



## PRODUÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DA CASCA DE BANANA (*MUSA SP, GRUPO AAA*) PARA REMOÇÃO DE $\text{Fe}^{2+}$ EM ÁGUAS RESIDUAIS

Danilo Barros Campos  
Gabrielle di Francesco Vicente Marques  
Helena Cacciaguerra Faria  
Nikaely Sousa do Nascimento  
Yasmin Santos Jeronimo  
Orientadora: Me. Márcia da Silva

### RESUMO

Os resíduos ricos em ferro podem vir de diversas indústrias, dentre elas a indústria de mineração que extrai o minério de ferro. Todas elas geram uma grande variedade de resíduos cujos destinos raramente geram valor agregado, muitos dos quais representam até preocupações ambientais. O Ministério da Saúde define como valor limite para a concentração de ferro na água potável 400  $\mu\text{g/L}$ . Quando a água é contaminada com esse elemento químico, pode ocasionar intoxicação, principalmente em crianças. Em virtude disso, uma das medidas é adsorver tal metal das águas residuais, através da biossorção: um método simples e de baixo custo, além de poder remover de forma conveniente os metais pesados. Neste trabalho, buscou-se desenvolver um filme biodegradável feito a partir da farinha da casca da banana nanica para a remoção do ferro em águas residuais. No método deste trabalho, foi preciso realizar a lavagem, secagem e a trituração da casca da *MUSA SP, GRUPO AAA*, formando assim uma farinha da mesma. Em seguida, na produção dos filmes biodegradáveis, adicionou-se a farinha em uma solução de 1,2,3-propanotriol, após isso, foi adicionada também a pectina e o alginato de sódio, quando pronto, foi acondicionado em uma câmara de fluxo laminar, em seguida foram cortados em corpos de prova de 2x2 cm e pesados para o ensaios de biossorção. Posteriormente, foi realizado o preparo e a determinação do Ferro por Espectrofotometria de Absorção Molecular (EAM), com o objetivo de se comparar os resultados da solução amostra antes e depois de entrar em contato com o filme biodegradável. Por fim, foi testada a eficácia dos filmes biodegradáveis a partir de dois lotes e suas respectivas curvas analíticas, onde os filmes apresentaram uma faixa de adsorção satisfatória, com isso, evidencia-se que o método proposto é viável.

**Palavras-chave:** Banana. Filme biodegradável. Biossorção. Ferro

### ABSTRACT

Iron-rich waste can come from a variety of industries, among them the mining industry that extracts iron ore. All of them generate a wide variety of wastes whose destinations rarely generate added value, many of which even represent environmental concerns. The Ministry of Health defines the limit value for iron concentration in water as 400  $\mu\text{g/L}$ . When water is contaminated with this chemical element, it can cause poisoning, especially in children. Because of this, one of the measures is to adsorb this metal from wastewater, through biosorption: a simple, low-cost method, besides being able to conveniently remove heavy metals. This work, it was seeking to develop a biodegradable film made from banana nanica peel flour for the removal of iron in wastewater. In the method of this work, it was necessary to wash, dry, and grind the peel of *MUSA SP, GROUP AAA*, thus forming flour from it. Then, to produce the biodegradable films, the flour was added to a solution of 1,2,3-propanetriol, after that, pectin and sodium alginate were also added, when ready, they were placed in a laminar flow chamber, then cut into 2x2 cm specimens and weighed for the biosorption tests. Subsequently, the iron was prepared and determined by Molecular Absorption Spectrophotometry (MAS), to compare the results of the sample solution before and after coming into contact with the biodegradable film. Finally, the effectiveness of biodegradable films was tested from two batches and their respective analytical curves, where the films presented a satisfactory adsorption range, thus, it is evident that the proposed method is viable.

**Keywords:** Banana. Biodegradable Film. Biosorption. Iron.

---

<sup>1</sup> Curso Técnico em Química- ETEC Irmã Agostina  
Av. Feliciano Correia s/n- Jardim Satélite - CEP: 04815-240 - São Paulo - Brasil  
\*g2.22etecia@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

O Ferro é um metal onipresente na Terra, podendo ser encontrado em grandes jazidas na forma de minerais. Ele apresenta propriedades físico-químicas que o faz importante em determinados processos, tanto em ambiente mineral como nos sistemas biológicos (DUARTE, 2020).

É mutável e pode ser aplicado em processos industriais, por causa de suas características, como resistência, tenacidade e dureza (SILVA, 2014).

O Ministério da Saúde, PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. art.38, define como valor limite para a concentração de ferro na água 400 µg/L.

Em virtude disso, quando a água é contaminada com esse elemento químico, pode ocasionar intoxicação principalmente em crianças, tendo como principais sintomas: gastroenterite aguda, e depois, se não tratado com rapidez, choque e insuficiência hepática (O'MALLEY, 2020).

Tendo em vista a gravidade dos sintomas que a contaminação com Ferro pode ocasionar, uma das medidas é adsorver tal metal das águas atestadas e, para isso, resíduos agrícolas e materiais naturais vem sendo alvo de pesquisas a fim de encontrar uma solução barata e eficaz para apartar este contaminante da água (MARSHALL & WARTELLE, 2005).

