

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL

VALBER SALES JÚNIOR

**ESTUDO PRELIMINAR DA *Pereskia aculeata* Miller PARA A
UTILIZAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
INDUSTRIAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO 2017

VALBER SALES JÚNIOR

**ESTUDO PRELIMINAR DA *Pereskia aculeata* Miller PARA A
UTILIZAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
INDUSTRIAIS**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Comissão de Diplomação do Curso de Bacharelado em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química.

Professor Orientador: Dr^a. Sirlei Dias Teixeira.
Professor Coorientador: Dr^a. Raquel Dalla Costa da Rocha

Pato Branco, 2017

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado **ESTUDO PRELIMINAR DA *Pereskia aculeata* Miller PARA A UTILIZAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS** foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora N° 3.1.2017-B de 2017.

Fizeram parte da banca

Sc.B. Cíntia Andreia Alves Pereira

Prof. Dr. Marcio Barreto Rodrigues

Prof. Dr. Rodrigo Brackmann

Prof. Dr^a. Sirlei Dias Teixeira

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Valber José Sales e Zilnéia de Oliveira Sales, e à minha tia, Creusa Sales, que me deram suporte nessa caminhada e nunca deixaram de me incentivar. Sem eles eu não seria quem sou hoje, e jamais conseguiria alcançar o que alcancei. Que esta seja apenas a primeira de muitas outras conquistas.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho só foi possível graças às minhas orientadoras e amigas, Sirlei Dias Teixeira e Raquel Dalla Costa Rocha. Muito obrigado por terem sido pacientes e excelentes mentoras.

Agradeço também a todos os meus amigos que me apoiaram e me ajudaram ao longo do percurso.

Por fim, agradeço o departamento de química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todos os seus integrantes pelas suas contribuições na minha formação acadêmica.

RESUMO

SALES, Valber. Estudo preliminar da *Pereskia aculeata* Miller para a utilização no processo de tratamento de efluentes industriais. 2017. 35. f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

O avanço do desenvolvimento industrial propulsionado pela alta demanda por bens de consumo, resulta em elevadas quantidades de rejeitos oriundos dos processos de produção. A legislação atual exige que as indústrias controlem seus meios de produção a fim de reduzir os impactos no meio ambiente. Um dos processos amplamente empregado no tratamento de águas é a coagulação/floculação, processo este que se resume na desestabilização coloidal de partículas suspensas no líquido, e na formação de flocos mais densos para posterior decantação. Neste processo, é utilizado um agente coagulante, normalmente um sal, para precipitar as impurezas e, em alguns casos, aditivos como polímeros para auxiliar nas etapas do tratamento. Este trabalho trata da extração, purificação e testes preliminares da mucilagem (biopolímero) da cactácea *Pereskia aculeata* Miller, como aditivo no processo de coagulação/floculação para tratamento de efluente sintético de laticínio. Discute-se também os perfis de secagem das folhas da planta e como os modelos propostos por Page, Lewis e Wang/Sing se ajustam a estes perfis. Os resultados obtidos mostram que o modelo de Page descreve melhor o comportamento da curva de secagem. Os resultados revelam também que o biopolímero influencia positivamente no tratamento, porém é necessário um estudo mais aprofundado para determinar as melhores condições de concentração e dispersão da mucilagem para que seja viável nos processos de coagulação/floculação.

Palavras-chave: Coagulação/floculação; extração; mucilagem; secagem; turbidez.

ABSTRACT

SALES, Valber. Preliminary study of *Pereskia aculeata* Miller for use in the treatment process of industrial wastewater. 2017. 35. P. Course Completion Work (Bachelor of Industrial Chemistry) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

The advance of the industrial development propelled by the high demand for consumer goods, results in high quantities of waste from the production processes. Current legislation requires industries to control their means of production in order to reduce impacts on the environment. One of the processes widely used in wastewater treatment is coagulation/flocculation, a process that is summarized by the colloidal destabilization of particles suspended in the liquid, and in the formation of dense flakes for later decantation. In this process, a coagulating agent, usually a salt, is used to precipitate the impurities, and, in some cases, additives such as polymers are used to aid in the treatment steps. This work talks about the extraction, purification and preliminary tests of the mucilage (biopolymer) of the cactus *Pereskia aculeata* Miller, as an additive in the coagulation/flocculation process for treatment of synthetic wastewater from dairy production. The drying profiles of the leaves of the plant are also discussed, as is the way models proposed by Page, Lewis and Wang / Sing fit them. The results show that the Page model better describes the behavior of the drying curve. This work also discloses that the biopolymer positively influences the treatment process, but further study is required to determine the optimal concentration and dispersion conditions of the mucilage to be feasible in the coagulation / flocculation processes.

Keywords: Coagulation / flocculation; extraction; mucilage; drying; turbidity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coagulação por ligação entre partículas através de polímeros.....	16
Figura 2 - <i>Pereskia Aculeata</i> Miller	17
Figura 3 - Preparação e secagem das folhas de <i>P. aculeata</i> Miller.....	19
Figura 4 - Extração à quente (80 °C) do biopolímero da planta <i>P. aculeata</i> Miller ...	20
Figura 5 - Precipitação com etanol do biopolímero da planta <i>P. aculeata</i> Miller	21
Figura 6 - Teste da utilização do biopolímero extraído da <i>P. aculeata</i> Miller no processo de coagulação/floculação para a avaliação no tratamento de efluente lácteo sintético (Jar-Test).....	22
Figura 7 - Curvas de secagem experimentais das folhas de <i>P. aculeata</i> Miller realizadas em estufa nas temperaturas de 30 e 70 °C.	24
Figura 8 - Modelagem matemática das folhas de <i>P. aculeata</i> Miller com o modelo de Wang e Sing: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C	26
Figura 9 - Modelagem matemática das folhas de <i>P. aculeata</i> Miller com o modelo de Lewis: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C	26
Figura 10 - Modelagem matemática das folhas de <i>P. aculeata</i> Miller com o modelo de Page: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C	27
Figura 11 - Comparação dos modelos semi-empíricos das folhas de <i>P. aculeata</i> Miller: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C.....	28
Figura 12 - Mucilagem da <i>P. aculeata</i> Miller seca e triturada	29
Figura 13 - Comparação dos resultados de turbidez pré e pós ensaio Jar-Test	30
Figura 14 - Comparação dos resultados de DQO pré e pós ensaio Jar-Test	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos semi-empíricos de RU dependentes do tempo de secagem..... 25

Tabela 2 – Parâmetros determinados na modelagem matemática a partir dos modelos semi-empíricos de RU dependentes do tempo de secagem no experimento ... 25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivos gerais	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	Química verde.....	13
3.2	Tratamento de efluentes	13
3.3	Coagulação/Floculação	14
3.4	Agentes coagulantes	15
3.5	Mucilagem.....	16
3.6	<i>Pereskia aculeata</i> Miller.....	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1	Amostragem.....	19
4.2	Curvas de Secagem	19
4.3	Extração e purificação da mucilagem	20
4.4	Reconstituição do hidrogel.....	21
4.5	Testes de coagulação/floculação.....	22
4.6	Testes para avaliação da eficiência do processo	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Curvas de secagem	24
5.2	Extração e purificação da mucilagem	28
5.3	Testes preliminares de coagulação/floculação	30
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O avanço do desenvolvimento industrial traz sérias consequências ao meio ambiente. Apesar desse desenvolvimento não parar, e não é interessante que isto aconteça, é possível tomar medidas para mitigar os impactos causados à natureza.

A partir deste princípio, a química verde visa reduzir, ou até mesmo acabar, com a degradação do meio ambiente sem causar prejuízos na produção industrial, seja pelo tratamento dos resíduos gerados, ou empregando sistemas autossuficientes. Atualmente, os processos químicos estão se tornando cada vez mais eficientes e evoluindo juntamente com as indústrias rumo à uma produção ecologicamente correta.

