano. Esta é amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Pasquitação, Singapura, Jamaica e Nigéria (Ramachandran *et al.*, 1980; Pio Corrêa, 1984; *apud* BEZERRA *et al.*, 2004).

A espécie foi introduzida no Brasil no início do século XX com fins ornamentais, porém logo foram descobertas suas propriedades e aplicações para usos diversos (BORBA, 2001). Trata-se de uma fonte de alimento, rica em vitaminas, ferro, cálcio e proteínas, podendo ser consumida como salada, farinha ou refogada (PRICE, 1985). Suas flores possuem propriedades medicinais, e de suas sementes pode ser extraído um óleo utilizado para produção de sabão e biodiesel.

A utilização das sementes de *M. oleifera* como tratamento alternativo para clarificação de águas turvas, é conhecida e utilizada em regiões de diversas partes do mundo, como no Sudão e no nordeste brasileiro (BORBA, 2001). As sementes também podem ser utilizadas na remoção de corantes em efluentes têxteis. O crescimento rápido, tolerância a temperaturas altas e grande produção de sementes durante todos os períodos do ano, fazem com que as

sementes da *M. oleifera* seja um material adsorvente com potencial de aplicação (MARANDI; SEPEHR, 2011).

4 MATERIAL E METODOS

4.1 Materiais

Equipamentos: Balança analítica Imprint do Brasil LTDA, Câmara de germinação tipo BOD Marconi modelo MA403, Espectrofotômetro Shimadzu Ultravioleta - Visível (UVVis) modelo 2401 PC, Refrigerador Cònsul 280 Litros, Balança Analítica modelo ADA 210/L, Centrífuga Centribio modelo 80-2B, Agitador de tubos Phoenix modelo AP56, pHmetro Digimed modelo DMPH-2.

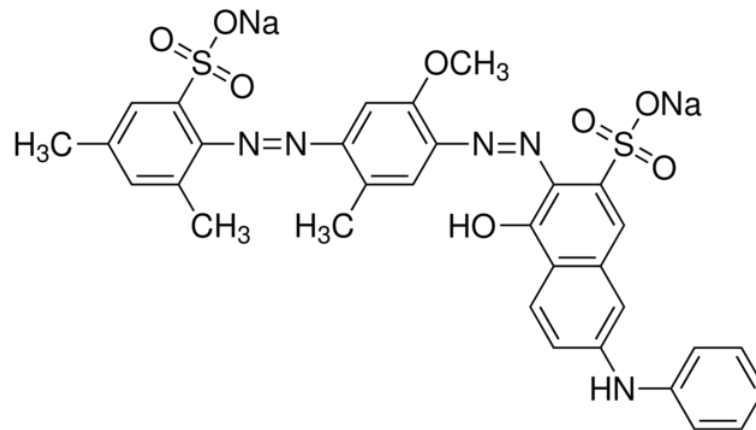
Materiais: Tubos de ensaio, pistilo, almofariz, béqueres, espátulas, pipetas, balões volumétricos, provetas, buretas, bastão de vidro e outros materiais de uso comum em laboratório.

Reagentes: Corante Direct Violet 51, H₂SO₄, NaOH, alginato de sódio da marca “Sigma”, CaCl₂ e sementes de Moringa oleifera.

4.2 Solução do corante

Pesou-se 0,1grama de corante em pó e diluiu-se em 100 mL de água destilada, obtendo-se uma solução de concentração 1000 µg/mL. Todos os experimentos foram executados a partir desta solução estoque. O corante utilizado foi o Direct Violet 51, fabricado pela Aldrich Chemical Company®, sua fórmula molecular é C₃₂H₂₇N₅Na₂O₈S₂.

Figura 2. Estrutura molecular do corante Direct Violet 51.



Fonte: catalogo sigma Aldrich Chemical Company

4.3 Análises qualitativas e quantitativas do corante

4.3.1 Curva de Calibração

Para a obtenção da curva de calibração foram preparadas, em duplicata, soluções do corante nas concentrações de 20; 40; 60; 80 e 100 $\mu\text{g/mL}$. As soluções foram preparadas utilizando água destilada nos pHs 2,5; 4,5 e 6,5, ajustados com o acréscimo de H_2SO_4 ou NaOH .

Tabela1. Protocolo para a elaboração da curva de calibração.

Tubo	Água (mL)	Corante (mL)	Concentração ($\mu\text{g/mL}$)
0	10,0	0,0	0
1	9,8	0,2	20
2	9,6	0,4	40
3	9,4	0,6	60
4	9,2	0,8	80
5	9,0	1,0	100

As soluções foram analisadas no espectrofotômetro, onde verificou-se o comprimento de onda máximo do corante (550 nm). A partir desses dados foi gerada a curva de calibração, a qual traz informações sobre equação da reta $A^{\lambda_{\max}} = a + b \times []$. A partir dessa reta foram feitas as análises sobre porcentagem de descoloração e quantidade de corante remanescente nos experimentos.

4.3.2 Teste de estabilidade do corante

Com base nas leituras das soluções utilizadas para obter a curva de calibração, foi possível testar a estabilidade do corante. Este teste foi realizado para que se descobrir se determinado corante em diferentes concentrações, permanece estável em diferentes concentrações hidrogeniônicas (pH).

Quando o corante é estável, as varreduras espectrais das soluções apresentam-se sobrepostas, caso contrário as varreduras não se sobrepõem, sendo necessário identificar o ponto isobéstico (PI).

4.4 Preparo das sementes de *Moringa oleifera*

Foram obtidas diversas vagens da *M. oleifera*, de onde as sementes foram retiradas. As sementes são anemocóricas, ou seja, são dispersas pelo vento, assim contendo estruturas aladas. Estas estruturas foram retiradas, assim como o tegumento, sendo aproveitado apenas o endocarpo e o restante das estruturas internas. A seguir as sementes foram processadas em um blender, e posteriormente, piladas, utilizando almofariz e pistilo, para que ficassem trituradas. Nas granulometrias entre 0,21 e 0,65mm de dimetro.

4.5 Metodologia de Kjeldahl

Uma pequena porção do pó das sementes in natura de moringa foi usada para calcular a porcentagem de proteína presente na amostra. Para isso foi utilizada a metodologia de Kjeldahl.

4.6. Experimentos analisados no Espectrofotômetro

4.6.1. Teste relacionado ao tempo de contato e pH

Para a avaliação do potencial das sementes de *M. oleifera* na remoção de corantes têxteis, foram feitos testes comparativos utilizando diferentes pHs e diferentes tempos de contato. Primeiramente as sementes de *M. oleifera* moídas foram pesadas, colocando 0,1g em cada tubo de ensaio, devidamente enumerado e identificado, contendo 1 mL de corante em 9mL de água destilada, ajustada em determinado pH, assim obtendo uma solução de 10 mL com a concentração do corante igual a 100ug/mL.

Para cada teste relacionado com determinado pH (2,5; 4,5 e 6,5) foram utilizados 11 tubos, e em cada um deles colocadas as sementes de moringa moídas e pesadas, sendo mantida em permanência com o corante em diferentes intervalos de tempo. A primeira amostra manteve contato durante 5 minutos, a segunda 15 minutos, a terceira 25 minutos, e assim sucessivamente, de 10 em 10 minutos, até completar 95 minutos, totalizando 10 amostras mais o controle. Posteriormente o sobrenadante das amostras foram retirados e analisados sucessivamente no espectrofotômetro.