Considerando todos os meios usuais de tratamentos vigentes, a biossorção é um método simples e de baixo custo, além de poder remover de forma eficiente os metais pesados (COELHO et al., 2014). Este processo é particularizado pelo deslocamento de massa da fase líquida para uma superfície sólida chamada de biossorvente (BUGIERECK et al., 2015).

A composição da casca de banana possibilita a biossorção, tanto de metais quanto compostos orgânicos, em virtude de que as moléculas aderem-se a uma superfície sólida devido as suas cargas eletrostáticas. Os grupos carbonila e hidroxila são exemplos de moléculas carregadas negativamente que estão presentes na casca da banana. Já os metais pesados são carregados com cargas positivas. Com isso, quando a farinha da casca de banana é colocada em contato com água a ser analisada, ela se une aos metais (BONIOLO, 2008).

Segundo o IBGE 2021, foram produzidas 6.811.374 toneladas de banana em uma área de 453.273 hectares, tendo um rendimento médio de 15.030 kg por hectares. Os maiores produtores no

Brasil são os estados de São Paulo e Bahia, que unidos representam uma porcentagem significativa da produção, sendo de 27,6%.

A aplicação da farinha da casca de banana como biossorvente pode reduzir os impactos ambientais de diversas formas, dentre elas, as duas mais notáveis são consumir o fruto ainda verde, na forma de biomassa ou de farinha (LIMA et al., 2012); (SIQUEIRA, PAETZOLD e FARINÃ, 2021).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo testar a aplicabilidade de um filme biodegradável feito a partir da farinha da casca de banana nanica para a remoção do ferro em águas residuais.

### 1.1. Banana Nanica

De acordo com a classificação botânica, as bananas pertencem a classe *Monocotyledonae*, a ordem *Scitaminales*, a família *Musaceae*, enquanto a última pertence à subfamília *Heliconioideae*, *Strelitzioideae* e *Musoideae*, incluindo os gêneros *Ensete* e *Musa*, sendo que o nome científico da banana é *Musa Acuminata* (JORGE, 2017).

Enquanto a casca da banana é composta por 75% de água e 25% de matéria seca (composta pelas vitaminas A e C, além de sódio, ferro, zinco, cobre, magnésio, potássio e cálcio), a farinha da casca da banana contém proporções elevadas de materiais orgânicos-minerais, sendo 35% de amido, 31% de açúcares totais, 65% de umidade, 13% de cinzas, 10% de lipídios e 8,8% de proteínas, ou seja, é rico de grupos funcionais aptos a interagir com íons metálicos (CRUZ, 2009).

Dentro das indústrias alimentícias, é gerado biomassas residuais, sendo elas vestígios orgânicos que o processo industrial não aproveita. A casca da banana é um desses resíduos e, mesmo o Brasil sendo um dos principais produtores no mundo de banana, ele ainda detém o maior índice de desperdício. Estudos indicam uma variação de 20% a 40% de produção perdida, sendo equivalente a U\$ 2 bilhões (SILVA, 2003).

O prejuízo acontece na parte do comércio, colheita, transporte da fruta e na indústria alimentícia, que eventualmente só usa a polpa da fruta, descartando as cascas e, por isso, os resíduos de biomassas são consideravelmente grandes. As prefeituras se recusam a retirar os materiais que podem chegar, em uma semana, a mais de quatro toneladas, aumentando o impacto e a poluição local (TAIPINA, 2004).

## 1.2. Filme Biodegradável

Filme biodegradável é um filme fino preparado a partir de materiais biológicos. Quando totalmente prontos, os filmes funcionam como complexos funcionais de células com padrões de crescimento diferentes, cooperação fisiológica e eficiência metabólica (HENRIQUE, 2008); (IST, 2005).

Os filmes biodegradáveis podem ser classificados em polímeros biodegradáveis e biopolímeros à base de óleo ou um polímero derivado biologicamente. Possuem certos graus de biodegradabilidade inerentes, tais como a policaprolactona, o polihidroxibutirato, e/ou plásticos quimicamente modificados, que servem para auxiliar na biodegradação (DAVIS e SONG, 2006).

No conceito de biodegradabilidade deve ser considerado as reações abióticas, como a fotodegradação, a oxidação e a hidrólise, que podem modificar a estrutura do polímero devido ao ambiente (TEXEIRA, 2007).

## 1.3. Adsorção

O processo de adsorção consiste na condensação e acúmulo de substâncias que estejam presentes em um líquido ou em um gás em uma superfície sólida. Durante o processo, a substância que fica contida é chamada de adsorvato, e o adsorvente contém a substância (COELHO et al., 2014).

Esse fenômeno pode ser explicado pela termodinâmica como as forças de atração que não foram supridas na área do adsorvente. Quando a força atrativa entre o adsorvato e o adsorvente é maior do que entre o adsorvato e o efluente, o adsorvato sofrerá um processo de adsorção na interface da superfície do adsorvente (PEREIRA, 2008).

A capacidade adsorvativa se relaciona diretamente com o adsorvente, especificamente, com a área total da sua superfície de contato. Desse modo, é possível estabelecer uma relação diretamente proporcional, quanto maior sua superfície de contato, mais eficiente será o processo. Isso justifica a quantidade de poros em materiais adsorventes (NASCIMENTO et al., 2014).

