

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

ANA PAULA POLZIN DE MELO

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA GALVÂNICA
UTILIZANDO A PLANTA *Pereskia aculeata* MILLER NO PROCESSO
DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO, 2016

ANA PAULA POLZIN DE MELO

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA GALVÂNICA
UTILIZANDO A PLANTA *Pereskia aculeata* MILLER NO PROCESSO
DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para a conclusão do Curso Bacharelado em Química Industrial – habilitação bacharelado da UTFPR – Campus Pato Branco.

Professora Orientadora: Dr^a. Raquel Dalla Costa da Rocha

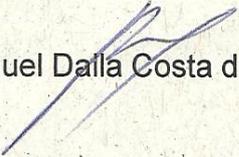
Professora Co-orientadora: Dr^a. Sirlei Dias Teixeira

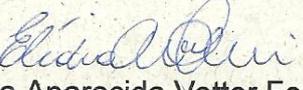
Pato Branco, 2016

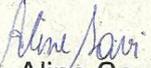
TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado **Tratamento de efluente de indústria galvânica utilizando a planta Pereskia Aculeata miller no processo de coagulação/Floculação**, foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora N° 16.2.2016 de 2016.

Fizeram parte da banca os professores.


Raquel Dalla Costa da Rocha


Elídia Aparecida Vetter Ferri


Aline Savi

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me ajudar na realização desse sonho e por sempre iluminar meu caminho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, pela oportunidade da realização do Curso Superior de Bacharelado em Química Industrial, e por permitir a realização deste trabalho nos laboratórios.

Agradeço a todos os meus Professores que tive no decorrer de minha graduação, em especial os Professores de química, pela dedicação e ensinamentos, pois sem esses mestres não seria possível minha formação.

A minha orientadora Raquel e co-orientadora Sirlei pela ajuda, dedicação e orientação no desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Leandro pelas palavras de estímulos e por me encorajar na reta final desse trabalho e a professora Elídia por ter aceitado ser minha banca com tanto carinho.

A toda minha família, em especial meus pais Luiz Carlos e Roseli, minha irmã Carla e minha prima Rosana pelo apoio prestado durante essa jornada, pelas palavras de conforto e por acreditarem sempre em mim.

Ao meu marido Juliano por sempre estar ao meu lado durante essa jornada, me compreendendo nos momentos difíceis, dizendo palavras de conforto e acima de tudo pelo seu amor e carinho.

Ao meu filhinho Enzo, que sempre me dava alegria e forças para seguir, mesmo nos dias mais cansativos e difíceis.

Ao laboratório LAQUA principalmente a Roberta, por disponibilizar do seu tempo me orientando, me auxiliando e por toda paciência e carinho no decorrer das análises para elaboração desse trabalho.

A Aline pela ajuda prestada na finalização desse trabalho e por ter aceitado em ser minha banca e aos meus amigos por estarem sempre presentes nos momentos felizes, e também dando força nos momentos difíceis.

Ao laboratório Central de Análises e ao Diego por realizar as análises de minhas amostras.

Meus sinceros agradecimentos a Tayla por sempre ouvir meus desabaços e que agora mesmo longe, me ajudou com palavras de conforto, carinho e estímulos para elaboração desse trabalho.

A todas as pessoas que de alguma forma auxiliaram na minha formação profissional, desejo a todos o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

MELO, Ana Paula Polzin de . **Tratamento de efluente de indústria galvânica utilizando a planta *Pereskia aculeata* Miller no processo de coagulação/floculação.** 2016. 59f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

As indústrias de galvanoplastia na fabricação de seus produtos geram uma grande quantidade de efluente durante os banhos, aos quais as peças são submetidas. Esses efluentes são danosos, uma vez que os mesmos apresentam em sua composição metais pesados como o cromo. Devido à importância de um tratamento adequado para a remoção do cromo desse efluente para descarte, o presente trabalho teve como objetivo o uso da mucilagem extraída das folhas frescas da *Pereskia aculeata* Miller como um biopolímero para remoção do cromo. Primeiramente foi feita a caracterização do efluente por meio de série de sólidos, DQO, DBO, turbidez, absorção atômica e pH. A mucilagem da planta também foi caracterizada com análise de umidade, cinzas e análise térmica. Logo após as caracterizações, um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foi efetuado para a realização dos ensaios no Jar Test. As variáveis independentes utilizadas nos ensaios foram, a quantidade da mucilagem (QM), pH inicial de tratamento (pH) e a concentração de sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$. Os parâmetros constantes usados foram, tempo de mistura rápida, tempo de mistura lenta, velocidade de mistura rápida, velocidade de mistura lenta. Para o desempenho dos ensaios, as amostras foram submetidas à análise no equipamento de absorção atômica, e, por meio do tratamento estatísticos dos dados, o ensaio 4 mostrou ser mais eficaz. Porém o biopolímero não foi eficiente para remover o cromo do efluente.

Palavras chave: *Ora-pro-nóbis*, biopolímero, galvanoplastia, absorção atômica, análise térmica, delineamento composto central rotacional e Cromo.

ABSTRACT

MELO, Ana Paula Polzin de. Galvanic production effluent treatment plant using the *Pereskia aculeata* Miller in the process of coagulation / flocculation. 2016. 59f. Completion of course work (Bachelor of Chemistry), Technological University Federal of Parana. Pato Branco, 2016.

The electroplating industries in the manufacture of their products generate a large amount of effluent during the baths, to which the pieces are submitted. These effluents are harmful, since they present in their composition heavy metals like chromium. Due to the importance of a suitable treatment for the removal of chromium from this effluent for disposal, the present work aimed to use the mucilage extracted from the fresh leaves of *Pereskia aculeata* Miller as a biopolymer for the removal of chromium. First, the characterization of the effluent was carried out through a series of solids, COD, BOD, turbidity, atomic absorption and pH. Mucilage of the plant was also characterized with moisture, ash and thermal analysis. Shortly after the characterizations, a Rotational Central Composite Design (DCCR) was performed to carry out the tests in the Jar Test. The independent variables used in the tests were the amount of mucilage (QM), initial treatment pH (pH) and aluminum sulphate concentration $[Al_2(SO_4)_3]$. The constant parameters used were: fast mixing time, slow mixing time, fast mixing speed, slow mixing speed. For the performance of the assays, the samples were submitted to analysis on the atomic absorption equipment, and, through the statistical treatment of the data, the assay 4 was shown to be more efficient. However, the biopolymer was not efficient to remove the chromium from the effluent.

Key-words: Ora-pro-nóbis, biopolymer, electroplating, atomic absorption, thermal analysis, design central composite, chrome.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do Processo da Indústria de Galvanização	20
Figura 2 - (A) Ora-pro-nóbis, com botões florais fechados; (B) flores e(C)	27
Figura 3 - Fluxograma do Processo de Obtenção da Mucilagem.....	35
Figura 4 - Análise termogravimétrica da Pereskia aculeata Miller calcinado a 600 °C em atmosfera de nitrogênio.....	44
Figura 5 - Diagrama de Pareto para o processo de remoção de cromo do efluente.	49
Figura 6 - Gráficos de superfície de resposta do pH e $[Al_2(SO_4)_2]$ para o método de remoção de cromo do efluente.....	51
Figura 7 - Gráficos de superfície de resposta do QM e pH para o método de remoção de cromo do efluente.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis estudados para as variáveis independentes no jar test.....	37
Tabela 2 – Matriz do delineamento experimental para o jar test codificado.....	38
Tabela 3 – Parâmetros constantes utilizados nos ensaios do jar test.....	39
Tabela 4 – Valores obtidos na análise de DBO.....	41
Tabela 5 – Resultados das análises de série de sólidos.....	42
Tabela 6 – Resultados obtidos nas análises de umidade e cinza da mucilagem e da planta.....	46
Tabela 7 - Resultados obtidos com análise de absorção atômica para remoção do cromo do efluente.....	47
Tabela 8 - Valores dos efeitos principais e da interação estimados para a remoção de cromo do efluente.....	48
Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) para o método de redução de cromo no efluente.....	50

LISTA DE SIGLAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DTA	Análise Térmica Diferencial
QM	Quantidade da Mucilagem
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica
OD	Oxigênio Dissolvido
OPN	<i>Ora-pro-nóbis</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
PR	Paraná
TG	Termogravimétrica
TML	Tempo de Mistura Lenta
TMR	Tempo de Mistura Rápida
VML	Velocidade de Mistura Lenta
VMR	Velocidade de Mistura Rápida

LISTA DE ACRÔNIMOS

CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IAP PR	Instituto Ambiental do Paraná
LAQUA	Laboratório de Qualidade Agroindustrial
NBR	Norma Brasileira
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

Al(OH)_3	Hidróxido de Alumínio
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de Alumínio
BaCrO_4	Cromato de Bário
CaCrO_4	Cromatita
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
CrO_4	Ânion Cromato
Cr_2O_3	Óxido de Cromo III
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Dicromato
Cr(OH)_3	Hidróxido de Cromo III
FeCl_3	Cloreto Férrico
Fe(OH)_3	Hidróxido de Ferro
H_2	Gás Hidrogênio
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato Férrico
Hg_2SO_4	Sulfato de Mercúrio
H_2O	Água
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Dicromato de Potássio
KH_2PO_4	Fosfato monopotássico
NH_4Cl	Cloreto de Amônio
Ni	Níquel
OH^-	Íon Hidroxila
Pb	Chumbo
PbCrO_4	Cromato de Chumbo
Zn	Zinco
$^\circ\text{C}$	Graus Celsius
%	Porcentagem
cm	Centímetro
g	Gramas
g L^{-1}	Gramas por Litro
L	Litro

mg	Miligramas
mg L ⁻¹	Miligrama por litro
mL	Mililitros
mmol L ⁻¹	Milimol por Litro
nm	Nanômetro
rpm	Rotação por Minuto
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Indústria de galvanoplastia	19
3.2 Efluentes de galvanoplastia.....	20
3.2.1 Efluentes líquidos	21
3.2.1.1 desengraxe.....	21
3.2.1.2 decapagem.....	21
3.2.1.3 o processo de eletrodeposição.....	22
3.2.2 Cromo.....	22
3.2.3 Tipos existentes de tratamento	23
3.3 Coagulação e floculação	24
3.3.1 Sulfato de alumínio.....	25
3.3.2 Biopolímeros.....	26
3.4 <i>Pereskia aculeata</i> MILLER	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Coleta das amostras de efluente	28
4.1.1 Caracterização da amostra do efluente	28
4.1.1.1 demanda química de oxigênio (DQO)	28
4.1.1.2 demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	29
4.1.1.3 pH.....	30
4.1.1.4 sólidos sedimentáveis	31
4.1.1.5 sólidos totais.....	31
4.1.1.6 sólidos dissolvidos totais	31
4.1.1.7 sólidos suspensos totais.....	32
4.1.1.8 sólidos dissolvidos fixos	33
4.1.1.9 sólidos dissolvidos voláteis.....	33
4.1.1.10 determinação do cromo.....	34
4.1.1.11 turbidez.....	34
4.2 Coleta das folhas da planta <i>Pereskia aculeata</i> MILLER.....	34
4.3 Extração da mucilagem <i>Pereskia aculeata</i> MILLER.....	34

4.3.1 Caracterização da mucilagem	36
4.3.1.1 análise térmica	36
4.3.1.2 umidade.....	36
4.3.1.3 resíduos minerais totais.....	37
4.4 Aplicação da mucilagem da <i>Pereskia aculeata</i> MILLER	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1 Caracterização do efluente.....	40
5.1.1 Demanda química de oxigênio DQO	40
5.1.2 Demanda biológica de oxigênio DBO	41
5.1.3 pH.....	41
5.1.4 Série de sólidos	42
5.1.5 Turbidez	43
5.2 Caracterização da mucilagem	43
5.2.1 Análise térmica.....	43
5.2.2 Umidade e resíduo mineral total.....	45
5.3 Aplicação da mucilagem da <i>Pereskia aculeata</i> Miller.....	46
5.3.1 Análise de absorção atômica.....	46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
7 SUGESTÕES	55
8 REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Um dos impasses, decorrentes das indústrias de galvanoplastia é a poluição dos sistemas aquáticos (VAZ, 2009), pois é empregado no processo de galvanização soluções aquosas contendo metais pesados – zinco (Zn), cromo (Cr), cádmio (Cd), entre outros. Sendo assim, os efluentes líquidos gerados pela indústria galvânica, são compostos com altos níveis de metais pesados (COSTA, 1998; TCHOBANOGLIOUS et al., 1993 citado por PALÁCIO et al., 2014), materiais dissolvidos e suspensos, acarretando em valores elevados na cor e turbidez da água (COLARES et al.; 2010; VAZ, 2009).