Neste contexto, surge a necessidade da utilização de novas formas de tratamento de efluentes industriais. Um dos processos utilizados é a coagulação/floculação, que visa remover resíduos coloidais e iônicos da água por meio da adição agentes coagulantes, que abstraem partículas suspensas no líquido, promovendo sua decantação. A utilização de biopolímeros (polímeros naturais) para tal fim vem sendo estudada e tem apresentando resultados promissores, como observado no trabalho de Moraes et al. (2000).

O que torna esses biopolímeros coagulantes interessantes, é o fato de serem biodegradáveis, além de serem obtidos com certa facilidade. Tais fatos culminam na busca de substâncias naturais a serem utilizadas com este propósito. Dos diversos tipos existentes, a mucilagem presente em plantas como a aloe-vera, quiabo e ora-pro-nóbis mostrou-se um interessante objeto de estudo, como mostra Lima (2007) em seu trabalho sobre a utilização da mucilagem do quiabo como auxiliar de floculação. Sua capacidade de gelificação quando em presença de água pode ser interessante caso o polissacarídeo em questão seja capaz de coagular, ou auxiliar na coagulação de coloides ou íons presentes no meio.

O vegetal escolhido neste estudo é a *Pereskia aculeata* Miller (ora-pro-nóbis), uma cactácea que ocorre em quase todo território nacional e amplamente utilizada como alimento. Apresenta folhas largas e grossas, além de fruto e espinhos. Em suas folhas é possível encontrar grande quantidade de material mucilaginoso, cerca de 40% m/m do pó extraído com acetona. Destes, 50% m/m é composto pela

arabinogalactana, os outros 50% m/m constituídos por diversos polissacarídeos (SIERAKOWSKI et al., 1987, 1990).

Segundo Mercê et al. (2001), a arabinogalactana tem a capacidade de complexar íons metálicos solubilizados em água. Esta característica é interessante quando se propõe tratar efluentes industriais, já que muitos efluentes industriais apresentam contaminação com metais.

Outro fator que torna a *P. aculeata* Miller um interessante objeto de estudo, é justamente o fato de ser encontrada abundantemente em quase todo o território nacional, dessa forma, seu baixo custo a torna muito competitiva.

De maneira geral, o estudo da utilização da mucilagem como agente para tratamento de águas e efluentes industriais é bem justificado. O potencial que a *P. aculeata* Miller possui é considerável, especialmente quando um elevado teor, de material mucilaginoso é encontrado em suas folhas.

Levando-se em consideração os pontos discutidos, o presente trabalho propõe a realização de testes preliminares da utilização *P aculeta* Miller como fonte de biopolímero para utilização no tratamento de efluentes industriais, bem como, a determinação dos perfis de secagem da planta e processos de extração da mucilagem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Realização de testes preliminares da utilização da mucilagem de *Pereskia aculeata* Miller (Ora-pro-nóbis) como auxiliar de coagulação/floculação para o tratamento de efluente sintético.

2.2 Objetivos específicos

- Traçar modelos de secagem em duas temperaturas diferentes, 30 e 70°C, baseando-se nos dados de secagem das folhas;
- Ajustar modelos matemáticos na curva de secagem experimental, conforme modelos existentes;
- Extrair a mucilagem presente nas folhas da *P. aculeata* Miller fazendo uso de metodologia adaptada de Lima Júnior (2013);
- Aplicar a mucilagem no processo de coagulação/floculação de efluente lácteo sintético.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Química verde

Segundo a IUPAC, química verde é a invenção, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar a geração de substâncias nocivas (TUNDO et al., 2000). Este novo ramo de estudo é importante para a manutenção do equilíbrio ecológico do planeta.

O presente projeto de pesquisa se enquadra neste ramo. A utilização de produtos naturais para o tratamento de efluentes é uma proposta que visa a redução de poluentes retornados à natureza após o processo industrial.

3.2 Tratamento de efluentes

O estado de desenvolvimento atual da sociedade demanda uma elevada produção de bens de consumo. Os processos de produção por sua vez, acabam gerando uma grande quantidade de resíduos que são despejados na natureza. Esta carga poluidora afeta diretamente o ecossistema em questão.

É importante salientar que efluentes podem contaminar corpos d'água que posteriormente serão utilizados para consumo humano. A água potável deve apresentar determinadas características para consumo humano, como não conter microrganismos patogênicos e, quando se trata de substâncias orgânicas, estas devem estar presentes em concentrações não prejudiciais à saúde (DI BERNARDO, 1993).

Vários fatores influenciam na viabilidade de processos de tratamento de água. A escolha de um sistema de tratamento tem sempre como base a qualidade final desejada, bem como a simplicidade do processo e o custo final para implementação (MORAES et al., 2004). Estes fatores foram levados em consideração quanto à escolha do processo de coagulação/floculação, que é um processo relativamente simples e de baixo custo. O uso da *P. aculeata* Miller como objeto de estudo também é justificado.

Atualmente, um dos processos mais utilizados para tratamento de águas é a coagulação/floculação processo interessante devido à sua eficiência e baixo custo.

3.3 Coagulação/Floculação

O histórico dos processos de coagulação/floculação mostra que essa técnica começou a ser estudada em meados do século XX. Os dispositivos *jar-test* foram criados por volta de 1918 e até hoje são utilizados no estudo de coagulação/floculação em laboratório (LIMA, 2007).

O processo pode ser dividido em quatro etapas: agitação rápida, agitação lenta, decantação e coleta. Na etapa de agitação rápida são adicionados os agentes coagulantes e os controladores de pH. É nessa etapa que ocorre a coagulação. Segundo Lima (2007), a importância do processo é justificada, pois uma grande variedade de substâncias presentes na água é incapaz de decantar naturalmente, isto ocorre em função do tamanho das partículas dessas substâncias (partículas microscópicas) e da baixa velocidade de sedimentação. Esta incapacidade de aglomeração e sedimentação está relacionada à estabilidade coloidal das partículas causada pelas respectivas cargas eletrostáticas e pela sua capacidade de hidratação. O objetivo da coagulação é justamente forçar a sedimentação dessas partículas ao provocar uma desestabilidade na suspensão coloidal das mesmas. Segundo Di Bernardo (2005) esta desestabilização é resultado das interações colóide-solvente, coagulante-solvente e coagulante-colóide, mais especificamente as interações coagulante-colóide, que permite que ocorra a adsorção de espécies positivamente carregadas (Al, Fe, pómero catiônico) na superfície de um colóide negativamente carregado, neutralizando a carga das partículas no líquido. O processo de coagulação é regido por dois tipos de fenômenos: químicos e físicos.

Os fenômenos químicos que ocorrem durante a coagulação se resumem na formação de espécies hidrolisadas que posteriormente neutralizarão ou adsorverão impurezas suspensas. Os fenômenos físicos estão relacionados ao transporte dessas espécies hidrolisadas até as impurezas presentes na água. Isto ocorre na etapa de agitação rápida (LIMA, 2007).

Na etapa de agitação lenta, ocorre a floculação, etapa em que os coágulos formados na etapa anterior colidem entre si e formam partículas maiores.

Na etapa de decantação, essas partículas se depositam no fundo do recipiente, e, após sedimentadas, o sobrenadante é recolhido na etapa de coleta.

3.4 Agentes coagulantes

Agentes coagulantes, como mencionado anteriormente, são os responsáveis por promover a aglutinação de partículas suspensas na água provocando um desequilíbrio na suspensão coloidal das mesmas. Esta desestabilidade é causada por interações eletrostáticas, nas quais um agente coagulante neutraliza um coloide propiciando a aglutinação. Atualmente são utilizados diversos sais inorgânicos para a coagulação, como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. A coagulação por neutralização é o processo mais utilizado no Brasil atualmente (LIMA, 2007).

É interessante mencionar que estudos recentes apontam evidências de que a ingestão continuada de água contendo alumínio, mesmo em concentrações permitidas por lei, pode acarretar em danos para a saúde. Doenças neurológicas podem estar associadas à utilização do sulfato de alumínio no tratamento de água potável (ROSALINO, 2011). Este fato justifica a busca por maneiras de reduzir a sua utilização nos processos de purificação de água.