### 1.3.1. Biossorção de Metais Pesados

A biossorção é utilizada para a remoção de metais pesados livres de atividades metabólicas, fornecendo fundamento para o estudo que tem como objetivo a remoção de metais pesados em soluções com concentrações de 1 a 100 mg.L<sup>-1</sup> (CHONG & VOLESKY, 1995).

Para isso, podem ser utilizados sólidos de procedência vegetal ou microrganismos (COSSICH et al., 2000).

O biossorvente é usado para se referir a materiais adsorventes, com ou sem atividade metabólica. Todos são provenientes de seres vivos, como vegetais, microrganismos e alguns animais. Quando possuem atividade metabólica, são usados para a biossorção. Os sistemas de remoção de íons metálicos tornam-se complicados, envolvendo bioacumulação desses íons no biossorvente. Quando a atividade metabólica não existe, a remoção desses íons é feita por processos físico-químicos entre o adsorvente e o adsorvato (BROOKS, 1994).

## 1.4. Ferro

O ferro é um metal de transição, de coloração branca prateada, contém propriedades magnéticas e possui dois estados de oxidação: +2 e +3. É um elemento reacionário, e quando exposto a ambientes úmidos acaba oxidando e formando a ferrugem (SILVA, 2014).

Existem oito elementos químicos mais abundantes na Terra, com o ferro em quarto lugar com cerca de 5% em massa. O Brasil possui a quinta maior reserva de ferro do mundo, a mais pura em teor de ferro. O Brasil também é um dos três maiores produtores de minério de ferro junto com China e Austrália (DUARTE, 2020).

### 1.4.1. Fontes Residuais de Ferro

Os resíduos ricos em ferro podem vir de várias indústrias. A primeira é a indústria de mineração que extrai minério de ferro. O ferro obtido pode ser utilizado nas mais diversas indústrias, desde indústrias metalúrgicas/siderúrgicas tradicionais, indústrias químicas, até indústrias menos esperadas como a indústria alimentícia. Todas essas indústrias geram uma grande variedade de resíduos cujos destinos raramente geram valor agregado, muito dos quais representam até preocupações ambientais (LOBO, 2014).

A indústria metalúrgica é uma importante fonte de sucata rica em ferro. A geração desses resíduos é tão variada quanto a própria indústria. Diferentes resíduos como lama vermelha, limalha de ferro, minério de ferro, escória de alto-forno ou pó de forno elétrico a arco contêm grandes quantidades de ferro (LOBO, 2014).

A lama vermelha é o resíduo tóxico da alumina produzida durante o refino da bauxita. Essas lamas contêm grandes quantidades de

óxidos metálicos, dos quais cerca de 60% são óxidos de ferro (SCHMITZ, 2006).

#### 1.4.2. Efeitos Colaterais do Ferro

O ferro é a principal causa de morte por intoxicação em crianças. Os sintomas começam com gastroenterite aguda. Se não tratado com rapidez, ocasionará choque e insuficiência hepática (O'MALLEY, 2020).

Os sintomas da intoxicação ocorrem em 5 estágios (Tabela 1), contudo, os sintomas e seu avanço variam. Os sintomas do Estágio 1 indicam a gravidade da intoxicação, ou seja, se não se mostrarem sintomas nas primeiras 6h após a ingestão, o risco de grave toxicidade é mínimo (O'MALLEY, 2020).

Tabela 1: Estágios da intoxicação

| Estágio | Tempo          | Descrição   |
|---------|----------------|---|
| 1       | Entre 6h       | Vômitos, hematêmese, diarreia explosiva, irritabilidade, dor abdominal e letargia. Se toxicidade for grave, há taquipneia, taquicardia, hipotensão, coma e acidose metabólica |
| 2       | Entre 6h e 48h | Mais de 24 horas de aparente melhora (período latente)  |
| 3       | 12 a 48h       | Choque, convulsões, febre, coagulopatia e acidose metabólica  |
| 4       | 2 a 5 dias     | Insuficiência hepática, icterícia, coagulopatia e hipoglicemia  |
| 5       | 2 a 5 semanas  | Escoamento gástrico ou obstrução duodenal secundária à cicatriz   |

Fonte: O'MALLEY, 2020.

## 2 METODOLOGIA

Neste item encontram-se descritos todos os materiais e procedimentos utilizados para a realização das análises.

### 2.1. Materiais

Para a construção do presente trabalho foram necessários os seguintes equipamentos: estufa de secagem, chapa de aquecimento e agitação, balança analítica e semi-analítica, termômetro, câmara de fluxo laminar, pipetas automáticas: P 1000 de volume variável, P 500 de volume fixo e P 20 de volume fixo, espectrofotômetro UV-Vis, sistema de filtração simples, mixer triturador de alimentos e dessecador.

Os materiais utilizados foram: béquer, bastão de vidro, frasco âmbar para armazenamento de soluções, proveta graduada de 10 mL, bandejas de alumínio, erlenmeyer, funil de vidro, balões volumétricos, peneira, bandeja de isopor, bandeja plástica, prato plástico, espátula de metal, agulha, régua, cápsulas de porcelana e pistilo de porcelana.

Para a realização dos procedimentos, foram utilizados os seguintes reagentes: banana orgânica, água destilada, ácido ascórbico, ácido cítrico, alginato de sódio, 1,2,3-propanotriol (glicerol), pectina, hidróxido de sódio, sulfato de ferro (II), sulfato ferroso amoniacal hexahidratado, 1,10-Fenantrolina e acetato de amônio.