O elevado consumo de água utilizada na fabricação das peças, a diversidade de banhos e de soluções metálicas empregadas no processo, geram uma grande quantidade de efluente, os quais podem ocasionar sérios problemas nos ecossistemas aquáticos e ao ser humano, devido a sua composição (COLARES et al., 2010).

Para estes efluentes, diversos são os tratamentos convencionais – precipitação química (seguida de coagulação e floculação), troca iônica, processos eletroquímicos, etc (VAZ, 2009), sendo a precipitação química um processo essencial para tratamento de efluentes que contêm metais pesados (COSTA, 1998; VEIT, 2006 citado por VAZ, 2009).

Diversos são os coagulantes químicos utilizados no processo de coagulação, como por exemplo, cloreto férrico (FeCl_3), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), entre outros (PAVANELLI, 2001), sendo esse último o mais empregado, em virtude de sua capacidade de formação de flocos, do simples manuseio e do baixo custo econômico. Porém, este coagulante gera lodo não biodegradável, apresentando alta concentração de alumínio, tornando-o impróprio para o despejo no meio ambiente (SERPELLONI et al., 2010).

Com base neste impasse, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas, buscando a aplicação de plantas mucilaginosas, as quais possuem em sua mucilagem polímeros naturais, que apresentam menor risco ao meio ambiente e a saúde pública, além do baixo custo, em substituição dos polímeros químicos, os quais são mais agressivos ao meio ambiente.

Diversas pesquisas comprovam a eficácia do tratamento de água e efluentes com plantas mucilaginosas, diminuindo o uso dos polímeros sintéticos, como o caso do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e das sementes da *Moringa oleífera* (NOGUEIRA et al., 2010).

Com o intuito de minimizar a poluição e agregar valor econômico à planta, este trabalho tem como finalidade o uso da *Pereskia aculeata* Miller no processo de coagulação/floculação para o tratamento de efluente de galvanoplastia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a possibilidade de utilização do biopolímero obtido da planta *Pereskia aculeata* Miller para o tratamento de efluentes gerados em indústria de galvanoplastia.

2.2 Objetivos específicos

Para a realização da pesquisa, se faz necessário seguir metas, como:

- Caracterizar a mucilagem obtida a partir das folhas frescas da planta *Pereskia aculeata* Miller mediante análises de umidade, cinzas e análise térmica;
- Caracterizar o efluente por absorção atômica, séries de sólidos, pH, DQO, DBO e turbidez;
- Avaliar a planta mucilagínosa no processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente industrial com o intuito de eliminar ou diminuir o uso de sulfato de alumínio;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Indústria de galvanoplastia

A finalidade da galvanoplastia é o aumento da dureza e uma maior resistência à corrosão, além de tornar os produtos com aparência mais atrativa através da deposição de uma fina camada metálica sobre a superfície (NOGUEIRA; PASQUALETTO, 2008). Segundo VAZ (2009), entre os principais motivos para o emprego da eletrodeposição galvânica sobre peças metálicas, destacam-se a mudança do coeficiente de atrito e as propriedades elétricas superficiais, promover resistência ao desgaste e a incidência de manchas, prevenir a carbonização, alterar o comportamento superficial com relação aos agentes pigmentantes, entre outros.

O processo de galvanização consiste em uma série de banhos, realizados em três etapas - pré-tratamento, revestimento e a passivação azul brilhante (AMARAL, 2001 citado por NOGUEIRA; PASQUALETTO, 2008). Dentre as etapas, a peça sofre um processo de lavagem, gerando efluentes líquidos, emissões gasosas e resíduos sólidos que necessitam de tratamento específico (VAZ, 2009). Esses resíduos sólidos são classificados como os mais prejudiciais entre as mais diversas indústrias, por conterem metais pesados, dentre eles Zn, Pb, entre outros (NOGUEIRA; PASQUALETTO, 2008). Estes processos de galvanização podem resultar em graves problemas de poluição ao meio ambiente e ao ser humano, pois acima de determinadas concentrações, esses metais podem ser extremamente tóxicos (VAZ et al, 2010).

Os efluentes produzidos pelos processos de galvanoplastia consistem em descartes periódicos e contínuos, obtidos por intermédio dos mais variados banhos aos quais as peças metálicas são submetidas. Essas peças devem estar limpas, sem haver nenhum tipo de desengraxante e/ou decapante. Estes efluentes contêm água e reativos, que mesmo após o tratamento, apresentam resíduos com altos teores de metais e outros componentes tóxicos (VAZ, 2009).

Na Figura 1 é possível observar o fluxograma dos processos ocorridos em indústria galvânica.

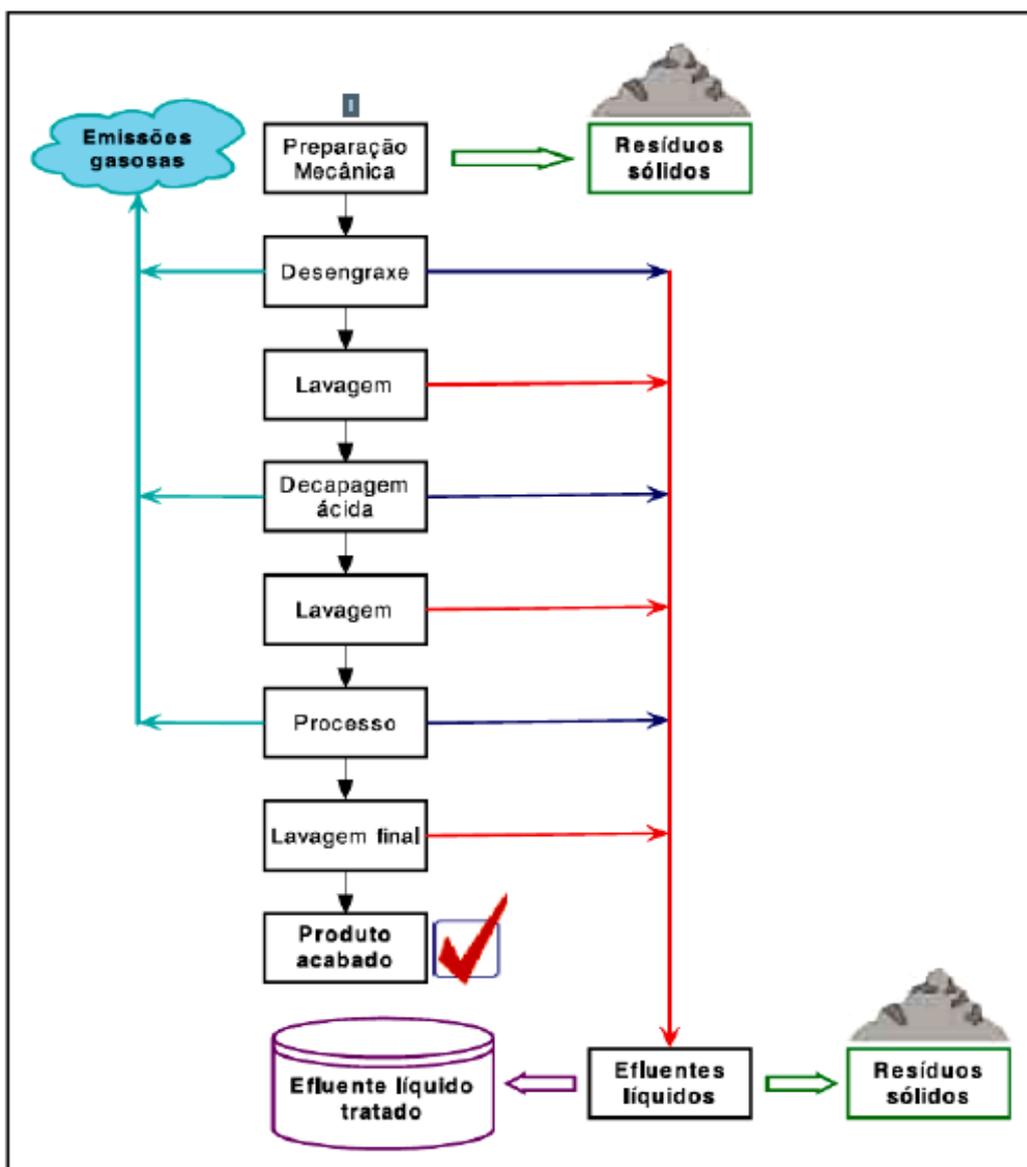


Figura 1 - Fluxograma do Processo da Indústria de Galvanização.
Fonte: Vaz (2009).

Com base no tipo do revestimento metálico ao qual a peça é submetida, são gerados efluentes líquidos com diferentes características, decorridos das águas de lavagem (VAZ, 2009).

3.2 Efluentes de galvanoplastia

O processo de galvanização destaca-se pelo excessivo gasto de água, proveniente da limpeza das peças brutas, alto consumo de energia, bem como pela geração de efluentes líquidos contendo metais pesados como o cromo (VAZ, 2009).

3.2.1 Efluentes líquidos

Os efluentes líquidos são decorrentes do descarte de banhos químicos e águas de lavagem das peças submetidas à galvanização (NOGUEIRA; PASQUALETTO, 2008). Os efluentes líquidos provêm dos processos de desengraxe, decapagem, processo de eletrodeposição (VAZ, 2009).

3.2.1.1 *desengraxe*

Etapa preliminar e obrigatória para a deposição, visando eliminar óleos e graxas que se encontram aderidos as peças metálicas. Esses óleos e graxas resultam de óleos empregados para proteção durante o armazenamento e o transporte, de pastas de polimento, de óleos usados nas operações de corte, entre outros (VAZ, 2009).

O desengraxe pode ocorrer por processo de imersão (também denominado químico), que remove óleos e graxas, ou por processo eletrolítico, o qual permite maior limpeza da peça para deposição metálica de boa aderência, e é feito após o processo de imersão. No decorrer desta etapa, a redução das moléculas de água forma o gás hidrogênio e o íon hidroxila, conforme descrita na Reação 1, potencializando o poder de limpeza da solução eletrolítica (SILVA, 2010).



3.2.1.2 *decapagem*

A decapagem é responsável pela remoção de óxidos, hidróxidos ou outros tipos de impurezas sólidas (VAZ, 2009). Esse processo pode ser por solução alcalina eletrolítica que elimina os resíduos do esmerilhamento nas peças, ou por, decapagem ácida usada em peças que contêm óxidos formados em pontos de solda ou pela oxidação da peça metálica com oxigênio do ar atmosférico (SILVA, 2010).

3.2.1.3 o processo de eletrodeposição

No processo de eletrodeposição a qualidade do acabamento superficial é proporcionada através dos banhos de nivelamento (micro penetração) e do abrillhantamento. A adição de niveladores aos banhos eletrolíticos permite diminuir ou suprimir as micros irregularidades superficiais presentes no substrato, e o acréscimo de abrillhantadores permite a obtenção de depósitos brilhantes (VAZ, 2009).

Dentre os diversos processos de galvanização disponíveis (zincagem, cobreagem, estanhagem, niquelação, cromagem, etc), cada um segue para uma limpeza mecânica e química da peça seguida de diversos banhos eletrolíticos específicos. Assim cada forma de acabamento metálico, gera diferentes efluentes líquidos, em virtude das águas empregadas nas etapas de lavagem (Veit, 2006 citado por VAZ, 2009).