4.6.2 Testes Relacionados à Biomassa e Sobrenadante na Forma Livre e Imobilizada

Na realização dos testes relacionados ao tempo de contato e pH, foi possível observar a formação e decantação de flocos rapidamente. Assim, novos testes foram realizados, contendo biomassa e outro apenas o sobrenadante, ou seja, sem a presença da biomassa. Desse modo o

processo de adsorção não ocorre, podendo assim analisar apenas o efeito da coagulação/floculação. Também foi testada a reutilização tanto do sobrenadante quanto da biomassa na forma livre e imobilizada. A biomassa e o sobrenadante foram novamente colocados através de pellets de alginato de cálcio. Estes pellets já utilizados foram colocados novamente em contato com a solução contendo corante, para avaliar a possibilidade de reutilização dos mesmos.

a) Teste com biomassa imobilizada: Preparou-se a solução de alginato a 1%, a seguir foram adicionados 0,1g do pó da semente de *M. oleifera*, procedendo-se a homogeneização da suspensão. Esta suspensão foi colocada em uma bureta, e gotejada em uma solução de cloreto de cálcio, assim obtendo pellets de alginato de cálcio contendo a biomassa imobilizada. Preparou-se 5 tubos de ensaio contendo 9mL de água destilada, no pH 2,5, e 1 mL de solução estoque, obtendo uma solução de 10mL com a concentração do corante de 100ug/mL. No primeiro tubo foi colocado 5 pellets, no segundo 10 pellets, no terceiro 15 pellets, e assim por diante até completar 25 pellets no último tubo. A solução e os pellets foram mantidos em contato durante 70 minutos, e depois os pellets foram retirados e os tubos contendo as soluções foram centrifugados e submetidas a leitura em espectrofotômetro.

b) Teste com sobrenadante imobilizado: Novamente foram pesados 0,1g do pó das sementes e adicionado 10 mL de água destilada. Porém para que se pudesse separar a biomassa do sobrenadante a suspensão foi centrifugada, e apenas o sobrenadante foi aproveitado. Então foi adicionada a quantidade necessária de alginato de sódio ao sobrenadante, para que a solução ficasse a 1%. A solução foi colocada em uma bureta e gotejada em cloreto de cálcio, os pellets formados foram adicionados aos 5 tubos contendo a solução de corante na concentração de 100ug/mL, colocando-se 5; 10; 15; 20 e 25 pellets respectivamente em cada tubo. Após 70 minutos de contato, os pellets foram retirados e os tubos foram centrifugados, posteriormente as amostras foram lidas no espectrofotômetro.

c) Reutilização dos pellets de alginato de cálcio: Os pellets de alginato de cálcio contendo biomassa e sobrenadante, foram retirados dos tubos após o tempo de contato dos primeiros testes, e logo em seguida foram colocados novamente em contato com 10ml de solução do corante na concentração 100 ug/mL. Os tubos contendo os pellets foram mantidos em contato durante 70 minutos e a seguir foram retirados e as amostras centrifugadas. Logo em seguida foi feito as leituras das amostras no espectrofotômetro.

d) Teste com biomassa em suspensão: Foi misturado 0,1g de pó de semente de *M. oleifera*, e 10mL de água destilada. Essa suspensão foi colocada em uma bureta, e então foi pego o primeiro tubo contendo solução de corante e foi gotejado 5 gotas, no segundo foi gotejado 10 e assim por diante até o último tubo que totalizava 25 gotas. Foram colocadas as mesmas quantidades que nos testes de imobilização, para que houvesse meio de comparações entre estes. Após 70 minutos de contato, os tubos foram centrifugados, e as amostras foram lidas no espectrofotômetro.

e) Testes com sobrenadante da suspensão: Novamente foram pesados 0,1g do pó das sementes e adicionado 10 ml de água destilada. A suspensão foi centrifugada e o sobrenadante foi retirado. Então este foi colocado em uma bureta e foi gotejado 5 gotas no primeiro tubo contendo solução com corante, 10 gotas no segundo e assim sucessivamente até que no último fosse gotejado 25gotas. Após 70 minutos de contato as amostras centrifugadas e analisadas no espectrofotômetro.

f) Reutilização da biomassa da suspensão: Após fazer leitura das amostras contendo biomassa livre o sobrenadante foi retirado. A seguir foi adicionado 10mL de solução do corante na concentração 100 ug/mL, á cada amostra contendo biomassa equivalente á 5, 10, 15, 20 e 25 gotas da suspensão de 0,1g em 10mL de água destilada. As amostras foram mantidas em contato com biomassa reutilizada durante 70 minutos, e depois foram centrifugadas e analisadas no espectrofotômetro.

g) Reutilização do sobrenadante da suspensão: O corante coagulado e precipitado de cada amostra do teste (f), que ficou compactado no fundo do tubo de centrifuga, foi separado do sobrenadante. A estes tubos adicionou-se 0,1g da solução estoque em 9 mL de sobrenadante de cada amostra do teste (f) referente ao sobrenadante livre. As amostras foram mantidas em contato com o sobrenadante durante 70 minutos, e depois foram centrifugadas e analisadas no espectrofotômetro.

4.7. Análises quantitativas

Os dados obtidos no espectrofotômetro UV-Vis foram processados pelo programa ORIGIN. Assim fornecendo as imagens das varreduras e os valores do comprimento de onda

máximo, desta forma os valores foram utilizados na equação da reta para calcular a porcentagem de descoloração e concentração de corante remanescente das amostras.

5. RESULTADOS

5.1 Curvas de Calibração e Teste de Estabilidade

A curva de calibração do corante Direct Violet 51, nos pHs 2,5, 4,5 e 6,5 foram obtidas baseados nos valores de absorbância das leituras espectral feita inicialmente. A partir dessa curva obtemos a equação da reta para cada pH, que forneceram os dados necessários para os cálculos posteriores. As varreduras se mostraram sobrepostas para os diferentes pHs, assim o corante se demonstrou estável.

Figura 3. Reta padrão do corante Direct Violet 51, pH 2,50 e caminho óptico de 0,5cm, para as concentrações: 20; 40; 60; 80 e 100µmg/mL. Absorbância 550nm= $0,02562+(0,016025* \text{concentração do corante})$. R= 0,99975.

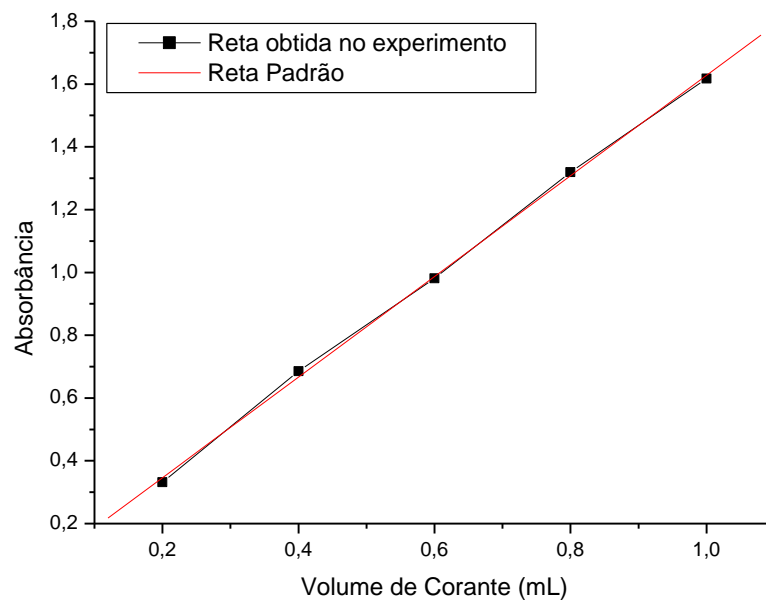


Figura 4. Reta padrão do corante Direct Violet 51, pH 4,50 e caminho óptico de 0,5cm, para as concentrações: 20; 40; 60; 80 e 100µmg/mL. Absorbância 550nm= $-0,02399+(0,0163745*$ concentração do corante). R=0,999959.