### 2.2. Métodos

#### 2.2.1. Obtenção da Farinha da Casca de Banana Nanica

Para este trabalho, a *musa-sp* (banana nanica) utilizada foi totalmente orgânica e classificada a partir do estágio de maturação entre 1 a 3 conforme a escala de Von Loesecke, de acordo com a Figura 1 (CEAGESP, 2006).

Figura 1: Escala de Maturação de Von Loesecke (1950).



As cascas de 12 frutas foram retiradas, cortadas e lavadas com água potável. Depois, foram submersas em uma solução contendo 1 litro de ácido ascórbico  $0,35 \text{ g.L}^{-1}$  e 1 litro de ácido cítrico  $5 \text{ g.L}^{-1}$  por 15 minutos. Em seguida, foram lavadas novamente e distribuídas em bandejas de alumínio para a secagem na estufa em  $60^\circ\text{C}$  durante 24 horas (ANDRADE B.A. et al., 2018) & (ALEJANDRO, 2021).

**Figura 2:** Casca da banana antes da secagem



Posteriormente, as cascas já secas foram trituradas com o auxílio de um mixer triturador de alimentos, uma cápsula de porcelana e um pistilo de porcelana. Após a trituração, as cascas foram peneiradas em malha fina e em seguida pesadas, assim obtendo 10 gramas de farinha (SULTAN & JOHARI, 2017).

### 2.2.2. Produção dos Filmes Biodegradáveis

Inicialmente, pesou-se cerca de 20 gramas de 1,2,3-propanotriol para diluição com 356 mL de água destilada. Logo, a solução estoque foi dividida em duas partes iguais, sendo uma para posterior utilização e outra para armazenamento (ALEJANDRO, 2021).

Na solução de 1,2,3-propanotriol, foram adicionadas as 10 gramas de farinha já pesadas e feita a homogeneização. Após este processo, foi utilizada a chapa de aquecimento com agitação magnética para aquecimento de 65°C a 70°C, com o objetivo de facilitar a dissolução (LIM WSU et al., 2020).

Com a montagem do sistema de filtração simples, foram coletados cerca de 100 mL da solução em Erlenmeyer de 250 mL. Após este processo, pesou-se 0,6 gramas de pectina e 0,4 gramas de alginato de sódio para serem acrescentados à mistura filtrada e agitados em 50°C durante 15 minutos (ARTEAGA & ZAVALA, 2018).

Com o objetivo de eliminar a presença de bolhas, a mistura foi colocada em estufa a 60°C durante 15 minutos.

Por fim, a solução foi despejada em uma bandeja de isopor e colocada em uma câmara de estabilidade, sendo o tempo mínimo de 3 dias até a completa secagem dos filmes.

### 2.2.3. Acondicionamento dos Filmes Biodegradáveis

Ao se concluir a secagem, os filmes foram armazenados por no mínimo 7 dias em um

dessecador a 25°C com uma solução saturada de Hidróxido de Sódio 60% (CESAR, 2018).

### 2.2.4. Caracterização dos Filmes

Os filmes obtidos foram analisados visualmente para características macroscópicas referente à existência de bolhas de ar e rachaduras (SIQUEIRA; PAETZOLD; FARINÃ, 2021).

Com uma régua, os filmes foram medidos em corpos de prova de 2cm<sup>2</sup> e retirados da bandeja com o auxílio de uma agulha de metal.

#### 2.2.4.1. Teste de Solubilidade

Para o teste de solubilidade em água, os filmes foram imersos em 10 mL de água destilada por 15 minutos e agitados periodicamente, sendo necessário uma centrifugação para separar as fases.

### 2.2.5. Preparo da Solução de Ferro

Em um béquer de 50 mL, foram calculados para serem pesados, aproximadamente, 0,36 gramas de FeSO<sub>4</sub> para o preparo da solução que simulou a amostra contaminada.

Para esse cálculo, foi considerada apenas a massa do sulfato de ferro (II) do sal heptaidratado.

Posteriormente, com a correção já feita, a solução foi diluída em um balão de 50 mL, assim obtendo uma amostra na concentração de 4 g.L<sup>-1</sup> (ENGELMANN, 2016).

### 2.2.6. Ensaios de Biossorção

Os filmes em contato com a solução de sulfato de ferro (II), foram agitados por cerca de 15 minutos em um agitador magnético.

Após este processo, a mistura foi centrifugada e a fase líquida que contém o ferro não adsorvido, passou por uma análise de espectrofotometria de adsorção molecular (RAMOS & MOTOBU, 2018).

### 2.2.7. Determinação do Ferro por Espectrofotometria de Absorção Molecular (EAM)

#### 2.2.7.1. Preparo da Solução Mãe

Foram preparados 100 mL de uma solução estoque de 1,5 g.L<sup>-1</sup> de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O. Por conseguinte, com uma pipeta automática de volume fixo de 500 µL a solução estoque foi coletada e transferida para um balão volumétrico de 10 mL, a fim de se preparar a solução mãe que posteriormente foi utilizada nos

5 padrões da curva analítica (ENGELMANN, 2016).