Lima (2007) ainda mostra que polímeros também podem ser utilizados como agentes coagulantes e confirma o que foi estudado por Moraes, et al. (2000), no trabalho sobre o uso da quitosana como agente coagulante. A maior diferença entre os dois trabalhos é justamente o fato da quitosana ser um polímero catiônico e segue o princípio de neutralização para a coagulação. O mesmo não pode ser dito para o polímero do quiabo. Em seu trabalho, Lima (2007) baseia-se nas observações de O'Melia (1972), que mostram que cadeias poliméricas atuam como sítios ativos para agregar partículas, formando ligações ou pontes entre as partículas em suspensão.

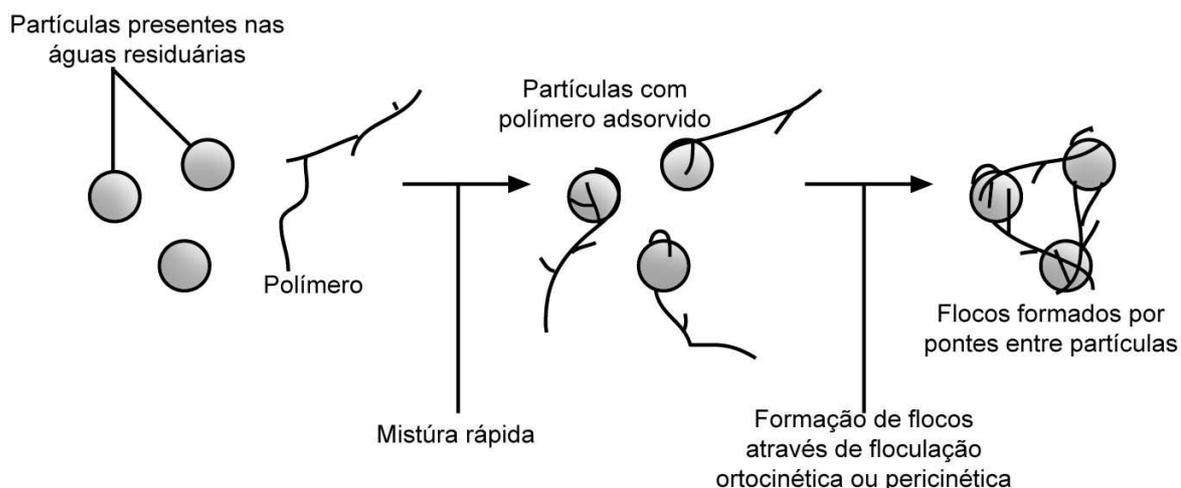


Figura 1 - Coagulação por ligação entre partículas através de polímeros

Fonte: adaptada de Metcalf e Eddy, 1999

As interações polímero-partícula não são exclusivamente eletrostáticas, mas também caracterizadas como interações dipolo-dipolo, ligação de hidrogênio, ou interações de Van der Waals (dipolo induzido). É válido ressaltar que, apesar da presença dessas interações, a utilização de polímeros no processo de coagulação é feita em conjunto com a neutralização de carga, isto porque essas interações são menos resistentes e podem ser rompidas devido a interferências de outras forças atuantes no meio (LIMA, 2007).

Normalmente, é utilizado um polímero catiônico de baixa densidade ou um sal inorgânico para promover a neutralização da carga, e um polímero natural de alta densidade para auxiliar no processo de flocculação (LIMA, 2007).

Uma fonte de biopolímeros comum na natureza são as mucilagens presentes em diversos tipos de plantas.

3.5 Mucilagem

Segundo Andrade (2013), a mucilagem presente nas plantas pode ser descrita como uma substância gomosa com grande afinidade à água. De uma perspectiva física, a mucilagem é um sistema coloidal líquido (hidrogel); de um ponto de vista químico, a mucilagem é constituída por água, açúcares, proteínas e ácidos orgânicos (SIERAKOWSKI et al. 1987).

O que chama atenção na mucilagem é o fato de ser constituída principalmente de heteropolissacarídeos, numa complexa e ramificada estrutura. Tais

polissacarídeos são comumente categorizados como biopolímeros, dos quais os monômeros são variados monossacarídeos (SIERAKOWSKI et al. 1990).

Um exemplo de planta mucilagínosa é a *P. aculeata* Miller, objeto de estudo deste trabalho.

3.6 *Pereskia aculeata* Miller

A *P. aculeata* Miller (ora-pro-nobis) é uma cactácea nativa de regiões com clima temperado a levemente áridos. Apresenta folhas largas e tronco lenhoso. É uma árvore de médio porte e contém flores, frutos e espinhos. Muitas vezes, é considerada como um cacto ancestral (MAUSETH 1999).



Figura 2 - *Pereskia Aculeata* Miller
Fonte: Própria autoria

Alguns trabalhos já foram realizados com a *P. aculeata* Miller, porém a grande maioria está relacionada com a sua utilização como alimento. Estudos revelam que as folhas e frutos possuem antioxidantes e são fontes de carotenoides provitamina A, mostrando que a planta é um aditivo interessante para a dieta humana (AGOSTIN-COSTA et al. 2014). Em seu estudo sobre o valor nutritivo da ora-pro-nobis, Almeida-Filho (1974) relata que o alto teor de proteína e a ausência de toxicidade fazem da planta um alimento importante.

A ora-pro-nobis é também extremamente rica em proteínas de alta qualidade. Estudos mostram que a massa seca das folhas é composta por cerca de 25% de

proteínas, das quais 85% conseguem ser absorvidas pelo organismo. As folhas também são ricas em aminoácidos essenciais, em especial a lisina, que está presente em grande quantidade quando comparada com outros alimentos (SIERAKOWSKI et al. 1987).

Além do alto valor proteico, suas folhas são ricas em material mucilaginoso. Sierakowski et al. (1987) mostram que um heteropolissacarídeo pode ser isolado a partir das folhas. Após realizada a hidrólise deste, foram identificados os monômeros constituintes. Os resultados mostram que a mucilagem contém arabinose, galactose, ramnose e ácido galacturônico.

Posteriormente, Sierakowski et al. (1990), relatam que o polissacarídeo isolado é altamente ramificado e constituído por unidades de arabinofuranose, arabinopirranose, galactopirranose, galactopiranosil, ácido urônico e ramnopirranose.

Este heteropolissacarídeo é classificado como sendo uma arabinogalactana, um complexo biopolímero. Este foi estudado por Mercê et al. (2001) quanto à sua capacidade de complexação com íons metálicos Co^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} e Ni^{2+} . Os resultados mostram a capacidade deste biopolímero de interagir com as espécies, indicando uma possível utilização na indústria farmacêutica.

Essas características da mucilagem da *P. aculeata* Miller, além da facilidade de cultivo, mostram que a espécie é uma candidata economicamente viável para a investigação de possíveis usos no tratamento de águas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostragem

A coleta de folhas frescas da *P. aculeata* Miller foi realizada no município de Pato Branco – PR durante o verão. As folhas foram colocadas em sacos plásticos e então armazenadas sob refrigeração a 4 °C até a data de uso.

4.2 Curvas de Secagem

Para a secagem, as folhas foram lavadas, secas e cortadas em pequenos pedaços de aproximadamente 1 cm². Após o preparo, as folhas foram secas em estufa com circulação de ar em duas temperaturas (30 e 70 °C).



Figura 3 - Preparação e secagem das folhas de *P. aculeata* Miller
Fonte: Própria autoria

A pesagem das folhas foi feita ao longo do processo de secagem, os dados transcritos para uma planilha e então foram traçados gráficos correspondentes ao comportamento de secagem expressos em razão de umidade (RU) x tempo. A Razão de umidade foi calculada de acordo com a equação (PARK, 2001)

$$RU = \frac{U_i - U_e}{U_0 - U_e} \quad (1)$$

Onde:

RU: razão de umidade

U_i : umidade instantânea

U_e : umidade no equilíbrio

U_0 : umidade inicial

Modelos existentes foram então ajustados às curvas obtidas, com o intuito de compreender o perfil de transferência de massa durante a secagem. O conhecimento do modelo matemático do perfil de secagem é interessante pois permite prever o comportamento durante o processo. Tal informação é necessária para o projeto de novos equipamentos e processos industriais (MOHAPATRA, 2004). Todo o processo foi realizado em duplicata.