3.2.2 Cromo

A estabilidade do cromo depende do seu estado de oxidação (ARAÚJO, 2006), ele apresenta estados de oxidação de -2 até +6. Sua oxidação vai depender de algumas condições como potenciais redox, pH entre outros (KAWA, 2014).

O tipo mais comum do cromo na natureza é na forma de Cr (III), assim ele está no estado de maior estabilidade e é responsável por possuir maiores quantidades de compostos (KAWA, 2014). Ele se apresenta na forma de hidróxido de cromo III $[\text{Cr}(\text{OH})_3]$ ou óxido de cromo III, também conhecido como “cromo verde” (Cr_2O_3). Quando se encontra cromo na forma Cr (VI) geralmente é decorrente de atividades de indústrias, como as de galvanização (ARAÚJO, 2006), curtume e de metalúrgicas (KAWA, 2014).

O cromo trivalente é insolúvel e menos tóxico quando comparado ao cromo hexavalente, este quando se apresenta em forma solúvel, dicromato ou cromato, oferece risco ao meio ambiente, e seus resíduos galvânicos lançados em aterros, são normalmente reduzidos por matéria orgânica para a forma trivalente como hidróxido, ocorrendo em pH neutro (AMBIENTEBRASIL, 2005 citado por ARAÚJO, 2006).

A forma mais tóxica do cromo é hexavalente, que ocorre como cromato (CrO_4^{2-}) ou dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) (MELLA, 2013). O cromo (VI) está presente em meio neutro ou alcalino, em resíduos e solos, em pequenas quantidades, como ânion cromato (CrO_4) solúvel ou sais cromatos – cromatita (CaCrO_4), cromato de chumbo (PbCrO_4) e como cromato de bário (BaCrO_4) (ARAÚJO, 2006).

Quando na forma hexavalente o cromo é um dos principais metais perigosos e tóxicos para o meio ambiente (ARAÚJO, 2006) e para a saúde humana afetando a pele e vias respiratórias, e ainda sendo cancerígeno (KAWA, 2014).

O cromo é um metal que se destaca dos demais no tratamento de superfícies metálicas, por ser utilizado para fins decorativos, dar brilho as peças com uma grande reflexibilidade, mas acima de tudo pela sua capacidade de resistência à corrosão, já que o mesmo não sofre reação química por intermédio do oxigênio, umidade, ou outros agentes presentes na atmosfera. Esses fatores são essenciais para a escolha do cromo pelas indústrias (ARAÚJO, 2006).

3.2.3 *Tipos existentes de tratamento*

Muitos fatores são analisados para a escolha do sistema de tratamento de efluentes na galvanização, tais como a concentração do cromo e de outros contaminantes presentes, custos de operação, normas governamentais de descarte, entre outros. Os efluentes de galvanoplastia necessitam de tratamentos físico-químicos (ARAÚJO, 2006).

Os tratamentos físicos como flotação, filtração, gradeamento, sedimentação, entre outros, dependem das características físicas do poluente, como por exemplo, viscosidade, tamanho e peso da partícula. Já o tratamento químico depende das propriedades químicas dos contaminantes ou de seus reagentes inseridos, sendo que este processo pode ser realizado através de troca iônica, neutralização, precipitação, coagulação, etc (CIMM, 2005 citado por ARAÚJO, 2006).

Dentre diversos processos disponíveis de tratamento, destaca-se a precipitação química seguida de coagulação / floculação e decantação, para a remoção de metais presentes nesses efluentes líquidos. Este processo transforma as partículas menores em partículas maiores (lodo) passíveis de sedimentação,

porém, ocorre geração de grande quantidade de lodo (PERINI, 2009), o qual é considerado perigoso segundo a NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

No processo de cromagem, um dos métodos convencionais utilizados pela indústria de tratamento de superfície metálica é a redução química, seguida da neutralização e precipitação para a redução do cromo hexavalente a cromo trivalente (ARAÚJO, 2006).

A precipitação química é empregada para efluentes contendo elevadas concentrações de metais ($>100 \text{ mg L}^{-1}$), já que em concentrações diluídas, o precipitado apresenta baixa cinética de sedimentação, sendo necessário maior quantidade de adição de outros sais, como cloreto férrico (FeCl_3) e sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), ou de polieletrólitos. Como agentes neutralizantes são utilizados, hidróxidos, carbonatos, sulfetos ou combinações dos mesmos (COSTA, 1998 citado por VAZ, 2009).

3.3 Coagulação e floculação

O processo de coagulação/floculação é considerado como pré-tratamento para as etapas subsequentes de tratamentos de efluentes que contêm metais pesados (VAZ et al, 2010). A finalidade desses processos é transformar as impurezas em suspensão, em partículas maiores, para facilitar a remoção por sedimentação, filtração, flotação (WEIHERMANN et al., 2015).

Na coagulação química, são empregados agentes coagulantes como (FeCl_3) ou ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), com forte agitação do efluente para desestabilizar eletricamente as partículas de sólidos, facilitando sua aglomeração (SABESP, 2013). Como as partículas nos coloides são maiores, isso acarreta na velocidade de sedimentação, impossibilitando-lhes a remoção por decantação direta. Por essa razão, há necessidade de coagular os efluentes com essas características. Ao empregar os coagulantes sulfato de alumínio ou cloreto férrico para coagulação em uma faixa de pH 5 a 9, os cátions desses compostos produzem produtos pouco solúveis – hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ e hidróxido de ferro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (MAIA, 2003 citado por FABRIS, 2014).

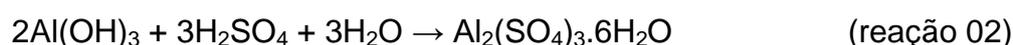
A floculação consiste na aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, formando partículas maiores que possam sedimentar (RITCHER

E AZEVEDO NETTO, 2003 citado por CARDOSO et al., 2008). A velocidade nesta fase é lenta, proporcionando condições para a aglutinação das partículas. Outro fator importante na etapa de clarificação do processo de tratamento do efluente é a dosagem correta dos agentes coagulantes e floculantes. Por meio de testes de jarra (*jar-test*), pode-se determinar, de acordo com as condições da água bruta, a dosagem ideal destes agentes (FABRIS, 2014).

Os sais de ferro (agente coagulante) reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos coloides, formando hidróxidos insolúveis de ferro (PAVANELLI, 2001). Já os sais de alumínio são agentes inorgânicos não biodegradáveis que agregam elementos químicos à água ou ao lodo (CRUZ et al., 2005). Como principal inconveniência do processo, destaca-se a formação do lodo inorgânico, o qual é de difícil manuseio por parte das empresas em função de seu volume e do elevado teor de umidade. Por esses sais serem indesejáveis ao meio ambiente, se faz necessária a busca por coagulantes ambientalmente menos poluentes (VAZ et al, 2010).

3.3.1 Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio pode ser sintetizado (Reação 2) por meio da interação entre o $\text{Al}(\text{OH})_3$ e o H_2SO_4 .



Ele é solúvel em água e é capaz de promover coagulação efetiva em faixas de pH entre 5,5 a 8,0 (FRANCO, 2009 citado por WEIHERMANN et al., 2015).

Dependendo da dosagem ingerida, o sulfato de alumínio pode acarretar à saúde humana diversas complicações - úlcera e necrose da mucosa, garganta e esôfago (CLAYTON et al., 1989 citado por SERPELLONI et al., 2010). Além disso, há suspeitas de que o sulfato de alumínio esteja associado com o mal de Parkinson e de Alzheimer, não sendo o causador principal, mas acelerando o processo degenerativo (McLACHLAN, 1995 citado por SERPELLONI et al, 2010).

3.3.2 Biopolímeros

Existem estudos para o emprego de biopolímeros no processo de coagulação no tratamento de efluentes e água, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam e da Quitosana. A semente da *Moringa* possui propriedades coagulantes efetivas, não tóxicas a humanos e animais (VAZ et al, 2010). A quitosana é outro polímero orgânico natural, usado como auxiliar de floculação (NOGUEIRA et al., 2010). Ela é obtida a partir da quitina, extraída das carcaças de crustáceos. É um biopolímero que possui estrutura molecular quimicamente similar a fibra vegetal (celulose), diferenciando-se somente nos grupos funcionais (VAZ et al, 2010).

Também foi estudado o extrato de cactos e da babosa em aplicações restritas. Outro polímero natural usado como auxiliador de floculação é o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), aplicado de duas maneiras sob a forma da mucilagem extraída da vagem (baba de quiabo) e na forma de solução preparada a partir do pó seco da vagem pulverizada (NOGUEIRA et al, 2010).

Outros materiais alternativos foram empregados no tratamento de efluentes de galvanoplastia para o processo de adsorção, como é o caso do bagaço de cana-de-açúcar e serragem da madeira Parajú (*Manilkara sp.*), sendo obtida a adsorção máxima pela serragem modificada com anidrido succínico ($7,4 \text{ mmol g}^{-1}$). Outro material aplicado foi a escama da pinha da *Araucaria angustifolia*, mostrando ser eficiente na remoção de cromo hexavalente, cromo trivalente e ferro total nas soluções sintéticas, o qual apresentou um rendimento de 99% na retirada do cromo hexavalente em 1 hora de contato com o adsorvente (VAZ, 2009).

3.4 *Pereskia aculeata* MILLER

Pereskia aculeata Miller também conhecida popularmente no Brasil como *Ora-pro-nóbis*, (OPN) é distribuída desde o estado do Rio Grande do Sul até o estado da Bahia e encontrada em diversas partes do mundo. Uma planta que pertence a família das Cactaceas (TAKEITI et al., 2009), bastante resistente a seca, própria de clima tropical e subtropical. Com essas propriedades de rusticidade e adaptabilidade ela não é exigente em fertilidade e adapta-se bem em variados tipos de solos (BRASIL, 2010).

A *Ora-pro-nóbis* é pertencente a flora brasileira, perene, encontrada como trepadeira, com demasiados espinhos em seus ramos, folhas carnosas e com presença de mucilagem (“baba”) (TOFANELLI; RESENDE, 2011), limbo e pecíolo (QUEIROZ, 2012). Sendo a composição principal da mucilagem (biopolímero) a proteína arabinogalactanas (CONCEIÇÃO et al., 2013).

OPN também se destaca pelo elevado teor de aminoácidos essenciais, o que motiva o interesse das indústrias alimentícia e farmacêutica (GUIMARÃES, 2015). Na indústria alimentícia a *Pereskia aculeata* Miller é empregada por ser fonte rica em nutrientes como cálcio, fósforo, magnésio, ferro, cobre e alto teor de proteínas (TOFANELLI; RESENDE, 2011), vitaminas, principalmente a vitamina C. Já para farmacêutica é utilizada em tratamentos de processos inflamatórios, recuperação da pele em decorrência de queimaduras (GUIMARÃES, 2015), cicatrizante, antitumoral e tripanocida (QUEIROZ, 2012).

Na Figura 2 está sendo mostrada a planta *Pereskia aculeata* Miller.



Figura 2 - (A) *Ora-pro-nóbis*, com botões florais fechados; (B) flores e (C) frutos.
Fonte: Queiroz (2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta das amostras de efluente

A amostra do efluente (20 litros) foi coletada em uma indústria de galvanoplastia em um município da região do Sudoeste do Paraná, apresentando uma amostragem simples e de banho de cromo.

4.1.1 Caracterização da amostra do efluente

A amostra foi caracterizada por meio dos parâmetros físico-químicos: (DQO), (DBO), pH, série de sólidos (sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvido voláteis), determinação de cromo e turbidez.

