

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**BIOSSORÇÃO DE SELÊNIO POR  
PSEUDOCAULE DE BANANEIRA E LEVEDURA RESIDUAL DE INDÚSTRIA  
CERVEJEIRA**

GABRIELA GROSSL

JOINVILLE  
2022

GABRIELA GROSSL

**BIOSSORÇÃO DE SELÊNIO POR  
PSEUDOCAULE DE BANANEIRA E LEVEDURA RESIDUAL DE INDÚSTRIA  
CERVEJEIRA**

Dissertação de mestrado apresentada  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia de  
Processos, na Universidade da Região  
de Joinville.  
Orientador: Prof. Dr Ozair Souza.

JOINVILLE

2022

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

G878b Grossl, Gabriela  
Biossorção de selênio por pseudocaule de bananeira e levedura residual de indústria cervejeira / Gabriela Grossl; orientador Dr. Ozair Souza. – Joinville: UNIVILLE, 2022.

70 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville)

1. Selênio – Absorção e adsorção. 2. *Saccharomyces cerevisiae*. 3. Resíduos industriais. 4. Cerveja – Indústria – Joinville (SC). I. Souza, Ozair (orient.). II. Título.

CDD 628.4

## Termo de Aprovação

### “Biossorção de Selênio por Pseudocaulis de Bananeira e Levedura Residual de Indústria Cervejeira”

por

Gabriela Grossl

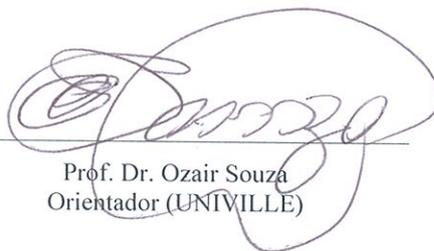
#### Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ozair Souza  
Orientador (UNIVILLE)

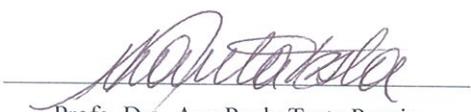
Dr. Nelson Libardi Junior  
(UFSC)

Profa. Dra. Elisabeth Wisbeck  
(UNIVILLE)

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Desenvolvimento e Gestão de Processos e Produtos e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.



Prof. Dr. Ozair Souza  
Orientador (UNIVILLE)



Profa. Dra. Ana Paula Testa Pezzin  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos

Joinville, 29 de novembro de 2022.

Dedico este trabalho aos meus pais, Tânia  
e Neilton, e minha irmã Eduarda.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, coordenação e colaboradores, pelo direcionamento, informações e atendimento no decorrer do curso, bem como a equipe do laboratório de Meio Ambiente da Univille, pelo suporte durante a execução dos ensaios laboratoriais, ao professor Dr. Ozair Souza, pela oportunidade de estudo.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A todos os familiares, que apoiaram, auxiliaram e contribuíram pela realização deste trabalho. E sobretudo ao meus pais, Tânia e Neilton, minha irmã Eduarda meus alicerces, por todo apoio, incentivo e proteção.

## RESUMO

Biossorção de selênio por pseudocaule de bananeira e levedura residual de indústria cervejeira.

Dependendo da sua atividade, as indústrias químicas e de mineração podem gerar efluentes contendo diferentes tipos de metais pesados e outros elementos químicos que, quando não eliminados da corrente de descarte, transformam-se em grandes poluidores dos corpos hídricos receptores. Alguns desses elementos são essenciais à vida, porém, em altas quantidades podem acarretar sérios danos à saúde humana. Dentre eles, encontramos o selênio, matéria prima utilizada na produção de vários suplementos alimentares para humanos e animais e também como aditivo em inseticidas ou fertilizantes foliares. Há vários processos eficientes indicados para a remoção desse elemento, sendo a adsorção por biomassa considerada um daqueles de menor custo. Diferentes tipos de biomassa microbiana, com destaque para as espécies *Saccharomyces* e *Pseudomonas*, e de resíduos agrícolas têm sido avaliados como adsorventes de selênio. No presente trabalho, avaliou-se a eficiência e capacidade de biossorção de selênio, utilizando biomassa microbiana descartada por indústria cervejeira da região de Joinville e biomassa vegetal coletada em plantações de bananas. Foram realizados 35 ensaios de biossorção utilizando *Saccharomyces cerevisiae* e/ou farelo de pseudocaule de bananeira. Diferentes concentrações dos adsorventes (2 a 52,5 g/L, em massa seca) foram testadas, tanto na sua forma isolada como combinadas. Os ensaios foram conduzidos em frascos de Erlenmeyer de 500 mL contendo 200 mL de meio reacional e concentração inicial de Se(IV) de 30 mg/L. O pH inicial foi de 4,5 com temperatura controlada a 30 °C em agitador rotativo com frequência de agitação de 100 min<sup>-1</sup>, durante 24 h. A maior eficiência de remoção de Se<sup>+4</sup> (R = 97,71%) com capacidade de adsorção de 0,60 mg/g foi alcançada com 52,5 g/L (em massa seca) de levedura. Para o uso isolado do farelo de pseudocaule, o maior valor de R observado com mesma concentração do adsorvente, foi de 10,86%. Comparando os modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich, verificou-se que o melhor ajuste ocorreu com Langmuir, resultando em  $q_{\text{máx}} = 1,39 \text{ mg.g}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** Adsorção; Biossorvente; Pseudocaule; *Saccharomyces*; Tratamento de efluente.

## ABSTRACT

Biosorption of selenium by banana pseudostalk and residual yeast from the brewing industry.

Depending on their activity, the chemical and mining industries can generate effluents containing different types of heavy metals and other chemical elements that, when not eliminated from the discharge stream, become major pollutants of the receiving water bodies. Some of these elements are essential to life, however, in high amounts they can cause serious damage to human health. Among them, we find selenium, a raw material used in the production of various food supplements for humans and animals and also as an additive in insecticides or foliar fertilizers. There are several efficient processes indicated for the removal of this element, and adsorption by biomass is considered one of those with the lowest cost. Different types of microbial biomass, especially *Saccharomyces* and *Pseudomonas* species, and agricultural residues have been evaluated as selenium adsorbents. In the present work, the efficiency and capacity of selenium biosorption were evaluated, using microbial biomass discarded by the brewery industry in the region of Joinville and plant biomass collected in banana plantations. Thirty-five biosorption assays were performed using *Saccharomyces cerevisiae* and/or banana pseudostem bran. Different concentrations of adsorbents (2 to 52,5 g/L, in dry mass) were tested, both in their isolated and combined forms. The assays were carried out in 500 mL Erlenmeyer flasks containing 200 mL of reaction medium and an initial Se (IV) concentration of 30 mg/L. The initial pH was 4,5 with a controlled temperature at 30 °C on a rotary shaker with a stirring frequency of 100 min<sup>-1</sup> for 24 h. The highest Se<sup>+4</sup> removal efficiency (R = 97,71%) with adsorption capacity of 0,60 mg/g was achieved with 52,5 g/L (in dry mass) of yeast. For the isolated use of pseudostem bran, the highest value of R observed with the same concentration of the adsorbent was 10,86%. Comparing the Langmuir and Freundlich adsorption models, it was found that the best fit occurred with Langmuir, resulting in  $q_{\max}=1,39\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ .

**Keywords:** Adsorption; Biosorbent; Pseudostem; *Saccharomyces*; Effluent treatment.

## RESUMEN

Biosorción de selenio por pseudotallo de plátano y levadura residual de la industria de cerveza.

Dependiendo de su actividad, las industrias química y minera pueden generar efluentes que contienen diferentes tipos de metales pesados y otros elementos químicos que, al no ser eliminados de la corriente de disposición, se convierten en grandes contaminantes de los cuerpos de agua receptores. Algunos de estos elementos son esenciales para la vida, sin embargo, en altas cantidades pueden causar graves daños a la salud humana. Entre ellos encontramos el selenio, materia prima utilizada en la elaboración de diversos complementos alimenticios para humanos y animales y también como aditivo en insecticidas o fertilizantes foliares. Existen varios procesos eficientes indicados para la remoción de este elemento, y la adsorción de biomasa se considera uno de los procesos de menor costo. Diferentes tipos de biomasa microbiana, especialmente especies de *Saccharomyces* y *Pseudomonas*, y residuos agrícolas han sido evaluados como adsorbentes de selenio. En el presente trabajo se evaluó la eficiencia y capacidad de biosorción de selenio, utilizando biomasa microbiana desechada por la industria cervecera de la región de Joinville y biomasa vegetal recolectada en plantaciones de banano. Se realizaron 35 ensayos de biosorción utilizando *Saccharomyces cerevisiae* y/o salvado de pseudotallo de banana. Se ensayaron diferentes concentraciones de adsorbentes (2 a 52,5 g/L, en masa seca), tanto en forma aislada como en combinación. Los ensayos se realizaron en matraces Erlenmeyer de 500 mL que contenían 200 mL de medio de reacción y una concentración inicial de Se (IV) de 30 mg/L. El pH inicial fue de 4,5 con temperatura controlada a 30 °C en un agitador rotatorio con una frecuencia de agitación de 100 min<sup>-1</sup>, durante 24 h. La mayor eficiencia de eliminación de Se<sup>+4</sup> (R = 97,71%) con una capacidad de adsorción de 0,60 mg/g se logró con 52,5 g/L (en masa seca) de levadura. Para el uso aislado de salvado de pseudotallo, el mayor valor de R observado con la misma concentración de adsorbente fue de 10,86%. Comparando los modelos de adsorción de Langmuir y Freundlich, se encontró que el mejor ajuste ocurrió con Langmuir, resultando  $q_{max}=1.39 \text{ mg.g}^{-1}$ .

**Palabras clave:** Adsorción; Biosorbente; Pseudotallo; *Saccharomyces*; Tratamiento de efluentes.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - plantação de bananeiras na região de Joinville/SC.....  | 26 |
| Figura 2 - Composição do pé de bananeira .....   | 26 |
| Figura 3 – Pseudocaule de bananeira e suas bainhas foliares.....   | 26 |
| Figura 4 - Isotermas de biossorção.....  | 28 |
| Figura 5 – Fluxograma resumido da sequência de ensaios de biossorção de Se (IV) por biomassa vegetal (pseudocaule de bananeira) e biomassa microbiana (levedura residual de indústria cervejeira).....   | 33 |
| Figura 6 - Etapas da preparação da biomassa vegetal pseudocaule de bananeira.....  | 34 |
| Figura 7 - Microscopia óptica com aumento de 400 vezes da morfologia celular da biomassa de .....  | 35 |
| Figura 8 - Fluxograma do procedimento experimental utilizado nos ensaios de biossorção inativa de selênio por levedura residual de indústria cervejeira.....   | 36 |
| Figura 9 - Esquema do ensaio de biossorção de selênio por biomassa microbiana realizado em processo de batelada repetida .....   | 40 |
| Figura 10 – Valores médios de eficiência (R) e capacidade de biossorção (Y), com respectivos desvios padrões, obtidos na remoção de Se(IV) por diferentes concentrações de farelo de pseudocaule de bananeira (Ensaio P1= 2 g/L, P2 = 5 g/L, P3 = 10 g/L, P4 = 25 g/L, P5 = 50 g/L, P6 = 52,5 g/L). Letras iguais representam médias sem diferença significativa ( $p < 0,05$ )  | 42 |
| Figura 11 - Valores de eficiência (R) e capacidade de biossorção (Y), com respectivos desvios padrões, obtidos na remoção de Se(IV) por diferentes concentrações de biomassa microbiana inativa ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) descartada por indústria cervejeira (Ensaio Y1= 2 g/L, Y2 = 5 g/L, Y3 = 10 g/L, Y4 = 17,5 g/L, Y5 = 25 g/L, Y6 = 37,5 g/L, Y7 = 45 g/L, Y8 = 50 g/L, Y9 = 52,5 g/L). Letras iguais representam médias sem diferença significativa ( $p < 0,05$ ) ..... | 47 |
| Figura 12 - Ajuste dos modelos de Langmuir e de Freundlich aos valores experimentais de capacidade de adsorção (q) e diferentes $C_e$ (concentrações iniciais de Se+4 em água pura) por 50 g/L de <i>S. cerevisiae</i> descartada por indústria cervejeira .....   | 52 |
| Figura 13 - Capacidade e Eficiência de biossorção de Selênio em relação ao tempo .....   | 55 |
| Figura 14 - Valores de R (%) e Y(mg/g) específicos os ensaios combinados as biomassas. Letras iguais representam médias sem diferença significativa ( $p < 0,05$ ).....  | 56 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1- Ensaio de bioadsorção de selênio IV ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) por diferentes bioadsorventes .....   | 32 |
| Tabela 2- Concentrações médias de selênio, com desvio padrão, determinadas no início ( $\text{Se}_0$ ) e no final ( $\text{Se}_f$ ) dos ensaios utilizando farelo de pseudocaule de bananeira.....  | 41 |
| Tabela 3- Concentrações médias de Se(IV) e respectivos desvios padrões, determinadas no início ( $\text{Se}_0$ ) e no final ( $\text{Se}_f$ ) dos ensaios, utilizando $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ dissolvido em água pura e <i>Saccharomyces cerevisiae</i> residual de indústria cervejeira como bioadsorvente ..... | 46 |
| Tabela 4 - Parâmetros ajustados dos modelos de Langmuir e Freundlich .....  | 52 |
| Tabela 5 - Ensaio cinético, com biomassa microbiana. Letras iguais representam médias sem diferença significativa ( $p < 0,05$ ).....   | 54 |
| Tabela 6 - Ensaio rotativo, com biomassa microbiana.....  | 56 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Se: Selênio;

R: Eficiência de bioissorção (%);

Y: Capacidade de bioissorção (mg/g);

K: Constante da taxa de adsorção ( $L \cdot mg^{-1} \cdot h^{-1}$ );

$K_F$ : Constante de capacidade de adsorção de Freundlich ( $L^{1/n} \cdot mg^{(1-1/n)} \cdot g^{-1}$ );

$K_L$ : Constante de interação entre adsorvato e adsorvente ( $L \cdot mg^{-1}$ );

m: Massa do bioissorvente (g);

n: Constante de afinidade entre adsorvato e adsorvente de Freundlich;

PCZ: Ponto de Carga Zero;

Q: Capacidade máxima de adsorção na coluna ( $mg \cdot g^{-1}$ );

$q_0$ : Capacidade máxima de adsorção ( $mg \cdot g^{-1}$ );

$q_t$ : Quantidade adsorvida por grama de adsorvente no tempo ( $mg \cdot g^{-1}$ );

$q_e$ : Quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio ( $mg \cdot g^{-1}$ );

$q_{máx}$ : Capacidade máxima de adsorção ( $mg \cdot g^{-1}$ );

R: Constante universal dos gases ( $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ );

$R_L$ : Fator de separação;

t: Tempo (h);

V: Volume total da solução (L);

a: massa do papel filtro com biomassa microbiana após secagem (g);

b: massa do papel filtro sem biomassa microbiana (g);

V: volume de amostra filtrada (L);

Y: Brewer yeast;

P: Pseudostem;

$Se_0$ : concentração inicial do selênio nos ensaios de adsorção (mg/L);

$Se_f$ : concentração final do selênio (mg/L);

X: concentração de bioissorvente, em massa seca (g/L).

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                      | 13 |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....                                       | 15 |
| 2.1 Objetivo Geral.....   | 15 |
| 2.2 Objetivos Específicos.....                                  | 15 |
| <b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....                           | 16 |
| 3.1 Selênio .....   | 16 |
| 3.2 Biossorção .....  | 19 |
| 3.3 Leveduras como bioissorvente .....                          | 22 |
| 3.4 Resíduos agrícolas como bioissorventes .....                | 24 |
| 3.5 Isotermas de biossorção .....                               | 28 |
| 3.5.1 Isoterma de Langmuir .....                                | 29 |
| 3.5.2 Isoterma de Freundlich .....                              | 29 |
| 3.6 Cinética de biossorção.....                                 | 30 |
| <b>4. METODOLOGIA</b> .....                                     | 31 |
| 4.1 Ensaio de biossorção .....                                  | 31 |
| 4.2 Solução estoque de selênio .....                            | 33 |
| 4.3 Bioissorventes .....  | 34 |
| 4.3.1 Biomassa vegetal.....                                     | 34 |
| 4.3.2 Preparação da biomassa microbiana .....                   | 35 |
| 4.4 Determinação da potencialidade de biossorção .....          | 37 |
| 4.5 Análise de isotermas de biossorção .....                    | 37 |
| 4.5.1 Isoterma de Langmuir .....                                | 38 |
| 4.5.2 Isoterma de Freundlich .....                              | 39 |
| 4.6 Cinética de biossorção.....                                 | 39 |
| 4.7 Ensaio em batelada repetida.....                            | 40 |
| 4.8 Análise estatística.....                                    | 40 |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                           | 41 |
| 5.1 Ensaio de biossorção.....                                   | 41 |
| 5.1.1 Ensaio de biossorção utilizando biomassa vegetal.....     | 41 |
| 5.1.2 Ensaio de biossorção utilizando biomassa microbiana ..... | 45 |
| 5.2 Isotermas de biossorção.....                                | 51 |
| 5.2.1 Isotermas de Langmuir e Freundlich .....                  | 51 |
| 5.3 Cinética de biossorção.....                                 | 54 |
| 5.4 Ensaio em batelada repetida.....                            | 55 |

|   |    |
|---|----|
| <b>CONCLUSÃO</b> .....                        | 58 |
| <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> ..... | 60 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                      | 61 |

## 1. INTRODUÇÃO

Mesmo com muitos esforços praticados na busca por matérias-primas menos impactantes ao meio ambiente durante o ciclo de vida dos produtos e na aplicação de técnicas mais eficientes nos tratamentos de efluentes, em conjunto com as iniciativas de conscientização, a ação antrópica continua alterando e contribuindo com o aumento da entropia do sistema terrestre (SILVA et al., 2014).

O desenvolvimento econômico e tecnológico traz consigo o aumento de indústrias nos municípios brasileiros levando ao crescimento na geração de efluentes líquidos que, quando não tratados, causam poluição ambiental. A crescente degradação ambiental tem provocado um aumento de exigências legais para assegurar a qualidade de vida da população (OLSEN et al., 2011). Dentre os vários tipos de poluentes que podem estar presentes em efluentes industriais, os metais pesados, como chumbo e cromo, além de alguns semimetais como arsênio e antimônio e os ametais enxofre e selênio, quando em maiores concentrações, têm tido destacada atenção no tratamento de efluentes devido à sua alta toxicidade aos humanos e animais.

O selênio se apresenta de forma escassa na natureza, podendo ser encontrado no solo e crosta terrestre. O elemento químico Se, pertencente ao Grupo 6 A da Tabela Periódica e apresenta quatro estados de oxidação: selenato ( $\text{SeO}_4^{-2}$ ), selenito ( $\text{SeO}_3^{-2}$ ), selênio elementar ( $\text{Se}^0$ ) e seleneto ( $\text{Se}^{-2}$ ). O selenato e selenito caracterizam-se por serem solúveis em água e o selênio elementar como praticamente insolúvel. Selênio é caracterizado como fundamental ao organismo humano, presente no aminoácido selenocisteína, contém função antioxidante, incita o sistema imunológico, bem como interfere no funcionamento da glândula tireoide; porém, quando em excesso e associado a alguma de suas formas orgânicas, torna-se tóxico (RIZZO et al., 2007).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, criado pela Lei Federal nº 6.938/8, estabelece na sua Resolução CONAMA 430/2011 a concentração máxima de selênio total de 0,30 mg/L para o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora em corpo receptor. Em Santa Catarina, a CONSEMA 181/2021, limita essa concentração de lançamento em 0,02 mg/L.