4.3 Extração e purificação da mucilagem

O processo de extração foi realizado utilizando-se a metodologia adaptada de Lima Junior (2013). O procedimento pode ser separado nas seguintes etapas:

Extração: O material foi triturado e homogeneizado em água a 90 °C na proporção de 3:1 L/kg de material. O líquido obtido foi submetido ao processo de extração a quente sob agitação. A temperatura de extração foi mantida em torno de 80 °C por 30 minutos.

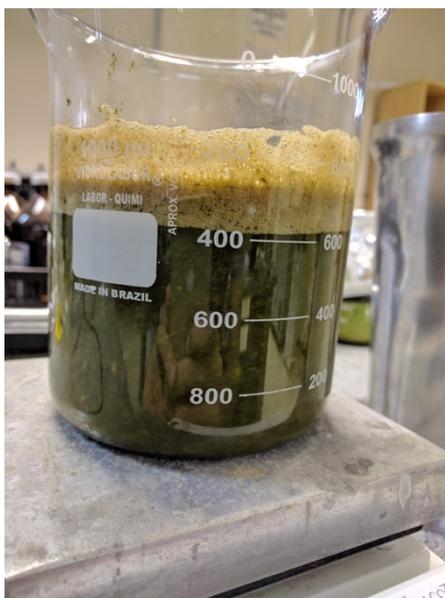


Figura 4 - Extração a quente (80 °C) do biopolímero da planta *P. aculeata* Miller
Fonte: Própria autoria

Filtração: terminado o processo de extração, o material foi submetido à filtração em organza para remover o material particulado.

Clarificação: o processo de clarificação se deu em coluna de carvão ativado com o intuito de remover a pigmentação. Como o objetivo do trabalho foi a obtenção de um material com baixo custo para tratamento de efluentes, o processo de clarificação foi realizado somente para verificar a viabilidade do mesmo.

Precipitação: O material foi precipitado utilizando-se etanol 95% na proporção de 3:1 de etanol:filtrado. O processo foi realizado com etanol resfriado a fim de evitar a utilização de várias lavagens. Somente uma lavagem foi realizada



Figura 5 - Precipitação com etanol do biopolímero da planta *P. aculeata* Miller
Fonte: Própria autoria

Separação e secagem: A separação da mucilagem foi realizada com auxílio de uma peneira uma vez que o material se aglomera na superfície do líquido. A solução remanescente foi recolhida e recuperada para reutilização do etanol para outros fins. A biomassa foi seca, triturada com auxílio de almofariz e pistilo e armazenada até a realização dos testes de coagulação/floculação.

4.4 Reconstituição do hidrogel

Os testes de coagulação/floculação foram realizados com a mucilagem já em forma de hidrogel. Para a reconstituição do material, 2,5 gramas do material seco foram hidratados em 100 mL de água destilada conforme processo adaptado de Conceição (2013). A solução foi deixada sob refrigeração a 4 °C por 24 horas até a completa hidratação da biomassa. O gel resultante apresentou característica

floculada, portanto o mesmo foi aquecido a 80 °C e homogeneizado utilizando-se um mixer. Após a homogeneização, o material foi diluído a 1:10 da concentração inicial, ou seja, 2,5. Ambas as soluções, 25 g.L⁻¹ e 2,5 g.L⁻¹, foram utilizadas para a geração de um gradiente de concentração a ser utilizado nos testes de coagulação/floculação.

4.5 Testes de coagulação/floculação

Os testes de coagulação/floculação foram realizados com auxílio de um equipamento jar-test (Modelo MILAN JT-203) de acordo com a metodologia de Couto Junior (2012). A quantidade de coagulante metálico sulfato de alumínio foi mantida constante em 0,001 gramas enquanto diferentes proporções de polímero natural foram utilizadas. As quantidades totais de biomassa utilizadas foram: 0,0075 g; 0,0300 g; 0,0412 g; 0,0525 g e 0,0750 g, além de um ensaio realizado sem a adição de mucilagem. Isso se deu com o intuito de avaliar a influência da concentração de mucilagem no processo de coagulação/floculação.



Figura 6 - Teste da utilização do biopolímero extraído da *P. aculeata* Miller no processo de coagulação/floculação para a avaliação no tratamento de efluente lácteo sintético (Jar-Test)
Fonte: Própria autoria

Os testes foram realizados utilizando-se efluente laticínio sintético preparado em laboratório conforme Viana Costa e Silva (2009). Sua composição foi adaptada de Healy et al. (2007): leite em pó integral (28.800 mg); (NH₂)₂CO (54.000 mg); NH₄Cl (11.666 mg); NaH₂PO₄.H₂O (18.000 mg); K₂CO₃ (12.000 mg); NaHCO₃ (31.200 mg); MgSO₄.7H₂O (12.000 mg); FeSO₄.7H₂O (0,480 mg); MnSO₄.H₂O (0,480 mg); CaCl₂.2H₂O (0,720 mg). As substâncias químicas foram dissolvidas em 20 L da água de torneira e resultaram a concentração de 3 g.L⁻¹ de demanda química de oxigênio (DQO).

O processo de coagulação/floculação foi realizado nos padrões do tratamento do tipo convencional. A agitação rápida foi feita em 120 rpm por 5 min, então a rotação foi reduzida para 50 rpm por 30 min. Por fim, a agitação foi interrompida e a decantação ocorreu por 30 min antes das alíquotas serem recolhidas para análise (COUTO JUNIOR 2007).

4.6 Testes para avaliação da eficiência do processo

Para determinação da eficiência do processo de coagulação/floculação, foram realizados ensaios de turbidez e de demanda química de oxigênio (DQO).

O teste de turbidez foi realizado utilizando-se turbidímetro (Tecnopon TB-1000), após 30 min de decantação. Os resultados foram utilizados para comparar a variação de turbidez entre o efluente não tratado e o tratado, sob as diferentes condições de coagulação/floculação.

O teste de demanda química de oxigênio foi realizado 48 horas após a coleta do material, de acordo com a metodologia Standard Methods 5220 D. Os resultados foram utilizados para verificar o impacto da utilização da mucilagem para o tratamento do efluente sintético.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Curvas de secagem

A secagem das folhas ocorreu em duas temperaturas distintas: 30 e 70 °C com o intuito de se verificar a interferência da temperatura na massa final obtida, bem como na velocidade de secagem.

As temperaturas foram escolhidas tendo em mente a presença de metabólitos secundários na planta. Neste caso, a temperatura de 30 °C não iria comprometer a massa final, já que a maioria dos metabólitos secundários são volatilizados acima desta temperatura (MARCHESI; FIGUEIRA, 2005).

Já a temperatura de 70 °C foi escolhida levando em conta o tempo de secagem. Esta é uma temperatura em que voláteis presentes na planta seriam removidos, portanto, serve de parâmetro para comparação com a curva de menor temperatura.

O Gráfico abaixo mostra as curvas de secagem referentes às temperaturas de 30 e 70 °C. Os resultados estão expressos em razão de umidade (RU) em função do tempo de secagem em minutos (PARK, 2001).