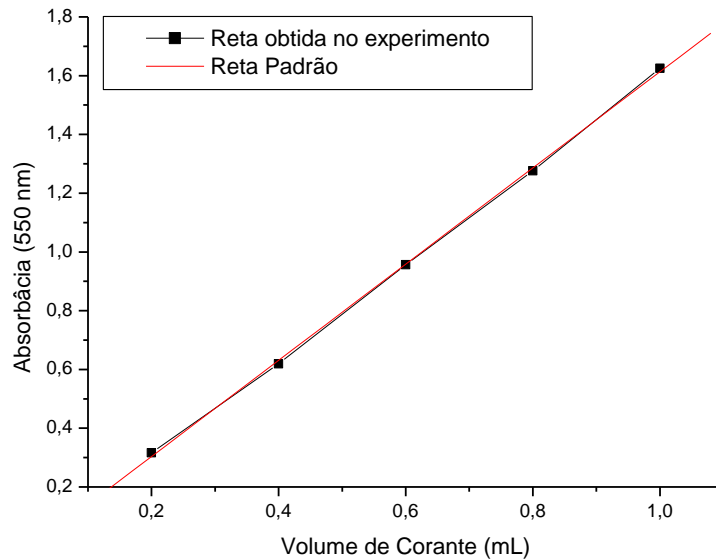
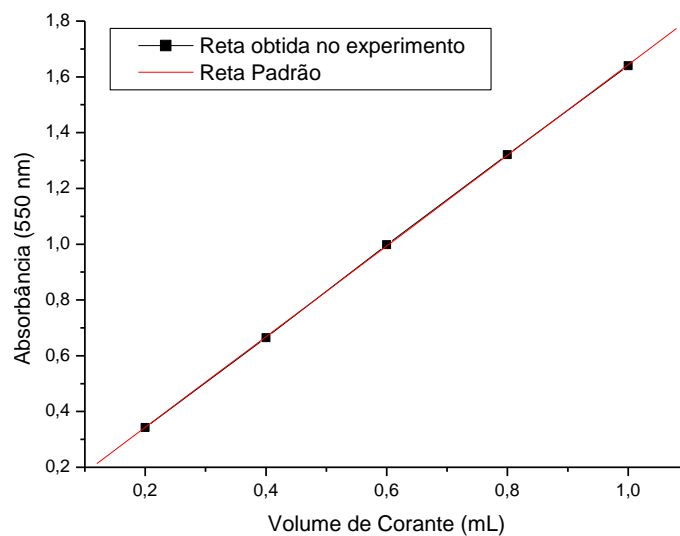


Figura 5. Reta padrão do corante Direct Violet 51, pH 6,50 e caminho óptico de 0,5cm, para as concentrações: 20; 40; 60; 80 e 100µmg/mL. Absorbância 550nm= $0,01817+(0,0162545*$ concentração do corante). R=0,99997.



5.2 Metodologia de Kjeldahl

Através da Metodologia foi possível calcular a porcentagem de proteína na amostra de sementes de *M. oleifera*. O resultado foi igual a 23% de proteína no peso úmido.

5.2. Experimentos Analisados no Espectrofotômetro

5.2.1. Teste Relacionado ao Tempo de Contato e pH

Quando em contato com as sementes de *M. oleifera*, o corante contido na solução coagulou rapidamente. Foi possível registrar descoloração no sobrenadante das amostras a partir de 5 minutos, e aos 95 minutos, para todos os pH's, ocorreu uma descoloração de mais de 90%, conforme demonstram as figuras 6, 7 e 8, referentes aos espectros dos valores de pH 2,5; 4,5 e 6,5 respectivamente. As amostras apresentaram diferentes resultados, para diferentes tempos de contato.

Figura 6. Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras contendo *Moringa oleifera*, no pH 2,50, com concentração inicial do corante de 100µg/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo.

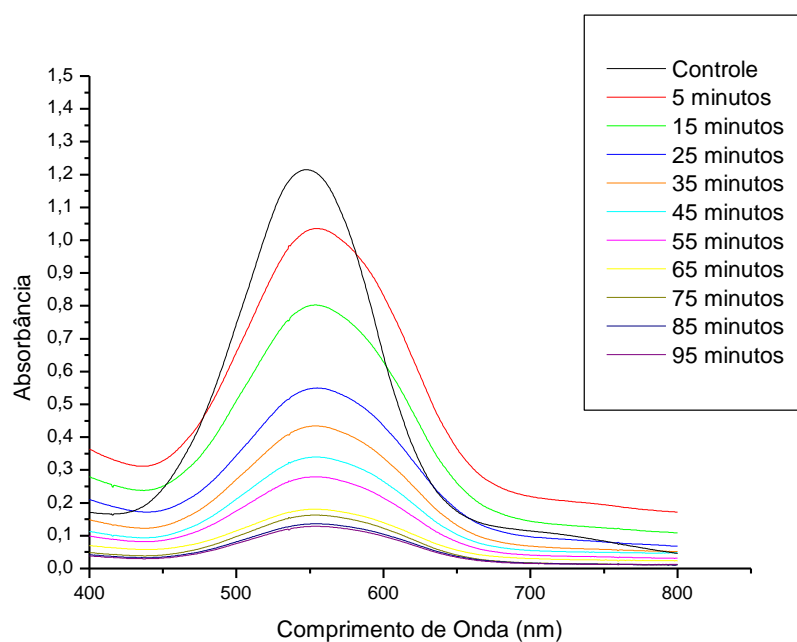


Figura 7: Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras contendo *Moringa oleifera*, no pH 4,50, com concentração inicial do corante de 100 μ g/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo.