### 2.2.7.2. Preparo das Soluções para Leitura no Espectrofotômetro

Tornou-se necessário o preparo de soluções para o preparo dos padrões, com as concentrações descritas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Soluções para preparo dos padrões

| Reagentes   | Concentração              | Volume ou massa |
|---|---------------------------|-----------------|
| $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | $154,16 \text{ g.L}^{-1}$ | 0,20 g          |
| $\text{CH}_3\text{COONH}_4$   | $2,0 \text{ g.L}^{-1}$    | 500 mL          |
| 1,10 - Fenantrolina   | 0,25%                     | 50 mL           |
| Ácido Ascórbico   | 1%                        | 50 mL           |
| $\text{FeSO}_4$   | $4 \text{ g.L}^{-1}$      | 0,20 g          |

Fonte: ENGELMANN, 2016

Para as diluições das soluções que seguem descritas na Tabela 2, foram utilizados 7 balões volumétricos de 10 mL e pipetas automáticas, conforme as Tabelas 3 e 4:

**Tabela 3:** Preparo das soluções para leitura no Espectrofotômetro

| Balões de 10 mL | Solução mãe (mL) | Solução amostra (mL) | Ácido Ascórbico (mL) | 1,10 - Fenantrolina (mL) | Acetato de Amônio (mL) |
|-----------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|
| Branco          | -                | -                    | 0,5                  | 0,5                      | 2                      |
| Padrão 1        | 0,2              | -                    | 0,5                  | 0,5                      | 2                      |
| Padrão 2        | 0,4              | -                    | 0,5                  | 0,5                      | 2                      |
| Padrão 3        | 0,6              | -                    | 0,5                  | 0,5                      | 2                      |
| Padrão 4        | 0,8              | -                    | 0,5                  | 0,5                      | 2                      |
| Padrão 5        | 1,0              | -                    | 0,5                  | 0,5                      | 2                      |
| Amostra         | -                | 0,02                 | 0,5                  | 0,5                      | 2                      |

Fonte: ENGELMANN, 2016

**Tabela 4:** Concentração Teórica dos Padrões

| Balões de 10 mL | Concentração Teórica (mg/mL) |
|-----------------|------------------------------|
| Branco          | 0                            |
| Padrão 1        | 1,5                          |
| Padrão 2        | 3                            |
| Padrão 3        | 4,5                          |
| Padrão 4        | 6                            |
| Padrão 5        | 7,5                          |
| Amostra         | -                            |

Fonte: ENGELMANN, 2016

### 2.2.7.3. Curva Analítica

Primeiramente, foi realizada a varredura para definir o comprimento de onda de maior absorção. Para isso, foi utilizada a solução intermediária e, em seguida, realizadas as leituras na faixa de 400 a 800 nm em cubetas de 1 cm de caminho óptico. A partir disso, a curva analítica foi obtida de acordo com os dados obtidos no espectro após a leitura dos padrões (SANTOS et al., 2017).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Obtenção da Farinha de Banana Nanica

Após secagem em estufa, notou-se que as cascas apresentavam coloração escura.

**Figura 3:** Casca da banana após a secagem em estufa



A partir da trituração e peneiração, a farinha foi pesada, assim obtendo 10 gramas.

**Figura 4:** Farinha obtida



### 3.2. Produção dos Filmes Biodegradáveis

Ao todo, foram produzidos dois lotes de filmes biodegradáveis, sendo que em cada lote foram realizadas quatro análises a partir de quatro filmes cortados em 2 cm<sup>2</sup> e posteriormente pesados para os ensaios de biossorção.

Os filmes utilizados para o teste de solubilidade (em duplicata para cada lote), foram classificados como permeáveis, em razão de se dissolverem em partículas finas no contato com a água, sendo necessário à posterior centrifugação para separá-los da solução.

#### 3.2.1. Caracterização dos Filmes

Após serem retirados da bandeja, os filmes foram cortados em corpos de prova de 2 cm<sup>2</sup>, sendo separados quatro filmes para posterior análise.

No primeiro lote os filmes foram retirados de uma bandeja plástica, logo, notou-se poucas rachaduras e bolhas de ar.

**Figura 5:** Primeiro lote dos Filmes Biodegradáveis



Já no segundo lote, notou-se um pouco mais de rachaduras em relação ao lote anterior e poucas bolhas de ar, além de apresentar coloração mais opaca, o que pode ter sido causado pelo fato do isopor ter textura porosa.

**Figura 6:** Segundo lote dos Filmes Biodegradáveis



### 3.3. Ensaios de Biossorção

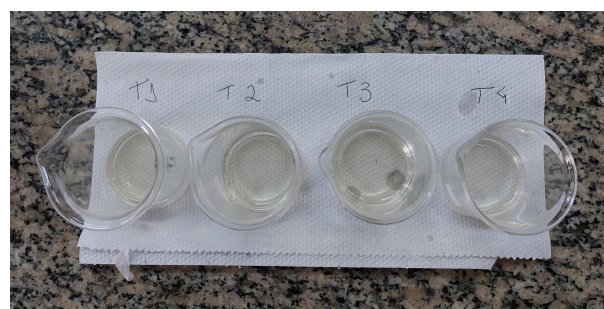
Foram feitos ensaios com quatro filmes de cada lote, que antes de serem colocados em contato com a solução de sulfato de ferro (II) foram pesados, sendo obtidas as massas descritas na Tabela 5.