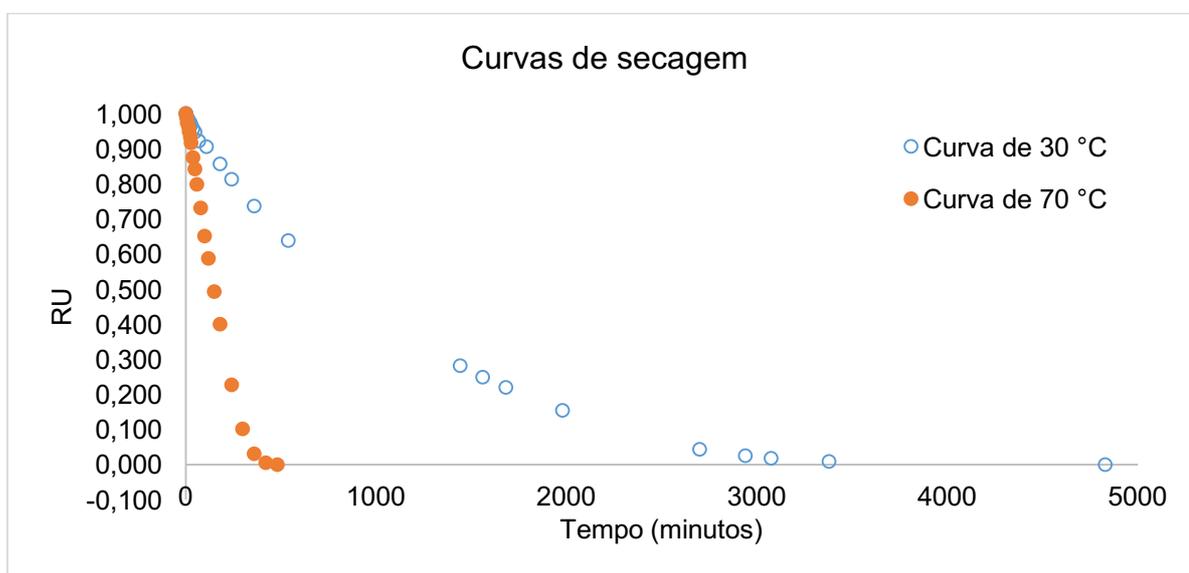


Figura 7 - Curvas de secagem experimentais das folhas de *P. aculeata* Miller realizadas em estufa nas temperaturas de 30 e 70 °C.

Fonte: Própria autoria

As curvas experimentais mostram que a temperatura influencia diretamente no tempo de secagem, 4830 minutos para temperatura de 30°C e 480 para a de 70°C

Os percentuais de perda de massa para ambos os casos foram muito parecidos: 90,53% para a secagem a 30°C, e 90,43% para a de 70 °C, portanto não é

possível verificar a interferência da temperatura na volatilização dos metabólitos secundários somente utilizando este processo de secagem.

Modelos de secagem conhecidos da literatura foram ajustados aos resultados experimentais. O modelo teórico mais utilizado é a segunda lei de difusão de Fick, com ajustes para a temperatura. Porém, os mecanismos de transferência de massa durante a secagem de alimentos são muito complexos e modelos semi-empíricos, como o de Lewis, Page e o de Wang e Sing são frequentemente utilizados devido à sua simplicidade. A modelagem das curvas de secagem é feita considerando que o mecanismo de transferência de massa é de natureza difusional, e os coeficientes dos modelos são válidos quando ajustados às condições de secagem em questão (MOHAPATRA, 2005; SIMAL, et al., 2004). Neste sentido, os 3 modelos semi-empíricos apresentados na Tabela 1 foram utilizados para ajustar as curvas de secagem.

Tabela 1 - Modelos semi-empíricos de RU dependentes do tempo de secagem

Modelo	Modelo	
Wang e Sing	$RU = 1 + at + bt^2$	(2)
Lewis	$RU = e^{-kt}$	(3)
Page	$RU = e^{-kt^n}$	(4)

RU – Razão de umidade (adimensional); k – Constante de secagem (min^{-1}); a, b, n - Coeficientes

Fonte: Mohapatra, 2005

Os ajustes foram realizados utilizando o software STATISTICA versão 10. Os resultados estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros determinados na modelagem matemática a partir dos modelos semi-empíricos de RU dependentes do tempo de secagem no experimento

Eq.	Coeficiente	30°C		70°C	
		Valor	Erro	Valor	Erro
(2)	Wang e Sing				
	a	$-5,84 \cdot 10^{-04}$	$1,50 \cdot 10^{-5}$	$-4,02 \cdot 10^{-03}$	$9,90 \cdot 10^{-5}$
	b	$8,07 \cdot 10^{-08}$	0	$3,89 \cdot 10^{-06}$	0
	R ²	0,991		0,995	
(3)	Lewis				
	k	$9,26 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$5,22 \cdot 10^{-03}$	$3,30 \cdot 10^{-4}$
	R ²	0,998		0,967	

(4)	Page	Valor	Erro	Valor	Erro
	k	$5,71 \cdot 10^{-04}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$5,43 \cdot 10^{-04}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$
	n	1,04	$2,25 \cdot 10^{-2}$	1,45	$3,82 \cdot 10^{-2}$
	R^2	0,998		0,997	

Os valores de R^2 mostram que todos os modelos escolhidos descrevem bem o comportamento dos dados experimentais.

As figuras 8 a 10 ilustram o perfil de secagem experimental em relação ao semi-empírico para cada modelo estudado:

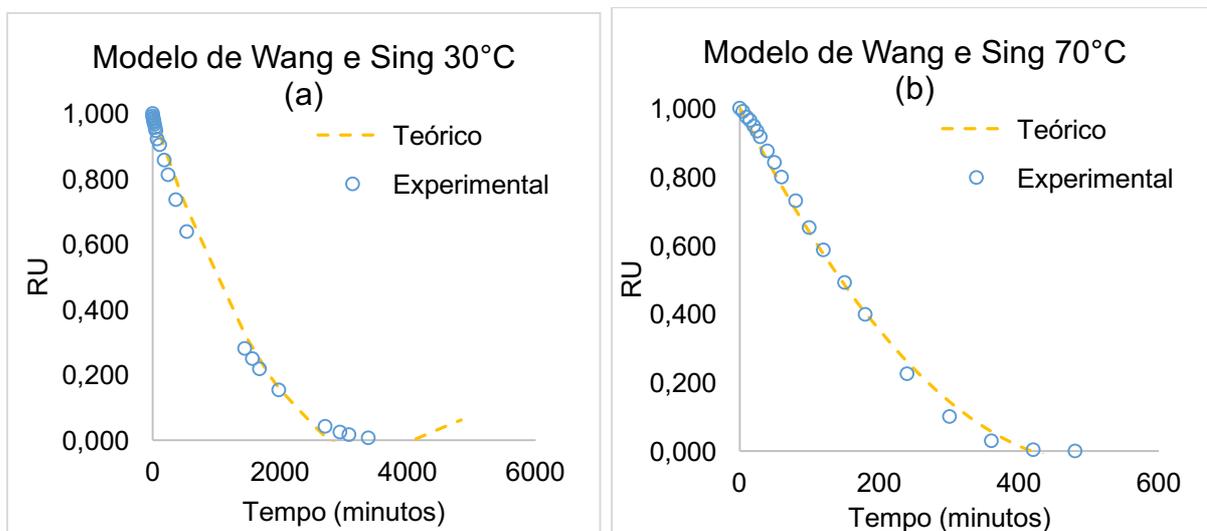


Figura 8 - Modelagem matemática das folhas de *P. aculeata* Miller com o modelo de Wang e Sing: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C
Fonte: Própria autoria

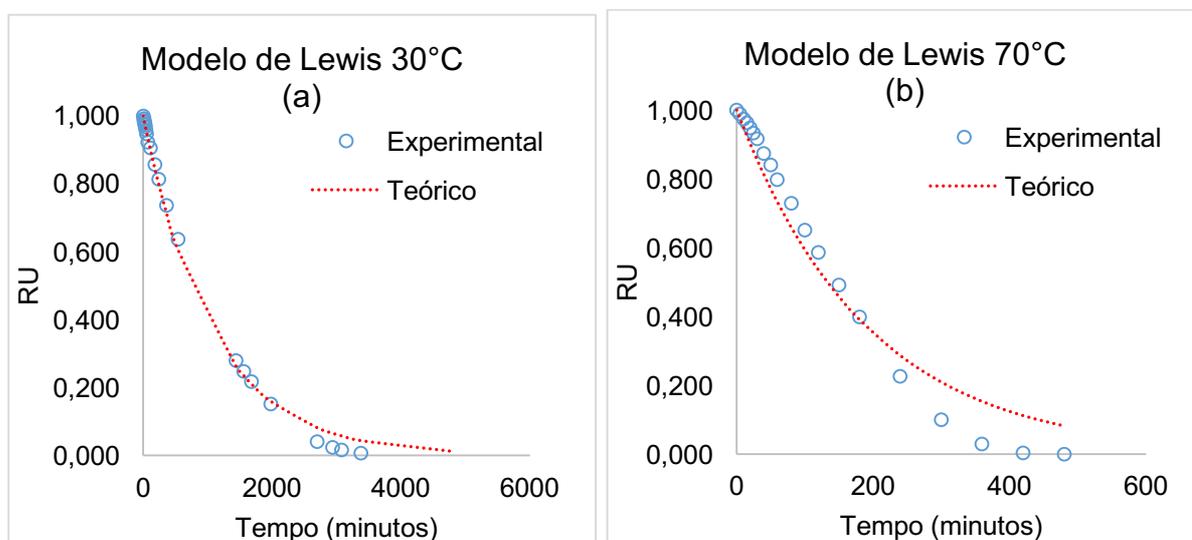


Figura 9 - Modelagem matemática das folhas de *P. aculeata* Miller com o modelo de Lewis: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C
Fonte: Própria autoria