O anseio na busca por alternativas que diminuam a concentração de selênio em água residual de processo industrial e/ou no descarte de efluente após tratamento

na estação de tratamento, foi demonstrada por empresa química da região de Joinville que, mesmo atendendo às exigências legais em relação ao descarte desse tipo de efluente em corpos hídricos receptores, vem buscando novos processos que apresentem alta eficiência na redução do contaminante e exijam menor custo de operação. Há diferentes tipos de processos já estabelecidos que apresentam alta eficiência na remoção desse tipo de contaminante, dentre eles a adsorção por resíduos tem sido apontada como uma excelente alternativa em função do baixo custo de aquisição do substrato e da sua grande diversidade e disponibilidade (PANIAGUA, 2015; JUST, 2019).

Resíduos agroindustriais, em função do seu caráter natural e por serem considerados abundantes, já foram estudados na adsorção de diferentes poluentes, como serragem e bagaço de cana (ALBERTINI et al., 2007), fibra de coco (SILVA et al., 2013), palha de cereais (FURLAN, 2017), cascas de laranja (CRUZ, 2016), folhas (BABARINDE et al., 2012) e pseudocaule de bananeira (CASQUEIRA & LIMA, 2016), dentre outros, já foram avaliadas na biossorção de vários poluentes em meio aquoso. Paniagua (2015) utilizou cascas de banana na adsorção de selênio enquanto El-Shafey (2007) e Wasewar et al., (2009) estudaram o emprego de cascas de amendoim e cinzas de bagaços vegetais para esse mesmo fim. Dentre a aplicação de resíduos agrícolas, espécies de bactérias, fungos e algas já foram utilizadas na biossorção de diferentes tipos de metais, principalmente cromo, chumbo e zinco (ABDIA & KAZEMI, 2015), sendo que, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* ser considerada por alguns autores como um biossorvente de metais, Pérez-Corona et al., (1997), Wang e Chen (2006), Ferreira et al. (2007) e Khakpour et al., (2014) demonstraram a potencialidade da continuidade de seu estudo como biossorvente. O uso dessa biomassa tem sido justificado devido ao seu intenso uso em indústrias de alimentos, produção de álcool e de cervejas e consequente geração de grande quantidade residual.

Neste trabalho pretende-se avaliar a capacidade de biossorção de selênio por dois tipos de biossorventes: biomassa inativa de *Saccharomyces cerevisiae* proveniente de indústria cervejeira e/ou farelo de pseudocaule de bananeira colhido em plantações de banana da região de Joinville. Busca-se atender o interesse manifestado pela empresa da região.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade do uso de farelo de pseudocaule de bananeira e *Saccharomyces cerevisiae* residual de indústria cervejeira na remoção de Se(IV) em meio aquoso.

### 2.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar a eficiência e capacidade de bioissorção de selênio dissolvido em meio aquoso, empregando como bioissorvente diferentes concentrações de biomassa agrícola e microbiana.
- b) Realizar ensaio cinético de bioissorção pelo bioissorvente de maior eficiência de remoção de Se(IV) e estabelecer o tempo mais adequado para o processo.
- c) Realizar ensaios com diferentes concentrações de sorvato, construir a isoterma de bioissorção e avaliar os ajustes dos modelos de Langmuir e Freundlich.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Selênio

A atividade industrial, geradora de resíduos, contendo espécies nocivas à saúde dos seres humanos e ao meio ambiente, denotam maior relevância à necessidade de tratamento antes de serem despejados em corpos de água, pois a preservação do meio ambiente é essencial, a vida (VAGHETTI, 2009).

A contaminação por metais pesados, denota um problema grave, visto que, quando a concentração excede o valor máximo estabelecido nas legislações, pode gerar danos à saúde humana e ao meio ambiente; para tanto, alternativas, eficientes e com custo acessível no tratamento de efluentes, tem sido estudadas, visto que, ao longo do tempo em que, o consumo de selênio aumenta, quantidades elevadas desse elemento, são lançadas nos ambientes aquáticos, por meio de efluentes industriais que possuem características de toxicidade, pode gerar impactos ambientais (JUST, 2019; SILVA et al., 2016).

Pertencente ao grupo 16 na tabela periódica, o elemento não metálico, selênio, assemelha-se ao enxofre devido o comportamento químico, porém pode ser encontrado na natureza, quatro vezes menos que o próprio enxofre (ALMEIDA, 2014).

O selênio, elemento essencial a vida, é liberado ao ambiente a partir de fontes naturais e antropogênicas, as fontes naturais incluem; atividade vulcânica, intemperismo de solos ricos em selênio e rochas, bem como aerossóis de sal marinho, já as emissões por fontes antropogênicas, compreendem atividades de extração e uso de selênio na fabricação de produtos, entrando em destaque o descarte e a gestão desses resíduos provenientes de processamentos industriais envolvendo selênio (ENVIRONMENT CANADA HEALTH, 2015; JUST, 2019).

Em efluentes industriais, selênio pode estar disponível na forma de selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) e selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), estes sendo caracterizados como íons do selênio tóxicos aos organismos, ainda que, o selenito é visto como potencialmente mais tóxico comparado ao selenato (TAN et al., 2016; JUST, 2019).

Na natureza, o selênio, é encontrado em quantidades traço na pirita ( $\text{FeS}_2$ ) e demais sulfetos de metais pesados, suas principais fontes são os minérios de cobre, onde o selênio, é recuperado como um subproduto em processos de refinação

eletrolítica, sendo seus maiores produtores os Estados Unidos, Canadá, Suécia, Bélgica, Japão e Peru (DA GLÓRIA et al., 2004; PANIAGUA, 2015).

Utilizado em diversos processos industriais, o selênio possui valor econômico considerável, sendo aplicado na indústria de tintas e produtos eletrônicos (HAGEMAN et al., 2017), em produtos cosméticos para fabricação de xampus anticaspas (ALMEIDA, 2014), suplemento para complementação alimentar de animais e humanos, ofertado em multivitamínicos em baixas concentrações e também como aditivo em inseticidas, pulverizadores e fertilizantes foliares (TAN et al., 2016; JUST, 2019).

Com características eletroquímicas, o selênio, apresenta-se como semicondutor, podendo ser aplicado em células fotoelétricas, já que, sua condutividade contribui para o aumento da presença da luz, assim como, na utilização para sensores de aplicações industriais e militares (RIZZO et al., 2007; ALMEIDA, 2014; TAN et al., 2016; JUST, 2019).

Segundo Rizzo et al., (2007), as formas de exposição dos seres humanos quanto ao selênio decorrem na ingestão de alimentos e água, além do contato com solos ou até resíduos contendo altos valores de concentrações do elemento em sua forma de vapor ou gás.

O selênio é um micronutriente presente em alimentos de origem animal e vegetal no aminoácido selenocisteína, possuindo um papel antioxidante, auxilia na neutralização dos radicais livres, bem como, estimula o sistema imunológico e intervém no funcionamento da glândula tireoide (RIZZO et al., 2007).

A recomendação, de ingestão diária de selênio aos adultos é de 55 µg a 70 µg; entretanto com uma ingestão acima de 400 µg os efeitos podem ser, provocando o chamado estresse oxidativo, que provoca morte celular por apoptose ou necrose (TAN et al., 2016; RIZZO et al., 2007). Acima dos limites recomendados, os efeitos negativos do excesso de selênio, podem gerar doenças de pele, distúrbios gastrointestinais e neurológicos; por isso o acompanhamento médico é imprescindível (ADIO et al., 2017; JUST, 2019).

Em 1933, Spalholz, confirmou a toxicidade do selênio, por meio da presença do elemento químico no fígado de animais domésticos, que morreram, após consumirem plantas acumuladoras de selênio, como a *Astragalus*, originária da China (FELIPPE, 2011; RIZZO et al., 2007).

As mudanças no estado de oxidação do selênio, resultam em compostos com propriedades químicas diferentes em relação à toxicidade, mobilidade e biodisponibilidade, pois esses parâmetros são relacionados ao modo em que as espécies com maior solubilidade apresentam maior mobilidade no ecossistema, podendo bioacumular em organismos vivos, que fazem parte da cadeia alimentar de forma indesejada, visto que, em concentrações elevadas, o selênio é considerado tóxico e tornando difícil, a determinação da espécie oxidativa (KRIVOVICHEV et al., 2017; HACKBARTH et al., 2018).

As formas inorgânicas, em particular, selenito (Se(IV)) e selenato (Se(VI)), são espécies mais comuns em águas e solos contaminados, sendo que, essas formas, são mais tóxicas em relação às formas orgânicas (CÂMARA et al., 1995; PÉREZ-CORONA et al., 1997). Apesar da sua toxicidade, conforme a *Selenium-Tellurium Development Association* (STDA, 1938), o Se é um elemento essencial à vida. De acordo com Bizzuti e Abdalla (2015), cinco por cento da demanda mundial de Se têm sido utilizados para fins biológicos e agrícolas pela sua incorporação, em quantidades- traço, nos alimentos dos animais, fertilizantes para correção de solos deficientes, dieta humana e na medicina para controle de doenças.

De acordo com Nancharaiah e Lens (2015), o tratamento de águas residuais na redução de selênio apresentam-se como um desafio, devido aos limites impostos pelas legislações ambientais, bem como a destinação final dos sólidos, cuja maioria das vezes, apresentam elevadas concentrações de selênio e necessitam passar por rigorosa classificação de resíduos.

No Brasil, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº430 de 2011, que dispõe sobre o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora em corpo de água receptor, determina como padrão para o selênio (Se) total, a concentração máxima de 0,30 mg/L, ainda que, o Estado de Santa Catarina, limita essa concentração de lançamento em 0,02 mg/L, conforme a CONSEMA 181/2021 que estabelece diretrizes para os padrões de lançamento de efluentes. Assim como as legislações Brasileiras, a US Environmental Protection Agency (EPA), evidencia limite de 5 µg/L da concentração de selênio total em lançamento de efluente tratado aos corpos de água receptores. Entretanto, segundo Nancharaiah e Lens (2015), ainda há grande debate em relação segurança ou não do limite para o

ecossistema, principalmente pela característica do selênio ser reconhecido devido a fácil transferência entre os diferentes níveis tróficos e por se acumular na biota.

A diferença nas regulamentações, de acordo com Tan et al., (2016), decorre devido a diferentes indicadores e parâmetros relacionados às condições ambientais e hidráulicas verificadas em todo o mundo, assim como os resultados sobre toxicidade entre diferentes organismos estudados, frente a exposição ao Selênio.

O selênio, possui característica essencial ao organismo animal, pois consiste em um micronutriente, estando disponível na cadeia alimentar, presente nas plantas, ainda que, comparando a importância do Se no funcionamento do metabolismo animal, a incorporação acontece com valores baixos, trazendo como alternativa, para suplementação animal, a utilização desse mineral ao organismo, como suas formas, orgânica, através de leveduras selenizadas ou ainda, inorgânica como selenato (HACKBARTH et al., 2018; COMINETTI et al., 2009; RAYMAN, 2000).

Ainda conforme Dorraji e Amani-Ghadim (2016), os níveis de selênio no meio em que estamos inseridos, podem ser considerados significativos, pois ao mesmo tempo em que é considerado elemento essencial a vida, em outra corrente, o Se é caracterizado como um elemento com propriedades tóxicas sob excesso.

A remoção de Se, retrata um desafio nas indústrias, evidenciando a necessidade da exploração de novos meios, que possuam vantagens aliadas ao baixo custo, disponibilidade, eficiência de tratamento, visto que, em processos de remoção química ou física, possuem alto custo operacional, em virtude, dos efluentes tratados poderem apresentarem, concentrações de selênio em valores elevados, comparados aos limites máximos permitidos em legislação, visto que, os efluentes contaminados com selênio, no atendimento as legislações devem passar por tratamentos adequados, a fim de minimizar os impactos negativos ao meio ambiente, como poluição de corpos hídricos (RIZZO et al., 2007; AWUAL et al., 2014; DORRAJI e AMANI-GHADIM, 2016; JUST, 2019)

### 3.2 Biossorção

A biossorção, consiste em um método alternativo e eficiente para tratamento de efluentes, comparando com os tratamentos convencionais empregados como precipitação química, adsorção em carvão ativado e filtração por membranas, já que,

os biomateriais como; resíduos agrícolas e microrganismos, utilizados como biossorventes, apresentam alta capacidade de remoção de poluentes (BARROS et al. 2017; GUPTA et al., 2019).

As limitações de métodos comuns empregados para remoção de metais em efluentes, abriram espaço à meios alternativos de tratamento que utilizam biomateriais com menor valor agregado e tendência natural à ligação com elementos metálicos (HACKBARTH et al., 2018).

A crescente preocupação com a poluição resultante de operações industriais, especialmente pelos elementos potencialmente tóxicos, tem elevado o interesse em tecnologias que contribuam para remoção destes poluentes dos efluentes gerados pelos processos industriais (GONÇALVES, 2019).

De acordo com Monteiro et al., (2009), um processo de adsorção, caracteriza-se pela junção de uma substância em um meio líquido ou gasosos com uma superfície de um material sólido, já a biossorção, concerne-se no uso de um adsorvente de material natural, como biomassas vegetais ou microbianas, chamados biossorventes, para remoção de metais, podendo apresentar ainda, possibilidades de reutilização.

Dentre os desafios nos estudos de biossorção, uma das maiores dificuldades, consiste na seleção da biomassa mais adequada para remoção do poluente desejado, entre meio a amplas opções agroindustriais e de baixo custo até a utilização de microrganismos vivos (BARROS et al., 2017).

De acordo com Volesky (2001), o processo de biossorção, utiliza biomassa microbiana ou vegetal, na remoção e até na recuperação de metais em um ambiente líquido, onde sua característica especial é a capacidade de diversos materiais biológicos se ligarem aos metais. Devido afinidades por metais, diversos microrganismos, são utilizados como cofatores na biossorção, sendo considerado um processo físico-químico onde a taxa de remoção do poluente é governada pela tipologia do biossorvente empregado (VOLESKY, 2003; FEBRIANTO et al., 2009; GROSSI & TOREM, 2017).

O potencial industrial da biossorção, por biomassa depende de muitos fatores, tais como: capacidade de biossorção, eficiência e seletividade, facilidade de recuperação do metal e equivalência com processos tradicionais em desempenho, economia, imunidade a interferências de outros compostos do efluente ou condições de operação (COSSICH, 2000).

A biossorção comumente aplicada no tratamento de soluções sintéticas contendo um único íon metálico, indica que a redução de um metal pode ter influência devido a presença de outros metais na solução, sendo que, os efluentes industriais podem conter variadas espécies de compostos poluentes, devido diferentes processos industriais, onde estudos detalhados para cada efluente final fazem-se necessário, pois consiste em um processo de separação, que utiliza ou não materiais biológicos na remoção ou recuperação de metais, através de interações eletrostáticas e a formação dos complexos entre os íons metálicos (ROSA et al., 2018 *apud* PINO, 2005; BARROS et al., 2017).

A biossorção pode ser indicada como um processo de adsorção, referindo-se à ligação passiva de íons metálicos por meio de uma biomassa, ativa ou inativa, gerando benefícios no tratamento de efluentes, devido à regeneração do biossorvente, trazendo economia ao processo, ainda que, o desempenho esteja ligado de maneira direta ao material adsorvente (AZEVEDO, 2014; GROSSI & TOREM, 2017).

A força motriz no processo de biossorção, está relacionada a atividade química dos grupos funcionais na estrutura da biomassa, sendo que, na constituição da superfície celular da biomassa, estão polissacarídeos, proteínas e lipídios, os quais apresentam os grupos funcionais carboxilas, hidroxilas, sulfeto, fosfato e grupos amino como sítios ativos para ligação dos metais (DEL RIO, 2004).

A biossorção correspondendo a integralidade da interação da superfície celular da biomassa com o sorvato, que ocorrem por intermédio de mecanismos diferentes de atração entre metal e a biomassa, troca iônica, complexação, quelação, adsorção por forças físicas resultantes do gradiente de concentração e difusão através da parede celular e membranas (KHAKPOUR et al., 2014; HACKBARTH et al., 2018).

Na biossorção, os mecanismos de captação iônica são dois; por meio da superfície celular, onde envolve os grupos funcionais presentes na parede da célula, quando inativada e quando ativa, ocorre com o transporte intramembrana, onde participa do metabolismo celular (LEMOS et al., 2008; HAUPENTHAL, 2018).

Conforme Faria (2014), a biossorção envolve duas fases sendo uma sólida denominada biossorvente e uma líquida nominada de solvente, que por sua vez contém o adsorvato. A quantidade de adsorvato removida do meio líquido por unidade

de massa de bioissorvente é identificada como capacidade de bioissorção do bioissorvente.

Dentre as principais vantagens na utilização da bioissorção, Ahalya et al., (2003), destacam o baixo custo, redução na utilização de produtos químicos, eficiência, viabilidade de recuperação do metal e regeneração do bioissorvente, além do engajamento por uma sociedade e indústrias trabalhando com alternativas sustentáveis, visando o bem-estar social e ambiental. A bioissorção, pode ser definida como adsorção de íons metálicos por vias microbianas, que proporcionam benefícios biotecnológicos para redução de poluentes (HAUPENTHAL, 2018).

Com potencial de uso e apresentando vantagens econômicas, o processo de bioissorção, vem sendo estudado tanto na produção de biomassa funcional, aquela que apresenta performance nutricional expressiva, por meio da bioissorção mineral, (CASTIGLIONI et al., 2021) quanto na bioissorção envolvendo a reutilização de biomassas residuais para o tratamento de efluentes nas próprias indústrias (CHOJNACKA, 2019; RIBEIRO, 2009).

### 3.3 Leveduras como bioissorvente

Diversos autores têm desenvolvido estudos na redução da concentração de poluentes metálicos (adsorvato) por microrganismos (bioissorvente), inclusive a redução de selênio por diferentes leveduras e bactérias (PÉREZ-CORONA et al., 1997; SUHAJDA et al., 2000; PONCE DE LEÓN et al., 2002; ORABY et al., 2015; KHAKPOUR et al., 2014; ZATOR, 2017).

Em função da comercialização crescente de fermento contendo selênio (levedura selenizada) como suplemento para a nutrição animal e humana, vários estudos (SUHAJDA et al., 2000; GRIFFITHS et al., 2006; RAJASHREE e MUTHUKUMAR, 2013; FAYE et al., 2014; ORABY et al., 2015) foram realizados para a obtenção adequada desse produto empregando, principalmente, a bioissorção ativa, ou seja, a bioissorção de Se durante o crescimento microbiano em condições ideais de processo.

Leveduras são fungos unicelulares, utilizadas em diferentes processos industriais, devido ao cultivo acessível em larga escala e alta produção de biomassa (FERREIRA et al., 2007). A utilização de *Saccharomyces cerevisiae*, como

microrganismo bioissorvente de metais vem sendo aceita visto ser comumente conhecida como fermento de padeiro e poder ser usada em ampla escala com baixo custo para o tratamento de elevada quantidade de águas residuais (WANG e CHEN, 2006).

*Saccharomyces cerevisiae*, possui em sua constituição, polissacarídeos, proteínas e lipídios, os quais apresentam os grupos funcionais carboxilas, hidroxilas, sulfeto, fosfato e grupos amino como sítios ativos, para ligação dos metais. As células são arredondadas a ovoides, e possuem de 5 a 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro (HACKBARTH et al., 2018; WANG e CHEN, 2006).