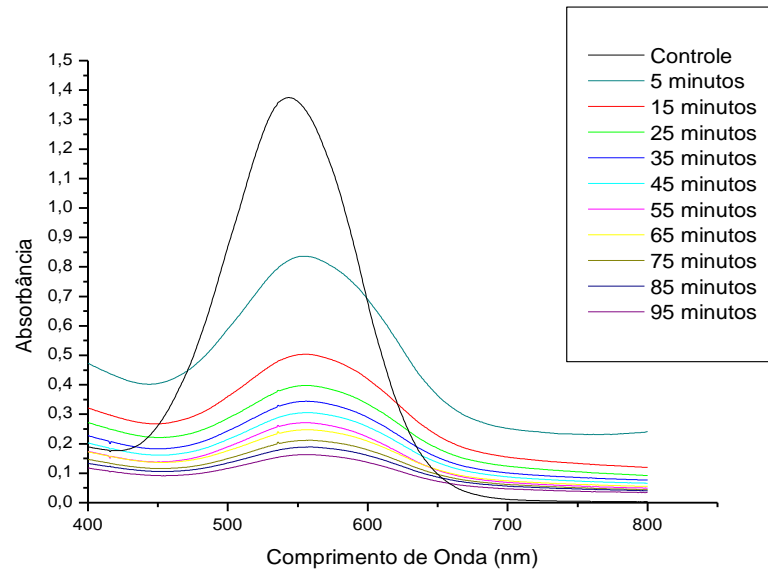
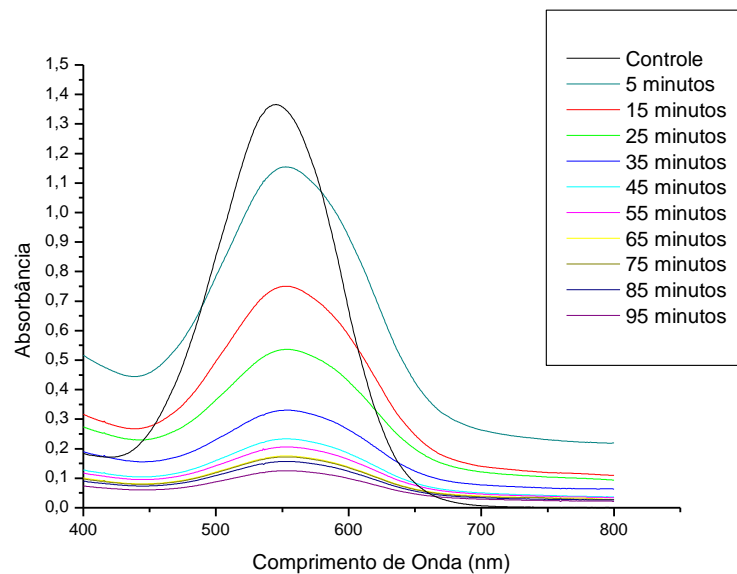


Figura 8: Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras contendo *Moringa oleifera*, no pH 6,50, com concentração inicial do corante de 100 μ g/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo.

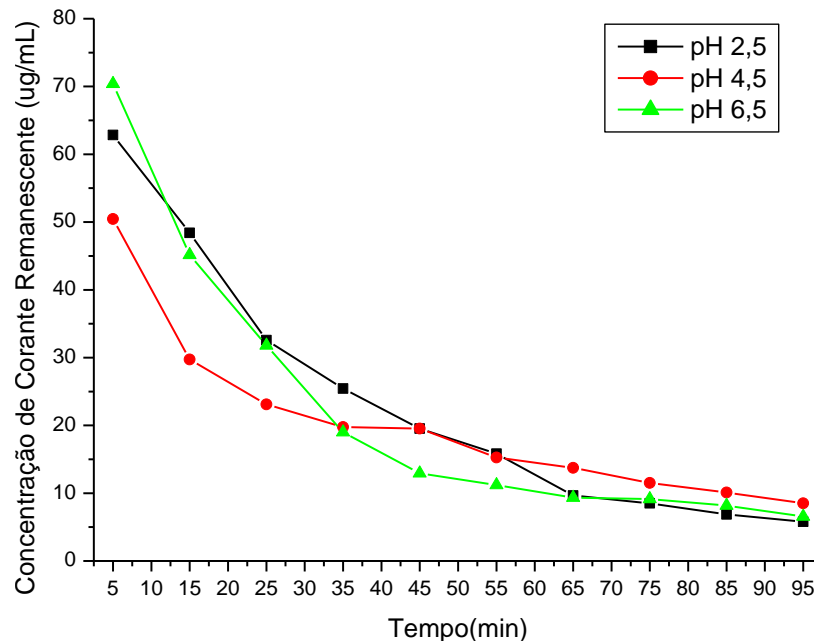


Através da reta padrão e dos dados de absorvância das amostras no comprimento de onda máximo do corante, 550nm, foi possível calcular os valores da concentração de corante remanescente, demonstrados na Tabela 2 e na Figura 9.

Tabela 2. Concentração de corante remanescente das amostras com tempo de contato de 5 á 95 minutos, nos pH's 2,5; 4,5 e 6,5. Com concentração inicial do corante de 100µg/mL. Valores obtidos através do cálculo: Absorvância 550nm=0,02562+(0,016025* conc. do corante).

Tempo de contato em minutos	Concentração de corante remanescente (µg/mL)		
	pH		
	2,5	4,5	6,5
5	62,84	50,46	70,38
15	48,4	29,73	45,16
25	32,59	23,1	31,79
35	25,45	19,75	18,99
45	19,53	19,53	12,94
55	15,82	15,26	11,21
65	9,65	13,75	9,33
75	8,52	11,52	9,14
85	6,88	10,1	8,17
95	6,39	8,52	6,55

Figura 9. Concentração de corante remanescente das amostras em função do tempo de contato de 5 á 95 minutos, nos pH's 2,5; 4,5 e 6,5. Com concentração inicial do corante de 100µg/mL.



5.2.2. Testes Relacionados à Biomassa e Sobrenadante na Forma Livre e Imobilizada

Uma vez que as sementes de *M. oleifera* mostraram, no teste anterior, um grande potencial de coagulação/floculação do corante, removendo muito mais do que se houvesse apenas o processo de adsorção, foram realizados novos testes. As figuras 10, 11, 12 e 13 demonstram respectivamente os espectros das amostras contendo biomassa em suspensão, reutilização da biomassa, o sobrenadante e a reutilização do sobrenadante. As figuras 14, 15, 16 e 17 demonstram, respectivamente, os espectros das amostras contendo esferas de Alginato de Cálcio com biomassa das sementes de *M. oleifera*, a reutilização das esferas contendo biomassa, esferas de Alginato de Cálcio contendo sobrenadante, e a reutilização das esferas contendo sobrenadante. Todas as amostras foram feitas no pH 2,5, uma vez que este foi o que apresentou melhores resultados a partir da estabilização, que ocorreu após 65 minutos de contato no teste realizado anteriormente.

Figura 10. Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras contendo 5,10,15,20 e 25 gotas de uma suspensão de 0,01g/ml de sementes de *Moringa oleifera* em água destilada. Com concentração inicial do corante de 100µg/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: cada gota possui o volume equivalente a 0,3mL, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.

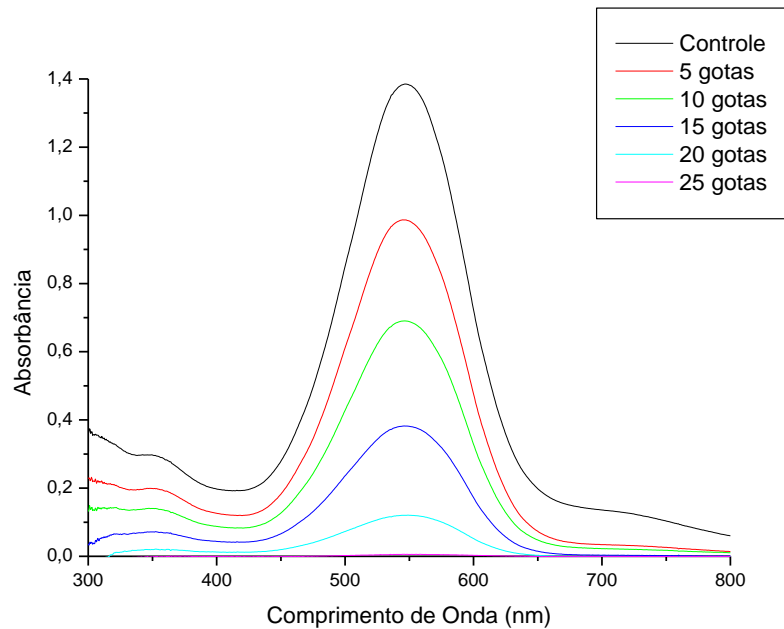


Figura 11. Espectro de absorção do corante Direct violet 51 referente a reutilização da biomassa das amostras do teste anterior, contendo 5;10;15;20 e 25 gotas de uma suspensão de 0,01g/mL de sementes de *Moringa oleifera* em água destilada. Com concentração inicial do corante de 100µg/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: cada gota possui o volume equivalente a 0,3mL, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.