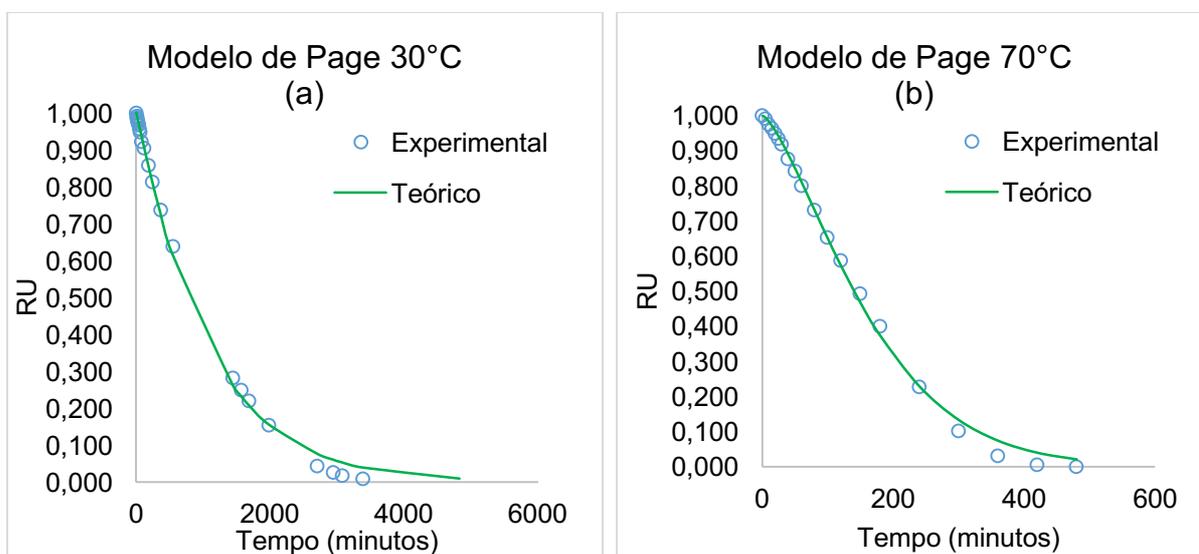


Figura 10 - Modelagem matemática das folhas de *P. aculeata* Miller com o modelo de Page: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C
Fonte: Própria autoria

Ao analisar os gráficos, observa-se que para a temperatura de 30°C, os modelos matemáticos de Page e Lewis representam melhor o comportamento de secagem com resultados muito semelhantes. Para esta temperatura, o modelo de Wang e Sing assume valores negativos de RU em torno de 2940 minutos, o que reduz a sua representatividade do processo.

Com relação aos gráficos para a temperatura de 70 °C, novamente percebe-se que Page se ajusta melhor aos dados experimentais. O modelo de Lewis, por outro lado, possui o menor valor de R^2 para essa temperatura, e seu desvio dos valores experimentais é visível no gráfico (Figura 2b). O modelo de Wang e Sing também assume valores negativos de RU nesse caso, porém, somente em torno de 420 minutos, e não comprometem sua representatividade, como expresso pelo valor de R^2 do modelo.

Segundo Simal, et al. (2004), o modelo de Lewis, também chamado de modelo exponencial, é conhecido por não simular com exatidão as curvas de secagem de vários produtos alimentícios. Normalmente o modelo exponencial subestima os valores no início da secagem e superestima no final, fato confirmado pelos valores obtidos. Para solucionar este problema, o modelo de Page é introduzido com um coeficiente modificando a variável tempo. Este modelo já foi utilizado para descrever as curvas de secagem de diversos alimentos de espessura fina.

Conclui-se então que o modelo de Page é o que melhor descreve o processo de secagem, e pode ser utilizado para prever os valores de RU nas condições de secagem utilizadas.

A figura 11 engloba os resultados da modelagem para ambas as temperaturas e ilustra as diferenças entres os modelos estudados.

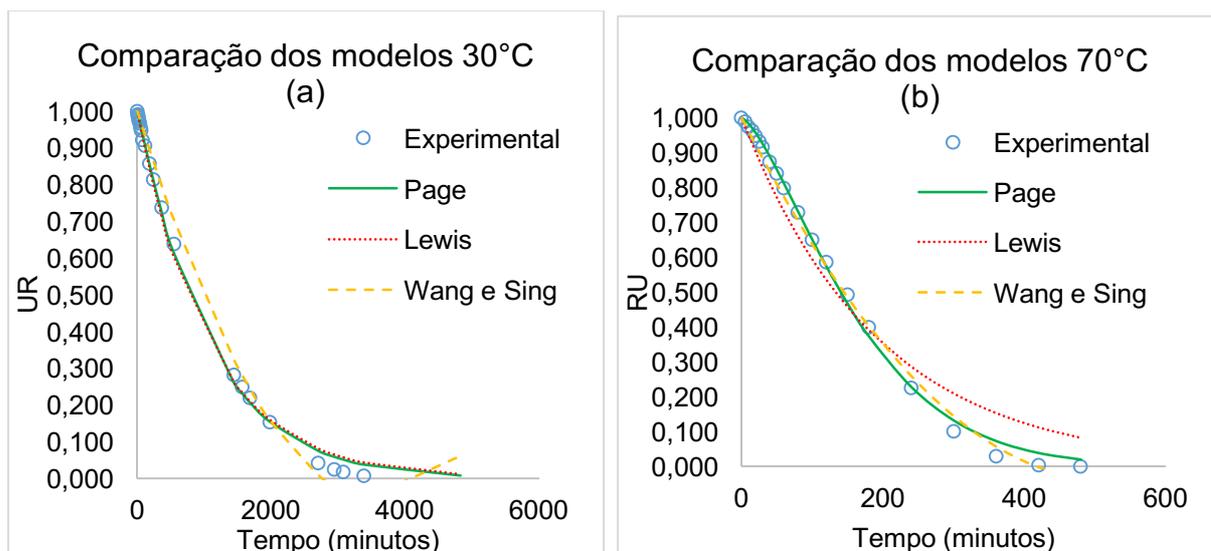


Figura 11 - Comparação dos modelos semi-empíricos das folhas de *P. aculeata* Miller: (a) Temperatura de 30 °C e (b) Temperatura de 70 °C
Fonte: Própria autoria

5.2 Extração e purificação da mucilagem

O processo de extração foi realizado conforme metodologia adaptada de Lima Junior (2013). Após a extração a quente e filtração, obteve-se uma solução de coloração marrom-esverdeado com forte odor da planta. A solução foi submetida à filtração em coluna de carvão ativado, que fora previamente preenchida com carvão Guaramex tipo GLD440B.

O carvão em questão foi previamente lavado em água fervente até que toda fuligem presente fosse removida. Em seguida, foi seco em estufa a 150 °C e após, resfriado à temperatura ambiente. O carvão foi utilizado para empacotar uma coluna em PVC de 60 por 7 cm.