O uso de *S. cerevisiae*, como bioissorvente apresenta fácil aceitação pelos órgãos de fiscalização ambiental em função do seu caráter biológico seguro, não sendo associada à patógenos (KHAKPOUR et al., 2014; GONÇALVES, 2019).

O aproveitamento desse tipo de biomassa como bioissorvente, presente em efluente das indústrias de alimentos, bebidas e etanol, pode ser uma alternativa bastante atraente. Indústrias cervejeiras que produzem a cerveja em processo de batelada ou batelada repetida fazem a sangria do “creme de levedura” (retirada de parte da biomassa celular acumulada nos tanques de fermentação por centrifugação) sempre que o microrganismo se torna uma fonte excedente do processo de fermentação. Segundo Wang & Chen (2006), Ferreira et al., (2007) e Hackbarth et al., (2018), essa biomassa, após processos de separação física, pode ser utilizada como bioissorvente.

De acordo com o Anuário da Cerveja (2021), realizado pela Associação Brasileira da Indústria Cervejeira, no ano de 2020, um total de 1.383 cervejarias foram registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, sendo que o número de cervejarias na região Sul e Sudeste, manteve-se e continua aumentando, observando ainda, a expansão em números de empresas do ramo, nas pequenas cidades, sendo que, no estado Catarinense, vale destacar a região do Vale do Itajaí. O estado de Santa Catarina, passou a ficar em quarto lugar entre os estados brasileiros com maior número de empreendimentos fabricantes da bebida.

A disponibilidade de levedo residual no Brasil apresenta-se com número significativo, pois segundo o Sindicato Nacional de Cerveja (SINDICERV, 2019) a partir de 2010 o Brasil se tornou o terceiro maior fabricante mundial, com 13,3 bilhões de litros produzidos por ano, estando atrás da China (46 bilhões) e dos Estados Unidos

(22,1 bilhões), representando alta demanda de biomassa descartada. De acordo com a CESTESB (2005), para cada metro cúbico de cerveja produzida são gerados, em média, cerca de 140 a 200 kg de massa seca de levedura, que são comumente descartadas em aterro sanitário.

Essa biomassa tem sido avaliada para diversos usos como obtenção de aguardente de liquor de laranja (PAULA e FARIA, 2017), tratamento de efluentes (ACACIO et al., 2011) e complementação da alimentação animal (MARSARIOLI, 2019).

O aproveitamento dessa biomassa como bioissorvente pode ser realizada com as células vivas, denominada de bioissorção ativa, ou mortas, conhecida como bioissorção inativa. Para Sekhar et al., (1998), a bioissorção inativa vem sendo empregada com maior frequência devido à ausência da necessidade de manutenção da cultura e devido ao fato de que as interações envolvidas no processo independem do metabolismo microbiano (SEKHAR et al., 1998).

Especificamente para o caso da bioissorção de selênio em efluente industrial, além de poder contribuir com o tratamento do efluente, o produto resultante (levedura selenizada), dependendo da sua composição e toxicidade, pode ter potencial para aproveitamento na suplementação de nutrição animal (GONÇALVES, 2019).

### 3.4 Resíduos agrícolas como bioissorventes

Os processos de bioissorção por resíduos agrícolas têm despertado interesse na área ambiental, particularmente em relação ao uso de resíduos vegetais como o bagaço de cana de açúcar (ALBERTINI et al., 2007; FERREIRA et al., 2015), palha de soja, milho e trigo (FURLAN, 2017), cascas de laranja (ANNADURAI et al., 2004; CRUZ, 2016), cascas de coco (Sousa et al., 2007), cascas de banana (ANNADURAI et al., 2004; CRUZ, 2009; SILVA, 2014; PANIAGUA, 2015) e pseudocaule de bananeira (SATHASIVAM e HARIS, 2010; LIMA, 2013).

Os resíduos agroindustriais, em sua maioria são constituídos de lignina e celulose, além de demais compostos contendo grupos funcionais, que são capazes de ligar-se nos poluentes metálicos pela doação de um par de elétrons (BARROS et al., 2017; LESMANA et al., 2009).

O uso desses resíduos como adsorventes, ou biossorventes, tem sido indicado como de baixo custo de preparação, onde são empregadas, em alguns casos, simples etapas de lavagem, secagem, trituração e peneiração (FALCO, 2014).

Segundo Barros et al., (2017) essas biomassas têm sido avaliadas como biossorventes na remoção de diferentes poluentes sendo utilizadas em conformidade com a disponibilidade e produção local de cada região. Salienta-se que, biomassas utilizadas na biossorção de metais, podem ser encaminhados à aterros, diminuindo volume de resíduos líquidos (WANG & CHEN, 2006).

Um dos resíduos agroindustriais mais abundante na região norte de Santa Catarina e que poderia ser avaliado como adsorvente de selênio é o pseudocaule de bananeira.

Honorato et al., (2015) mostraram a sua eficiência na remoção de corantes em solução aquosa e afirmaram ser material de fácil obtenção e de baixo custo de preparação. Sathasivam e Haris (2010) avaliaram as fibras de pseudocaule na adsorção de vários metais pesados e indicaram como potencial adsorvente ao determinar uma capacidade máxima de remoção de Cu(II) de 8,49 mg/g de biomassa seca. Segundo Lima (2013), 1 g/L de farelo de pseudocaule de bananeira foi capaz de remover até 90,5% de uma concentração inicial de Cr(III) da ordem de 100 mg/L.

Em nenhum dos bancos de trabalhos e artigos consultado foi encontrado referência ao uso do pseudocaule como adsorvente de selênio.

Largamente produzida no Brasil, a banana destaca-se devido sua área colhida, valor produtivo, quantidade produzida e consumo, mostrando-se com grande potencial para utilização em pesquisas, visto que, seus principais resíduos após cultivo e industrialização são as cascas, pseudocaules e folhas de bananeira (GROSSI & TOREM, 2017 *apud* BORGES & SOUZA, 2014).

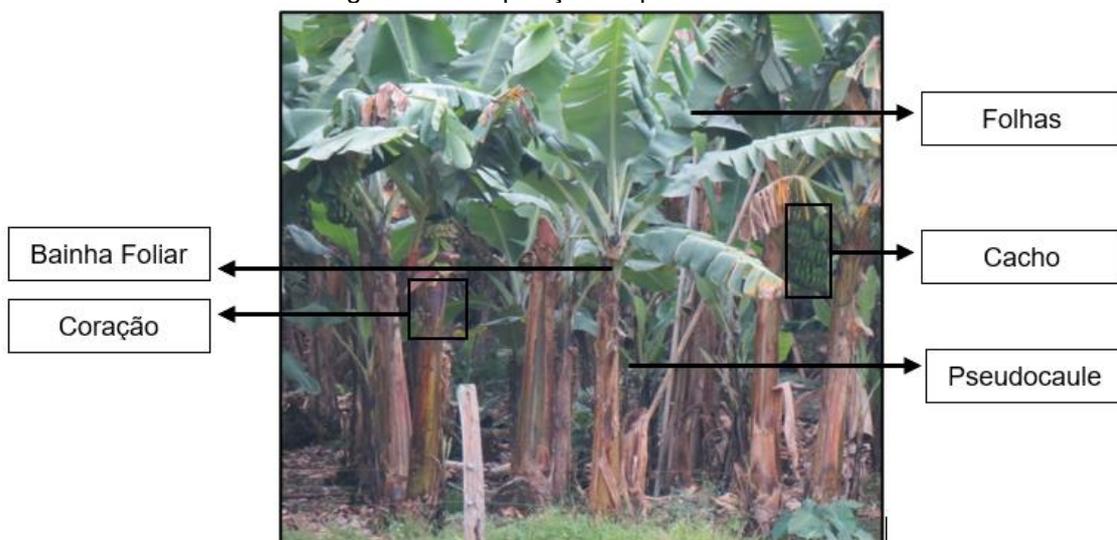
A bananeira (Figuras 1, 2 e 3) é constituída, por um curto e subterrâneo caule chamado rizoma, de onde saem as raízes e o pseudocaule é formado pela união das bainhas, que são as bases das folhas e a copa de longas e largas folhas, onde na copa, surge a inflorescência e conseqüentemente os frutos (BORGES e SOUZA, 2004).

Figura 1 - plantação de bananeiras na região de Joinville/SC



Fonte: Autora (2021).

Figura 2 - Composição do pé de bananeira



Fonte: Autora (2021)

Figura 3 – Pseudocaule de bananeira e suas bainhas foliares



Fonte: Foco Rural (2017).

Em aproximadamente 70% de toda composição, o pseudocaule de bananeira, possui em sua formação lignina, celulose e hemicelulose, que se caracterizam pelos sítios adsorptivos, aptos a realizar mecanismos abrangidos na biossorção (CASQUEIRA e LIMA, 2016).

Em concordância com Souza et al., (2010), para cada tonelada de bananas colhidas, aproximadamente 4 toneladas de massa úmida de resíduos vegetais são geradas no campo, sendo que, dentre os principais resíduos, folhas, engaço e pseudocaule, a utilização do pseudocaule de bananeira como biossorvente vegetal, corresponde a 75% de toda a biomassa gerada. Após a secagem e moagem desse material, a quantidade de farelo de pseudocaule disponível, com um teor de umidade de equilíbrio de 9,7%, corresponde a aproximadamente, 111,6 t/ano (SOUZA et al., 2017).

Em torno de 220 toneladas de resíduos são gerados em campo, por hectare de banana plantado, sendo que no Brasil existe cerca de 470 mil hectares destinados a bananicultura, ainda que, o pseudocaule e as folhas de bananeira, após a colheita da fruta, são cortados e deixados em solo, gerando gases nocivos em decorrência da decomposição, bem como, redonda-se em excelente meio de propagação de vetores, assim, resultante a essas características, o reaproveitamento desse resíduo torna-se necessário em mitigação aos impactos ambientais (CORDEIRO et al., 2019; FARADILLA et al., 2018; INGALE et al., 2014).

No ano de 2017, dentre os quatro países com maior produção de bananas, responsáveis, por 54,4% da produção mundial, destaca-se em quarto lugar o Brasil, com mais de 7,08 milhões de toneladas da fruta (IBGE, 2019), sendo que as regiões com maior produtividade são os estados de São Paulo, Bahia, Minas Gerais e Santa Catarina, que representaram 51,4% da produção brasileira, principalmente produtoras dos grupos *Cavendish*, prata ou banana-prata, entre outras.

A principal mesorregião Catarinense produtora de bananas, é o Norte do Estado, responsável por 50,48% da produção estadual de banana, com cerca de 369,6 mil toneladas (CEPA, 2019).

Em termos de composição, majoritariamente as folhas e o pseudocaule de bananeira, possuem 80% de água e em sua massa seca, apresentam em sua formação aproximadamente; 35% de celulose, 20% de hemicelulose, 18% de lignina, 5% de proteínas, 2% de amido, 12% de extrativos e 8% em outros, podendo variar

sob a espécie de cada planta, os resíduos lignocelulósicos, caracterizam-se por apresentarem complexos orgânicos em sua forma de biomassa vegetal (PEREIRA et al., 2019; FARADILLA et al., 2018; CORDEIRO et al., 2004).

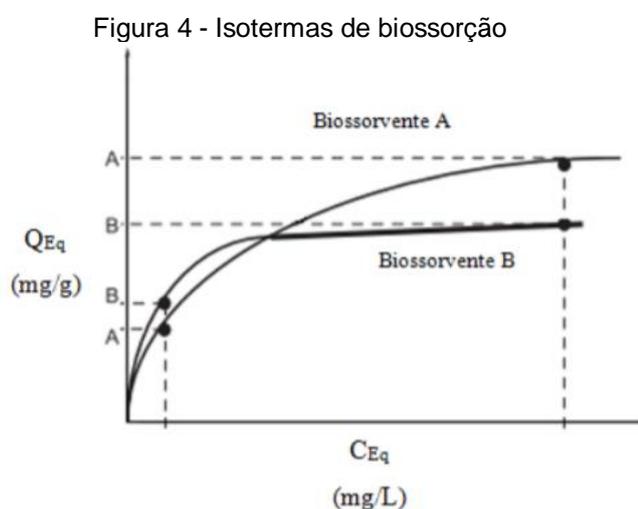
### 3.5 Isotermas de bioadsorção

O estudo de equilíbrio de adsorção é analisado por meio das isotermas de adsorção, que são modelos matemáticos, que foram desenvolvidos com intuito de retratar afinidade de um adsorvato por um adsorvente, em um dado equilíbrio e a uma temperatura constante (MWH, 2005; ROLDI, 2018).

As isotermas de adsorção, consistem em curvas úteis, que indicam a quantidade em que o adsorvente efetivamente adsorverá o soluto; evidenciando a estimativa da quantidade máxima de soluto em que o adsorvente adsorverá e indica se o adsorvente pode ser economicamente viável para o processo (PORPINO, 2009; RIPARI, 2017).

Importantes na otimização dos mecanismos de bioadsorção, as isotermas expressam propriedades e capacidade dos bioadsorventes, por meio de representação gráfica (ANASTOPOULOS e KYZAS, 2015).

O equilíbrio representado pelos modelos de isotermas, (Figura 4), onde o eixo das coordenadas representa a capacidade de bioadsorção, do poluente no equilíbrio e o eixo das abcissas, mostra a concentração de metal presente na solução (POLICARPO, 2015).



Fonte: VOLESKY (2007).

A capacidade máxima de adsorção consiste em uma característica importante, para observação do desempenho da biomassa e para obtenção de sua caracterização (FREITAS, 2018). Ajustes matemáticos aos resultados experimentais de adsorção propostos pelos modelos da isoterma de Langmuir e Freundlich possibilitam a determinação dessa capacidade máxima e de outros importantes parâmetros que podem ser utilizados na comparação de diferentes adsorventes.

### 3.5.1 Isoterma de Langmuir

O modelo de Langmuir foi desenvolvido por Irving Langmuir no ano de 1916, onde propôs o modelo, para descrição de processos de adsorção de gases em sólidos (FREITAS, 2018).

Considerando alguns pressupostos, a isoterma de Langmuir, foi desenvolvida sob as características de; moléculas adsorvidas em número específico de sítios; adsorção ocorrendo por monocamada; os sítios são energeticamente equivalentes, não ocorrendo interação entre as moléculas adsorvidas com os sítios vizinhos (CRUZ, 2016; COSTA, 2020).

Consistindo em um dos modelos mais utilizados para adsorção, a isoterma de Langmuir presume que a superfície do adsorvente utilizado dispõe os sítios ativos que são iguais e homogêneos entre eles, sendo que cada molécula do adsorvato em estudo preenchido por um único sítio, corroborando na formação de uma monocamada de cobertura do adsorvato na superfície do adsorvente (ARAÚJO, 2011; SILVA, 2014).

### 3.5.2 Isoterma de Freundlich

A equação de Freundlich, desenvolvida por Herbert Max Finley Freundlich, descreve os processos de adsorção, em que a superfície do adsorvente apresenta característica heterogênea, assumindo a formação de multicamadas de adsorção, ainda que, diferentes sítios possuem desiguais energias de adsorção, podendo assim, comportar mais de uma molécula (FONSECA, 2013; FREITAS, 2018; ROLDI, 2018).

O modelo de Freundlich é estudado em sistemas onde detém superfície heterogênea, não antevendo saturação da superfície, na qual o processo de adsorção

ocorre em multicamadas, havendo a interação entre moléculas do adsorvato em que os sítios energéticos possuem energias adsorptivas diferentes (ARAÚJO, 2011; NASCIMENTO, 2015).

A equação de Freundlich, descreve a energia de adsorção, à medida que a superfície se torna coberta pelo soluto, o que a diferencia do modelo de Langmuir, ou seja, não trata linearidade em baixas concentrações de adsorvato assim como a capacidade limitada de adsorção à medida em que a concentração alcança qualquer saturação (MARTINS, 2013; COSTA, 2020).

### 3.6 Cinética de biossorção

A cinética de biossorção caracteriza a velocidade de remoção do soluto, sendo definida como a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo (FERNANDES, 2008; VIDAL et al., 2014).

Definindo a velocidade em que as moléculas são adsorvidas pelo biossorvente, a cinética de adsorção decorre das propriedades físicas e químicas do adsorvato, bem como da condição experimental (FERNANDES, 2008; COSTA, 2020).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Ensaio de biossorção

Inicialmente foram realizados 18 ensaios de biossorção (Tabela 1), dentre os quais 6 foram com a utilização do farelo de pseudocaule de bananeira (Ensaio P1 a P6), 9 com o emprego de levedura residual de indústria cervejeira (Ensaio Y1 a Y9).

Após indicação do biossorvente de maior potencial para uso na remoção de Se (IV), 9 novos ensaios foram conduzidos para análise da isoterma de biossorção (item 4.5, Ensaio Y10 a Y18) e mais 7 ensaios para estudo do comportamento cinético visando o estabelecimento do tempo ideal de biossorção (item 4.6, Ensaio Y19 a Y25). Em seguida, visando avaliar a influência do tipo de condução do processo de adsorção sobre a eficiência do adsorvente, tomando como referência o trabalho de Khakpour et al. (2014), 2 ensaios com fermento residual foram realizados em processo de batelada repetida (item 4.7, Ensaio Y26 e Y27).

O resultado desse último ensaio foi comparado com os resultados dos ensaios anteriores ao Y25, conduzidos em processo batelada simples.

Tabela 1- Ensaios de bioissorção de selênio IV ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) por diferentes bioissorventes

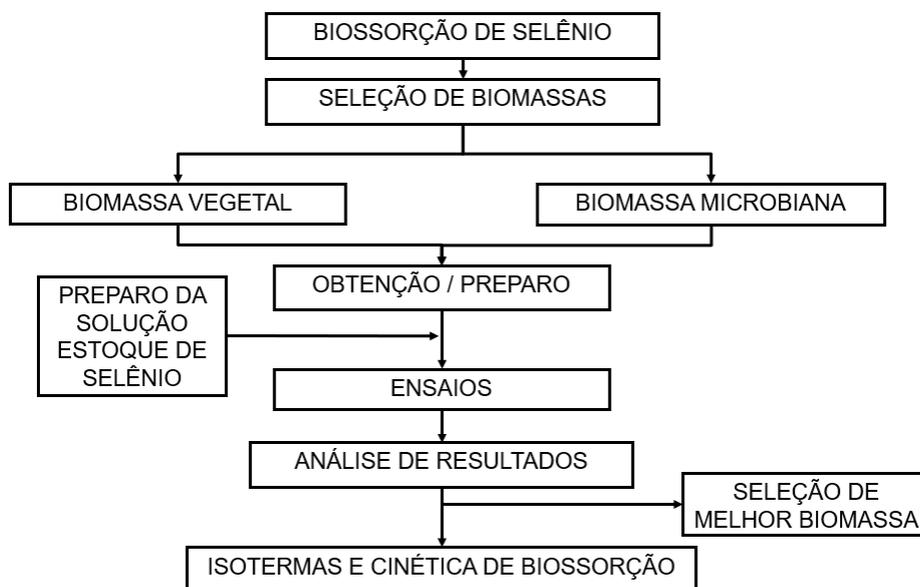
| Ensaio | Tipo de Bioissorvente | Concentração do bioissorvente (g/L) | Proporção mássica entre os bioissorventes |
|--------|-----------------------|-------------------------------------|---|
| P1     | Biomassa vegetal      | 2                                   | 100-0                                     |
| P3     | Biomassa vegetal      | 5                                   | 100-0                                     |
| P3     | Biomassa vegetal      | 10                                  | 100-0                                     |
| P4     | Biomassa vegetal      | 25                                  | 100-0                                     |
| P5     | Biomassa vegetal      | 50                                  | 100-0                                     |
| P6     | Biomassa vegetal      | 52,5                                | 100-0                                     |
| Y1     | Biomassa microbiana   | 2                                   | 0-100                                     |
| Y2     | Biomassa microbiana   | 5                                   | 0-100                                     |
| Y3     | Biomassa microbiana   | 10                                  | 0-100                                     |
| Y4     | Biomassa microbiana   | 17,5                                | 0-100                                     |
| Y5     | Biomassa microbiana   | 25                                  | 0-100                                     |
| Y6     | Biomassa microbiana   | 37,5                                | 0-100                                     |
| Y7     | Biomassa microbiana   | 45                                  | 0-100                                     |
| Y8     | Biomassa microbiana   | 50                                  | 0-100                                     |
| Y9     | Biomassa microbiana   | 52,5                                | 0-100                                     |

Os ensaios foram conduzidos em Erlenmeyer de 500 mL contendo 200 mL de volume de trabalho e acondicionados em agitador orbital com temperatura controlada em 30 °C e frequência de agitação constante de 100  $\text{min}^{-1}$ . Em todos os ensaios, a concentração inicial de selênio planejada foi de 30 mg/L, concentrações de bioissorventes conforme mostrado na Tabela 1 e pH inicial, após mistura do bioissorvente com o adsorvato, ajustado para 5,0, conforme sugerido por Sekhar et al., (1998), Khakpour et al., (2014), Paniagua (2015) e Zator (2017).