**Tabela 5:** Massas dos filmes de cada lote

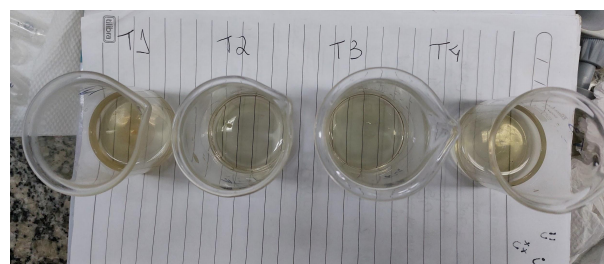
| Teste | LOTE 1 (g) | LOTE 2 (g) |
|-------|------------|------------|
| 1     | 0,1589     | 0,1963     |
| 2     | 0,1477     | 0,1592     |
| 3     | 0,2261     | 0,2222     |
| 4     | 0,1608     | 0,1206     |

Após a pesagem, foram realizados os ensaios de biossorção, conforme a Figura 7 e a Figura 8.

**Figura 7:** Análise da biossorção do primeiro lote



**Figura 8:** Análise da biossorção do segundo lote



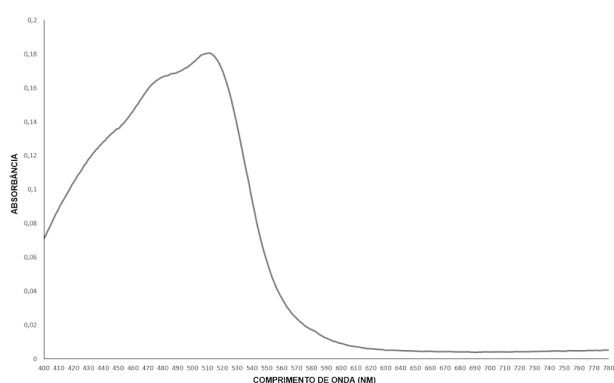
### 3.4. Resultados da Determinação do Ferro por Espectrofotometria de Absorção Molecular (EAM)

#### 3.4.1. Leitura no Espectrofotômetro de Absorção Molecular (EAM)

Após a varredura, foi definido o comprimento de onda fixo em 510 nm.

Importante destacar que, em todos os dias que foram realizadas análises no espectrofotômetro, a leitura do pico máximo de absorção foi feita e sempre obteve o mesmo comprimento de onda.

**Gráfico 1:** Espectro de absorção

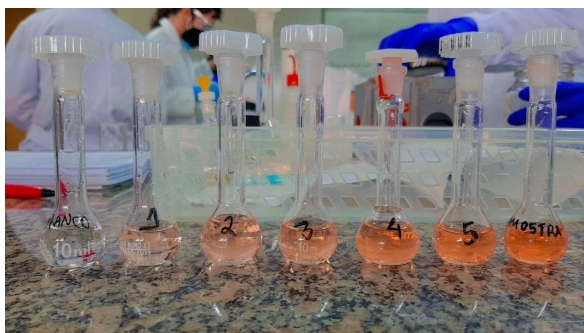


#### 3.4.2. Curva Analítica dos Padrões no EAM

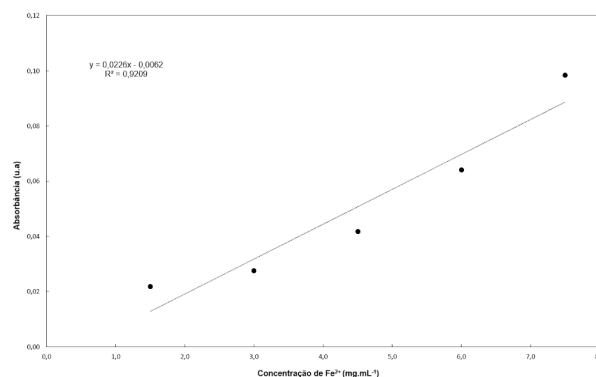
Após a determinação do pico máximo de absorção, foi efetuado a leitura das cinco soluções padrões em duplicatas, sempre acompanhadas da solução branco toda vez que aberto para trocar as soluções.

A leitura dos padrões do primeiro lote foi realizada após a validação do método utilizado.

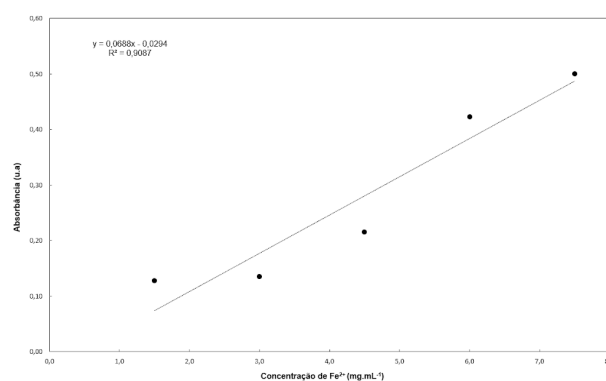
**Figura 10:** Padrões e amostra para leitura no EAM



**Gráfico 2:** Curva Analítica do primeiro lote



**Gráfico 3:** Curva Analítica do segundo lote



Com a análise dos gráficos, é possível observar que os valores obtidos de  $R^2$  foram pouco precisos. Durante as análises, foi possível perceber uma diminuição gradativa desses valores, e com isso foram levantadas algumas hipóteses a fim de compreender o motivo dessa divergência.