4.1.1.1 *demanda química de oxigênio (DQO)*

Na determinação de DQO na amostra do efluente foi utilizada a metodologia descrita em Standard Methods (2005). A análise foi realizada em duplicata e feita o branco com água destilada, o branco foi utilizado para zerar o espectrofotômetro. Em uma capela, adicionou-se em tubos de ensaio com rosca 3 mL de solução digestão (composta por água destilada, $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 e $HgSO_4$), 5 mL de amostra e 7 mL de H_2SO_4 . Os tubos foram fechados e alguns cuidados foram tomados na manipulação, por se tratar de uma reação exotérmica. Os tubos foram agitados no homogeneizador.

Os mesmos procedimentos foram seguidos para o branco. Os tubos foram levados para o bloco digestor a 150 °C durante duas horas. Passado esse período, os tubos foram retirados do bloco e resfriados. Em seguida, agitaram-se os frascos e aguardou-se sua sedimentação.

Posteriormente, o espectrofotômetro foi ajustado em 600 nm (região de maior absorção do cromo III), sendo o mesmo zerado com o branco e realizado a leitura

das amostras. Utilizando a equação da reta conforme Equação 1 abaixo, realizaram – se os cálculos.

$$Y = 0,0004\chi - 0,0074 \quad (\text{equação 1})$$

O valor da absorbância encontrado no espectrofotômetro foi usado para determinar o valor da DQO.

4.1.1.2 *demanda bioquímica de oxigênio (DBO)*

A DBO foi determinada por meio da metodologia descrita em Standard Methods (2005). Os resultados obtidos na DQO foram usados na Equação 2.

Para o cálculo de diluições da amostra, foram usadas as Equações 3 e 4. Essas diluições foram feitas em balão volumétrico de 500 mL.

$$\text{Porcentagem Principal (PP)} = \frac{500}{\text{DQO}} \quad (\text{equação 2})$$

$$\text{PP} \times 3 = X \text{ mL} \quad (\text{equação 3})$$

$$\text{N}^\circ \text{ de diluições} = \frac{25}{X \text{ mL}} \quad (\text{equação 4})$$

Para o cálculo de porcentagem da amostra a ser adicionada nos frascos de OD foram utilizadas as Equações 5, 6 e 7.

$$\frac{1}{2} \times \% \times 3 = \text{mL} \quad (\text{equação 5})$$

$$\text{N}^\circ \text{ de diluições} \times \text{PP} = x \% \times 3 = \text{mL} \quad (\text{equação 6})$$

$$2 \times \% \times 3 = \text{mL} \quad (\text{equação 7})$$

Em um recipiente foi preparada a água de diluição, onde foram adicionados 4 litros de água destilada, 4 mL de solução tampão (fosfato monopotássico KH_2PO_4 , cloreto de amônio NH_4Cl e água destilada), 4 mL de sulfato de magnésio, 4 mL de cloreto de cálcio e 4 mL de cloreto férrico, e depositada no aerador por 25 minutos.

Posteriormente, dos balões volumétricos foram pipetados os seguintes volumes: 12,5 mL, 25 mL e 50 mL, e transferidos para dois frascos de OD para cada porcentagem nomeados como 1 e 2 (4; 8 e 12%) e completados com a água de diluição já preparada. Em seguida, realizou-se a leitura de um dos frascos (técnica de OD) e o outro foi colocado na incubadora a 20 °C por 5 dias e então procedeu-se a leitura do mesmo.

Os procedimentos realizados são para a determinação de oxigênio dissolvido – OD, pelo Método Iodométrico de Winkler Modificado pela Azida. Foram acrescentados em todos os frascos de OD, 1 mL de azida, 1 mL de sulfato manganoso e aguardado a decantação, para após ser adicionado 1 mL de ácido sulfúrico em cada frasco. Os frascos então foram fechados e agitados manualmente.

Logo após transferiu-se 200 mL dos frascos OD para erlenmeyers de 250 mL, aos quais foram adicionados 3 gotas de amido 1% e titulados com tiosulfato de sódio até que a solução se tornasse incolor.

Para a determinação de oxigênio dissolvido utilizou-se a Equação 8, onde foi utilizado o volume gasto na titulação de OD dia e OD 5 dias. Para esse cálculo, devem ser usados os valores que tiveram redução de 40 – 70%, porém como a amostra é um efluente cuja composição apresenta concentrações maiores de materiais inorgânicos que orgânicos, utilizou-se para os cálculos, a porcentagem que continha maior volume da amostra, fornecendo portanto um resultado mais preciso.

$$\% \text{ redução} = \frac{\text{OD dia} - \text{OD 5 dias}}{\text{OD dia} \times 100} \quad (\text{equação 8})$$

4.1.1.3 pH

Para a determinação do pH uma porção da amostra foi adicionada em um béquer e em seguida foi introduzido o eletrodo do medidor de pH para a leitura do mesmo.

4.1.1.4 *sólidos sedimentáveis*

Para a realização de sólidos sedimentáveis foi seguida a metodologia descrita nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Sendo transferidos 1000 mL da amostra do efluente da indústria de galvanoplastia para um cone de Imhoff, e deixado em repouso por 1 hora. Após esse intervalo foi realizada a leitura, o valor dado é a quantidade de sólidos sedimentáveis presente no efluente em estudo.

4.1.1.5 *sólidos totais*

Para a realização de sólidos totais foi seguida a metodologia descritas nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Primeiramente colocou-se um béquer na estufa a 105 °C por 4 horas. Logo depois o béquer foi retirado e colocado no dessecador até seu resfriamento e pesado (P_1). Em seguida, foi adicionado 100 mL do efluente e levado para a estufa a 105 °C até total evaporação da fase aquosa. O béquer com o resíduo foi colocado no dessecador até resfriamento e pesado (P_2).

Para a determinação do valor final utilizou-se a Equação 9:

$$\text{Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 1.000.000}{V} \quad (\text{Equação 9})$$

Em que:

P_1 = Peso (g) do béquer sem resíduo;

P_2 = Peso (g) do béquer com resíduo;

V = Volume da amostra em mL.

4.1.1.6 *sólidos dissolvidos totais*

Para a determinação de sólidos dissolvidos totais seguiu-se a metodologia de Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Foram filtrados 100 mL de amostra do efluente da indústria de galvanoplastia em filtro de fibra de vidro a vácuo

(funil de Büchner acoplado à bomba de vácuo), em seguida transferiu-se para uma cápsula de porcelana previamente tarada (P_1). A cápsula contendo a amostra foi levada a estufa a 105 °C até a evaporação. Posteriormente, foi retirada e colocada em um dessecador para resfriar e então ser feita a nova pesagem (P_2).

Para a determinação do valor final utilizou-se a Equação 10:

$$\text{Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 1.000.000}{V} \quad (\text{equação 10})$$

Em que:

P_1 = Peso (g) da cápsula sem resíduo;

P_2 = Peso (g) da cápsula com resíduo;

V = Volume da amostra.

4.1.1.7 *sólidos suspensos totais*

Para a determinação de sólidos suspensos totais seguiu-se a metodologia de Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). O filtro foi previamente aquecido em estufa a 150 °C, por 1 hora e resfriado no dessecador até temperatura ambiente e pesado (P_1). O filtro foi colocado no funil de Büchner acoplado a bomba de vácuo para fazer a filtração de 100 mL de amostra do efluente da indústria de galvanoplastia. Depois o filtro foi colocado novamente em estufa a 105 °C por duas horas. Em seguida foi resfriado em dessecador e pesado novamente (P_2).

Para a determinação do valor final utilizou-se a Equação 11:

$$\text{Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 1.000.000}{V} \quad (\text{equação 11})$$

Em que:

P_1 = Peso (g) do filtro sem resíduo;

P_2 = Peso (g) do filtro com resíduo;

V = Volume da amostra.

4.1.1.8 *sólidos dissolvidos fixos*

Para a realização de sólidos dissolvidos fixos foi utilizada a metodologia de Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Primeiramente a cápsula de porcelana foi pesada (P_1) e então levada a mufla previamente aquecida a 500 °C para calcinar durante uma hora. Em seguida a cápsula foi retirada da mufla e colocada no dessecador para esfriar e posteriormente realizado a pesagem da mesma (P_2).

A Equação 12 foi utilizada para a determinação do valor final de sólidos fixos.

$$\text{Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 1.000.000}{V \text{ da amostra em mL}} \quad (\text{equação 12})$$

Em que:

P_1 = Peso (g) da cápsula vazia;

P_2 = Peso (g) da cápsula com resíduo após a ignição;

V = Volume da amostra em mL.

4.1.1.9 *sólidos dissolvidos voláteis*

Para a realização de sólidos voláteis foi usada a metodologia de Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). A determinação dos sólidos voláteis se dá por meio dos resultados obtidos em sólidos dissolvidos totais e sólidos dissolvidos fixos, conforme a Equação 13:

$$\text{Sólidos Voláteis } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = (\text{Sólidos D. Totais} - \text{Sólidos D.Fixos}) \quad (\text{equação 13})$$

4.1.1.10 *determinação do cromo*

Na determinação do cromo foi utilizado o aparelho de Absorção Atômica PerkinElmer Atomic Absorption Spectrometer PinAAcle 900T, utilizando a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (F AAS).

4.1.1.11 *turbidez*

Para determinar a turbidez utilizou-se o equipamento turbidímetro. Esse foi calibrado com os padrões que acompanham o equipamento seguindo as instruções do manual do aparelho.

Os valores são expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez – UNT.

4.2 **Coleta das folhas da planta *Pereskia aculeata* MILLER**

As folhas frescas da Ora-pro-nóbis foram coletadas por extrativismo no município de Pato Branco no estado do Paraná, durante o mês de setembro de 2016.

4.3 **Extração da mucilagem *Pereskia aculeata* MILLER**

Para a realização da extração da mucilagem das folhas da *Pereskia aculeata* Miller, foi seguida a metodologia adaptada de Junior (2013). Várias etapas foram desenvolvidas para a obtenção da mucilagem conforme mostradas no fluxograma da Figura 3.

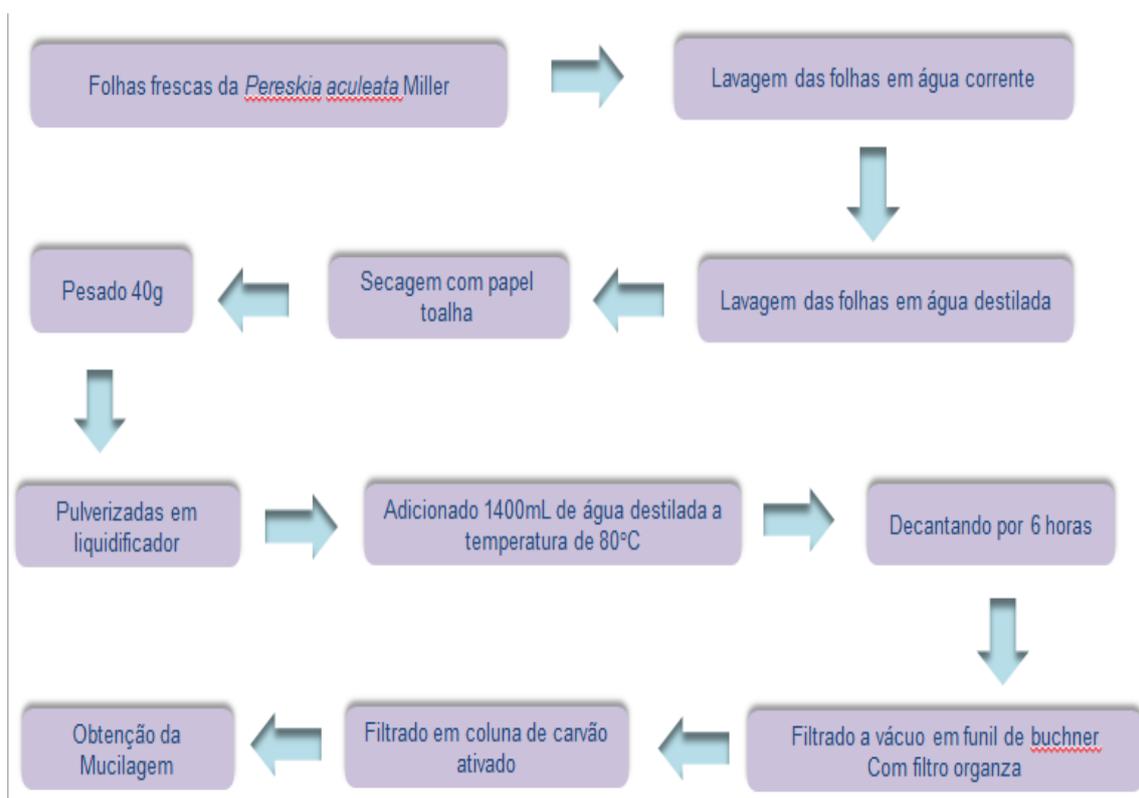


Figura 3 - Fluxograma do Processo de Obtenção da Mucilagem.
Fonte: Autor.