De acordo com Khakpour et al., (2014), a capacidade máxima da bioissorção de selênio por *S. cerevisiae* reduz em pH abaixo e acima de 5,0.

A sequência resumida do desenvolvimento desses ensaios é mostrada na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma resumido da sequência de ensaios de bioissorção de Se (IV) por biomassa vegetal (pseudocaule de bananeira) e biomassa microbiana (levedura residual de indústria cervejeira)



#### 4.2 Solução estoque de selênio

Em todos os ensaios, foi empregado como sorvato, uma solução estoque de selenito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) em água pura.

A solução-estoque foi preparada a partir da diluição de 1000 mg de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  98% (produto comercial) em 1000 mL de água deionizada. Após preparo, a solução foi acondicionada em frasco de vidro âmbar de 1L com tampa roscada e conservada em refrigerador até uso.

A concentração inicial de 30 mg/L de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , foi definida devido a ser esta a concentração normalmente encontrada no efluente enviado pela indústria química geradora do efluente para a estação de tratamento de efluentes (ETE). Esta concentração de selênio foi informada pela indústria que faz o seu controle rotineiramente.

As determinações das concentrações de selênio presentes nas amostras foram realizadas pela empresa da região de Joinville/SC, pela análise cromatográfica, como sugerida por Khakpour et al., (2014), utilizando espectrofotômetro de absorção atômica (VARRIAN A220) e metodologia interna (não divulgada pela empresa).

### 4.3 Bioissorventes

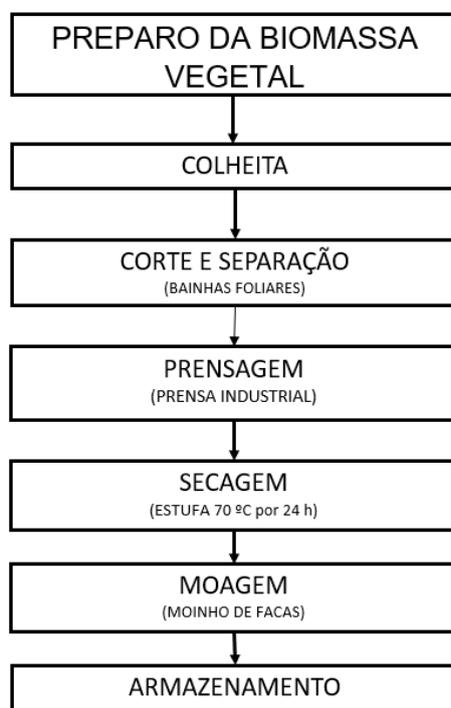
Para os ensaios com a biomassa vegetal foi empregado farelo de pseudocaule de bananeira como bioissorvente e para os experimentos com biomassa microbiana foi utilizado como bioissorvente levedura residual de indústria cervejeira da região de Joinville. Nos ensaios identificados como biomassa combina foram empregadas diferentes proporções de ambos os bioissorventes.

#### 4.3.1 Biomassa vegetal

O pseudocaule de bananeira, da espécie, *Musa cavendishii*, utilizado como biomassa vegetal, foi obtido após colheita na região de Joinville, Santa Catarina.

As etapas do preparo da biomassa vegetal são mostradas na Figura 6.

Figura 6 - Etapas da preparação da biomassa vegetal pseudocaule de bananeira



Inicialmente o pseudocaule, foi cortado em tamanho de aproximadamente 60cm, em seguida, separado as camadas de bainha foliar e cortadas verticalmente em tiras de 3 cm de largura, seguido por prensagem, secagem e moagem, conforme

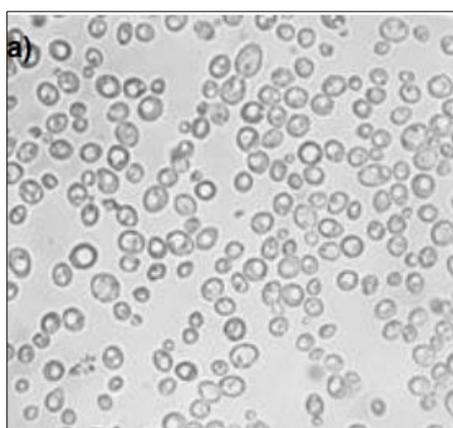
empregado por Souza et al., (2017) na obtenção do farelo de pseudocaule para uso na produção de bioetanol. A prensagem foi conduzida em prensa Hidro Industrial<sup>®</sup> e teve como objetivo remover a seiva (fase líquida) contida no material antes da sua secagem. Essa feita foi descartada. Para a secagem, foi empregada estufa Quimis<sup>®</sup> com temperatura de 70 °C durante 24 h. Posteriormente, as tiras contendo teor de umidade residual em torno de 10% em base úmida (0,11 g H<sub>2</sub>O/g massa seca do pseudocaule) foram encaminhadas ao moinho de facas Maqmont<sup>®</sup> para trituração até obtenção de partículas de tamanho mínimo 0,595 mm (30 mesh). Em seguida o material foi armazenado em local seco e em recipiente hermético até uso.

#### 4.3.2 Preparação da biomassa microbiana

O microrganismo escolhido para estudo foi a levedura *S. cerevisiae* presente no fermento residual de indústria cervejeira, após produção da cerveja Pilsen, a de maior produção em empresa da região de Joinville. O material foi coletado logo após a sua decantação natural no tanque de fermentação e descarte como efluente. O momento desse descarte foi determinado pela empresa em função da ausência ou atenuação do metabolismo microbiano no extrato da cerveja.

O fermento residual da indústria cervejeira foi utilizado na sua forma úmida (sem secagem). Mesma forma avaliada por Khakpour et al., (2014), exceto que a sua obtenção foi após cultivo controlado em laboratório e não proveniente de rejeito industrial.

Figura 7 - Microscopia óptica com aumento de 400 vezes da morfologia celular da biomassa de *S. cerevisiae* úmida



Fonte: Gonçalves (2019).

O volume coletado, em torno de 5 litros por coleta, foi armazenado sob refrigeração para posterior preparação, determinação da concentração microbiana e uso. O tempo máximo de armazenamento foi de 48 h.

A biomassa coletada na indústria cervejeira foi preparada para os ensaios de bioissorção conforme proposto por Gonçalves, (2019). O volume coletado foi filtrado à vácuo em funil de Buchner contendo papel filtro Schleicher® de diâmetro  $11\pm 0,1$  cm e porosidade de  $40\ \mu\text{m}$ , com duas lavagens consecutivas com água deionizada. O material retido no papel filtro foi transferido para frasco Duran graduado seguido pela adição de água deionizada até 1L e armazenado sob refrigeração até uso por, no máximo, 48 h. A sequência do procedimento experimental é mostrada de forma resumida na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma do procedimento experimental utilizado nos ensaios de bioissorção inativa de selênio por levedura residual de indústria cervejeira



A concentração microbiana média (em massa seca) na suspensão do bioissorvente tratada foi determinada por gravimetria com base na norma ASTM E871–82 (ASTM, 2013) conforme proposto por Gonçalves, (2019). Três alíquotas de 10 mL foram filtradas à vácuo em papel filtro de porosidade  $0,8\ \mu\text{m}$  e diâmetro 47 mm e a massa retida, após sucessivas lavagens com água deionizada, foram secas em estufa Quimis® a  $103\ ^\circ\text{C}$  durante 24 h com posterior resfriamento em dessecador de sílica-gel ( $\pm 30$  min) e pesagem em balança analítica (SHIMADZU, modelo AY220).

A concentração de biomassa seca (X) em g/L, foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$X = \frac{a-b}{V} \quad (1)$$

Onde:

A - massa do papel filtro com biomassa microbiana após secagem (g);

B - massa do papel filtro sem biomassa microbiana (g);

V - volume de amostra filtrada (L).

#### 4.4 Determinação da potencialidade de bioissorção

Com a realização dos ensaios de bioissorção apontados, o potencial de bioissorção de selênio de cada um dos bioissorventes analisados foi estabelecido com a análise dos valores de eficiência (R (%)) da bioissorção de selênio (Equação 2) e da capacidade (Y (mg/g)) de bioissorção expressa em mg de sorvato removido do meio líquido por grama de bioissorvente empregado (Equação 3), no meio reacional.

$$R (\%) = \frac{Se_0 - Se_f}{Se_0} \cdot 100 \quad (2)$$

$$Y \left( \frac{mg}{g} \right) = \frac{Se_0 - Se_f}{X} \quad (3)$$

Onde:

$Se_0$  - concentração inicial do selênio (mg/L);

$Se_f$  - concentração final do selênio (mg/L);

X - concentração de bioissorvente, em massa seca, (g/L).

#### 4.5 Análise de isotermas de bioissorção

Tendo por finalidade a elaboração das isotermas de bioissorção foram realizados os ensaios Y10 a Y18, utilizando 52,5 g/L de biomassa microbiana,

diferentes concentrações de sorvato (Y10 = 5 mg/L, Y11 = 10 mg/L, Y12 = 15 mg/L, Y13 = 20 mg/L, Y14 = 25 mg/L, Y15 = 30 mg/L, Y16 = 40 mg/L, Y17 = 50 mg/L e Y18 = 100 mg/L). Todos os ensaios foram realizados seguindo a mesma metodologia empregada nos ensaios com biomassa microbiana (Ensaio Y1 a Y9). Os resultados de capacidade de adsorção foram utilizados para análise dos ajustes dos modelos de isothermas de Langmuir e Freundlich, utilizando regressão linear com o software Microsoft Excel 2019®.

#### 4.5.1 Isoterma de Langmuir

O modelo da isoterma de Langmuir foi obtida pela Equação 4 e a forma linearizada que melhor se adequa às baixas concentrações foi observada pela Equação 5 (BHATTACHARYYA e SARMA, 2003).

Na determinação das constantes  $K_L$  e  $q_{m\acute{a}x}$ , um gráfico ( $1/q_e$ ) versus ( $1/C_e$ ) foi plotado, com a equação da reta, para obtenção dos valores dos parâmetros pelos coeficientes linear ( $1/q_{m\acute{a}x}$ ) e angular [ $1/(q_m K_L)$ ].

$$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (4)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x} \cdot K_L \cdot C_e} + \frac{1}{q_{m\acute{a}x}} \quad (5)$$

Onde:

$q_e$  - quantidade de soluto bioadsorvido por grama de bioadsorvente no equilíbrio ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );

$q_{m\acute{a}x}$  - capacidade máxima de bioadsorção ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );

$K_L$  - constante de interação entre sorvato e bioadsorvente ( $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$ );

$C_e$  - concentração do sorvato no equilíbrio ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

Em seguida a determinação da capacidade máxima de adsorção, com cálculo do fator de separação ( $R_L$ ) pela Equação 6, foi possível observar o tipo da isoterma, onde  $C_i$  é a concentração inicial de adsorvato na solução ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) (NAMASIVAYAM e SANGEETHA, 2008), conforme:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L \cdot C_i} \quad (6)$$

$R_L = 0$ , processo de adsorção é irreversível;

$R_L = 1$ , adsorção é linear;

$0 < R_L < 1$ , adsorção é favorável;

$R_L > 1$ , adsorção é desfavorável.

#### 4.5.2 Isoterma de Freundlich

O modelo da isoterma de Freundlich obtido pela Equação 7 (MATOUQ et al., 2015) e pela linearização da Equação 7, observa-se a Equação 8 (ADAMCZUK e KOŁODYŃSKA, 2015). Para obtenção dos parâmetros, gerou-se o gráfico  $\log q_e$  versus  $\log C_e$  e com auxílio da equação da reta, observou-se os valores dos parâmetros pelos coeficientes angular ( $1/n$ ) e linear ( $\log K_F$ ).

$$q_e = K_F \cdot (C_e)^{1/n} \quad (7)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (8)$$

Onde:

$K_F$  - constante de capacidade de adsorção de Freundlich ( $L^{1/n} \cdot mg^{(1-1/n)} \cdot g^{-1}$ );

$1/n$  - constante relacionada à heterogeneidade da superfície.

#### 4.6 Cinética de bioadsorção

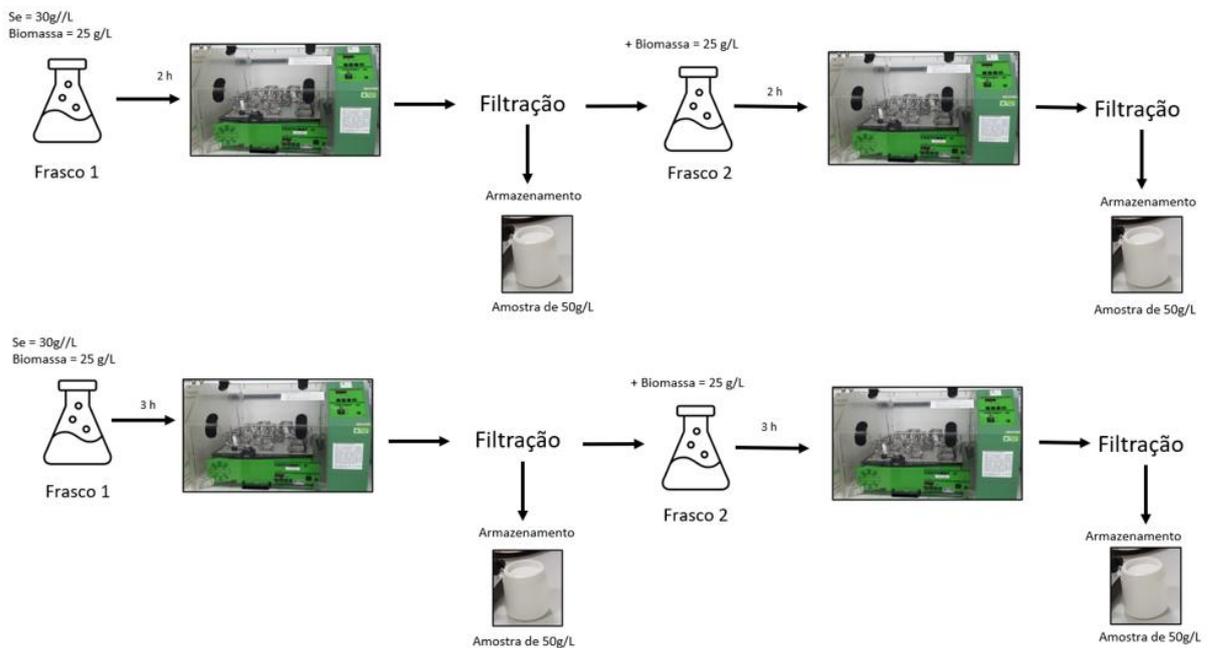
Os ensaios Y19 a Y25, ajustados, por regressão linear com auxílio do software Microsoft Excel 2019®, foram realizados em triplicata utilizando a biomassa microbiana, sob concentração de solução-estoque de selênio de 30mg/L e concentração do bioadsorvente de 52,5 g/L, pH 5, agitação de 100 min<sup>-1</sup> e temperatura de 30 °C. Intervalos regulares de tempo foram estabelecidos, com retiradas das

amostras a cada duas horas, até atingir 24 horas e seguindo para posterior filtração a vácuo e envio a empresa da região de Joinville/SC, para análise.

#### 4.7 Ensaios em batelada repetida

Tendo como finalidade a observação da eficiência de remoção de selênio utilizando um processo de adsorção com condução diferente daquela utilizada nos ensaios anteriores com biomassa microbiana (Ensaios Y1 a Y25, processo de batelada simples) foi realizado a remoção de 30 mg/L de selênio em duas etapas de adsorção (Processo batelada repetida, Figura 9). A concentração total de biossorvente foi de 50 g/L, sendo 25 g/L empregada na primeira etapa do processo (Frasco 1) e 25 g/L na segunda etapa (Frasco 2).

Figura 9 - Esquema do ensaio de biossorção de selênio por biomassa microbiana realizado em processo de batelada repetida



#### 4.8 Análise estatística

Os resultados dos ensaios de fermentação foram analisados pelo método ANOVA com teste de Tukey para  $p < 0,05$  empregando os softwares Microsoft Excel 2019® e Jamovi®.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Ensaio de bioadsorção

#### 5.1.1 Ensaio de bioadsorção utilizando biomassa vegetal

As concentrações de selênio total (sorvato) no início ( $Se_0$ ) e no final ( $Se_f$ ) de cada um dos ensaios de bioadsorção são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2- Concentrações médias de selênio, com desvio padrão, determinadas no início ( $Se_0$ ) e no final ( $Se_f$ ) dos ensaios utilizando farelo de pseudocaule de bananeira

| Ensaio de Bioadsorção | Concentração de bioadsorvente (g/L) | Concentração de selênio total (mg/L) |              |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
|                       |                                     | $Se_0$                               | $Se_f$       |
| P1                    | 2                                   | 27,65 ± 0,03                         | 26,92 ± 0,15 |
| P2                    | 5                                   | 25,63 ± 0,59                         | 25,05 ± 0,14 |
| P3                    | 10                                  | 26,55 ± 0,13                         | 24,95 ± 0,54 |
| P4                    | 25                                  | 24,80 ± 0,11                         | 23,12 ± 0,35 |
| P5                    | 50                                  | 26,12 ± 0,06                         | 23,75 ± 0,75 |
| P6                    | 52,5                                | 26,99 ± 0,22                         | 24,06 ± 0,16 |

A concentração inicial de selênio ( $Se_0$ ) na maioria dos ensaios foi menor do que a planejada (30mg/L), sendo essas diferenças, em função de erro experimental no preparo e distribuição da solução sintética de selênio junto aos frascos de reação.