Alguns dos possíveis motivos podem ser a contaminação de vidrarias, contaminação de algum dos reagentes ou ainda erro dos analistas na etapa de diluição.

#### 3.4.3. Determinação da Concentração de cada Lote

##### 3.4.3.1. Primeiro Lote

A partir da equação da reta, retirada do primeiro gráfico da curva analítica, foi determinada a concentração dos testes do primeiro lote, como definido pela Fórmula 2 e indicado na Tabela 7.

**Fórmula 2:** Cálculo da determinação da concentração do primeiro lote

$$Abs = 0,0226C - 0,0062$$



**Tabela 7:** Concentrações dos testes

| Teste | Absorbância | Concentração mg.mL <sup>-1</sup> |
|-------|-------------|----------------------------------|
| 1     | 0,0570      | 2,80                             |
| 2     | 0,0522      | 2,58                             |
| 3     | 0,0871      | 4,13                             |
| 4     | 0,0546      | 2,69                             |

Foi encontrado, no primeiro lote, uma concentração média de 3,05 mg.mL<sup>-1</sup> de ferro (II). Considerando a concentração inicial de 4,07 mg.mL<sup>-1</sup>, o filme biodegradável adsorveu cerca de 25,06% de Fe<sup>2+</sup> da solução. Neste lote, foi obtido um desvio padrão de 3,05 ± 0,72 mg.mL<sup>-1</sup>.

### 3.4.3.2. Segundo Lote

A partir da equação da reta, retirada do segundo gráfico da curva analítica, foi determinada a concentração dos testes do segundo lote, como definido pela Fórmula 3 e indicado na Tabela 8.

**Fórmula 3:** Cálculo da determinação da concentração do segundo lote

$$y = 0,0688x - 0,0294$$

**Tabela 8:** Concentrações dos testes

| Teste | Absorbância | Concentração mg.mL <sup>-1</sup> |
|-------|-------------|----------------------------------|
| 1     | 0,132       | 2,35                             |
| 2     | 0,077       | 1,55                             |
| 3     | 0,129       | 2,30                             |
| 4     | 0,100       | 1,88                             |

No segundo lote, foi encontrada uma concentração média de 2,02 mg.mL<sup>-1</sup> de ferro (II). Considerando a concentração inicial de 4,08 mg.mL<sup>-1</sup>, o filme biodegradável adsorveu cerca de 50,49% de Fe<sup>2+</sup> da solução. Neste lote, foi obtido um desvio padrão de 2,02 ± 0,38 mg.mL<sup>-1</sup>.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a problemática apresentada, pode-se concluir que, de acordo com os resultados apresentados neste trabalho, a utilização do filme produzido a partir da casca de banana nanica é uma alternativa eficiente para se adsorver ferro em águas residuais.

Os valores de adsorção no primeiro lote se mostraram relativamente baixos e no segundo lote houve um aumento significativo. Para confirmar a eficácia do método, seria viável a realização de mais ensaios.

Por fim, com este estudo, conclui-se que a utilização dos filmes biodegradáveis produzidos a partir da farinha da casca de banana nanica para adsorção de ferro pelo método de biossorção é viável.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, às nossas famílias e aos nossos amigos por todo apoio, cuidado e paciência conosco, durante toda a confecção do projeto.

À professora Me. Márcia da Silva por todo o acompanhamento e auxílio durante todo o processo do projeto dentro e fora do ambiente institucional.

À professora de PDTCC Thais Taciano por todos os direcionamentos e correções do projeto.

Ao professor Dr. Klauss Engelmann, por disponibilizar seu tempo e auxiliar-nos nas frequentes dúvidas que surgiram ao longo do projeto.

Aos professores do ensino técnico, que nos apoiaram e ajudaram a construir o conhecimento ao longo desses 3 anos, que nos possibilitou confeccionar este trabalho

E a ETEC Irmã Agostina por disponibilizar a infraestrutura necessária para a realização das pesquisas.

## REFERÊNCIAS

ALEJANDRO, A.M.D. **Elaboración y caracterización de una película biodegradable utilizando harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.)**. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, 2021. Disponível em: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6984/1/AGI-2021-T017.pdf>. Acesso em: 30 de abril de 2022

ANDRADE, B.A. et al. **Produção de farinha de banana verde (*Musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral**. Braz. J. Food Technol., v. 21, e2016055, 2018.

ARTEAGA, L.; ZAVALA, S.; **Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de Agave para su utilización en la industria alimentaria**.

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3: 678– 691; 2018.

BONIOLO, M. R. **Biossorção de Urânio nas Cascas de Banana**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BROOKS, R.R. **Plants that hyperaccumulate heavy metals**. *Plants and the chemical elements: biochemistry, uptake, tolerance and toxicity*, p. 87-105, 1994.

BUGIERECK, A. M. et al. **Adsorção de corante catiônico por carvão ativado de casca de banana**. *Blucher Chem. Eng. Proc.*, v. 1, n. 2, p. 8246-8253, 2015.