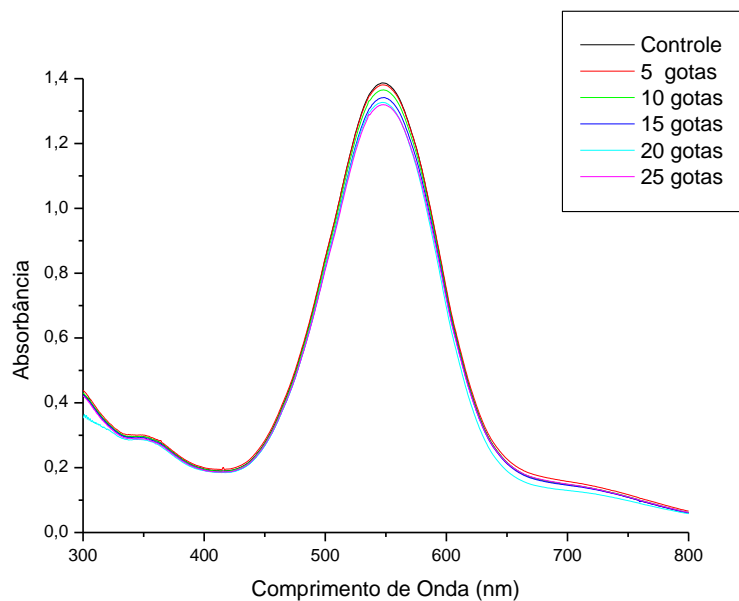


Figura 12. Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras com 5,10,15,20 e 25 gotas, do sobrenadante de uma suspensão contendo 0,01g/mL de sementes de *Moringa oleifera* em água destilada. Com concentração inicial do corante de 100 μ g/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: cada gota possui o volume equivalente a 0,3ml, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.

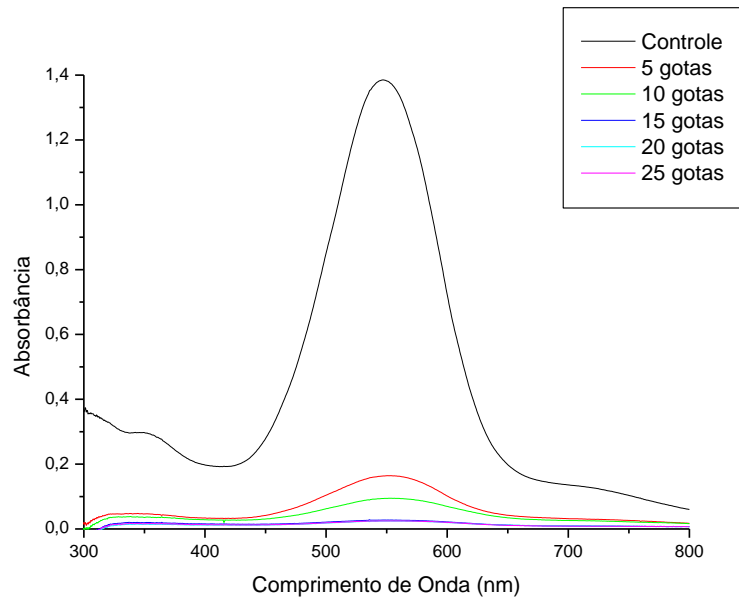


Figura 13. Espectro de absorção do corante Direct violet 51 referente a reutilização do sobrenadante das amostras do teste anterior, com 5;10;15;20 e 25 gotas de uma suspensão contendo 0,01g/mL de sementes de *Moringa oleifera* em água destilada. Com concentração inicial do corante de 100 μ g/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: cada gota possui o volume equivalente a 0,3mL, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.

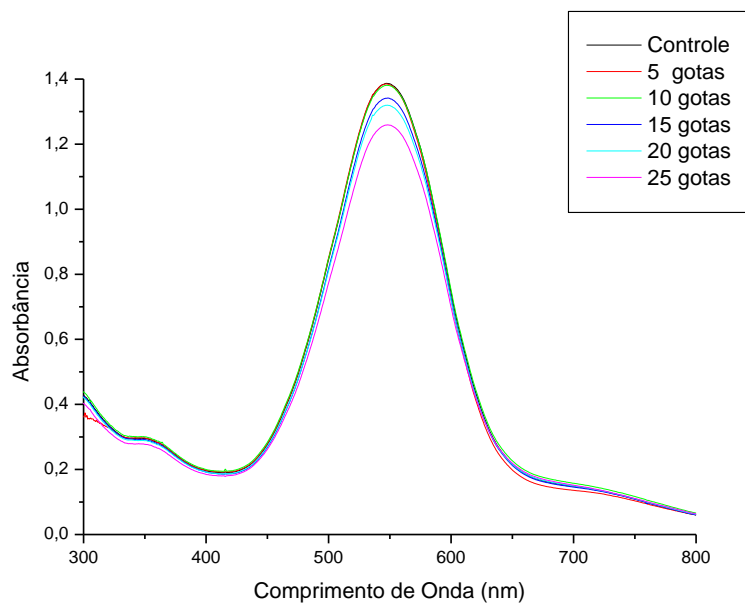


Figura 14. Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras contendo 5,10,15,20 e 25 esferas de alginato de cálcio contendo 0,01g/ml de pó das sementes de *Moringa oleifera*. Com concentração inicial do corante de 100µg/mL, $\lambda_{\text{máx.}}$ 550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: Cada gota possui o volume equivalente a 0,3mL, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.

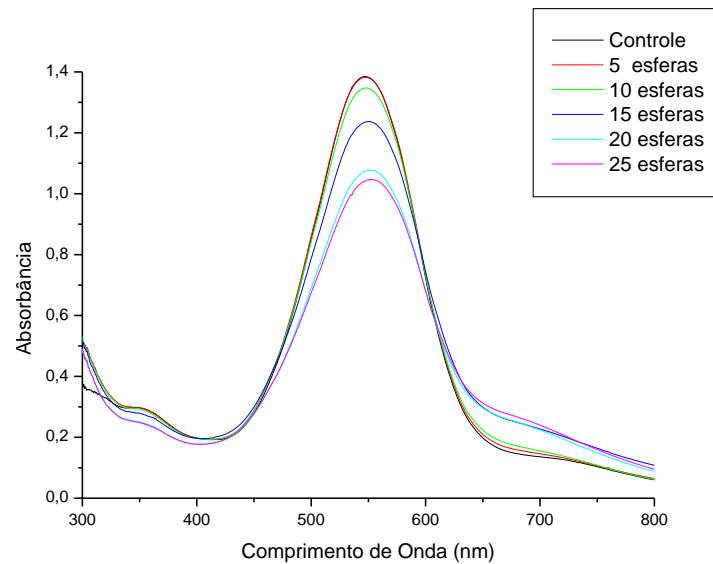


Figura 15. Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras com 5,10,15,20 e 25 esferas de alginato de cálcio contendo biomassa, já utilizadas no teste anterior. Com concentração inicial do corante de 100µg/mL, $\lambda_{\text{máx.}}$ 550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: cada gota possui o volume equivalente a 0,3mL, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.