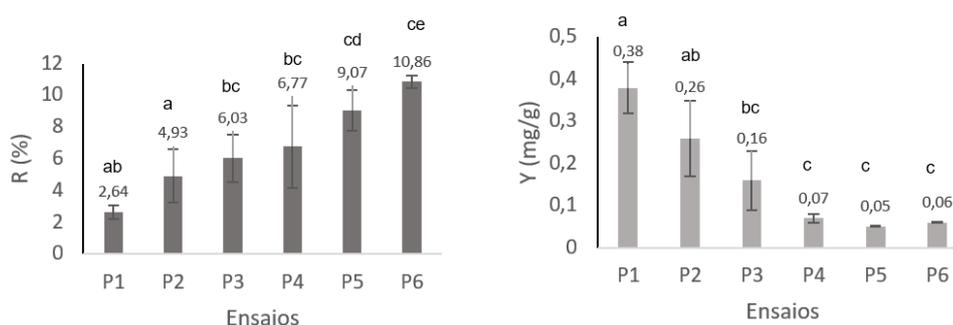
Em todos os ensaios, nota-se a ocorrência de bioadsorção de selênio como previsto, porém os resultados obtidos, com a utilização da biomassa vegetal, não atenderam as legislações vigentes, quanto aos padrões máximos estabelecidos para despejo em corpos hídricos receptores, ainda que, por meio da análise estatística as variâncias dos valores médios foram diferentes e, conseqüentemente, esses valores são significativamente diferentes, assumindo o nível de significância escolhido ( $p < 0,05$ ).

O ensaio P6, de menor concentração final de selênio total, apresentou similaridade com o ensaio P1, de maior concentração inicial de selênio total ( $Se_f$  médio = 24,60 ± 0,4), esse comportamento pode ser observado, devido à danos na integridade celular do bioadsorvente causados pelo processo de secagem. A secagem da biomassa, embora esteja vinculada a custos energéticos, apresenta vantagens

devido, a facilidade no manuseio e dosagem e menor área para armazenamento (GONÇALVES, 2019).

Os valores de R(%) e Y(mg/g) específicos a cada um dos ensaios são mostrados na (Figura 10) onde foi possível comparar as eficiências de bioissorção de selênio com a utilização de diferentes concentrações de biomassa vegetal.

Figura 10 – Valores médios de eficiência (R) e capacidade de bioissorção (Y), com respectivos desvios padrões, obtidos na remoção de Se(IV) por diferentes concentrações de farelo de pseudocaule de bananeira (Ensaio P1= 2 g/L, P2 = 5 g/L, P3 = 10 g/L, P4 = 25 g/L, P5 = 50 g/L, P6 = 52,5 g/L). Letras iguais representam médias sem diferença significativa ( $p < 0,05$ )



Conforme pode ser observado na Figura 10, a eficiência de remoção de Se(IV) por farelo de pseudocaule de bananeira, mesmo nas condições de maior concentração de bioissorvente (Ensaio P5 e P6), foi inferior a 12 %. A concentração média final de adsorvato nesses experimentos, após bioissorção, bem como em P4, ficou em torno de 23,5 mg/L; valor este bem acima daquele exigido pela Resolução CONAMA (Se = 30 mg/L) para lançamento de efluentes na natureza. Observa-se, também, que ao aumentar a concentração do bioissorvente tem-se uma tendência de aumento da eficiência média de remoção de selênio. Contudo, em função dos seus desvios padrão, parece ocorrer diferenças significativas entre as médias, a adição de diferentes concentrações de bioissorvente, promoveu mudanças significativas ( $p < 0,05$ ) nos ensaios, assim como para Nascimento (2022), que alterou os teores de extrato hidroetanólico de folhas nos revestimentos de pectina.

Assim como ocorreu na maioria dos experimentos que estudaram a adsorção, ou bioissorção, de mesmas concentrações iniciais de adsorvato utilizando diferentes concentrações de adsorventes, é possível afirmar a partir da Figura 10, que quanto maior a quantidade de bioissorvente empregada, menor a sua capacidade de bioissorção (Y). O maior valor médio de Y (0,38 mg/g) foi observada no ensaio P1 com 2 g/L em massa seca de bioissorvente. Ao empregar concentrações maiores que 25 g/L de farelo de pseudocaule (Ensaio P4, P5 e P6), Y médio foi reduzido para valores

menores que 0,08 mg/L. Paniagua (2015), observou comportamento semelhante nos seus estudos de remoção de arsênio, antimônio e selênio por farinha de casca de banana natural e previamente tratada por tiosemicarbazida.

Valores de R bem mais promissores ( $R > 70\%$ ) foram obtidos por Lima (2013), Silva (2014), Casqueira e Lima (2016) e Rosa et al. (2018), em seus respectivos de remoção de Cr em diferentes graus de ionização (II, III e IV), por pseudocaule da bananeira. Lima (2013), ao apresentar um R máximo da ordem de 90,5%. Olivo et al. (2007) comenta que diferentes características de bioissorventes vegetais, tais como época de colheita do material, espécie do cultivar, tamanho das partículas adsorventes, composição e quantidade de biomassa podem afetar significativamente a eficiência de remoção de diferentes tipos de adsorvatos.

O presente estudo não utilizou técnicas de pré-tratamentos químicos do pseudocaule, apenas realizou a colheita, prensagem, secagem e moagem do material. Vários autores empregaram o uso de tratamentos térmicos e químicos alternativos na tentativa de melhorar a eficiência e capacidade de adsorção de bioissorção de diferentes metais, sendo que, de acordo com Alluri et al., (2007), um processo de bioissorção bem-sucedido, inicia com a seleção de vários tipos de biomassas, sendo o pré-tratamento e a imobilização, fatores importantes para aumentar a eficiência da bioissorção do metal. Nessa linha, Casqueira e Lima (2016), utilizaram o pseudocaule de bananeira previamente tratado termicamente. O material in natura foi inicialmente mantido imerso em água em ponto de ebulição por uma hora, para posterior uso variando a concentração do bioissorvente entre 100 e 300 mg em alíquotas de 50 mL de solução, onde observaram valores superiores a 70% na remoção de Cr(III) em pH 6,5. Infelizmente, para corroborar a contribuição do pré-tratamento no aumento da eficiência, os autores não apresentaram valores de R para o material sem tratamento.

A efetivação do bioissorvente utilizado, pode ser afetada por alguns parâmetros como o pH, características dos elementos químicos da tabela periódica, concentração de íons, tempo de contato, temperatura, área superficial, bem como a concentração de biomassa (PINO e TOREM, 2011).

Lima (2013), fez a utilização de pseudocaule de bananeira in natura e seco em estufa, realizou o preparo do pseudocaule, que foi colocado em água até ponto de ebulição por uma hora e em seguida deixado em estufa, semelhantemente a amostra

in natura, com valores de massa de biossorvente variando de 100 a 300 mg e a concentração inicial de Cr(III) variando de 0,5 a 100 mg.L<sup>-1</sup>. Apresentando-se como uma alternativa mais eficiente, a amostra do pseudocaule de bananeira tratado.

Nos estudos de adsorção de Machado e Vogel (2013), utilizando pseudocaule de bananeira, para a remoção de cor de efluentes contendo diferentes concentrações de corante (azul de metileno ou verde de malaquita) em solução aquosa, o material adsorvente foi colhido e lavado, em seguida filtrado e deixado em repouso para secagem natural, para posterior trituração em liquidificador onde a amostra heterogênea com fibras e grãos com frações de 1 grama, foi utilizada nos estudos, que apresentaram capacidade adsorvente para soluções do corante azul de metileno, com quantidade máxima de adsorção da ordem de  $2,8 \times 10^{-4}$  mol.g<sup>-1</sup>.

SILVA et al., (2010) utilizaram pseudocaule de bananeira in natura, o qual foi triturado inicialmente em um moinho de bolas, peneirado, em seguida lavado em água deionizada e posteriormente seco em estufa por 5 horas sob 50°C para remoção de corante têxtil Azul de Remazol R de soluções aquosas, onde observaram que em valores de pHs ácidos a quantidade adsorvida foi maior, comparando os estudos com obtidos em pHs básicos.

O valor de pH encontrado por Rajamohan e Rajasimman (2015), para a biossorção de selênio por meio da casca de *Eucalyptus camaldulensis* como biossorvente, foi de 5,0, chegando a uma captação máxima de selênio em 36,5 mg/g.

É possível visualizar, estudos utilizando majoritariamente a casca da banana como biossorvente, variados autores, realizaram ensaios laboratoriais, bem como tratamentos e diferentes formas de uso da casca da fruta, resultando em valores eficientes para remoção de metais, com a utilização deste resíduo agrícola.

Avaliando o uso do farelo de casca de banana, quimicamente modificada com tiosemicarbazida na sorção de arsênio, antimônio e selênio, Paniagua (2015) obteve valores de remoção de 74% de As, 66% de Sb e 60% de Se, variando a concentração de biossorvente entre 25 a 1000 mg, com pH 4 em volume de 1000,00 mL adicionando o analito de 20 µg.L<sup>-1</sup> dividindo em alíquotas de 25 mL.

Com o uso da farinha da casca de banana, tratada com ácido clorídrico, para finalidade de liberação dos sítios ativos que presentes na casca da fruta e afim de evitar a liberação de cor ao entrar em contato com a solução preparada, Rosa et al.,

(2018), realizaram a modificação química do pó da casca da banana, em seus estudos para utilização como bioissorvente, onde obtiveram 82% de remoção do cromo (IV).

Analisando a utilização da farinha da casa de banana na remoção de chumbo, Martins et al., (2015), realizam a coleta do material e em seguida, o acomodaram para secagem natural sob luz solar por 20 horas, após esta secagem inicial as casas foram inseridas em estufa com temperatura de 65°C por dois dias, com posterior trituração do material em moinhos de facas, chegando a aproximadamente uma remoção de 99,6% de Pb (II), utilizando o bioissorvente.

Utilizando casca de bananeira para remoção de metais pesados tais como chumbo (Pb), níquel (Ni), ferro (Fe), cobre (Cu) alumínio (Al) e bário (Ba), Santana et al., (2020), assentaram as cascas de bananas maduras para secagem natural ao ar durante três dias, em seguida o bioissorvente foi triturado, peneirado e aplicado diretamente com a solução efluente por contato, onde foi observado que o material bioissorvente apresentou ótimo desempenho.

De acordo com Kramer et al., (2018), para remoção de metais pesados, dentre os materiais com potencial, estão os de origem vegetal, principalmente aqueles considerados resíduos agrícolas, onde seus materiais fibrosos, como das culturas de cana de açúcar, fibra de coco, possuem grande capacidade.

### 5.1.2 Ensaio de bioissorção utilizando biomassa microbiana

As concentrações iniciais ( $Se_0$ ) e finais ( $Se_f$ ), de sorvato, nos ensaios de bioissorção utilizando biomassa microbiana são mostrados na Tabela 3.

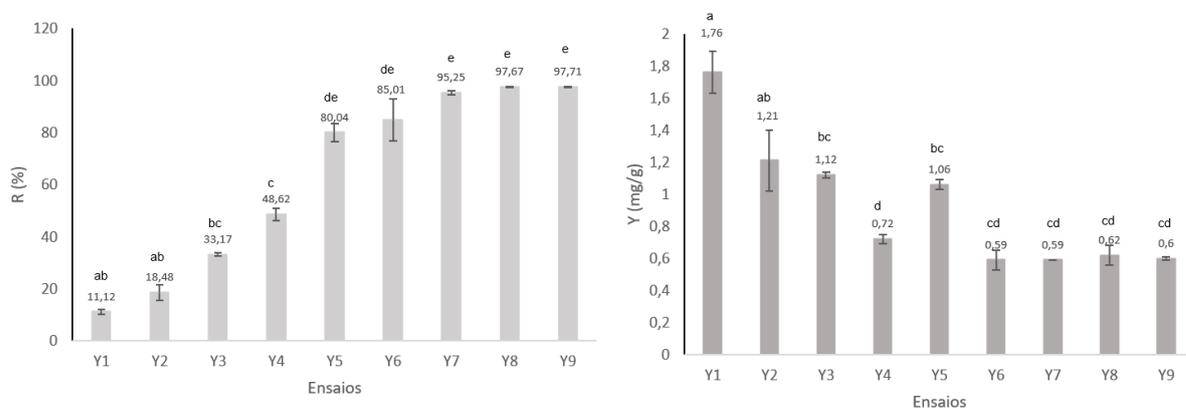
Tabela 3- Concentrações médias de Se(IV) e respectivos desvios padrões, determinadas no início ( $Se_0$ ) e no final ( $Se_f$ ) dos ensaios, utilizando  $Na_2SeO_4$  dissolvido em água pura e *Saccharomyces cerevisiae* residual de indústria cervejeira como bioissorvente

| Ensaio de Bioissorção | Concentração de bioissorvente (g/L) | Concentração de selênio total (mg/L) |              |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
|                       |                                     | $Se_0$                               | $Se_f$       |
| Y1                    | 2                                   | 31,65 ± 0,05                         | 28,13 ± 0,89 |
| Y2                    | 5                                   | 32,80 ± 0,14                         | 26,74 ± 0,92 |
| Y3                    | 10                                  | 32,92 ± 0,03                         | 22,00 ± 0,39 |
| Y4                    | 17,5                                | 26,06 ± 0,09                         | 13,39 ± 0,66 |
| Y5                    | 25                                  | 32,98 ± 0,42                         | 6,58 ± 1,37  |
| Y6                    | 37,5                                | 25,93 ± 0,21                         | 3,89 ± 0,82  |
| Y7                    | 45                                  | 27,95 ± 0,04                         | 1,33 ± 0,10  |
| Y8                    | 50                                  | 33,55 ± 0,26                         | 0,78 ± 0,04  |
| Y9                    | 52,5                                | 33,79 ± 0,01                         | 0,76 ± 0,01  |

A concentração inicial de selênio ( $Se_0$ ) na maioria dos ensaios foi menor do que a planejada, essas diferenças ocorreram, provavelmente, em função de erro experimental no preparo e distribuição da solução sintética de selênio nos frascos de reação, ainda que, foi possível perceber semelhança nos ensaios, onde a concentração de bioissorvente, obteve leve aumento durante os testes (Y1, Y2, Y7, Y8 e Y9), comparando com os demais, estatisticamente.

Ao comparar de forma individual cada um dos ensaios apresentados na Figura 11 verifica-se a maior eficiência de bioissorção ( $R = 97,71\%$ ) obtida no ensaio Y9, onde foi empregada a maior concentração de biomassa microbiana (52,5 g/L), bem como nos ensaios Y7 e Y8, obtendo valores de eficiência respectivamente de  $R= 95,25\%$  e  $R=97,67\%$ , muito próximos ao resultado do ensaio Y9, deste modo, verifica-se que estatisticamente os valores, são iguais de ambos ensaios (Y9, Y8 e Y7).

Figura 11 - Valores de eficiência (R) e capacidade de bioissorção (Y), com respectivos desvios padrões, obtidos na remoção de Se(IV) por diferentes concentrações de biomassa microbiana inativa (*Saccharomyces cerevisiae*) descartada por indústria cervejeira (Ensaio Y1= 2 g/L, Y2 = 5 g/L, Y3 = 10 g/L, Y4 = 17,5 g/L, Y5 = 25 g/L, Y6 = 37,5 g/L, Y7 = 45 g/L, Y8 = 50 g/L, Y9 = 52,5 g/L). Letras iguais representam médias sem diferença significativa ( $p < 0,05$ )



É possível observar um comportamento estatístico, equivalente de capacidade de bioissorção Y (mg/g), nos ensaios com bioissorvente acima de 30 g/L, em vista aos estudos de Hackbarth et al., (2018) e Gonçalves (2019), que utilizaram biomassa microbiana de *S. cerevisiae* de forma úmida.

Gonçalves (2019), em seus estudos, realizou a comparação entre a bioissorção ativa e inativa de selênio, utilizando *S. cerevisiae*, sendo que, para bioissorção inativa do contaminante utilizando 52,5 g/L de biomassa microbiana úmida, sem pré-tratamentos, alcançou eficiência de R = 97,52%. As condições operacionais empregadas pela autora foram as mesmas aplicadas no ensaio Y9, o que corrobora o valor médio de R = 97,71%.

Para Fomina & Gadd (2014), o emprego de biomassas inativas, consiste em uma técnica vantajosa utilizada para remoção de metais, pois apresentam características como ausência de limitações de toxicidade, fácil absorção e recuperação de metais bioissorvidos, atingível regeneração e reutilização de biomassa assim como ausência de requisitos para meios de crescimento e nutrientes na solução de alimentação, bem como seu armazenamento e utilização em temperaturas ambientes, sem a perda da eficiência (GÖKSUNGUR et al., 2005).

A utilização de microrganismos inativos, apresentam uma alternativa para remoção de metais, pois estes, não precisam de uma fonte contínua de nutrientes na sua replicação, bem como a baixa influência tóxica, que o bioissorvente estaria exposto em bancada laboratorial (COLAK et al., 2011; KRAMER et al., 2018).

Como fator influente no processo de biossorção, e conseqüentemente nos valores de eficiência, a dosagem do biossorvente, com aumento na sua concentração utilizada, interfere na quantidade de soluto biossorvido, que por sua vez aumenta o número de sítios de ligação, devido à maior área superficial do biossorvente disponível (ABDI & KAZEMI, 2015).

O modo da biomassa microbiana apresentar valores de eficiência maiores em relação a biomassa vegetal, sob as mesmas condições de processo, permite indicar a biomassa microbiana como a de maior potencial para remoção de íons de selênio de meio aquoso. As dosagens elevadas de biossorvente apresentam maior área de superfície, assim como o número de sítios ativos disponíveis para interação com o íon do sorvato, deste modo a biossorção relaciona-se com a disponibilidade de área de superfície para remoção do contaminante, assim como para maior taxa de remoção de poluente, ocorrendo no ensaio com a maior concentração do biossorvente microbiano utilizada de 52,5 g/L (RAJAMOHAN e RAJASIMMAN, 2015; KHAKPOUR et al., 2014; GONÇALVES, 2019).

O biossorvente, proveniente de indústria cervejeira, foi utilizado, praticamente como coletado, sem a realização de pré-tratamentos com etanol como estudados por Ahalya et al., (2003). Isto, possibilitaria a mistura direta da biomassa microbiana nos tanques de tratamento de efluentes da indústria química visando a redução da sua concentração de selênio por biossorção (GONÇALVES, 2019).

A idade celular da biomassa, consiste em um parâmetro de forte influência na biossorção de metais (KAPOOR; VIRARAGHAVAN, 1995). Ainda que, o processo de biossorção com biomassa microbiana assemelha-se a um processo de troca iônica, tendo em vista que o pH tem efeito significativo na adsorção de íons. O pH da solução influencia os sítios de ligação do sorvato na superfície celular e a química do elemento em solução (SEKHAR et al., 1998).

Nos ensaios de maior eficiência de biossorção (Y6, Y7, Y8 e Y9), com concentrações de biossorvente elevadas, a capacidade de biossorção encontra-se reduzida, assim como ocorreu para Khakpour et al., (2014), que obtiveram capacidade mínima de biossorção de  $Y=0,853 \pm 0,025$  mg/g na maior dosagem do biossorvente (B=10g/L).

Realizando a biossorção de íons de Cd (III) e Pb (II), com as biomassas de casca de pequi, serragem de madeira Teca e o fungo Orelha de Pau, Nascimento e Oliveira (2014), alcançaram eficiência de 99,9% de remoção.

A capacidade de biossorção, está ligada a quantidade de metal biossorvida por unidade de peso do biossorvente, em consequência, o aumento da concentração inicial de selênio, gera aumento a este parâmetro. Bem como, valores inferiores de capacidade de biossorção, observados nos maiores valores de eficiência de remoção de Se, são caracterizadas devido a maior quantidade de células para realizar a biossorção, diminuindo a concentração do metal por unidade de massa celular (KHAKPOUR et al., 2014; HACKBARTH et al., 2018).