Primeiramente as folhas foram lavadas manualmente com água corrente e depois com água destilada. As folhas lavadas foram então secas com papel toalha. Depois de secas, pesou-se 40 g de folhas e as mesmas foram trituradas em liquidificador Arno. Em uma chapa de aquecimento, em um béquer de 2.000 mL colocou-se para aquecer 1400 mL de água destilada a uma temperatura de 80 °C (melhor temperatura de extração, segundo Junior (2013)). Após o aquecimento da água, a mesma foi adicionada na planta triturada e deixada para decantação em refrigeração durante 6 horas.

Logo após, foi realizada a filtração em funil de Büchner sob vácuo, com filtro de organza. O resíduo do filtro foi descartado e a mucilagem armazenada, sob refrigeração até o momento das análises.

A mucilagem foi filtrada duas vezes em coluna de carvão ativado para a remoção da clorofila e de pigmentos sólidos e insolúveis.

A mucilagem filtrada foi armazenada sob refrigeração até a sua utilização no equipamento Jar Test Microcontrolado marca Milan, modelo JT – 203.

4.3.1 Caracterização da mucilagem

A caracterização da mucilagem foi realizada por análise térmica, umidade, resíduos minerais totais.

4.3.1.1 análise térmica

A análise térmica foi realizada nas amostras liofilizadas em equipamento Shimadzu Thermogravimetric Analyzer – modelo TA-50, utilizando as técnicas de Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) e Análise Térmica Diferencial (DTA) e operando em atmosfera de Nitrogênio a 50 mL por minuto, com taxa de aquecimento de 10 °C por minuto com um intervalo de temperatura de 30 a 600 °C.

4.3.1.2 umidade

A determinação de umidade e resíduos minerais totais foi conforme KIEHL et al. (1985): foi lavado uma cápsula de porcelana com água destilada e levada a mufla a 550 °C por 30 minutos, a mesma foi colocada no dessecador até o resfriamento total. A mesma foi pesada para obter-se o P_1 .

Uma porção de 50 g da amostra foi usado, para se obter o P_2 . A cápsula de porcelana contendo a amostra foi colocada em estufa a 105 °C, permanecendo 16 horas. Acondicionou-se a cápsula no dessecador até o resfriamento e pesou-se para a obtenção do P_3 .

Para a determinação da porcentagem de umidade foi aplicada a Equação 14:

$$\text{umidade (\%)} = \frac{(P_2 - P_3)}{(P_2 - P_1)} \times 100 \quad (\text{equação 14})$$

4.3.1.3 resíduos minerais totais

A cápsula com o material da análise de umidade foi levada a mufla mantendo a porta entreaberta para manter a aeração, pois a amostra deve ser aquecida lentamente para não inflamar, o que poderia formar labaredas e ocorrer a perda de massa do material. A porta foi fechada e, a amostra permaneceu por uma hora a 550 °C, sendo depois transferida para dessecador. Em seguida, determinou-se o peso da mesma, constituindo o P₄.

O resíduo mineral remanescente na cápsula é geralmente designado como cinza ou resíduo mineral total. Para a determinação do resíduo utilizou-se a seguinte Equação 15:

$$RM_{\text{Total}} (\%) = \frac{(P_4 - P_1)}{(P_3 - P_1)} \times 100 \quad (\text{equação 15})$$

4.4 Aplicação da mucilagem da *Pereskia aculeata* MILLER

Para avaliar o desempenho do biopolímero nos processos de coagulação e floculação foi aplicada a metodologia de planejamento experimental, sendo usado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2³, para a mucilagem extraída das folhas da planta *Pereskia aculeata* Miller.

Por intermédio desse delineamento, obteve-se 8 ensaios, 6 pontos axiais e 4 pontos centrais, obtendo-se assim um total de 18 ensaios.

A Tabela 1 apresenta os valores referentes aos níveis estudados no jar test para os fatores: pH, concentração de sulfato de alumínio e quantidade de mucilagem da planta *Pereskia aculeata* Miller.

Tabela 1 – Níveis estudados para as variáveis independentes no jar test

Variável Independente	-1,68	-1,0	0	1,0	1,68
pH	3,00	3,40	4,00	4,59	5,00
[Al ₂ (SO ₄) ₃] (g L ⁻¹)	0,5	0,70	1,00	1,29	1,50
QM (mL)	10	10,80	12,00	13,19	14,00

Fonte: Autor

O DCCR também propicia a obtenção do modelo codificado, sendo o mesmo apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz do delineamento experimental para o jar test codificado

Ensaio	pH	[Al ₂ (SO ₄) ₃]	QM
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,68	0	0
10	1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0

Fonte: Autor

Já os parâmetros constantes foram tempo de mistura rápida (TMR), tempo de mistura lenta (TML), velocidade de mistura rápida (VMR) e velocidade de mistura lenta (VML). Os valores utilizados nos parâmetros são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros constantes utilizados nos ensaios do jar test

Parâmetro	Min	rpm
TML	20	
TMR	10	
VML		20
VMR		120

Fonte: Autor

Seguindo os valores estabelecidos para as variáveis independentes da (QM), (pH) e a $[Al_2(SO_4)_3]$ e seguindo os valores para os parâmetros constantes (TML), (TMR), (VMR) e (VML) assim realizou-se os ensaios no jar test.

Depois de realizar os ensaios no equipamento jar test, as amostras foram deixadas uma hora e meia para precipitação. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel filtro e armazenadas para a realização da análise de absorção atômica, com o intuito de analisar a quantidade de remoção do cromo do efluente.

As variáveis respostas para o efluente da indústria de galvanoplastia foi a remoção do metal pesado cromo, determinadas pela análise de absorção atômico.

Os ensaios para avaliação dos biopolímeros no processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente industrial foram conduzidos, em aparelho de *Jar test*, seguindo condições definidas no planejamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do efluente

Os resultados obtidos nesta etapa foram discutidos individualmente e comparados com a literatura e com a resolução CEMA 070/09 - anexo 7, com as resoluções do CONAMA 357/05 e 430/11.

5.1.1 Demanda química de oxigênio DQO

A análise da DQO foi realizada em duplicata e a média dos valores obtidos no efluente coletado foi de 227 mg L^{-1} , esse resultado está abaixo do estabelecido pela resolução CEMA 070/09 - ANEXO 7, o qual estabelece 300 mg L^{-1} como o nível máximo de DQO para efluentes de tratamento de superfícies galvanotécnicas. Dessa forma, os valores obtidos para a DQO do efluente estão dentro do limite estabelecido pela legislação.

Os valores encontrados por VAZ (2009) nas análises de DQO do efluente da indústria de galvanoplastia ficou próximos dos valores deste estudo. O autor realizou 4 coletas do efluente (nomeadas como 1º lote, 2º lote 3º lote e 4º lote) e foram obtidos os seguintes resultados 0; 198,50; 283,00 e $147,00 \text{ mg L}^{-1}$, para lote 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Já ALVES (2012) ao analisar a DQO do efluente galvânico obteve maiores valores, sendo seus resultados 3710 e 3630 mg L^{-1} .

Essa diferença de resultados se deve principalmente pelo fato que cada peça recebe um tratamento de superfície específico durante seu processo de fabricação. Os fatores que podem influenciar na DQO são a concentração de metais, composição química das águas dos banhos, entre outros (VAZ, 2009).

A DQO determina a quantidade de matéria orgânica presente no efluente (EDLINGER et al, 2012), quanto maior esse valor, maior será a concentração de matéria orgânica presente no efluente. Como pode observar a DQO da amostra analisada não deu um valor alto, isso é porque o efluente apresenta maior fração de compostos inorgânicos.

5.1.2 Demanda biológica de oxigênio DBO

O valor determinado pela resolução CEMA 070/09 para a DBO do 5º dia (DBO_5) é de 50 mg L^{-1} . A determinação da DBO foi realizada em duplicata, de acordo com o número de diluição de cada amostra. Os resultados obtidos na DBO_5 , os números de diluições, % de amostras e a % de redução estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores obtidos na análise de DBO

nº de Diluição	% de amostra	OD Dia	OD 5 dias	% de Redução	DBO $\text{mg de O}_2 \text{ L}^{-1}$
3,91	4,17	8,6	8	6,98	49,26
	8,33	8,3	7,7	7,23	
	16,67	8	5,9	26,25	
3,65	4,17	8,4	7,9	5,95	45,98
	8,33	8,2	7,5	8,54	
	16,67	7,9	5,8	26,58	

Fonte: Autor

Os resultados obtidos na DBO_5 foram relativamente baixos, isso se deve a baixa concentração de matéria orgânica presente no efluente, por isso para os cálculos da DBO_5 foi utilizado apenas o valor da porcentagem de 16,67%, uma vez que esta porcentagem possui a maior quantidade de amostra. A média dos resultados obtidos na DBO foi de $47,62 \text{ mg de O}_2 \text{ L}^{-1}$. Este resultado é inferior ao especificado pela legislação CEMA 07/09, que determina o valor máximo para DBO_5 de $50 \text{ mg de O}_2 \text{ L}^{-1}$.

5.1.3 pH

A média encontrada na análise de pH do efluente da indústria foi de 2,68. Esse resultado não é aceitável pela resolução CEMA 070/09 e nem pela resolução CONAMA 430/11, uma vez que os valores de pHs permitidos por elas são entre 5 a 9. Portanto, antes do descarte do efluente se faz necessário um tratamento para elevar o pH.

VAZ (2009) ao analisar os valores de pH do efluente de indústrias galvânicas obteve valores de 6,45; 5,70; 5,55 e 4,58, enquanto que os resultados de ALVES (2012) foram 5,85; 5,93 e 5,88. Esses resultados estão acima do encontrados nesse trabalho.

Essa diferença de pHs está relacionada com o tipo de metal utilizado no processo de fabricação da peça, por exemplo, se for o processo de cromagem (que é o caso da indústria estudada nesse trabalho), vai apresentar um menor pH, uma vez que para melhor absorção do cromo pela peça ocorre em um pH mais ácido (VAZ, 2009).

5.1.4 Série de sólidos

Os resultados obtidos nas análises de série de sólidos estão dispostos na tabela 5, juntamente com os valores limitados pela legislação.

Tabela 5 – Resultados das análises de série de sólidos

Sólidos	Resultados	Legislação
Sólidos sedimentáveis	1,40 mL L ⁻¹	1 mL L ⁻¹
Sólidos totais	3479,00 mg L ⁻¹	
Sólidos dissolvidos totais	3280,00 mg L ⁻¹	
Sólidos suspensos totais	19,00 mg L ⁻¹	
Sólidos dissolvidos fixos	2894,00 mg L ⁻¹	
Sólidos voláteis	386,00 mg L ⁻¹	

Fonte: Autor

Os resíduos sólidos presentes no efluente são oriundos dos processos de galvanização aos quais são submetidas às peças, nessas etapas são removidos resíduos de tinta e solda, camadas de óxidos, poeira, ferrugem, e qualquer outra espécie de impurezas que possam estar aderidas às peças (VAZ, 2009).