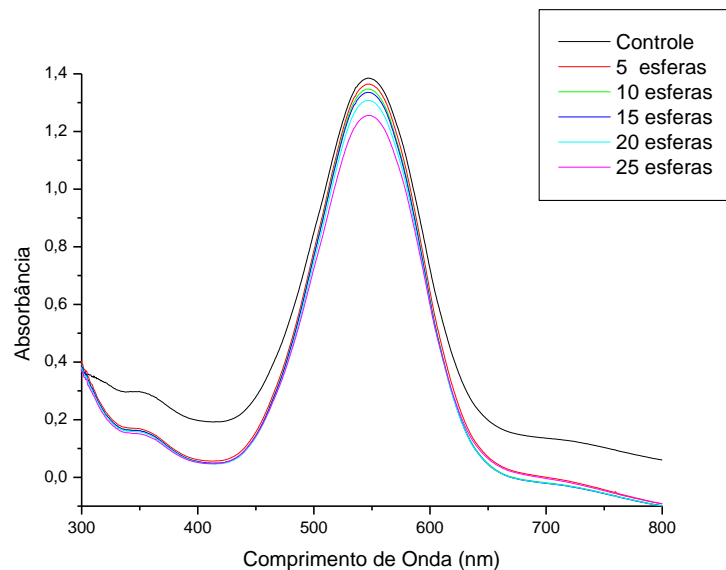


Figura 16. Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras com 5,10,15,20 e 25 gotas de alginato de cálcio contendo o sobrenadante de uma suspensão com concentração de 0,01g/ml de sementes de *Moringa oleifera*. Com concentração inicial do corante de 100 μ g/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: cada gota possui o volume equivalente a 0,3mL, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.

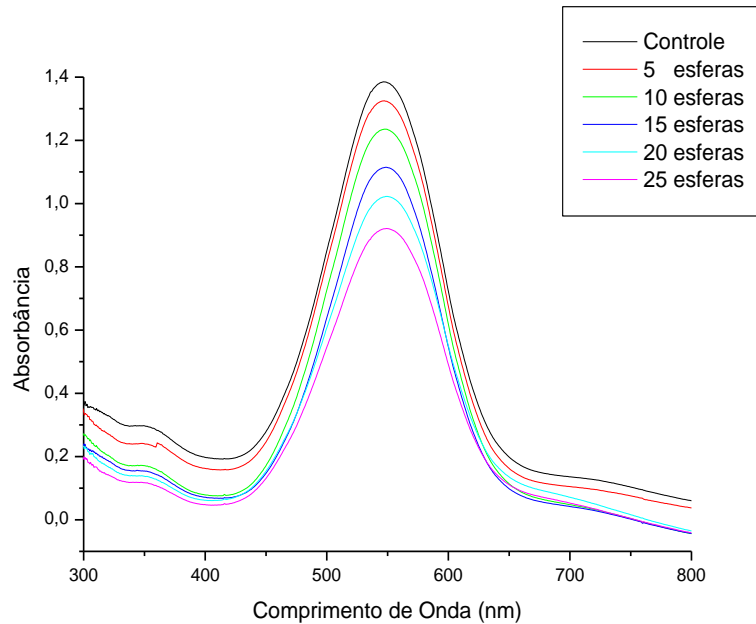
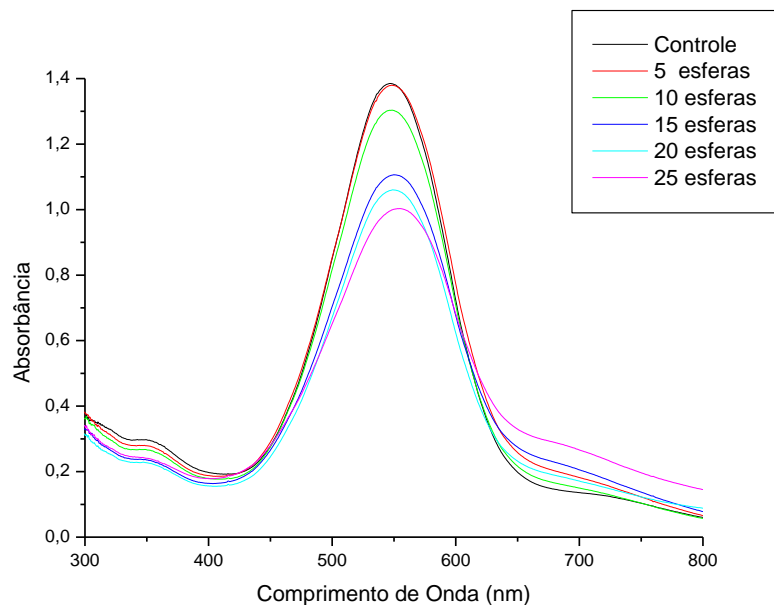


Figura 17. Espectro de absorção do corante Direct violet 51, das amostras com 5,10,15,20 e 25 esferas de alginato de cálcio contendo sobrenadante, já utilizadas no teste anterior. Com concentração inicial do corante de 100 μ g/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Nota: cada gota possui o volume equivalente a 0,3mL, assim contendo aproximadamente 0,003g de semente por gota.



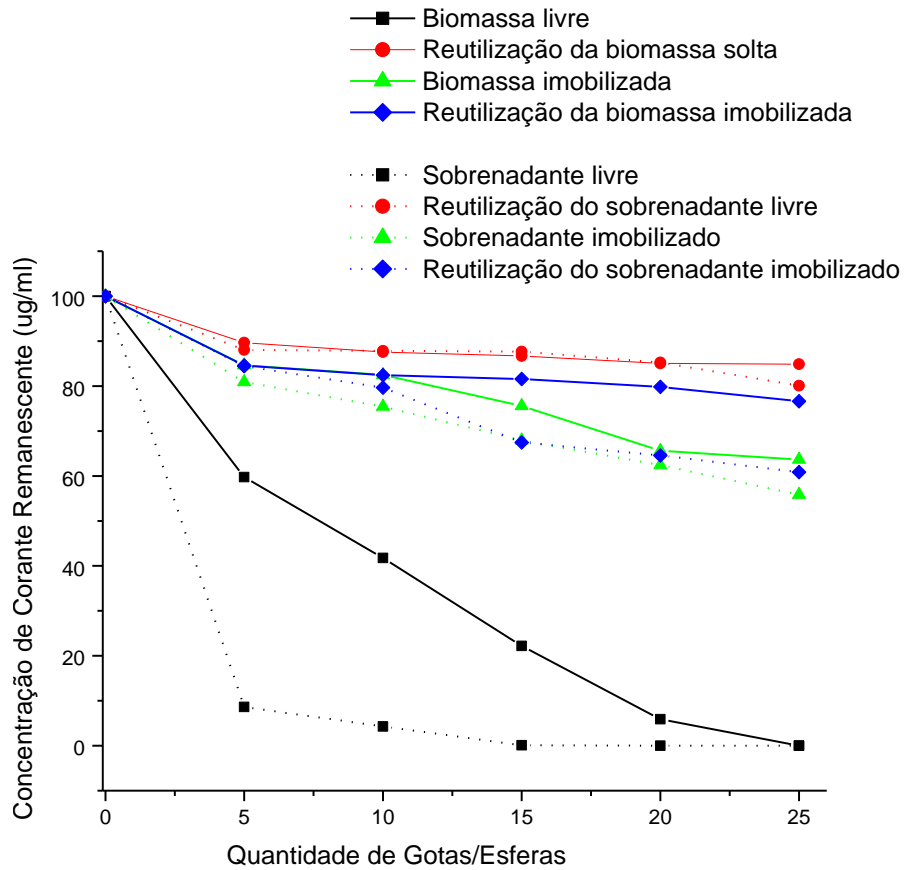
Utilizando-se a reta padrão e os valores de absorvância a quantidade de corante remanescentes das amostras foram calculados, descritos na Tabela 3 e ilustrados na Figura 18.