Segundo Vijayaraghavan & Balasubramanian (2015), a biossorção é um processo passivo, onde vários grupos químicos ou componentes químicos de uma mesma biomassa utilizada, possam desempenhar papel importante na biossorção de metais desejados, ainda que, pode-se aguardar uma interação complicada na presença de muitos íons, inviabilizando a redução efetiva do íon de interesse.

Na biossorção de íons de cobre (II) pela biomassa do fungo *Rhizopus microsporus*, Policarpo (2015), obteve maior capacidade de biossorção em pH 6, pois o pH, denota-se como fator importante para o equilíbrio da biossorção.

Sena (2017) ao verificar a influência de temperatura na morfologia da levedura *S. cerevisiae*, observou que as células quando inativas, não exibiram alterações em sua estrutura, e mantiveram seu formato oval com parede celular, rugosa.

Rossi (2015) esclarece sobre a aplicação da levedura *Saccharomyces cerevisiae* nos processos de remediação de metais, pelo seu uso primário em fermentações nas indústrias alimentícias e de álcool o que a torna disponível para larga escala, ainda que a *S. cerevisiae* é vista como um biossorvente mediano na comunidade científica, Arminia et al., (2015) explica que resíduos de caldo de fermentação podem se aderir na superfície das células, prejudicando a interação com o sorvato. Dentre essas propriedades, altas eficiências e capacidade de biossorção com biossorventes alternativos, como apresentadas por Tuzen e Sari (2010) e Rajamohan e Rajasimman (2015) ao empregarem, respectivamente, algas verdes mortas, *Cladophora hutchinsiae* e cascas de *Eucalyptus camaldulensis* na biossorção de selênio são justificáveis, devido a pureza desse biossorvente.

O processo da biossorção de metais tóxicos, utilizando microrganismos dá-se com a retenção do íon, por meio das ligações de superfície, onde os ligantes químicos, presentes na superfície da biomassa, correlacionam-se com a retenção dos metais como polissacarídeos, acetamidas, carboxilas, amidos, fosfatos, hidroxilas, esses estudos vêm sendo realizados com o uso de leveduras, bactérias e até microalgas, ainda que, a utilização de biomassa fúngica, denota atenção, devido sua capacidade de fixação de metais (AHMAD et al., 2006; NASCIMENTO, 2015).

A capacidade de biossorção de selênio, de modo geral, apresenta um aumento em maiores concentrações iniciais do elemento químico, ocorrendo na maior concentração de íons iniciais na solução de biossorção, aumentando assim, as quantidades de íons de selênio biossorvidos por unidade de peso (KHAKPOUR et al., 2014). De acordo com Silva (2014) os mecanismos envolvidos no processo de biossorção caracterizam-se pelos aspectos quantitativos e qualitativos de acordo com os biossorventes utilizados, sua origem, tratamento, troca iônica, disponibilidade, bem como o pH da solução, temperatura, que afetam diretamente o processo de remoção do contaminante.

A seleção de um biossorvente para tratamento de efluente industrial frente aos valores de eficiência  $R(\%)$  e capacidade de biossorção  $Y(\text{mg/g})$ , decorre da concentração final do poluente que se deseja fazer a remoção e da concentração de biossorvente necessária para este processo (GONÇALVES, 2019).

Na utilização da biossorção, um dos maiores desafios, compete-se na escolha e análise do biossorvente mais adequado, frente a remoção de poluentes, metais tóxicos presentes nos efluentes, além de avaliar o rendimento entre a combinação de tratamentos e técnicas de utilização que melhores se adequam a cada biossorvente, ainda que, as biomassas de maior interesse consistem nas resultantes de resíduos de processos fermentativos, além de outros processos industriais, por apresentarem vantagens econômicas e grande disponibilidade (HACKBARTH et al., 2018; BARROS et al., 2017; RIBEIRO, 2009).

Apresentando melhores resultados frente a comparação com a biomassa vegetal, a biomassa microbiana, mostrou-se mais eficiente para remoção de selênio, já que o uso de biomassas inativas, apresentam-se capazes em remoção de diversos poluentes, embora aplicada majoritariamente no tratamento de soluções sintéticas contendo um íon metálico, a biossorção de metais por biossorventes agrícolas, que

possuem na maioria em suas composições, compostos de lignina e celulose, dentre outros grupos funcionais, que são capazes de ligar-se aos metais pesados por meio da substituição de íons de hidrogênio com íons metálicos em solução, tem sido amplamente estudadas (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014; BARROS et al., 2017; PAULA e FARIA, 2017; SILVA et al., 2018).

## 5.2 Isotermas de bioadsorção

Permitindo, a determinação experimental da capacidade máxima de adsorção, o estudo do equilíbrio confere-se importante, onde à temperatura constante, observa-se o efeito da concentração da espécie química na capacidade de bioadsorção, mantendo a massa do bioadsorvente constante, ou seja, a capacidade de adsorção consiste na relação entre a quantidade bioadsorvida, pela unidade de massa do bioadsorvente (DA SILVA et al., 2018).

Apresentando informações importantes, as isotermas evidenciam como as moléculas do adsorbato interagem com o adsorvente (BAGALI et al., 2017).

Os modelos mais utilizados para descrever a bioadsorção dos íons metálicos são os de Langmuir e Freundlich (SILVA, 2014).

### 5.2.1 Isotermas de Langmuir e Freundlich

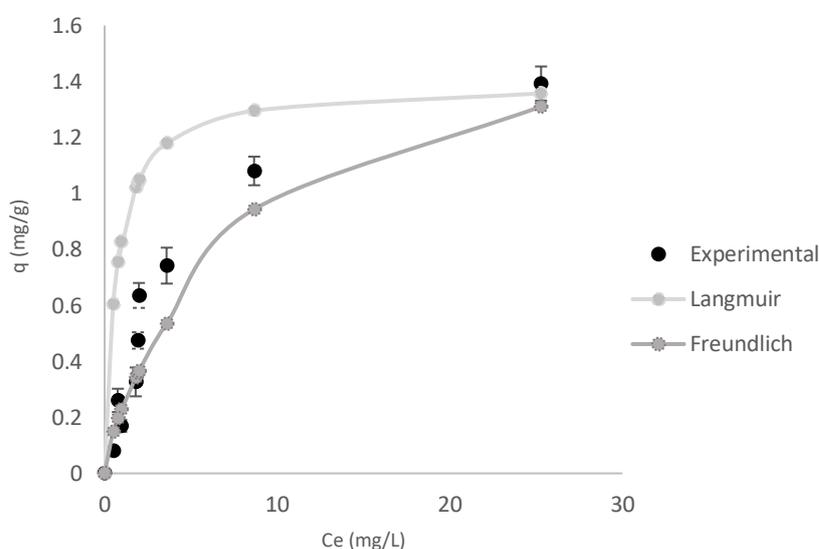
Ao se observar os perfis das isotermas de bioadsorção, bem como os resultados obtidos em literatura, nota-se a necessidade de novos ensaios, para reformulação das curvas e novo cálculo das constantes, para as isotermas, pois, utilizando *S. cerevisiae*, Rossi (2015), obteve capacidade de adsorção de chumbo igual a 178 mg/g; Agnol (2014), encontrou resultados de  $R^2$ , entre 0,9112-0,9942, com modelo de Langmuir para bioadsorção do corante preto reativo 5 utilizando *Saccharomyces cerevisiae* e Nascimento (2015), utilizando *S. cerevisiae* para remoção do íon cobre, evidenciou, capacidade máxima de adsorção de 4,73 mg/g e coeficiente de correlação de 0,99, junto ao modelo de Langmuir.

Outros autores como Peng et al., (2010) e Ferreira et al., (2007), em seus estudos com biomassa microbiana de *Saccharomyces cerevisiae* para remoção de Cu

(II), Cu (II) e Pb<sup>2+</sup> respectivamente, também observaram o equilíbrio de adsorção melhor ajuste ao modelo descrito por Langmuir,

Para os resultados obtidos nos ensaios da presente pesquisa, as isotermas de bioadsorção de Se, para os modelos de Langmuir e Freundlich, são apresentadas na Figura 12, lembrando, a importância para que estes dados continuem sendo estudados, nas condições levantadas neste trabalho.

Figura 12 - Ajuste dos modelos de Langmuir e de Freundlich aos valores experimentais de capacidade de adsorção (q) e diferentes C<sub>e</sub> (concentrações iniciais de Se<sup>+4</sup> em água pura) por 52,5 g/L de *S. cerevisiae* descartada por indústria cervejeira



Isotermas, que apresentam concavidade para baixo, são consideradas favoráveis, devido uma alta inclinação a partir da origem, indica baixa concentração de metal residual, na amostra final (CHEN e WANG, 2006; POLICARPO, 2015).

Na Tabela 4, os dados obtidos, observam que a biomassa microbiana se ajustou melhor ao modelo de Langmuir por apresentar coeficiente de correlação de 0,91, obtendo-se capacidade máxima de adsorção de 1,39 mg.g<sup>-1</sup>. Os resultados experimentais, ajustaram-se ao modelo de Langmuir na bioadsorção de Se, possivelmente, em função dos sítios ativos melhor definidos (MELO et al., 2014).

Tabela 4 - Parâmetros ajustados dos modelos de Langmuir e Freundlich

| Langmuir                   |                          |                |                | Freundlich  |      |                |
|----------------------------|--------------------------|----------------|----------------|---|------|----------------|
| q <sub>máx</sub><br>(mg/g) | K <sub>L</sub><br>(L/mg) | R <sub>L</sub> | R <sup>2</sup> | K <sub>F</sub><br>(L <sup>1/n</sup> · mg <sup>(1-1/n)</sup> · g <sup>-1</sup> ) | 1/n  | R <sup>2</sup> |
| 1,39                       | 0,61                     | 0,51           | 0,91           | 0,23  | 0,64 | 0,81           |

De acordo com Melani et al., (2020), no modelo de Langmuir, o parâmetro de equilíbrio ( $R_L$ ), aponta adsorção favorável quando os valores estão entre zero e um.

Nos estudos de bioadsorção de íons de cobre (II) pela biomassa do fungo *Rhizopus microsporus*, Policarpo (2015), observou que ambos modelos de Langmuir e Freundlich, ajustaram-se ao processo com e sem pH controlado, sendo possível observar melhor adequação ao modelo de Langmuir, as isotermas com pH controlado em 1 e 5.

De acordo com Baltazar (2017), os coeficientes de regressão linear acima de 0,9 fornecem ajustes aceitáveis para os modelos das isotermas. Como observa-se, o modelo de Langmuir, mostrou-se adequado, em vista o modelo de Freundlich.

Sendo considerado favorável, o processo de bioadsorção por biomassa microbiana, analisado pelo modelo de Langmuir, apresentou fator de separação ( $R_L$ ) igual a 0,51, favorável, devido valor de  $R_L$  encontrar-se na faixa entre 0 e 1, indicando que o adsorvato prefere a fase sólida em relação a líquida (COSTA, 2020).

A isoterma de adsorção de Langmuir é amplamente utilizada para adsorção, que ocorre em locais específicos do bioadsorvente, o método implica que a adsorção acontece em uma superfície homogênea, sem interação entre as espécies adsorvidas (BAGALI et al., 2017; DA SILVA et al., 2018).

Para o modelo de Freundlich, há uma relação quantitativa onde a adsorção do soluto aumenta com o aumento da concentração, comumente utilizado nos processos onde a superfície é heterogênea não ocorrendo a saturação da superfície onde a adsorção acontece em multicamadas (ARAÚJO, 2011).

Em relação aos parâmetros encontrados junto ao modelo de Freundlich, os valores de  $1/n$  evidenciam, se o processo será favorável (valores entre 0 e 1) ou desfavorável (FEBRIANTO et al., 2009), sendo o valor encontrado de 0,464, estando dentro da faixa favorável, ainda que o coeficiente de regressão linear foi de 0,593, pode-se considerar, que a bioadsorção de Selênio, pelo modelo de Freundlich, também foi eficiente, porém o experimento adequando-se ligeiramente ao modelo de Langmuir. Observando-se os modelos de Langmuir e Freundlich, onde os dados experimentais do modelo de Langmuir, melhor se ajustaram ao processo de bioadsorção, visto que, a isoterma de Langmuir, utilizada para sorção em monocamada na superfície da partícula, contém específico número de sítios livres para realizar a bioadsorção (SILVA, 2014).

### 5.3 Cinética de bioadsorção

Importante na bioadsorção, o tempo de contato, é um parâmetro essencial utilizado na cinética de bioadsorção, pois auxilia nas informações em relação aos índices em que os adsorvatos são bioadsorvidos pelos bioadsorventes (NASCIMENTO, 2015; DADVAR et al., 2013).

De acordo com Ferreira et al., (2007), o estudo do tempo de contato, é decorrente de muitos fatores, como o tipo de biomassa, sua quantidade, tamanho e os sítios envolvidos, assim como o metal envolvido no processo de bioadsorção, sendo assim a velocidade de bioadsorção decorrente das características físico-químicas do sorvato e, também, do bioadsorvente.

Os resultados dos ensaios cinéticos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Ensaios cinéticos, com biomassa microbiana. Letras iguais representam médias sem diferença significativa ( $p < 0,05$ )

| Ensaio | Concentração de bioadsorvente (g/L) | Tempo de bioadsorção (h) | Concentrações Finais Sorvato (mg/L) |
|--------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Y19    | 52,5                                | 1                        | 20,29 ± 0,36                        |
| Y20    | 52,5                                | 2                        | 15,02 ± 0,70                        |
| Y21    | 52,5                                | 4                        | 0,99 ± 0,032                        |
| Y22    | 52,5                                | 6                        | 0,84 ± 0,039                        |
| Y23    | 52,5                                | 12                       | 0,72 ± 0,079                        |
| Y24    | 52,5                                | 18                       | 0,67 ± 0,054                        |
| Y25    | 52,5                                | 24                       | 0,62 ± 0,003                        |

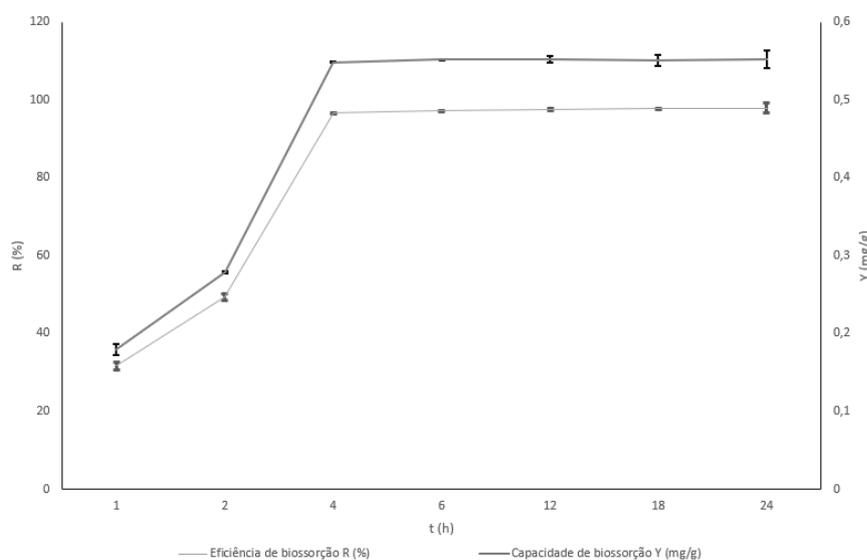
Sendo possível observar que nas duas primeiras horas de ensaio, (Y19 e Y20), não houve redução efetiva da concentração de selênio, sendo atingida melhor eficiência, após quatro horas de amostragem. Como ocorrendo para Nascimento (2015), que em seus estudos de bioadsorção de íons de cobre Cu (II), com *S. cerevisiae*, a bioadsorção também teve início após duas horas, com melhor capacidade de bioadsorção ( $Y = 1,75$  mg/g) obtida em três horas de contato, onde os tempos variaram de 1 a 4 horas, com eficiência de bioadsorção de 15%, sendo após esse tempo, observou-se a ocorrência da dessorção do metal.

De uma maneira geral, ao comparar os ensaios com intervalo de uma (1) hora de agitação entre ambos (Y19 e Y20), houve diferença significativa, em relação aos demais ensaios que permaneceram por um período de duas (2) e seis (6) horas a

mais em agitação, onde foi possível verificar que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Os resultados demonstram que não houve variação significativa, em relação à alteração do tempo de contato de 12 para 24 horas indicando, pois em 6 horas a biomassa microbiana apresentou eficiência acima de 97%, bem como atingindo o equilíbrio de bioissorção, com capacidade acima de 0,5 mg/g (Figura 13).

Figura 13 - Capacidade e Eficiência de bioissorção de Se em relação ao tempo, com desvios padrões



Policarpo (2015), observou que o equilíbrio encontrado, na bioissorção de íons de cobre (II) pela biomassa do fungo *Rhizopus microsporus* tratado termicamente, foi em quatro horas, com 97% da capacidade de bioissorção atingida. Já Rosa et al., (2018), visualizaram resultados de 82% de remoção de cromo (IV), pós-tratamento com HCl do bioissorvente casca de banana nanica, em 60 minutos de contato, visto, o procedimento de modificação química do bioissorvente, apresentou-se de forma eficaz na liberação dos sítios ativos do material.

#### 5.4 Ensaios em batelada repetida

Os resultados para os ensaios Y26 a Y27, conduzidos em batelada repetida são mostrados na Tabela 6.

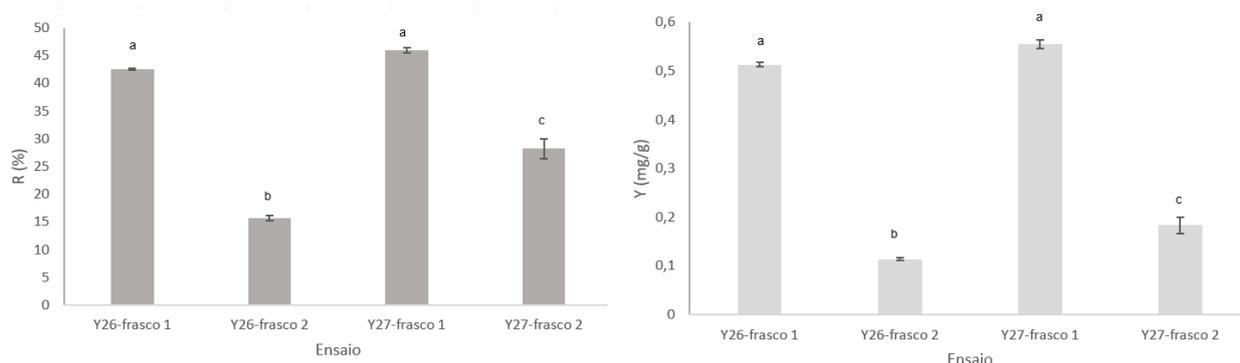
Tabela 6 - Ensaio rotativos, com biomassa microbiana

| Ensaio de Biossorção | Concentração de Biossorvente (g/L) | Tempo de Agitação (h) | Concentração de selênio total (mg/L) |                 |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------|
|                      |                                    |                       | Se <sub>0</sub>                      | Se <sub>f</sub> |
| Y26-frasco 1         | 25                                 | 2                     | 30,14 ± 0,11                         | 17,31 ± 0,01    |
| Y26-frasco 2         | 25                                 | 2                     | 17,31 ± 0,02                         | 14,46 ± 0,09    |
| Y27-frasco 1         | 25                                 | 3                     | 30,14 ± 0,21                         | 16,28 ± 0,01    |
| Y27-frasco 2         | 25                                 | 3                     | 16,28 ± 0,42                         | 11,69 ± 0,01    |

Apesar dos ensaios rotativos não apresentarem resultados próximos ao pretendido (<0,30 mg/L, em atenção à Resolução CONAMA Nº 430), o aproveitamento da biomassa residual de indústria cervejeira mostrou-se com potencial em seu uso, evidenciando a continuidade deste estudo.