O processo de filtração foi realizado utilizando-se uma bomba peristáltica (Tecnal modelo: TE-BP-01-MINI) no sentido contrário à gravidade. Tal processo evita a formação de caminhos preferenciais de escoamento do líquido, além de permitir

controlar a vazão de forma que a solução permaneça em contato com o adsorvente por mais tempo.

Após a filtração, não foi possível notar diferença na coloração do extrato. Acredita-se que as características texturiais do carvão utilizado não foram adequadas para promover a adsorção do pigmento presente na solução.

É importante mencionar que apesar de não ser possível notar diferença quanto à coloração, houve diferença quanto ao odor do extrato. Após o processo de filtração na coluna, não foi possível detectar odor na solução. Tal fato indica que ocorreu adsorção de certos compostos no adsorvente.

O líquido filtrado foi então utilizado para o processo de precipitação. Para tanto, adicionou-se etanol à solução na proporção de 3:1 etanol/solução.

Segundo Lima Junior (2007), o processo otimizado de precipitação requer repetidas lavagens com etanol 95%. Como o intuito do trabalho é a obtenção de um produto de baixo custo, somente uma lavagem foi realizada. A coleta do material ocorreu após 24 horas, com auxílio de uma peneira. O precipitado foi então seco em estufa com circulação de ar a 30 °C por 48 horas (HEIDEMANN et al, 2014).

Após seco e triturado, o material apresentou coloração cinza (Figura 12).



Figura 12 - Mucilagem da *P. aculeata* Miller seca e triturada
Fonte: Própria autoria

Antes de ser utilizada nos testes de coagulação e floculação, o material foi ressuspensionado em água.

A reconstituição se deu conforme citado na seção materiais e métodos deste trabalho.

5.3 Testes preliminares de coagulação/floculação

Os testes de coagulação/floculação foram conduzidos conforme metodologia adaptada de Couto Junior (2007). Os ensaios foram realizados com o intuito de se verificar a viabilidade da utilização da mucilagem como aditivo no processo de coagulação/floculação.

O teste foi executado variando-se a concentração de mucilagem enquanto se manteve constante a concentração de sulfato de alumínio.

Parâmetros utilizados: para 500,0 mL de efluente sintético, foram adicionados 3,0 mL de solução de mucilagem hidratada e 1,0 mL de solução de sulfato de alumínio $1,0 \text{ g.L}^{-1}$.

As diferentes concentrações de mucilagem foram obtidas da mistura de duas soluções, uma a $2,5 \text{ g.L}^{-1}$ e outra a 25 g.L^{-1} . Os ensaios foram realizados utilizando-se as seguintes proporções volume:volume das soluções diluída e concentrada: 3:0, 2:1, 1:1, 1:2 e 0:3. A massa total de mucilagem foi de 0,0075 g, 0,0300 g, 0,0412 g, 0,0525 g e 0,0750 g respectivamente. Seis ensaios foram realizados no total, sendo que o último continha somente 1,0 mL de sulfato de alumínio e 3,0 mL de água destilada.

A eficiência do processo foi medida utilizando-se um turbidímetro e análises de DQO, comparando-se os resultados obtidos para os efluentes tratados e não tratados.

Os resultados de turbidez mostram que houve diferença quanto à utilização da mucilagem como aditivo.

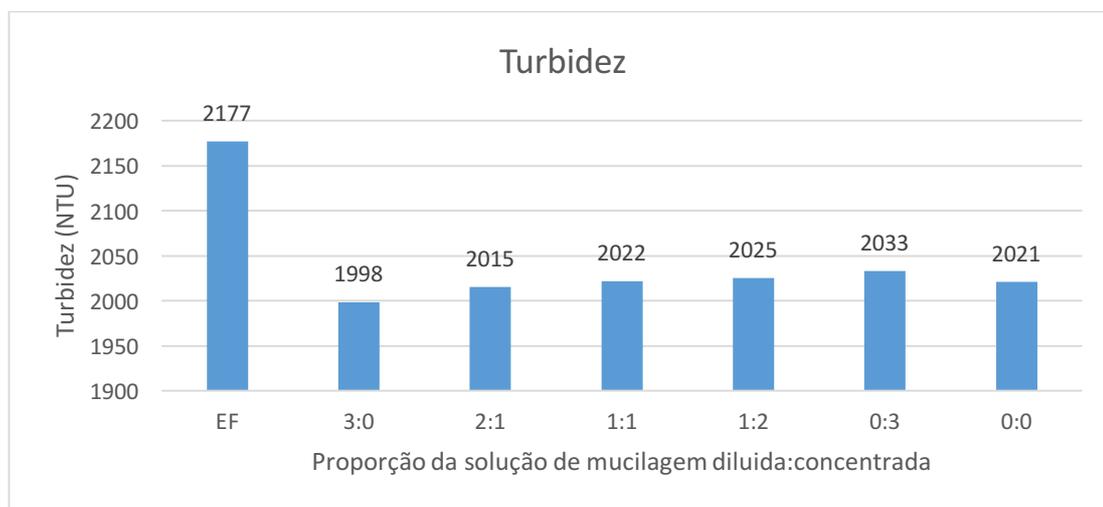


Figura 13 - Comparação dos resultados de turbidez pré e pós ensaio Jar-Test
Fonte: Própria autoria

A Figura 13 mostra que o ensaio 3:0 apresentou o menor valor de turbidez, mesmo quando comparado com o ensaio 0:0 que continha somente o sulfato de alumínio, totalizando um aumento de cerca de 14% na eficiência do processo. Isso comprova que a mucilagem pode influenciar a coagulação/floculação positivamente.

É possível notar também que, com o aumento no gradiente de concentração de mucilagem, houve um aumento na turbidez. Isto pode ser devido à maior concentração de solução utilizada. Acredita-se que o fato da solução concentrada não se diluir bem no efluente, causou a diminuição da eficiência. É interessante pensar em um novo método de reconstituição, dispersão, ou homogeneização da mucilagem para que se possa aumentar a concentração no efluente sem comprometer os resultados de turbidez.

Apesar dos resultados finais não terem sido satisfatórios, é importante ressaltar que o intuito dos testes realizados era de verificar a viabilidade da utilização do biopolímero como aditivo, ou seja, em comparação com o teste realizado sem a adição de mucilagem. A determinação das melhores condições de operação será objetivo de estudo para trabalhos futuros.

Os testes de DQO servem para avaliar o potencial poluidor do efluente quanto à carga de matéria orgânica. Os testes realizados (Figura 14) mostram que todos os ensaios apresentaram maior valor de DQO quando comparados com o efluente não tratado (EF).

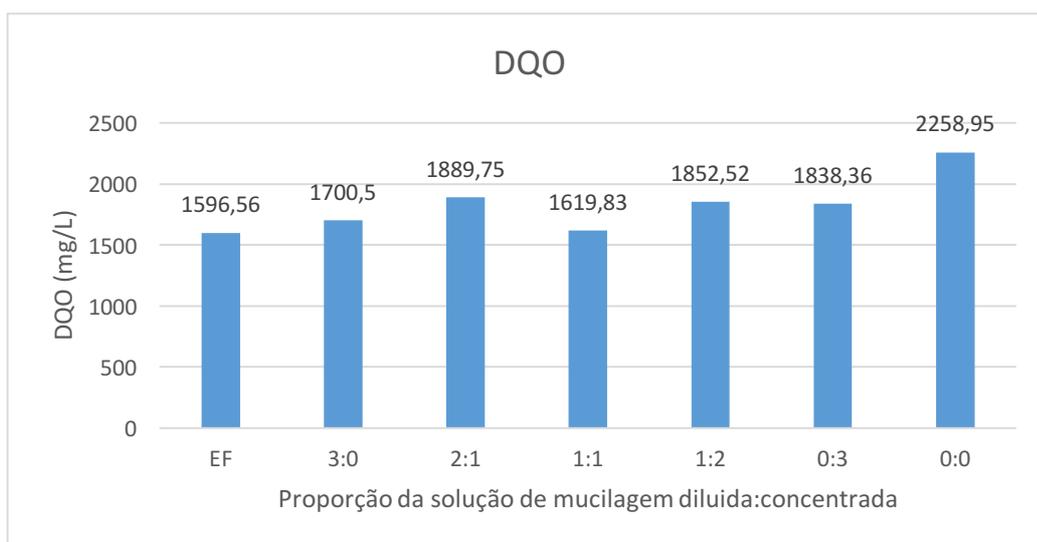


Figura 14 - Comparação dos resultados de DQO pré e pós ensaio Jar-Test
Fonte: Própria autoria

O fato dos testes de DQO terem sido realizados somente 48 horas após a realização do processo de coagulação/floculação, pode ter influenciado nos valores obtidos.