CESAR, A. **Desarrollo, caracterización y validación de un bioplástico reforzado con orégano con acción antifúngica en alternaria (Alternaria alternata)**. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, 2018. Disponível em: [bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6228/1/AGI-2018-T016.pdf](http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6228/1/AGI-2018-T016.pdf). Acesso em: 30 de abril de 2022

CHONG, K. H.; VOLESKY, B. **Description of two-metal biosorption equilibria by Langmuir-type models**. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 47, n. 4, p. 451-460, 1995.

COELHO, G.F. et al. **Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas**. *J. Agron. Scien., Umuarama*, v. 3, p. 291-317, 2014.

COSSICH, E.S. **Biossorção de cromo (III) pela biomassa da alga marinha Sargassum sp**; Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2000.

CRUZ, M. **Utilização da casca de banana como biossorvente**; 2009. Tese de Doutorado; Dissertação de M. Sc., UEL, Londrina-PR.

DAVIS, G.; SONG, J.H.; **Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management**. *Industrial Crops and Products*, v.23, 71 p.147-161, 2006.

DUARTE, Hélio A. **Ferro-um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade**. *Química Nova*, v. 42, p. 1146-1153, 2020.

ENGELMANN, K. **Determinação de Ferro em medicamentos por Espectrofotometria de Absorção Molecular usando 1,10- Fenantrolina**.

Etec Irmã Agostina. Apostila III Química. IT-006. 2016

HENRIQUE, C. M; CEREDA, M.P.; SARMENTO, S.B.S.; **Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca**. *Food Science and Technology*, v. 28, p. 231-240, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (n.d.). *Produção Brasileira de Banana*, 2021.

IST. Grupo de Ciências Biológicas do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. **Crescimento microbiano em biofilmes**. Publicado em 18/11/2005

JORGE, T. C. **Desempenho Agrônomo e Caracterização de duas cultivares de banana: Grand Naine e Prata Anã**. 2017.

LIMA, M. B., SILVA, S.D.O. e., & FERREIRA, C. F. (2012). **O produtor pergunta, a Embrapa responde** (segunda edição ed. 2012).

LIM, W.S. et al. **Heat-sealing property of cassava starch film plasticized with glycerol and sorbitol**. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020. 26(1):1–7. doi:10.1016/j.fpsl.2020.100556.

LOBO, José Augusto Antunes. **Reciclagem de resíduos ricos em ferro para remediação ambiental**. 2014. Tese de Doutorado. 00500:: Universidade de Coimbra.

MARSHALL, W. E.; WARTELE, L. H. **Chromate ion adsorption by agricultural byproducts modified with dimethyloldihydroxyethylene urea and choline chloride**. *Water Research*; V. 39; p. 2869–2876, 2005.

NASCIMENTO, R.F. do et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2014.

O'Malley, Gerald F.; O'Malley, Rika. **"Intoxicação por ferro - Lesões; intoxicação - Manuais MSD edição para profissionais."** *MSD Manuals*, 2020, [https://www.msmanuals.com/pt-br/profissional/les%C3%B5es-intoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o-por-ferro#v1119369\\_pt](https://www.msmanuals.com/pt-br/profissional/les%C3%B5es-intoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o-por-ferro#v1119369_pt).

PBMH & PIF - Programa Brasileiro para a modernização da Horticultura & Produção integrada de frutas. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29)

PEREIRA, F.V. **Remoção de íons zinco (II) de efluentes derivados de processos de galvanoplastia utilizando rejeitos de fibras vegetais modificadas quimicamente**. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)- Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

RAMOS, Y.C.; MOTOBU, R.J. **Estudo da bioissorção de chumbo em efluentes industriais contaminados utilizando resíduos vegetais**. CONIC ed.18. Ciências Exatas e da Terra- Engenharias; Universidade Católica de Santos, 2018

SANTOS, A. F. et al. **Utilização do pó da fibra de coco verde para a bioissorção de Pb<sup>2+</sup> em águas contaminadas**. Etec Irmã Agostina. São Paulo, 2017

SCHMITZ, Christoph. Red mud disposal. **Handbook of aluminium recycling**, v. 18, 2006.

SEÇÃO, II. BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria Nº PORTARIA GM/MS Nº 888. art.38 DE 4 DE MAIO DE 2021.

SILVA, C.S. et al. **Avaliação econômica das perdas de banana no mercado varejista: um estudo de caso**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 229-234, 2003.

SILVA, Marcia Lima da. **Aplicação da termogravimetria na determinação do teor de ferro em comprimidos: um estudo comparativo com a espectrofotometria**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SIQUEIRA, L.V; PAETZOLD, M.G; FARINÃ, L.O. de.; **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes à base de biomassa de banana verde**. Brazilian Journal of Health Review, Curitiba, v.4, n.1, p 2868-2886 Jan/Feb. 2021

SULTAN, N.F.K; JOHARI, W.L.W. **Desenvolvimento de filme bioplástico de casca de banana/amido de milho: um estudo preliminar**. Pesquisa em Ciência e Tecnologia em Biorremediação, [S. l.], v. 5, n. 1, pág. 12–17, 2017. Disponível em:<https://journal.hibiscuspublisher.com/index.php/BSTR/article/view/352>. Acesso em: 30 de abril de 2022.

TAIPINA, M. S. **Aceitabilidade sensorial de suco de manga adicionado de polpa de banana (Musa sp) verde**. Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 63, n. 1, p. 49-55, 2004.

TEIXEIRA, E. M. **Utilização do amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos**. Tese de doutorado. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos: 2007.