Da série de sólidos realizados no efluente, o único que apresenta um limite para descarte na legislação é o sólidos sedimentáveis, sendo determinada pela resolução CONAMA 430/11, a qual estabelece o valor máximo de 1 mL L⁻¹, para descartes em lagos e lagoas, sendo a velocidade de circulação praticamente nula.

Sendo assim, o efluente analisado não pode ser descartado sem um tratamento prévio, uma vez que apresentou um valor de $1,4 \text{ mL L}^{-1}$ de sólidos sedimentáveis.

5.1.5 Turbidez

Pelo fato dos efluentes de galvanoplastia conter em sua composição metais pesados e uma grande variedade de materiais dissolvidos e suspensos apresentam altos valores de turbidez (VAZ, 2009).

Vaz (2009) encontrou resultados bem elevados de turbidez nas análises de seus efluentes, sendo o valor máximo de 297,00 NTU, entretanto o maior valor obtido por ALVES (2012) foi 77,8 NTU.

A média dos resultados obtidos nas análises de turbidez foi de 10.4 NTU. O efluente possui um valor inferior ao da literatura e o estabelecido pela resolução do CONAMA N^o 357/05, o qual estabelece um valor limite de 100 NTU para os rios de classe 2.

5.2 Caracterização da mucilagem

5.2.1 Análise térmica

Na realização das análises termogravimétricas (TG, DTG e DTA), foi utilizada a amostra liofilizada, com o objetivo de verificar o comportamento da mucilagem da Ora-pro-nóbis mediante ao tratamento térmico. Foi possível determinar também a temperatura de decomposição da matéria orgânica e também de estabilidade do material.

A Figura 4 apresenta o comportamento térmico da mucilagem da *Pereskia aculeata* Miller calcinado a 600 °C em atmosfera de nitrogênio.

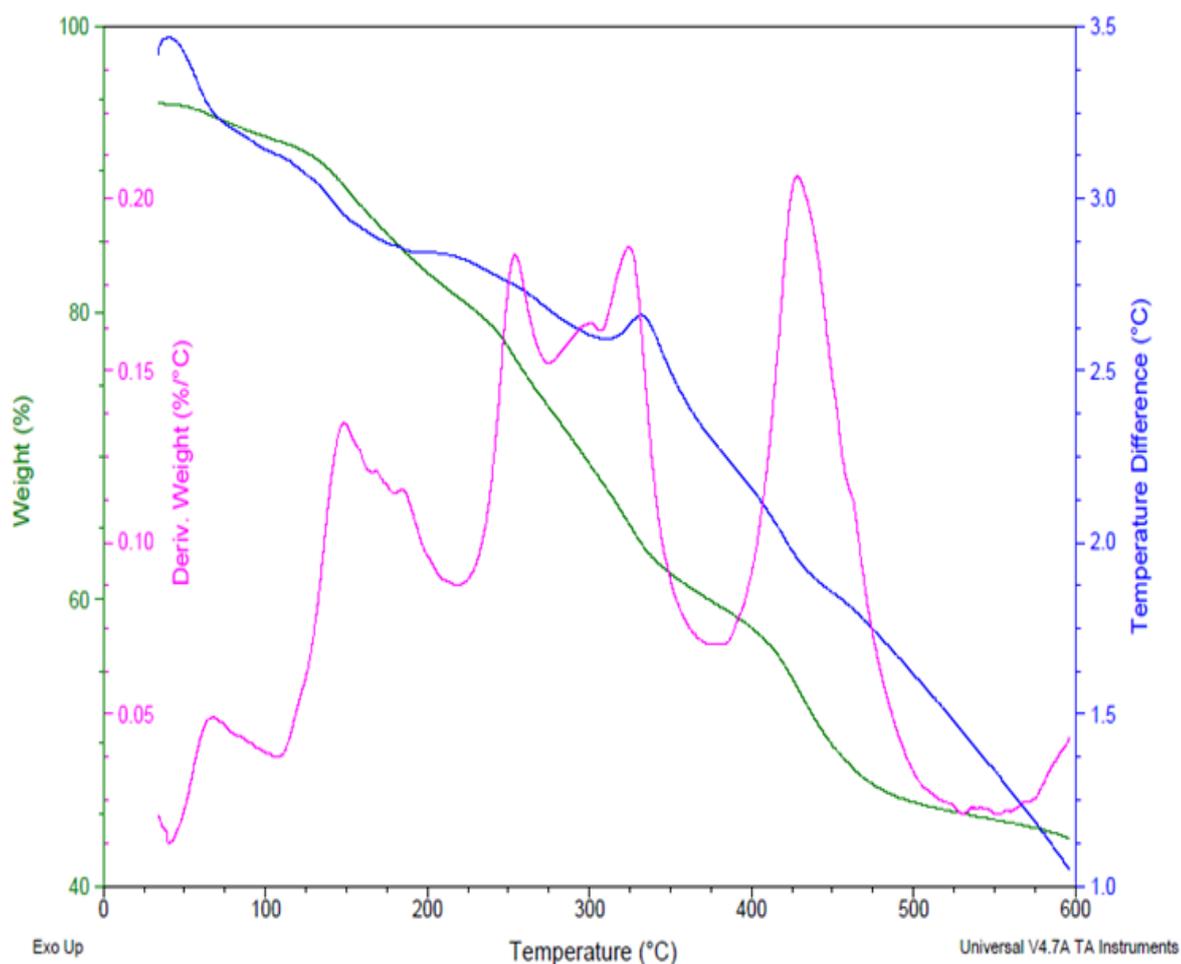


Figura 4 - Análise termogravimétrica da Pereskia aculeata Miller calcinado a 600 °C em atmosfera de nitrogênio.

Fonte: Autor.

Analisando a curva TG (verde), observa-se que não há a formação de picos endotérmicos referentes a liberação de moléculas de água, na faixa de temperatura de 95 °C a 115 °C, isso é decorrente da amostra ter sido liofilizada antes da análise.

Por intermédio das curvas TG e DTG (rosa), pode-se observar que a perda de massa ocorreu de forma gradativa ao longo de toda faixa de temperatura da análise, isso é decorrente da atmosfera não ser oxidativa, acarretando numa decomposição lenta da matéria orgânica presente e uma demora na oxidação dos metais, bem como ao baixo teor de água na amostra liofilizada. Segundo CONCEIÇÃO et al (2013) ao analisar o produto em pó e em gel obtido da OPN, observou que o produto em pó possuía uma maior estabilidade na análise térmica, quando comparado ao

produto em gel, e atribuiu essa ocorrência devido ao baixo teor de água presente no produto em pó.

Na temperatura 225 e 325 °C de observa-se na curva TG uma perda de massa, possivelmente de algum composto orgânico. Isso pode ser observado na curva DTA, onde se observa nessa mesma faixa de temperatura um pico exotérmico, o qual é decorrente da perda de matéria orgânica. Comportamento muito semelhante foi encontrado por CONCEIÇÃO et al (2013), numa temperatura de 221 °C e 320 °C, o qual relacionou esse comportamento como podendo ser devido a uma mudança na conformação do biopolímero, seguida por uma quebra de ramos, já que nas curvas associadas TG observou-se uma perda de massa considerável. Outras observações consideradas por CONCEIÇÃO et al (2013) em relação a esse comportamento foram que isso ocorre devido a degradação oxidativa da amostra e que a perda de massa pode ser por causa dos polissacáridos e proteínas.

A decomposição final da OPN ocorre numa faixa de temperatura de 475 °C a 525 °C, pois acima de 525 °C, nota-se pela curva de TG que quase não há variação na perda de massa, porém ainda se tem uma porcentagem de 43% de matéria. Essa massa pode ser de algum mineral presente na Ora-pro-nóbis. Para CONCEIÇÃO et al (2013) a temperatura de decomposição ocorreu numa faixa de temperatura de 390 a 430 °C, uma faixa relativamente próxima a deste estudo. CONCEIÇÃO et al (2013) também atribuiu o resíduo como sendo constituído de minerais (cálcio, magnésio) e carbonatos presente na planta.

5.2.2 Umidade e resíduo mineral total

Os resultados encontrados nas análises de umidade e cinza da mucilagem da planta Ora-pro-nóbis estão apresentados na tabela 6, juntamente com valores encontrados na literatura, porém não da mucilagem, mas sim das folhas da planta.

Tabela 6 – Resultados obtidos nas análises de umidade e cinza da mucilagem e da planta

Análises	Resultados Mucilagem (estudo)
Umidade	99,74 %
Cinza	0,1928 %

Fonte: Autor

Nas análises de umidade e cinzas realizadas por GONÇALVES et al (2014) nas folhas da *Pereskia aculeata* Miller, foram obtidos os seguintes resultados 91,60 e 20,12 %, respectivamente. Se compararmos os valores de umidade a diferença não é tão exorbitante, ainda mais se levarmos em conta que para a extração de mucilagem foi utilizado água.

Contudo, ocorreu uma grande diferença entre as análises de cinzas, isso pode ser decorrente de que a mucilagem possuía uma baixa concentração de massa da planta. Porém, se compararmos esse teor de cinzas com a maioria dos vegetais frescos, essa diferença não fica tão gritante, uma vez que os vegetais frescos possuem um teor de resíduo mineral total entre 0,4 e 2,1 % (QUEIROZ, 2012).

5.3 Aplicação da mucilagem da *Pereskia aculeata* Miller

Por meio do delineamento composto central rotacional (DCCR) 2³ é possível determinar as variáveis significativas no tratamento de remoção do cromo do efluente da indústria de galvanoplastia.

5.3.1 Análise de absorção atômica

A finalidade da aplicação dessa técnica nesse trabalho foi para determinar a concentração do cromo no efluente da indústria de galvanoplastia antes e depois do tratamento com Al₂(SO₄)₃ e o biopolímero das folhas da *Pereskia aculeata* Miller.

Os resultados obtidos na análise de absorção por intermédio dos ensaios efetuados no jar test são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos com análise de absorção atômica para remoção do cromo do efluente

Ensaio	Remoção do Cromo (mg.L ⁻¹)	Remoção do Cromo (%)
1	53	6.24
2	108	12.71
3	42.5	5.00
4	171	20.12
5	66.5	7.82
6	117.5	13.82
7	47	5.53
8	158	18.59
9	61	7.18
10	169.5	19.94
11	104.5	12.29
12	106.5	12.53
13	100.5	11.82
14	96	11.29
15	85	10.00
16	58.5	6.88
17	112.5	13.24
18	107	12.59

Fonte: Autor

O efluente apresentava uma concentração inicial de cromo de 850 mg L⁻¹. Após o tratamento do efluente houve uma redução na concentração do cromo e mediante ao delineamento composto central rotacional (DCCR) 2³ foi possível definir os ensaios significativas do processo. Sendo os ensaios 4 e 10 (em destaque na tabela 7) os que apresentaram melhor remoção de cromo do efluente. Tendo uma remoção de 20,12 e 19,94 % de remoção de cromo para os ensaios 4 e 10, respectivamente.

A tabela 8 mostra os valores dos efeitos principais e de interação entre eles para a remoção do cromo do efluente por meio do tratamento realizado. Em que t é

o fator de Student, p é a probabilidade e L.C são os limites positivos e negativos de confiança.