As maiores remoções de selênio, foram obtidas nos maiores tempos reacionais, como observado nos ensaios cinéticos, acredita-se que esse comportamento esteja associado ao maior tempo para a interação entre o metal e a levedura (HACKBARTH et al., 2018), porém com duas horas de contato, (Figura 14), no ensaio Y26-frasco1, foi possível chegar a uma eficiência de 42,56% e com mais duas horas de agitação (Y26-frasco 2), a concentração final de sorvato foi de 14,46 mg/L, assim como para o ensaio Y27-frasco 1, a eficiência foi de 45,98% e finalizando o processo, a concentração final de sorvato foi de 11,69 mg/L.

Figura 14 - Valores de R (%) e Y(mg/g) específicos os ensaios combinados as biomassas, com desvios padrões. Letras iguais representam médias sem diferença significativa (p<0,05)



Com comportamento estatisticamente semelhantes, os ensaios com os Frascos 1, mantiveram-se sem diferença significativa, assim como para Nascimento (2015), onde a biossorção teve início após duas horas de agitação, em seus estudos de biossorção de íons de cobre com *S. cerevisiae* com tempos variando de 1 a 4 horas, utilizando 2 g/L de biomassa e 25 mg/L de íons.

O valor de eficiência para remoção de sorvato, aumentou com o acréscimo de concentração de biomassa, devendo-se ao fato da maior quantidade de sítios de captação na presença de mais células (NASCIMENTO, 2015).

Em seus estudos, Ribeiro (2009) indica que a biossorção é uma importante técnica para o tratamento de efluentes e compreende bioprocessos flexíveis, emoldurados para cada caso, com a possibilidade de reutilização de biomassas e ensaios rotativos para indústria cervejeira, pois os estudos de interações com renovação de biossorvente sob agitação, mostram-se eficientes, assim como, frente a diferentes metodologias, para remoção de metais.

De acordo com Nascimento (2015), uma das características fundamentais, na utilização de biomassas para biossorção, está relacionada a capacidade de regeneração para ciclos sucessivos de sorção e dessorção, com princípio de não diminuir a capacidade de biossorção, nem causar danos físico-químicos ao biossorvente, os metais dispostos a biomassa são lavados (dessorvidos) e o biossorvente regenerado para aplicação em um novo ciclo (MONTANHER, 2009).

Como uma alternativa de baixo custo e eficiente, em comparação aos tratamentos convencionais, de águas residuais como os métodos de floculação, precipitação e troca iônica, a biossorção por microrganismos, consiste em boa alternativa, para remoção de metais, por oferecer flexibilidade na operação, design de processo e efetividade para a remoção de metais (JAIN et al., 2015).

De acordo com Nascimento (2016), a biossorção possui aplicabilidade no tratamento de soluções sintéticas contendo um íon metálico, ainda que combinando com biomassas microbianas, como as leveduras, que são principalmente mais utilizadas cientificamente, pelo fato de serem organismos eucarióticos, apresentando maior facilidade de manipulação e possuírem capacidade de se adaptarem e se desenvolverem em inúmeras condições experimentais, tem se apresentado como uma tecnologia promissora para o tratamento de sistemas contendo metais.

## CONCLUSÃO

O processo de biossorção, retratou a eficiência, bem como, mostra-se adequado em observação aos métodos convencionais de tratamento de efluentes, para remoção de poluentes.

Em comparação ao emprego do biossorvente microbiano utilizado neste trabalho, o uso do farelo de pseudocaule de bananeira como biossorvente vegetal na remoção de Se(IV) dissolvido em meio aquoso apresentou baixos valores de eficiência de biossorção (R). O maior valor médio de R foi da ordem de 10% ao empregar concentrações do material acima de 25 g/L até 52,5 g/L. Nesses experimentos, o maior valor médio da capacidade de biossorção (Y) ficou entre 0,08 a 0,05 mg/g (mg de Se(IV) removido por grama de massa seca de biossorvente), respectivamente.

Ao contrário do pseudocaule de bananeira, a biomassa residual *Saccharomyces cerevisiae* gerada por indústria cervejeira, mostrou-se atrativa para processos de biossorção de selênio; podendo ser utilizada como alternativa auxiliar no tratamento de efluentes contendo Se(IV). Assim como ocorreu com o pseudocaule, as maiores eficiências médias de remoção de Se<sup>+4</sup> (R ≈ 97%) foram observadas nos ensaios com maiores concentrações de biomassa (50 e 52,5 g/L). Os valores médios de Y nesses ensaios foram da ordem de 0,60 mg/g.

Os ensaios cinéticos com o uso de biomassa microbiana na concentração de 52,5 g/L e concentração inicial de Se(IV) de 30 mg/L mostraram que com 6 h de adsorção já foi possível atingir o valor máximo de eficiência de biossorção de selênio; não necessitando, portanto, de 24 h de processo utilizada como padrão em todos os experimentos realizados neste trabalho. Quanto menor o tempo de processo, maior a sua produtividade ou velocidade de tratamento do efluente.

A análise das isotermas de biossorção de Se<sup>+4</sup> por *S. cerevisiae* mostrou que o modelo com melhor ajuste aos resultados experimentais foi o de Langmuir (R<sup>2</sup> = 0,91) evidenciando que a biossorção aconteceu com o predomínio de formação de uma monocamada. A capacidade máxima estimada a partir do modelo de Langmuir foi de 1,39 mg/g, valor este 2,3 vezes maior do que aquele alcançado experimentalmente (0,60 mg/g). É recomendado uma reavaliação dessa análise a fim de explicar este comportamento.

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, ao contrário do que foi observado com farelo de pseudocaule de bananeira, é possível afirmar que a

biomassa microbiana *S. cerevisiae* descartada por indústria cervejeira possui grande potencial para aproveitamento no tratamento de efluentes industriais contendo selênio. Dependendo da concentração do adsorvato contido no efluente, concentração de  $\text{Se}^{+4}$  menor ou maior que 30 mg/L, pode-se utilizar o resíduo como principal tratamento ou como tratamento auxiliar para redução dessa variável no efluente a ser descartado. Essa condição poderá ser mais bem avaliada a partir de futuros ensaios em escala industrial real (estudo de caso).

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na continuidade e complementação dos resultados estudados neste presente trabalho e afim de contribuir para aprimoramento de técnicas para tratamento de efluentes contendo selênio, propõem-se:

- Realizar análise econômica para verificar a viabilidade de uso comercial dos materiais estudados;
- Realizar as cinéticas de pseudoprimeira ordem e de pseudosegunda ordem;
- Avaliar a utilização do pseudocaule de bananeira, submetido a tratamento térmico e químico, para analisar a remoção de selênio;
- Pesquisar e analisar, juntamente com a empresa da região de Joinville, a utilização de biomassas microbianas, provindas de diferentes tipologias de cervejas.

## REFERÊNCIAS

- ABDI, O.; KAZEMI, M. A review study of biosorption of heavy metals and comparison between different biosorbent. *J. Mater. Environ. Sci.*, v 6, p. 1386- 1399, 2015.
- ACACIO, K., KAPALDO, J., OREKOYA, M., SAHNI, S., APYAN, A., KIM, P., PRUSAK, M., ZAHIR, S., CHIEM, E., ARAIZA, M.R., SMITH, A., TOMLIN, S. IPRO 340: Business study of alternative uses for brewers spent grain. Illinois **Institute of Technology**, Final Project Report, Faculty advisors: M. Dushay and str. Lewis. 2011.
- ADAMCZUK, A.; KOŁODYŃSKA, D. Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on removal of chromium, copper, zinc and arsenic from aqueous solutions onto fly ash coated by chitosan. **Chemical Engineering Journal**, v. 274, p. 200–212, 2015.
- ADIO, S. O.; OMAR, M. H.; ASIF, M.; SALEH, T.A. Arsenic and Selenium removal from water using Biosynthesized Nanoscale zero-valent iron: A factorial design analysis. **Process Safety and Environment Protection**, v. 1, n. 3, 2017.
- AGNOL, R. D. **Biossorção do corante preto reativo 5 utilizando *Saccharomyces cerevisiae* esgotada do processo fermentativo da produção de cerveja**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2014.
- AHMAD, I.; ANSARI, M. I., AQIL, F. Biosorption of Ni, Cr and Cd by metal tolerant *Aspergillus niger* and *Penicillium sp.* using single and multi-metal solution. **Indian journal of experimental biology**. v. 44, p. 73-76, 2006.
- ALBERTINI, S; CARMO, L.F. do.; FILHO, L. G. - **Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio**. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.27. n. 1. p.113-118, 2007.
- ALLURI, H.K.; RONDA, S.R.; SETTALLURI, V.S.; BONDILI, J.K. Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal. **African Journal of Biotechnology** Vol. 6 (25), pp. 2924-2931,2007.
- ALMEIDA, F. A. M. **Contribuição para o estudo da remoção de Selênio em águas residuais**. Dissertação. Universidade Nova de Lisboa – Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente, setembro/2014.
- ANNADURAI, G.; JUANG, R.S.; LEE, D.J. **Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels**. *Water Science and Technology*, v.47, p. 185-190, 2004.
- ANASTOPOULOS, I.; KYZAS, G. Z. Agricultural peels for dye adsorption: A review of recent literature. **Journal of Molecular Liquids**, v. 200, p. 381–389, 2014.
- Anuário da Cerveja, 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/arquivos/anuario-da-cerveja-2021.pdf> . Acesso em setembro de 2022.
- ARAÚJO, R. R. L. **Modelagem do processo de biossorção de chumbo utilizando a macrófita aquática *Eichhornia crassipes***. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- AMIRNIA, S.; RAY, M. B.; MARGARITIS, A. Heavy metals removal from aqueous solutions using *Saccharomyces cerevisiae* in a novel continuous bioreactor – biosorption system. **Chemical Engineering Journal**, v. 264, p. 863-872, 2015.
- ASTM E870-82. Standard Test Methods for Analysis of **Wood Fuels** **ASTM International**, West Conshohocken, PA, USA,2013.
- ASTM E871-82. **Standard Test Method for Moisture Content Analysis of Particulate Wood Fuels**, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2013.

AZEVEDO, A. H. **Adsorção e Bioadsorção** - Alternativas na remoção de toxinas. 2014. Disponível em <<http://betaeq.blogspot.com/2014/08/adsorcao-e-bioadsorcao-alternativas-na.html>> Acesso em julho de 2019.

AWUAL, R.; HASAN, M.; IHARA, T.; YAITA, T. Mesoporous silica based novel conjugate adsorbent for efficient selenium(IV) detection and removal from water. **Microporous and Mesoporous Materials**, 2014.

BALTAZAR, M.P.G. **Study of copper bioadsorption potencial by *Rhodococcus erythropolis* and *Enterobacter cloacae* isolated from a mining area**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2017.

BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. Universidade Federal do Tocantins. Processo de bioadsorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia & Ciência**. v.6, n.1, p.01-15, 2017.

BHATTACHARYYA, K. G.; SARMA, A. Adsorption characteristics of the dye, Brilliant Green, on Neem leaf powder. **Dyes and Pigments**, v. 57, p. 211–222, 2003.

BLANCHARD, G.; MAUNAYE, M.; MARTIN, G. Removal of heavy metals from waters by means of natural zeolites. **Water Research**. v. 18, p. 1501-1507, 1984.

BONIOLO, M. R.; YABUKI, L. N. M.; MORTARI, D. A.; MENEGÁRIO, A. A.; GARCIA, M. L. Biomassas Brasileiras Aplicadas à Remoção de Urânio de Drenagem Ácida de Minas por Processos de Bioadsorção. **Holos Environment**, v. 17, p.149-167, 2017.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. **O cultivo da bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura - Livro técnico. 279 p. 2014.

CÂMARA, M.G., COBO, M., G., PALACIOS, M., A., MUNOZ, R., DONART, O., F.X.. **Selenium speciation analysis in water and sediment matrices**. in: Quality Assurance for Environmental Analysis. Elsevier. Amsterdam, 1995.

Canuto, Morgana Fabíola Cunha Silva. **Estudo da cinética de bioadsorção do íon Cd<sup>2+</sup> + pela levedura *Saccharomyces cerevisiae***. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007.

CASTIGLIONI, GL; FREITAS, FF; MOURA, CJ de; OLIVEIRA, MAA de. Estudo da bioadsorção de magnésio, zinco, ferro e selênio em culturas de alta concentração de *Spirulina platensis*. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 2, pág. 2021.

CEPA – Centro de Socioeconômico e Planejamento Agrícola. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina, 2017-2018**. Disponível em: <[http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/Sintese\\_2017\\_18.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2017_18.pdf)> Acesso em 01 mai de 2019.

CERVIERI JÚNIOR, Osmar. **Panoramas setoriais 2030: bebidas**. In: Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. p.69-78.

CIONEK, Caroline A. **Avaliação de carvões ativados de diferentes naturezas para adsorção de corante têxtil**. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá, 2013.

CHEN, C.; WANG, J. Bioadsorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review. 2006. **Biotechnology Advances**, v. 24, n. 5, p. 427-451.

CHOJNACKA, K.; MIKULEWICZ, M. **Green analytical methods of metals determination in bioadsorption studies**. Department of Advanced Material Technologies, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Technology, Smoluchowskiego 25, 50-372, Poland, 2019.

CIONEK, Caroline A. **Avaliação de carvões ativados de diferentes naturezas para adsorção de corante têxtil**. 2013. 96 f. Dissertação de (Mestrado) Universidade Estadual de Maringá, 2013.

COLAK, F.; ATAR, N.; YAZICIOGLU, D.; OLGUN, A. Biosorption of lead from aqueous solutions by *Bacillus* strains possessing heavy-metal resistance. **Chemical Engineering Journal**. v.173, p. 422–428. 2011.

COMINETTI, Cristiane; COZZOLINO, Silvia Maria Franciscato; DUARTE, Graziela Biude Silva. Funções plenamente reconhecidas de nutrientes: Selênio. **International Life Sciences Institute do Brasil (ILSI)**, São Paulo, v. 8.,n. 4, p. 1-40, jun., 2009.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente/Ministério do Meio Ambiente, Brasil. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646](http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646)>. Acesso em 20 março de 2019.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE/SC. **RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 181, DE 02 DE AGOSTO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/1754-resolucao-consema-n-181-2021/file>> Acesso em 10 janeiro de 2021.

COSSICH, E. S. **Biossorção de Cromo (III) pela Biomassa da Alga Marinha *Sargassum sp.*** 2000 147p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, 2000.

COSTA, Márcia Ferreira da. **Adsorção de íons de cobre por bagaço de laranja: aspectos termodinâmicos e cinéticos**. Dissertação (mestrado). Universidade da Região de Joinville – Univille. 104 p. Joinville. 2020.

CRUZ, M. A R. da. **Utilização da casca de banana como bioissorvente**. 2009. 74 f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

CORDEIRO, N.; BELGACEM, M. N.; TORRES, I. C.; MOURA, J. C. V. P. Chemical composition and pulping of banana pseudo-stems. **Industrial Crops and Products**. 2004, 19, 147.

CRUZ, W.R.S. **Remoção de íons de bário em meio aquoso utilizando casca de laranja como adsorvente**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, Aracaju, Brasil, 2016.

DA SILVA, J.L.B.C.; PEQUENO, O.T.B.L.; ROCHA, L.K.S.; ARAÚJO, E.C.O.; MACIEL, T.A.R.; BARROS, A.J.M. Biossorção De Metais Pesados: Uma Revisão. **Revista Saúde e Ciência Online**. 2014.

DADVAR, S. et al. A study on the kinetics of 2-chloroethyl ethyl sulfide adsorption onto nanocomposite activated carbon nanofibers containing metal oxide nanoparticles. **Separation and Purification Technology**, v. 114, p. 24-30, 2013.

DA GLÓRIA Alves, M., LOSANO de Souza Júnior, J., DOS SANTOS Júnior, E. L., TERRA de Almeida, F. **AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS TOXICOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA/RJ**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (2004).

DEL RIO, Daniele Toledo. **Biossorção de cádmio por leveduras *Saccharomyces cerevisiae***. 54 f. Dissertação (mestrado). Unidade Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2004.

DORRAJI, M. S.; AMANI-GHADIM, Y. Performance of Chitosan based nanocomposite hollow fibers in the removal of selenium (IV) from water. **Chemical Engineering Research and Design**, 2016.

EL-SAYED, H.E.M.; EL-SAYED, M.M.H. Assessment of Food Processing and Pharmaceutical Industrial Wastes as Potential Biosorbents: A Review. **Biomed Research International**, 2014.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Banana** : Importância econômica e social. Disponível em : <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01\\_28\\_41020068055.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01_28_41020068055.html)> Acesso em 27 de abr de 2020.

ENVIRONMENT CANADA HEALTH. **Selenium and its compounds**. *Draft Screening Assessment Selenium*, 2015. Disponível em: < <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/evaluatingexisting-substances/screening-assessment-selenium.html>>. Acesso em 15 de jan de 2021.

EPAGRI/Cepa- II Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Socioeconômica e Planejamento Agrícola - Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina, Florianópolis. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2018-2019**. v.1 1976 - Florianópolis: 1976- Anual.

ESPOSITO, A.; PAGNANELLI, F.; VEGLIÒ, F. pH-related equilibria models for biosorption in single metal systems. **Chemical Engineering Science**, v. 57, n. 3, p. 307-313, 2002.

FALCO, Guilherme Borghi. **Estudo da aplicação da casca de banana como bioissorvente em tratamento de efluentes residuais**. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2014. 73 p.

FAYE, B.; SALEH S.; K., KONUSPAYEVA, G.; MUSAAD, A.; BENGOU, M.; SEBOUSSI, R. Comparative effect of organic and inorganic selenium supplementation on selenium status in camel. **Journal of King Saud University**, n. 26, p.149–158, 2014.

FARADILLA, R. H. F.; LEE, G.; ROBERTS, J.; MARTENS, M.; STENZEL, M.; ARCOT, J. Effect of glycerol, nanoclay and graphene oxide on physicochemical properties of biodegradable nanocellulose plastic sourced from banana pseudo-stem. **Cellulose**. 2018, 25, 399.

FARIAS, Yaci Maria Marcondes. **Biossorção de metais pesados pelo fungo *Penicillium corylophilum***. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Rio de Janeiro, 2014.

FEBRIANTO, J.; KOSASIH, A. N.; SUNARSO, J.; JU, Y.; INDRASWATI, N.; ISMADJI, S. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. **Journal of Hazardous Materials** 162, 616–645, 2009.

FELIPPE, J. J. **Selênio**: diminui a proliferação celular maligna, inibe a angiogênese tumoral e provoca apoptose. Associação Brasileira de Medicina Biomolecular e Nutrigenômica. 4p. 2011.