Alves (2005) mostra, em seu trabalho, o potencial de inibição de sais de sulfato na degradação biológica de compostos orgânicos e sugere que estes sejam removidos antes de qualquer tratamento biológico. Como o efluente sintetizado é láctico e possui certa carga de compostos biodegradáveis, é possível que parte da DQO tenha sido removida via processos de biodegradação no próprio efluente, fato este reforçado pela diferença nos valores de DQO obtidos experimentalmente quando comparados aos valores calculados durante a síntese do efluente, aproximadamente $3000,0 \text{ mg L}^{-1}$, conforme metodologia de Viana Costa e Silva (2009).

Ainda assim é válido notar que houve certa redução nos valores de DQO quando se compara os resultados dos ensaios que continham sulfato de alumínio. Tomando o ensaio realizado somente com o sal como parâmetro de comparação, pode-se notar que a utilização do biopolímero influenciou positivamente a redução da DQO.

Novos estudos são necessários para averiguar a eficácia da mucilagem na remoção da DQO, e é interessante considerar a utilização de um efluente com baixa relação DBO/DQO (baixa biodegradabilidade), a fim de se evitar a interferência da biodegradabilidade nos resultados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo preliminar da *P. aculeata* Miller mostrou que a mucilagem da cactácea é um objeto de estudo interessante. Os modelos propostos por Page, Lewis e Wang/Sing foram adequados aos perfis de secagem com sucesso, sendo que o modelo de Page melhor representou a cinética de secagem da planta. A equação encontrada pode ser utilizada para prever o comportamento de transferência de massa durante o processo em ambas temperaturas.

O processo de extração adaptado se mostrou eficaz. Foi possível a obtenção da mucilagem seca conforme esperado. Porém, o processo de clarificação não foi bem-sucedido devido à inadequação do carvão ativado utilizado. Acredita-se que o tamanho de poro do mesmo não tenha sido adequado para adsorver a pigmentação. O cheiro foi removido durante o processo de clarificação, o que pode ser considerado como uma evidência de que alguns compostos presentes no meio tenham sido adsorvidos.

A reconstituição da mucilagem resultou em um hidrogel particulado, e teve que ser homogeneizado mecanicamente antes de ser utilizado. Acredita-se que a característica particulada do hidrogel possa ter comprometido a eficiência do material no processo de coagulação/floculação, o que reforça a necessidade de estudo de novos meios de dispersão do material durante os testes.

Foi possível perceber uma diferença quanto a sua utilização no processo de coagulação/floculação do efluente láctico sintético, quando comparado com o ensaio realizado sem o biopolímero.

Os resultados não foram significativos, mas foram suficientes para perceber a influência do material na coagulação/floculação. Também foi possível notar a dificuldade de solubilização da mucilagem durante os ensaios *Jar-Test*, o que pode ter comprometido a eficiência do biopolímero. Novos métodos de dispersão do material no meio devem ser estudados para viabilizar seu uso.

Os resultados de DQO e turbidez indicam uma influência positiva. Porém, é importante frisar que os testes realizados servem somente de ponto de partida para estudos futuros. Faz-se necessário a realização de um planejamento experimental para determinar os parâmetros e condições melhoradas para utilização do biopolímero.

REFERÊNCIAS

- AGOSTIN-COSTA, T.S.; et al. Carotenoid composition of berries and leaves from a Cactaceae – *Pereskia* sp. **Journal of functional foods**, vol. 11, p. 178–184, 2014.
- ALVES, Larissa de Carvalho; CAMMAROTA, Magali Christe; FRANCA, Francisca Pessôa de. Inibição de lodo biológico anaeróbio por constituintes de efluente de laboratório de controle de poluição. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 236-242, Set. 2005.
- ANDRADE, Luan Alberto, **Caracterização da mucilagem do taro (*Colocasia esculenta*) quanto ao poder emulsificante**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2013.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21 ed. Washington, DC, 2005.
- COUTO JUNIOR, O. M. et al. Caracterização e Otimização do Tratamento de Efluente Têxtil por Coagulação-Floculação, Utilizando Coagulante Natural Tanino. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 14, n. 1, p. 79-90, Jan/Jun 2012
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v. 1. Rio de Janeiro: ABES, 1993.
- Di BERNARDO, L. e Di BERNARDO. A. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. v. 1. Rima Editora, 2005
- HEALY, M.G.; RODGERS, M.; MULQUEEN, J. Performance of a stratified sand filter in removal of chemical oxygen demand, total suspended solids and ammonia nitrogen from high-strength wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 83, n. 4, p. 409-415, 2007.
- LIMA, Guilherme Júlio de Abreu, **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia e Ciências, Rio de Janeiro, 2007.
- LIMA JÚNIOR, F. A., Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from *Pereskia aculeata* Miller. **Food Hydrocolloids** Vol. 33, n. 1, p. 38–47, agosto 2013.
- MOHAPATRA, Debandya; RAO, P. Srinivasa, A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, vol. 66, p. 513-518, 2005.
- MARCHESE, J. A.; FIGUEIRA, G. M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, vol. 7, n. 3, p. 86-96, Botucatu, 2005.
- MERCÊ, et al. Complexes of arabinogalactan of *Pereskia aculeata* and Co^{2+} Cu^{2+} Mn^{2+} and Ni^{2+} . **Elsevier - Bioresources Technology**. Vol. 76, p. 29-37, 2001.

MAUSETH, J. **Anatomical adaptations to xeric conditions in *Maihuenia (Cactaceae)*, a relictual, leaf-bearing cactus.** *Journal of Plant Research*, vol. 112, p. 307–315, 1999.

MORAES, L. C. K.; et al., Estudo do processo de coagulação/floculação seguido de filtração direta para a produção de água potável. In: ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Florianópolis - SC, 2004.

MORAES, L. C. K.; et al., Utilização do polímero natural quitosana no processo de coagulação/floculação/ultrafiltração para a produção de água potável. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000.

O'MELIA, C; ELIMELECH, M. Kinetics of Deposition of Colloidal Particles in Porous Media, **Environmental Science Technology**, v. 24, n. 10. 1990.

PARK, Kil Jin et. al., ESTUDO DE SECAGEM DE PÊRA BARTLETT (*Pyrus sp.*) EM FATIAS, **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, vol. 21, n. 3, p. 288-292, Campinas – SP, 2001

Pure and Applied Chemistry, 2000, Vol. 72, n. 7, p. 1207–1228.

ROSALINO, Melanie Roselyne Rodrigues, **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano.** 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SIERAKOWSKI, M; et al. Location of O-acetyl groups in the heteropolysaccharide of the cactus *Pereskia aculeata*. **Elsevier Science Publishers B.V. Carbohydrate Research**, vol. 201, p.277-284, Amsterdam, 1990.

SIERAKOWSKI, M; et al. Some structural features of a heteropolysaccharide from the leaves of the cactus *pereskia aculeata*. **Phytochemistry**. Vol. 26, n. 6. p. 1709-1713, Reino Unido, 1987.

SIMAL, S., et al. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit, **Journal of Food Engineering**, Volume 66, Issue 3, 2005

TUNDO, P; et al. Synthetic pathways and processes in green chemistry. Introductory overview **Pure Appl. Chem.**, Vol. 72, No. 7, pp. 1207-1228, 2000.

VIANA COSTA E SILVA, L.; et al. Bioremoção de matéria orgânica e nutrientes por meio de batelada repetida com *Aspergillus niger* AN400 de Efluente Sintético de Laticínio. In IV CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE E NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. Belém – PA, 2009.