Tabela 8 - Valores dos efeitos principais e da interação estimados para a remoção de cromo do efluente

Fatores	Efeito	Erro	t cal	P	L.C. (-)	L.C. (+)
Média	10,7452	1,12827	9,52363	0,00001	8,1434	13,3470
pH (L)	9,1012	1,22358	7,43815	0,00007	6,2796	11,9227
pH (Q)	1,4354	1,27304	1,12752	0,29220	-1,5003	4,3710
[Al₂(SO₄)₃] (L)	1,3254	1,22358	1,08321	0,31028	-1,4962	4,1470
[Al₂(SO₄)₃] (Q)	0,6226	1,27304	0,48903	0,63794	-2,3131	3,5582
Fatores	Efeito	Erro	t cal	P	L.C. (-)	L.C. (+)
Média	10,7452	1,12827	9,52363	0,00001	8,1434	13,3470
pH (L)	9,1012	1,22358	7,43815	0,00007	6,2796	11,9227
pH (Q)	1,4354	1,27304	1,12752	0,29220	-1,5003	4,3710
[Al₂(SO₄)₃] (L)	1,3254	1,22358	1,08321	0,31028	-1,4962	4,1470

Fonte: Autor

* Significativa a 95 %

A um nível de 95% de confiança, apenas o efeito principal pH se mostrou significativo no processo de remoção do cromo. Além disso, a interação entre o pH e [Al₂(SO₄)₃] também se mostrou significativa para o processo. As demais variáveis e interações não apresentaram diferença significativa para este processo. Na Figura 5 é possível visualizar o Diagrama de Pareto, o qual apresenta os efeitos das variáveis e as interações estudadas, os efeitos significativos são os que se encontram a direita da linha vermelha visualizada no diagrama.

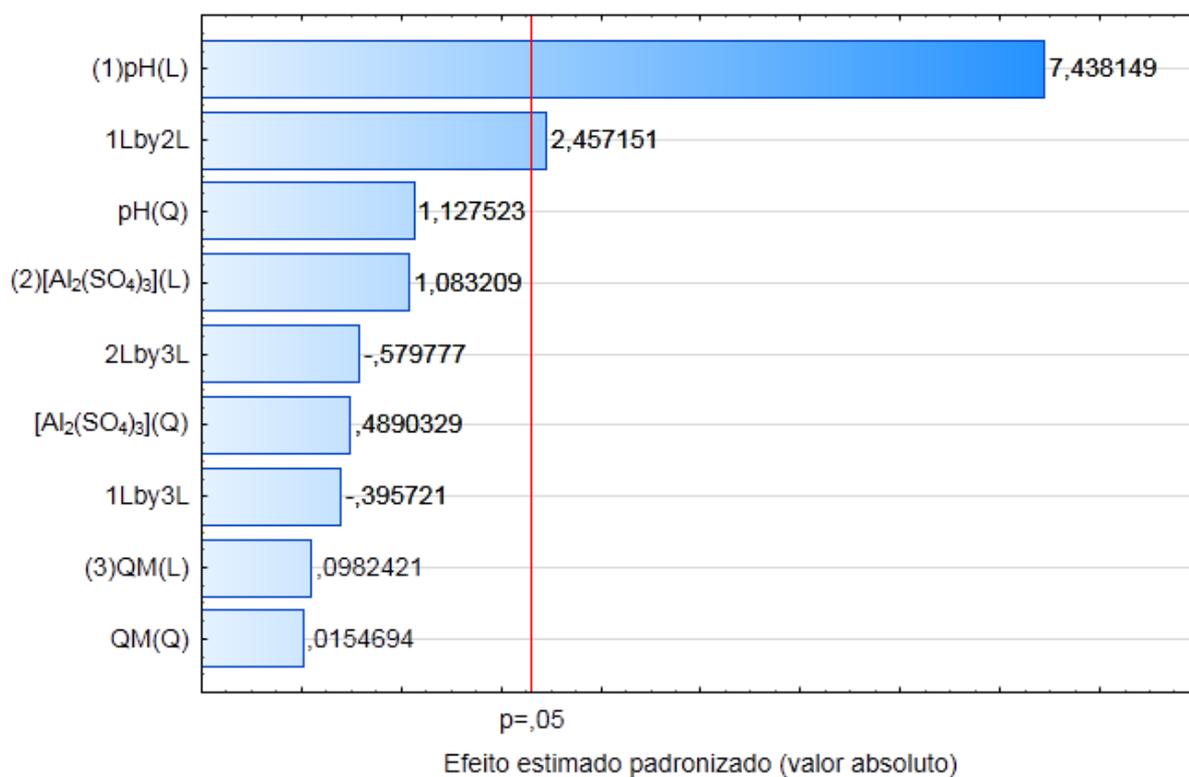


Figura 5 - Diagrama de Pareto para o processo de remoção de cromo do efluente.

A equação abaixo descreve o modelo obtido através do tratamento estatístico dos dados:

$$\text{Rem. do Cr (\%)} = 10,7452 + 4,5506 \cdot \text{pH} + 1,9632 \cdot \text{pH} \cdot [\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] \quad (\text{equação 16})$$

Utilizou-se da análise de variância (ANOVA), para avaliar o modelo gerado, pois através dela é possível verificar o valor de F_{calc} , e fazer a comparação entre o F_{calc} e o F_{Tab} . Essa comparação determina se o modelo é significativo ou não, para ser satisfatório o F_{calc} tem que ser maior que o F_{Tab} .

A tabela 9 apresenta a análise de variância (ANOVA) para a redução do cromo do efluente em estudo.

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) para o método de redução de cromo no efluente

Fator	SS	GL	MQ	F calc.
Modelo	329,1675	1	329,16753	128.9068
Erro	40,8565	16	2.5535	
Total	370,0240	17		

F tab (1; 16; 0,05) = 4,49

F calc./F tab. = 28,7097

F tab (1; 16; 0,01) = 8,53

F calc/F tab. = 15,1122

R² = 88,95

Os valores obtidos pela ANOVA para o método de redução do cromo no efluente indicam que o modelo é estatisticamente significativo e preditivo, pois, o valor do F calculado foi maior tanto para o nível de significância de 0,05 como para de 0,01. Além disso, o coeficiente de determinação (R²) mostra que o modelo é preditivo.

As superfícies de resposta são geradas pela combinação de duas variáveis independentes em função da variável dependente, neste caso, remoção de cromo do efluente. A Figura 6 apresenta a superfície de resposta entre pH e [Al₂(SO₄)₃], pode-se observar que quando aumenta o pH aumenta a remoção de cromo; porém, quando aumenta a [Al₂(SO₄)₃] obtêm-se a resposta inversa. É possível observar também que a interação entre as duas variáveis causa um aumento significativo na redução do cromo.

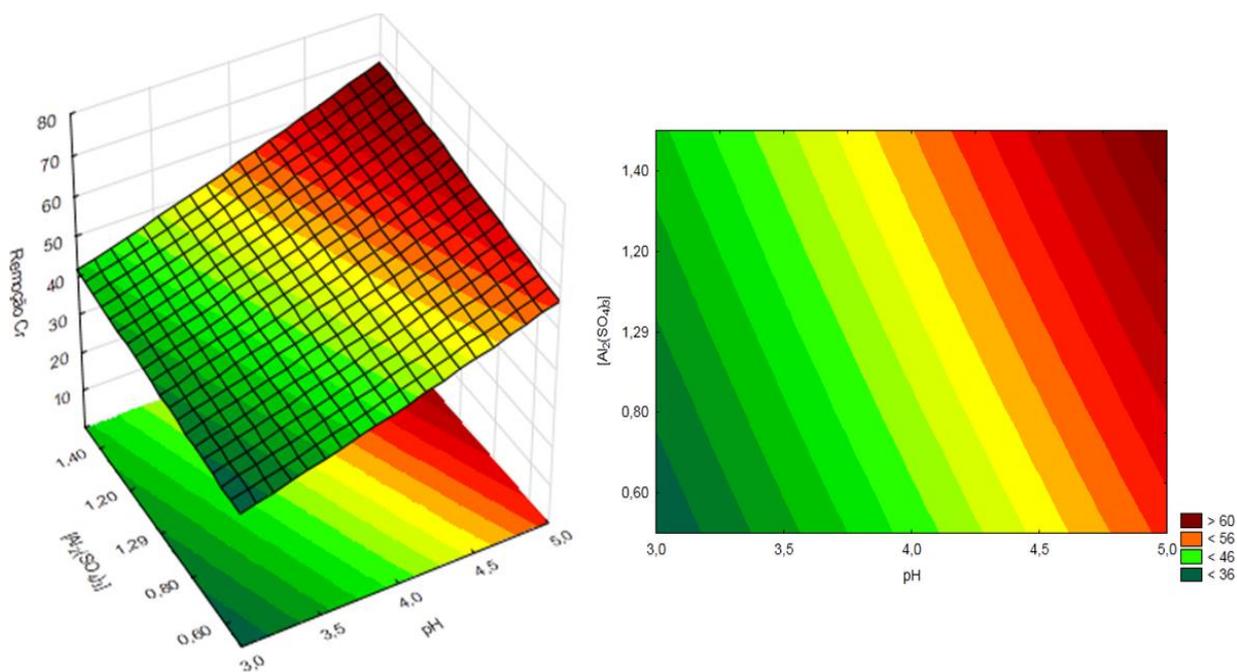


Figura 6 - Gráficos de superfície de resposta do pH e $[Al_2(SO_4)_3]$ para o método de remoção de cromo do efluente.

A Figura 7 apresenta as superfícies de resposta de QM e pH, somente o pH se mostra significativo para o processo, com a seu receptível aumentando observa-se uma maior remoção de cromo. Isso não é observado com a QM, o mesmo não se mostra significativo para o processo de remoção do cromo.

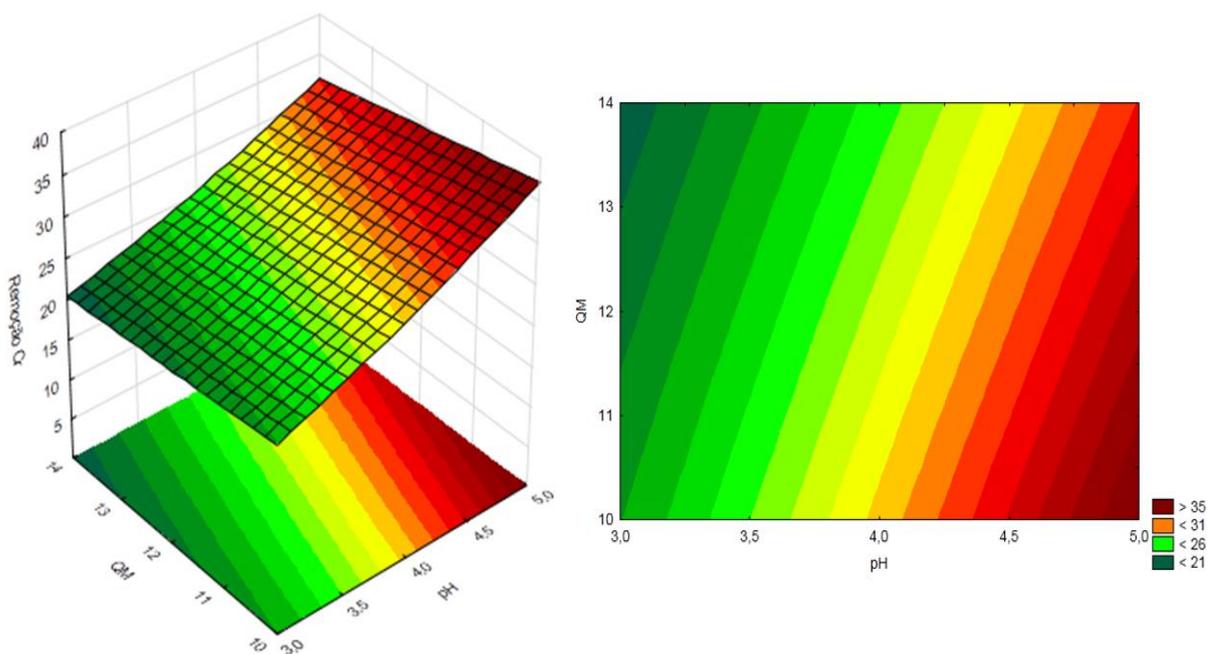


Figura 7 - Gráficos de superfície de resposta do QM e pH para o método de remoção de cromo do efluente.

Por intermédio do planejamento fatorial é possível afirmar que, nas condições propostas, apenas pH e a interação entre pH e $[Al_2(SO_4)_3]$ tem influência significativa no processo de remoção do cromo. Níveis superiores da variável pH conseguem remover uma maior quantidade de cromo, vale ressaltar que a interação entre pH e $[Al_2(SO_4)_3]$ em níveis superiores também causam o mesmo efeito no processo.