Tabela 3. Concentração de Corante Remanescente

Concentração de corante remanescente ($\mu\text{g/mL}$)								
N° de gotas/ esferas	Biomassa				Sobrenadante			
	Livre	Reutilização da forma livre	Imobilizada	Reutilização da imobilização	Livre	Reutilização da forma livre	Imobilizado	Reutilização da forma imobilizada
5	59,76	88,04	84,65	84,56	8,64	89,65	80,89	84,44
10	41,75	87,84	82,48	82,40	4,29	87,56	75,43	79,67
15	22,19	87,67	75,58	81,59	0,1	86,70	67,92	67,45
20	5,9	85,23	65,62	79,84	0	85,06	62,40	64,55
25	0	83,10	63,66	76,62	0	84,87	55,86	60,87

Concentração de corante remanescente das amostras contendo biomassa e sobrenadante na forma livre, imobilizada em pellets de alginato de cálcio e a reutilização de ambas as formas. Com concentração inicial do corante de $100\mu\text{g/mL}$. Valores obtidos através do cálculo: Absorvância $550\text{nm}=0,02562+(0,016025*\text{conc. do corante})$

Figura 18. Concentração de corante Direct Violet 51 remanescente, das amostras contendo biomassa e sobrenadante nas formas livre, imobilizada em pellets de alginato de cálcio e a reutilização de ambas as formas. Com concentração inicial do corante de 100µg/mL, $\lambda_{\text{máx}}$.550 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo.



6 DISCUSSÃO

No teste envolvendo tempo de contato e pH, demonstrado nas figuras 6, 7 e 8, pode se verificar que o corante entrou em processo de coagulação rapidamente, isto ocorre devido a um agente coagulante presente nas sementes de *M. oleifera*, uma proteína catiônica dimérica, que comprovou ter um grande potencial de coagulação para corantes têxteis. Assim, devido ao fato de que uma grande parte do corante coagula rapidamente, antes mesmo que ocorra o processo de adsorção, é possível concluir que na utilização de sementes de *M. oleifera*, o processo que mais influencia na remoção do corante é a coagulação/floculação, se sobressaindo ao processo de adsorção. O processo de coagulação/floculação começou a atuar sobre as amostras a partir dos 5 minutos, e aos 95 minutos a concentração do corante remanescente foi menor que 10%, para todos os valores de pH. Conforme demonstrado na Figura 9, a floculação é um sistema dinâmico sendo que inicialmente o pH 4,50 aparentemente acelera o processo de remoção do corante, contudo, com o passar do tempo verificou-se que o pH 6,50 (35 minutos de contato) melhorou sua remoção e após 70 minutos de contato, ocorre uma estabilização, e a melhor remoção passa a ocorrer no pH 2,50 até os 95 minutos.

Devido a verificada eficiência do processo de coagulação/floculação do corante quando em contato com o pó das sementes de *Moringa oleifera*, novos testes foram realizados, relacionados com a utilização da biomassa e do sobrenadante, na forma livre, imobilizada em esferas de alginato de cálcio e a reutilização de ambas. Nos testes, de modo geral, as amostras contendo sobrenadante (Figuras 12,13,16 e 17) apresentaram melhores resultados comparados as que continham biomassa (Figuras 10, 11, 14 e 15). Os resultados demonstraram que tanto o sobrenadante quanto a biomassa, quando expostos ao corante de forma livre chegam a coagular praticamente todo o corante contido na solução rapidamente (Figuras 10 e 12), porém quando imobilizados, estes não chegam a coagular o corante com tanta eficiência (Figuras 14 e 16). No entanto, as esferas quando reutilizadas, tanto a biomassa quanto o sobrenadante (Figuras 15 e 16), apresentaram melhores resultados do que a reutilização das formas livres (Figuras 11 e 13).

Possivelmente o fato das amostras contendo o sobrenadante apresentarem melhores resultados, deve-se a ação do empuxo causado pela centrifuga na hora de

separar o sobrenadante da biomassa. Assim o agente coagulante é intensamente extraído do pó das sementes de *M. oleifera*, ficando contido no sobrenadante, e agindo de forma mais rápida e efetiva sobre o corante. Quando a biomassa é diretamente colocada junto às amostras, sem serem centrifugadas antes do tempo de contato, o agente coagulante contido no pó das sementes demora mais tempo para agir.

Como pode-se verificar na Tabela 3 e na Figura 18, as esferas de alginato contendo o sobrenadante e biomassa removeram menos corante comparado a forma livre, porém ainda apresenta um efeito significativo, sendo que com 25 esferas chegam a remover cerca de 50% do corante na primeira aplicação e 40% na reutilização na imobilização do sobrenadante. Quanto à biomassa a remoção foi de 36% na primeira aplicação e 23% na reutilização da imobilização. Isso ocorre, pois o alginato de cálcio é formado por uma matriz semipermeável, que retém internamente as proteínas que atuam como agente coagulante/floculante, liberando-as aos poucos. Assim as proteínas quando imobilizadas atuam de forma lenta.

Diferente da reutilização das formas em suspensão livres, que removem no máximo 20 % do corante. Isto ocorre, pois na forma livre o agente coagulante é mais facilmente liberado, assim praticamente todo o potencial de coagulação das sementes atua logo na primeira utilização. Portanto quando as formas livres são reutilizadas, praticamente não existe mais agente coagulante.

7. CONCLUSÃO

Mediante os resultados obtidos nos testes relacionados com o tempo de contato e os valores de pH, verificou-se que o processo mais eficiente na remoção do corante Direct Violet 51 utilizando sementes de *M. oleifera* é a coagulação/floculação, devido a *M. oleifera* possuir um agente coagulante de alta eficácia. Assim grande parte do corante coagulou rapidamente, antes que acontecesse o processo de adsorção. O pH mais eficiente na remoção do corante foi o 2,5, apresentando menores valores de corante remanescente após estabilização. A coagulação é um processo dinâmico, ocorrendo com certa instabilidade até 65 minutos de contato nos diferentes valores de pH, após este tempo o processo se estabiliza.

Pode-se concluir pelos resultados obtidos que a forma livre coagula o corante com mais eficiência. Porém, a forma imobilizada permite reutilização das esferas, e embora tenha o seu potencial de coagulação/floculação diminuído, continua a remover o corante significativamente, apresentando melhores resultados comparado à reutilização das formas livres.

Em relação à utilização da biomassa ou de sobrenadante, pode-se verificar mediante as análises realizadas que o uso do sobrenadante possibilita uma maior porcentagem de coagulação do corante, tanto na forma livre quanto na forma imobilizada. Assim pode-se concluir que o uso do sobrenadante é mais apropriado, diminuindo os valores de corante remanescente.