Por meio da Tabela 7 pode se observar que a maior remoção de cromo se deu no ensaio de número 4 (valor destacado em negrito na tabela), em que utiliza-se o segundo maior valor tanto de pH e de $[Al_2(SO_4)_3]$. Outra observação também importante é que no ensaio de número 10 apresentou um valor muito próximo do encontrado no ensaio 4. Devido a isso, ambos os ensaios tem condições ideais para o processo, podendo ser levado em conta o preço dos reagentes a serem utilizados para determinar a melhor condição a ser utilizada no processo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das análises físico-químicas constatou que o efluente da indústria de galvanoplastia não pode ser descartado sem um tratamento prévio, uma vez que alguns parâmetros como o pH e sólidos sedimentáveis, não obtiveram os valores aceitáveis pela legislação para descarte. Sendo assim, seu descarte acarretaria em expressivos danos ao meio ambiente.

Mediante ao estudo da mucilagem obtida a partir das folhas frescas da *Pereskia aculeata* Miller, foram identificadas características como teor de umidade e cinzas e temperatura de perca da matéria orgânica. Entretanto, mesmo após a calcinação da mucilagem a uma temperatura de 600 °C ainda permaneceu uma porção de 43% de matéria.

Após os ensaios realizados no jar test, as amostras foram submetidas a análise de absorção atômica, e com os resultados obtidos procedeu-se com uma análise estatística para determinar qual foi o ensaio mais eficiente para a remoção do cromo no efluente

Portanto, verificou-se que o ensaio que apresentou melhor resultado foi o ensaio 4, em que se teve uma remoção de cromo de 20,12 %. Outro ensaio que obteve resultado muito similar ao ensaio 4 foi o ensaio 10, apresentando uma remoção de 19,94 % do metal em estudo. A escolha do método mais apropriado deverá ser feito após um levantamento de custo benefício para o tratamento desse efluente.

Somente a interação entre pH e $[Al_2(SO_4)_3]$ apresentou um resultado significativo para a remoção do cromo. Isso pode ser visualizado na Figura 6 por meio do gráfico de superfície resposta, que ao aumentar os valores desses parâmetros tem-se maior remoção do metal do efluente.

Outro resultado importante que se obtêm mediante ao planejamento fatorial é que a mudança para níveis superiores de pHs também consegue se ter uma maior remoção do cromo, contudo essa redução é decorrente da precipitação do metal que ocorre em pHs mais elevados.

Vale ressaltar que por meio da análise estatística a interação da quantidade de mucilagem da Ora-pro-nóbis com o pH no tratamento do efluente não se mostrou significativa, uma vez que analisando o gráfico de superfície resposta apresentado

na Figura 7, pode-se observar que o pH se mostra significativo para o processo, aumentando a remoção de cromo com seu receptível aumento. Isso não é observado com a QM, o mesmo não se mostra significativo para o processo de remoção do cromo.

Em vista disso, determinou-se que o efluente não pode ser descartado sem um tratamento apropriado, pois mesmo com essa redução de cromo, o efluente ainda não apresenta parâmetros aceitáveis de concentração do metal quando comparados aos níveis permitidos pela legislação.

7 SUGESTÕES

Como sugestão para trabalhos futuros, seria a realização de análise de espectroscopia de infravermelho para a mucilagem extraída das folhas frescas da planta *Pereskia aculeata* Miller, para determinação dos grupos funcionais da mesma.

Outra sugestão para esse estudo seria aumentar a massa de folhas frescas da planta Orá-pro-nóbis no momento da extração bem como diminuir a quantidade de água, tendo assim uma maior concentração da mucilagem da planta. Talvez assim a remoção do cromo através do biopolímero seja mais eficiente, uma vez que se tenha uma maior quantidade de planta presente na mucilagem.

8 REFERÊNCIAS

ALVES, Alvaro Cesar Dias. **Estudo da eficiência do processo de coagulação/floculação e do processo combinado de coagulação/floculação/adsorção para tratamento de águas residuárias de galvanoplastia utilizando *moringa oleífera***. 2012. 86f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná, Toledo - Pr, 2012.

AMARAL, Cristina V. **Aplicação do Protocolo de Avaliação de Resíduos Solidificados aos Lodos de Galvanoplastia Incorporados em Matrizes de Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2001.

ARAÚJO, Adriano Antunes de Souza et al. Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas – RBCF**. São Paulo, vol. 42, n. 2, abr./jun., 2006.

ARAÚJO, Nícia V. S. de. **Galvanoplastia com cromo diagnósticos das condições ambientais e ocupacionais em pequenas empresas**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004/2004** - Resíduos sólidos - Classificação. Biotemas, v. 18, n. 2, p. 7–18, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de hortaliças não-convencionais**. Brasília, DF, 2010. 94 p.

CARDOSO, Karina Cordeiro et al. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleífera* Lam.** DOI: 10.4025/actascitechnol. Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CLAYTON, B, E. **Report of the lower moor Incident advisory group**. Journal Ind.Med. v. 40, n. 3, p. 301-304, 1989.

COLARES, Carla Joviana Gomes at el. **Estudo de caso do tratamento de efluentes líquidos gerados no processo de galvanoplastia**. Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação Universidade Estadual De Goiás. 10 a 12 de nov., 2010.

_____. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução nº 70/2009 – CEMA, de 11 de agosto de 2009. Disponível em <
http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf>. Acesso em 10 out. 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 de Março de 2005. **Diário Oficial de União República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2005. Disponível em <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 10 out. 2016

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 430, de 13 de Maio de 2011. **Diário Oficial de União República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2011. Disponível em <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 15 out. 2016.

CONCEIÇÃO, Márcia Cavalcante at el. **Otimização do processo de extração e caracterização da mucilagem de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller)**. 2012. 124f. Tese (Doutorado Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos). - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2013.

COSTA, C. A. **Sorção de Íons Cobre, Níquel e Zinco com o Rejeito do Beneficiamento de Carvões e Outros Materiais Alternativos**. 1998, 64p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

CRUZ, João Guilherme Heinz et al. **Aplicação de Coagulante Vegetal à Base de Tanino no Tratamento de por Coagulação/Floculação e Adsorção/Coagulação/Floculação do Efluente de uma Lavanderia Industrial**. In. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Campo Grande - MS.

EDLINGER, Aline Rodrigues et al. **Caracterização de efluente de indústria metalúrgica e proposta De tratamento**. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia - GO – 19 a 22 nov., 2012.

FABRIS, Jonas; GOLÇALVES, Lucas M.V.; SILVA, Maria G. S. da; SANOCKY, Ricardo; MORAES, Ana C.de. Ensaio de dosagem ótima de agente floculante para tratamento de efluente oriundo de galvanoplastia. **Revista de Extensão e Iniciação Científica UNISOCIESC – REIS**. Sociedade Educacional de Santa Catarina, p. 93–101, jun. 2014.

FRANCO, Elton Santos. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo e estações de tratamento de Água**. 2009, 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Ouro Preto – Ouro Preto-MG, 2009.

GONÇALVES, J.P.Z. et al. **Quantificação de proteínas e análise de cinzas encontradas nas folhas e caule da ora-pronóbis (pereskia aculeata miller)**. Disponível em < <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0167-26714-164573.pdf> >. Acesso em 30 out. 2016.

GUIMARÃES, José R. de A. **Produtividade e características físico-químicas de ora-pronobis sob adubação orgânica**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos/coordenadores Odaire Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea** – São Paulo, 2008.

KAWA, Luciane. Biossorção – descontaminação das águas. **Química, Meio Ambiente e Edificações 2014**. Disponível em: < http://professoralucianekawa.blogspot.com.br/2014/10/biossorcao-descontaminacao-das-aguas_15.htm > Acesso em 30 out. 2016.

KIEHL, E. L. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica – CERES, 1985.

MAIA, Alessandra de Souza; OLIVEIRA, Wanda de; OSÓRIO, Victória Klara Lakatos. Da água turva à água clara: o papel do coagulante. **Revista Química nova na escola**, [S.l., s.d.], n.18, p.49 - 51, nov. 2003.

MACLAFLAN, C. R. D., 1995, “**Aluminium and the Risk for Alzheimer Disease**”, *Environmetrics*, v. 6, pp, 233-275.

JUNIOR, Fausto Alves Lima et al. **Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from Pereskia aculeata Miller**. Department of Food Science, Federal University of Lavras, Minas Gerais, 2013.

MELLA, Bianca. **Remoção de cromo de banhos residuais de curtimento através de precipitação química e eletrocoagulação**. 2013, 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

NOGUEIRA, F.C.B. et al. Sementes de *Moringa Oleifera* e extrato de quiabo no tratamento de efluentes urbanos e industriais. **II Encontro Nacional de Moringa**. Aracaju - Sergipe, p.1-4, nov. 2010.

NOGUEIRA, L.S.; PASQUALETTO, A. Plano de Prevenção de Riscos Ambientais (PGRA) para Empresas de Galvanoplastia. **Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental**. Goiânia, p. 1–28, dez. 2008.

PALÁCIO, Soraya M. et al. **Tratamento de efluente de cromagem por eletrocoagulação**. 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada**. São Carlos. 2001, 216f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – SP, 2001.

PERINI, S. J. B.; SOUZA H.C.M.; MOLIN M.L.; PERINI B.L.B. Avaliação dos processos de precipitação química de efluente galvânico com hidróxido de cálcio e carbonato de sódio. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química COBEQ**. Florianópolis/ SC, p. 1–6, out, 2014.

QUEIROZ, Carla R.A. dos A. **Cultivo e composição química de ora-pro-nóbis (*pereskia aculeata* mill.) Sob déficit hídrico intermitente no solo**. 2012. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2012.

RITCHER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

SABESP – Companhia De Saneamento Básico Do Estado De São Paulo. **Tratamento de água**. Sabesp, [S.l., s.d.]. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/Tratamento_Agua_Impressao.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2016.

SERPELLONI, G.B. et al. Estudo do potencial do extrato de *moringa oleifera* lam como coagulante/floculante no tratamento para obtenção de água potável. **II Encontro Nacional de Moringa**. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. II ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA. Aracaju - Sergipe, p.1-5, nov. 2010.

SILVA, Carlos Sérgio da. **Um estudo crítico sobre a saúde dos trabalhadores de galvânicas, por meio das relações entre as avaliações ambientais, biológicas e otorrinolaringológicas**. 2010. 169f. Dissertação (Doutorado) Universidade de São Paulo. FUNDACENTRO, 2010.

SILVA, Débora . O. DA. **Avaliação do crescimento e desenvolvimento de ratos tratados com *Pereskia aculeata* , Miller**. 2012. 28 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

STANDARD METHODS. **For the examination of water & wastewater**. 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

TAKEITI, C. Y. et al. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, p. 148-160. 2009.

TCHOBANOGLIOUS, G.et al. **Integrated solid waste management engineering principles and management issues**. McGraw Hill, Inc, 1993.

TOFANELLI, Mauro B. D.; RESENDE, S. G. Sistemas de condução na produção de folhas de Ora-pro-nobis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 466–469, jul./set. 2011.

VEIT, M.T. **Estimação de parâmetros de transferência de massa para biossorção de cromo (III) e Níquel(II) num sistema contínuo em coluna de leito fixo pela biomassa de alga marinha *Sargassum filipendula***. Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá – PR, 2006. Tese (Doutorado).

VAZ, LUIZ G.de L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas – Engenharia Química – Toledo –

PR, Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Departamento de Engenharia Química – Maringá – PR, v 35, n4, p.45-54, 2010.

VAZ, Luiz G. de L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

WEIHERMANN, Eduarda et al. Cloreto férrico e sulfato de alumínio: importância dos coagulantes/floculantes no tratamento de efluentes galvânicos. **Revista de Extensão e Iniciação Científica UNISOCIESC – REIS**. p. 39–53, 2015.