A alta capacidade de coagulação da semente associado à características particulares da planta, como o rápido crescimento, resistência e floração durante todos os períodos do ano, tornam as sementes de *Moringa oleifera* um importante componente em potencial a ser utilizado como tratamento de efluentes têxteis, antes destes serem despejados em mananciais.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

ABIQUIM- Associação Brasileira de Indústria Química. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br>, acessado em 15 de março de 2013.

ADAMSON, A.W.; GAST, A.P.; **Physical Chemistry of Surfaces**. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, cap 2, p 358-361, 1997.

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.

BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e Proposta de Tratamento. Dissertação. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G. & MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.

BICKERSTAFF, G. F. Immobilization of Enzymes and Cells. **Methods in Biotechnology**. New Jersey: Humana Press, p.367, 1997.

BOLETIM ETAD. Corantes e Meio Ambiente – guia para usuários. **Química Têxtil**. São Paulo, v. 18, 38: p22-31, 1995.

BORBA, L. R. Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades. **Tese de mestrado**. Universidade Federal da Paraíba, 2001.

CARDOSO, N. F. Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos. **Tese de Doutorado**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, 2012.

CHIBATA, I.; TOSA, T. Use of immobilized cells. **Annual Review of iophysics & Bioengineering**, Palo Alto, v. 10, p. 197 - 216, jun. 1981.

CLARK, A.H.; ROSS-MURPHY, S.B. Structural and mechanical properties of biopolymer gels. **Advances in Polymer Science**, v.83, p.57-192, 1987.

CLARKER, E. A.; ANILIKER, R. Organic dyes and pigments. **In the Handbook of**

Environmental Chemistry, 3, Part A Anthropogenic Compounds, ed. O huntzinger. Springer, Heidelberg, 1980.

CORREIA, V. M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. Characterisation of textile wast waters – a review. **Environmental Technology**, vol. 15, p.122-145, 1994.

DURAN, J. Sands, powders, and grains-An introduction to the physics of granular materials. 2000.

GOODELL, B.; QIAN, Y.; JELLISON, J.; RICHARD, M.; Decolorization and degradation of dyes with mediated fenton reaction. **Water Environ**, v.76, p.2703-2707, 2004.

GRYTA, M. The assessment of microorganism growth in the membrane distillation system. **Desalination**, v.142, p.79-88, 2002.

GUPTA, V. K.; SUHAS, I. Application of low-cost adsorbents for dye removal: a review J. Environ manage. **Journal of Environmental Management**, v.90, p.2313-2342, 2009.

GUARATINI, C.; ZANONI, M.; Corantes têxteis. **Quim. Nova**,v.23, n.1, p. 71-79, 2000.

HARRELKAS, F.; AZIZI, A.; YAACOUB, A.; BENHAMMOU, A.; PONS, M.; Treatment of textile dye effluents using coagulation–flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powdered activated carbon. **Desalination. Water Treat**, v.235, p.330-339, 2009.

HYDE, F. W.; HUNT, G. R.; ERREDE, L.A. Immobilization of bacteria and *Saccharomyces cerevisiae* in poly (tetrafluoroethylene) membranes. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, n. 1, p. 219-222, jan. 1991.

KAMMRADT, P.; Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processos de oxidação avançada. **Tese de Doutorado**. Curitiba. Universidade federal do Paraná, 2004.

KAWAGUTI, H.Y.; SATO, H.H. Produção de isomaltulose, um substituto da sacarose, utilizando glicosiltransferase microbiana. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 134-143, 2008.

KNAEBEL, D.B., STORMO, K.E., CRAWFORD, R.L. Immobilization of bacteria in macro and microparticles. **Methods in Biotechnology**, Totowa, v. 2, p. 67-78, 1997.

KUMAR, M.N.V.R.; A review of chitin and chitosan applications. **React. & Funct. Polym.**, v.46, p.1-27, 2000.

KUNS, A.; ZAMORA, P.; MORAES, S.; DUÁN, N.; Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Quim. Nova**, v.25, p.78-82, 2002.

LEONAS, K. K. AND LEONAS, M. L. Textileprocess Wastewater permits: an update and strategies. **Am. Dyest. Rep.** v. 83, 1994.

MARANDI, R.; SEPEHR, S. M. B. Removal of Orange 7 Dye from Wastewater Used by Natural Adsorbent of Moringa oleifera Seeds. **American Journal of Environmental Engineering**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2011.

MORAIS, W. A. Estudos de sorção de um corante aniônico modelo em partículas de quitosana reticulada. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química; Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. **Water Resources**, Fenix, v. 29, n. 12, p. 2689-2695, 1995.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. **Water Research**, Cardiff, UK v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

OLIVEIRA, D.; Corantes como importante classe de contaminantes ambientais – um estudo de caso. **Tese de Doutorado**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

ORTIZ, N.; Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} e Cd^{2+} em solução. **Tese de doutorado**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, USP, 2000.

PAULINO, A.; GUILHERME, M.; REIS, A.; CAMPESE, G.; MUNIZ, E.; NOZAK, J.; Removal of methylene blue dye from an aqueous media using superabsorbent hydrogel supported on modified polysaccharide. **J. colloid interface Sci**, v.301, p.55-62, 2006.

PIO CORRÊA, M. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Rio de Janeiro: MA/IBDF, v.5, 1984.

PRICE, M. L. The moringa tree. **Educational Concerns for Hunger Organization (ECHO) Technical Note**, v. 2002, 1985.

RAMACHANDRAN, C.; PETER, K.V.; GOPALAKRISHNAN, P.K. Drumstick (*Moringa oleifera*) a multipurpose Indian vegetable. *Economy Botany*, v.34, 1980.

Revista Eletrônica do departamento de Química da UFSC. Disponível em: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/dye/corantes.html>, Acessado em 15 de Março de 2013.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. In: **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. Edgard Blucher, 2003.

ROSALEN, L.A; MONTEIRO, R.T.R; DELLAMATRICE, P.M; KAMIDA, H.M.; Biodegradação de efluente têxtil e nove corantes técnicos utilizando fungos basidiomicetos. **Química Têxtil**, n. 76, p. 44-52, 2004.

SILVA B. C.; Usos potenciais de Moringa oleifera Lam., uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água no semiárido nordestino. **Dissertação**, (programa regional de pós graduação em desenvolvimento e meio ambiente) Universidade federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2012.

SILVA M. E. R. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 28, n. 2, p. 178-190, 2007.

VAGHELA, S. S., JETHVA, A. D., MEHTA, B. B., DAVE, S. P., ADIMURTHY, S., & RAMACHANDRAIAH, G. Laboratory studies of electrochemical treatment of industrial azo dye effluent. **Environmental science & technology**, v. 39, n. 8, p. 2848-2855, 2005.

VANHULLE, S.; TROVASLET, M.; ENAUT, E.; LUCAS, M.; TAGHAVI, S.; VANDERLELIE, D.; VAN AKEN, B.; FORET, M.; ONDERWATER, R.; WESENBERG, D.; AGTHOS, S.; SCHENEIDER, Y.; CORBISIER, A.; Decolorization, cytotoxicity, and genotoxicity reduction during a combined ozonation/fungal treatment of dye-contaminated wastewater. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 2, p. 584-589, 2007.

WANG, S.; LI, H.; Application of zeolite MCM-22 for basic dye removal from wastewater. **Journal of colloid and interface science**, v. 295, n. 1, p. 71-78, 2006.

ZANONI, M.V.B.; CARNEIRO, P.A.; O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**, v. 29, n. 174, p. 61-64, 2001.

Hengli Barbosa Pecora

Discente

Dr. Carlos Renato Corso

Orientador