FERREIRA, P.P.L.; BRAGA, R.M.; TEODORO, N.M.A.; MELO, V.R.M.; MELO, D.M.A.; MELO, M.A.F. Adsorção de Cu<sup>2+</sup> e Cr<sup>3+</sup> em efluentes líquidos utilizando a cinza do bagaço de cana-de-açúcar. **Cerâmica**, v. 61, p. 435-441, 2015.

FERREIRA, J.M; SILVA, F. L. da; ALSINA, O. L. S; OLIVEIRA, L. de S.C; CAVALCANTI, E.B; GOMES, W.C. Estudo do equilíbrio e cinética da biossorção do Pb<sup>2+</sup> por *Saccharomyces cerevisiae*. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. **Quím. Nova**. Out. 2007.

FOCO RURAL - **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”** – ESALQ/USP. Utilização do pseudocaule e das folhas de bananeiras na alimentação de ruminantes. Publicado em 2017. Disponível em << <https://www.focorural.com/utilizacao-do-pseudocaule-e-das-folhas-de-bananeiras-na-alimentacao-de-ruminantes/>>> Acesso em 21 mar 2022.

FOMINA, M.; GADD, M. Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. **Bioresource Technology**, 2014.

FONSECA, A.C.C. **Produção de carvão ativado utilizando como precursor borra de café e sua aplicação na adsorção de fenol.** Monografia (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FREITNASCIMENTOAS, Amanara Souza de. **Uso De Borra De Café Como Adsorvente Para Resíduos De Cromo (VI).** Monografia (Graduação) - UFPB/CT. João Pessoa, 2018.

FURLAN, F.L. **Uso de subprodutos de milho, soja e trigo como adsorvente de ferro e manganês em sistema aquoso.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

GONÇALVES, A. A. **Biossorção ativa de selênio por *Saccharomyces cerevisiae* e biossorção inativa por leveduras residuais de indústria cervejeira.** (Dissertação) Mestrado. Universidade da Região de Joinville – Univille. 2019.

GÖKSUNGUR, Y.; ÜREN, S.; GÜVENÇ, U. Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass. **Bioresource Technology**. 96 103– 109. 2005.

GUPTA, N.K.; SENGUPTA, A.; GUPTA, A.; SONAWANE, J.R.; SAHOO, H. Biosorption – an alternative method for nuclear waste management: A critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 2159-2175, 2018.

GRIFFITHS, J.C.; MATULKA, R.A.; POWER, R. **Genotoxicity studies on Sel-Plex®, a standardized, registered high-selenium yeast**, p 477-485, 2006.

GROSSI, C. D.; TOREM, M. L. **Contribuição ao Estudo Comparativo aa Biossorção de Níquel e Cobalto Utilizando a Bactéria *R.Erythropolis* e Casca de Banana com Diferentes Tipos de Ativação.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Relatório de Iniciação Científica – Pibic. Rio De Janeiro, 2017.

HACKBARTH; H.G.; Souza, O.; SILVEIRA, M. L. L. **Biossorção de selênio por biomassa de efluente de indústria.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Joinville: Universidade da Região de Joinville –UNIVILLE. 2018.

HAGEMAN, S. P. W.; WEIJDEN, R. D.; STAMS, A. J. M.; BUISMAN, C. J. N. Bioproduction of selenium nanoparticles with diverse physical properties for recovery from water. **International Journal of Mineral Processing**, 2017.

HAUPENTHAL, L. D. Avaliação Do Potencial De Biossorção Do Íon Metálico Cr (VI) Utilizando Biomassa Do Fungo Lasiodiplodia Theobromae **MMPI Como Adsorvente.** Pós Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dissertação (Mestrado). Pato Branco-PR. 2018.

HO, Y. S.; MCKAY, G. Pseudo-second order model for sorption processes. **Process Biochemistry**, v. 34, n. 5, p. 451–465, 1999.

HONORATO, Andressa *et al.*. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p. 705-710, 2015.

INGALE, S.; JOSHI, S. J.; GUPTE, A. Production of bioethanol using agricultural waste: banana pseudo stem. **Brazilian Journal of Microbiology**. 2014, 45, 885.

JAIN, R. et al. Adsorption of zinc by biogenic elemental selenium nanoparticles. **Chemical Engineering Journal**. vol. 260, p. 855- 863, 2015.

JUST, Luana Priscila. **Biossorção de selênio por *Pseudomonas stutzeri* e *P. putida*.** Dissertação (Mestrado). Joinville: Universidade da Região de Joinville –UNIVILLE. 2019.

KALAVATHY, M. H.; KARTHIKEYAN, T.; RAJGOPAL, S.; MIRANDA, L. R. Kinetic and isotherm studies of Cu ( II ) adsorption onto H3PO4-activated rubber wood sawdust. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 292, p. 354–362, 2005.

KHAKPOUR, H.; YOUNESI, H.; MOHAMMADHOSSEINI, M. Two-stage biosorption of selenium from aqueous solution using dried biomass of the baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, p. 532-542, 2014.

KRAMER, D.G. et al. APLICAÇÃO DAS (BIO) ADSORÇÃO EM REMOÇÃO DE METAIS PESADOS. **Revista Educação Ambiental em Ação**. n. 53. 2018.

KRIVOVICHEV, V. G.; CHARYKOVA, M. V.; VISHNEVSKY, A. V. The thermodynamics of selenium minerals in near-surface environments. **Minerals**, v. 7, n. 10, p. 18, 2017.

LAGERGREN, S. Zur theorie der sogenannten adsorption geloster stoffe. **Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens**. Handlingar, v. 24, p. 1-39, 1898.

LESMANA, S. O. et al. Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater. v. 44, 2009.

LIMA, A.C. **Avaliação da remoção de Cr(III) empregando o pseudocaule da bananeira (*Musa paradisiaca*) como bioissorvente**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2013.

LI, X. et al. Equilibrium and kinetic studies of copper (II) removal by three species of dead fungal biomasses. **Journal of Hazardous Materials**, v. 165, n.1-3, p. 469-474, 15 jun. 2009.

LIN, Dehui; SANCHEZ, Patricia Lopez; LI, Rui; LI, Zhixi. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* CGMCC 3917 using only waste beer yeast as nutrient source. **Bioresource Technology**, v. 151, p. 113-119, 2013.

MACHADO, C.; VOGEL, G. **Avaliação da Utilização do Pseudocaule da Bananeira como Material Adsorvente para a Remoção de Cor de Efluentes**. Seminário de pesquisa extensão e inovação – IFSC. 2013.

MARSARIOLI, M. Identificação E Avaliação De Geração De Resíduos Em Processo De Produção De Cerveja Em Microcervejaria E Proposição De Reutilização. Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado-RS. 2019.

MARTINS, W.A.; OLIVEIRA, A.M.B.M.; MORAIS, C.E.P.; COELHO, L.F.O.; MEDEIROS, J.F. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais de casca de banana para tratamento de efluentes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, pp. 96-102, 2015.

MATOUQ, M.; JILDEH, N.; QTAISHAT, M.; HINDIYEH, M.; AL SYOUF, M. Q. The adsorption kinetics and modeling for heavy metals removal from wastewater by *Moringa* pods. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 2, p. 775– 784, 2015.

MELANI, L. B.; STROHER, G.L.; STROHER, G.R. **Isotermas de Langmuir e Freundlich em carvões vegetais**. X Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Online. Dezembro. 2020.

MELO, D. de Q.; LIMA, A. C. A. de; BARROS, A. L. de; VIDAL, C. B.; RAULINO, G. S. C.; NASCIMENTO, R. F. do. Equilíbrio de adsorção. In: NASCIMENTO, R. F. do; LIMA, A. C. A. de; VIDAL, C. B.; MELO, D. de Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. p. 23-50. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

MOTA, D. M.P.; DINIZ, S. J. da S.; REIS, A. C. M.; ALCÂNTARA, D. S.; COSTAS, E. H. G.; CAMPOS, G. S.; ABREU, L. de O.; CARVALHO, N. de. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. esp , p. 55-69, fev. 2020.

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

MONTEIRO, RAQUEL A.; BONIOLO, MILENA R.; YAMAURA, MITIKO. Uso das fibras de coco na bioissorção de chumbo em águas residuárias industriais. In: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DA

ASSOCIACAO DE UNIVERSIDADES GRUPO MONTEVIDEO, 6., 5-9 de outubro, 2009, São Carlos, SP. **Anais...** 2009. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/13107>. Acesso em: 12 set. 2021.

MOUTA, E. R; MELO, W. J. de; SOARES, M. R; ALLEONI, L. R. F; CASAGRANDE, J.C. Adsorção de selênio em latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1033-1041, 2008.

MWH. Water Treatment: principles and design. **John Wiley & Sons**, 2. ed. USA, 2005, 1968 p. 190.

NANCHARAIH, Y.V.; LENS, P.N.L. Selenium biomineralization for biotechnological applications. **Trends in Biotechnology**, v. 33, p.323-330, 2015.

NASCIMENTO, J. M.; OLIVEIRA, J. D. Caracterização das biomassas serragem de madeira teca (*Tectona granis*), casca de pequi (*Caryocar brasiliense Camb*) e orelha de pau (*Pycnopus sanguineus*) pelo efeito do ponto de carga zero. **RQI**, v. 742, p. 24-28, 2014.

NASCIMENTO, J. M., LEITE, S. G. F., RIZZO, A. C. L. **Estudo da remoção do íon cobre por meio de biossorção usando biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*)**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 48p. 2016.

NASCIMENTO, J. M. **Estudo da remoção do íon cobre por meio de biossorção usando biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*)**. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação (mestrado). 2015.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. E-book. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária. Universidade Federal do Ceará. 2020.

NASCIMENTO, C. P. F. **Revestimentos de pectina adicionados de extrato hidroalcoólico de folhas de goiabeira (*Psidium guajava L.*): caracterização e aplicação em carne bovina fresca**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, 2022.

NAMASIVAYAM, C.; SANGEETHA, D. Application of coconut coir pith for the removal of sulfate and other anions from water. **Desalination**, v. 219, p. 1–13, 2008.

NGUYEN, M. L.; JUANG, R. S. Modification of crosslinked chitosan beads with histidine and *Saccharomyces cerevisiae* for enhanced Ni (II) biosorption. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, p. 1-7, 2015.

OLIVO, C.J, PEREIRA, T.L.E, DE CARVALHO, N.M, VOGEL, F.F, HEINZMANN, B.M, NEVES, A.P. Uso da bananeira (*Musa spp.*) no controle de parasitas de animais domésticos: do empirismo à ciência. **Livestock Research for Rural Development**. v.19, n 11, nov.2007.

OLSEN, C. M. V.; BALDIN, N. **Participação social- Base para ação coletiva: uma proposta de educação ambiental para uma área de proteção ambiental**. In: Congresso Nacional de Educação- EDUCERE, v.10. 14 p. Curitiba. 2011.

ORABY, M., M., ALLABABIDY, T., RAMADAN, B., E. M. The bioavailability of selenium in *Saccharomyces cerevisiae*. **Annals of Agricultural Science**, v. 2, n.60, p.307–315, 2015.

PANIAGUA, C.E.S. **O uso da farinha da casca de banana in natura e quimicamente modificada com tiosemicarbazida na adsorção de arsênio, antimônio e selênio**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

PAULA, C. A. P.; FARIA, J. B. Avaliação do uso da levedura de descarte da indústria cervejeira na obtenção da aguardente de liquor de laranja. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 20, 2017.

PELISSARI, F. M.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from banana peels. **Cellulose**. 2014, 21, 417.

PENG, Q. et al. Biosorption of copper (II) by immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on the surface of chitosan-coated magnetic nanoparticles from aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, 177 (2010) 676–682.

PÉREZ-CORONA, T.; MADRID, Y.; CÁMARA, C. Evaluation of selective uptake of selenium (Se (IV) and Se (VI)) and antimony (SB (III) and SB (V)) species by baker's yeast cells (*Saccharomyces cerevisiae*). **Analytica Chimica Acta**, 345, 249-255, 1997.

PEREIRA, N. R. L.; ANJOS, F. E. dos.; MAGNAGO, R. F. Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose. **Revista Virtual de Química**. v. 11, n. 4, 2019.

POLICARPO, L. **Estudo de equilíbrio e cinética da bioadsorção de Cobre (II) por *Rhizopus Microsporus***. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo. 2015.

PINO, G. A. H. **Bioadsorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (*Cocos nucifera*)**. 113 f. Dissertação (Mestrado). PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2005.

PONCE DE LEÓN, C.A.; BAYÓN, M.M.; PAQUIN, C.; CARUSO, J.A. Selenium incorporation into *Saccharomyces cerevisiae* cells: a study of different incorporation methods. **Journal of Applied Microbiology**, v. 92, p. 602-610, 2002.

PORPINO, K.K.P. **Bioadsorção de Ferro (II) por casca de caranguejo *Ucides Cordatus***. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2009.

RAJASHREE, K.; MUTHUKUMAR, T. Preparation of Organic Selenium Yeast by Fed-Batch Fermentation. **J. Food. Ferment. Technol.** 3(2): 135-142. 2013.

RAYMAN, Margaret. The importance of selenium to human health. **The Lancet**, v. 356, p. 233-241, July, 2000.

RAJAMOHAN, N.; RAJASIMMAN, M. Biosorption of Selenium using activated plant based sorbent – Effect of variables, isotherm and kinetic modeling. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 4, p. 795-800, 2015.

RIBEIRO, F. H. **Avaliação da capacidade de leveduras isoladas da fermentação da cachaça para biorremediação de cádmio**. Dissertação (Mestrado). Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, MG, 2009.

RIPARI, Jorge Luiz. **Avaliação da capacidade de adsorção de cobalto pelas folhas de bananeira em pó**. Dissertação (Mestrado). Universidade da Região de Joinville-Univille. Joinville. 2017.

RIZZO, Andréa Camardella de Lima, et al. **Processos Biológicos de Remoção de Selênio de Efluentes**. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT. Série Tecnologia Ambiental, 42. 52p. 2007.

ROLDI, L. L. **Avaliação da capacidade de adsorção da borra de café e da casca de café na remoção de 2,4-D em amostras de água**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

ROMERO-CANO, L. A.; GARCÍA-ROSETO, H.; GONZALEZ-GUTIERREZ, L. V.; BALDENEGRO-PÉREZ, L. A.; CARRASCO-MARÍN, F. Functionalized adsorbents prepared from fruit peels: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for copper adsorption in aqueous solution. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 195–204, 2017.

ROSA, C; ANSELMO, J. G.; SILVA, M. G. E; VILLANUEVA, S. L. B; VICENTE, J. G. P. **Utilização Da Casca De Banana Nanica Na Adsorção De Cromo Hexavalente**. p. 392-395 . In: . São Paulo: Blucher, 2018.

ROSSI, A. **Biossorção de metais tóxicos por *Saccharomyces cerevisiae***. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

SAHA, G. C.; HOQUE, M. I. U.; MIAH, M. A. M.; HOLZE, R.; CHOWDHURY, D. A.; KHANDAKER, S.; CHOWDHURY, S. Biosorptive removal of lead from aqueous solutions onto Taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) as a low cost bioadsorbent: Characterization, equilibria, kinetics and biosorption-mechanism studies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 3, p. 2151–2162, 2017.

SANTA CATARINA (ESTADO). **Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981**. Disponível em: <<http://www.pge.sc.gov.br/index.php/legislacao-estadual-pge>>. Acesso em 01 mai de 2019.

SANTA CATARINA (ESTADO). **LEI Nº 5.793, de 16 de outubro de 1980**. Disponível em: <[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:LcM201twmNwJ:portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/doc/12\\_01\\_2011\\_18.13.13.6f3d8504d77726821591acd7a0fb73ae.doc+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:LcM201twmNwJ:portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/doc/12_01_2011_18.13.13.6f3d8504d77726821591acd7a0fb73ae.doc+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)>. Acesso em 01 mai de 2019.

SANTANA, J. S.; SANTOS, B. R. dos.; RESENDE, B. de O. Utilização Da Casca De Banana Como Biossorvente Para Adsorção De Metais Pesados Viabilizando Sua Utilização Em Águas Residuárias Da Indústria Galvânica. **INOVAE**. São Paulo, Vol.8, jan-dez, 2020 - pág. 143-157.2020.

SANTOS, M.S.; RIBEIRO, F.M. **Cervejas e refrigerantes**. CETESB, São Paulo. P.58.2005.

SATHASIVAM, K.; HARIS, M.R.H.M. Banana trunk fibers as an efficient biosorbent for the removal of Cd(II), Cu(II), Fe(II) and Zn(II) from aqueous solution. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 55, n.2, p. 278-282, 2010.

SEKHAR, K.C.; SUBRAMANIAN, S.; MODAK, J.M; NATARAJAN, K.A. Removal of metal ions using on industrial biomass reference to environmental control. **International Journal of mineral Processing**, v.53, p.107-120, 1998.

SENA, L. H. A. de. Biossorção de compostos fenólicos de chá em *Saccharomyces cerevisiae*. 42. f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SINDICERV - Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja. **Setor Em Numeros Dados 2019**. Disponível em < <https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>> Acesso em: 12 de dez de 2020.

SILVA, J. C. MEDEIROS; S. H. W.; LEITZKE, T. da C. G. **Diagnóstico Ambiental da Dinâmica Atmosférica Atuante sobre o Município de Joinville / SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). 20 p. Joinville: Universidade da Região de Joinville –UNIVILLE; 2014.

SILVA, J. L. B. C. da; PEQUENO, O. T. B. L.; ROCHA, L. K. S. R.; ARAÚJO, E. C. O. de; MARCIEL, T. A. R.; BARROS, A. J. M. Biossorção de metais pesados: uma revisão. **Revista Saúde & Ciência Online**, v.3, n.3, 2014.

SILVA, Nayara C. R. **Utilização da casca de banana como biossorvente para a adsorção de chumbo (II) em solução aquosa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

SILVA, S. H.; Souza, O., LEITZKE, T. da C. G. **Biossorção ativa de selênio por *Saccharomyces cerevisiae* floculante e não floculante**. WEBARTIGOS (2018).

SILVA, Willian Geraldo da; CARVALHO, Dayene do Carmo; JUNIO, Wagner Marques Oliveira. **Remoção de chumbo em soluções aquosas por biossorção utilizando cascas de maracujá quimicamente modificados**. XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste, 2016.

SOUSA, F. W; MOREIRA, S. A.; OLIVEIRA, A. G.; CAVALCANTE, R. M., NASCIMENTO, R. F.; ROSA, M. F. Uso da casca de coco verde como adsorbente na remoção de metais tóxicos. **Quím. Nova** [online]. 2007, v.30, n.5, pp.1153-1157.

SOUZA, E. L.; SELLIN, N.; MARANGONI, C.; SOUZA, O. The influence of different strategies for the saccharification of the banana plant pseudostem and the detoxification of concentrated broth on bioethanol production. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 183, n.3, p. 943-965, 2017.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T.M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 438-443, 2010.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1989. 276p.

STADELLA, C. C.; POCRIFKA, J. R. O.; COSSICH, E. S. Efeito da utilização de solução tampão sobre a biossorção de cromo(III) pela biomassa da alga marinha *Sargassum sp.* **Acta Scientiarum. Technology**, v. 25, n. 1, p. 77-82, 2003.

STDA. SELENIUM-TELLURIUM DEVELOPMENT ASSOCIATION. Se e Te. Disponível em: <<http://www.stda.net/>> Acesso em: 25 jan. 2021.

SUHAJDA, Á.; HEGÓCZKI, J.; JANZSÓ, B.; PAIS, I.; VERECZKEY, G. Preparation of selenium yeasts I. Preparation of selenium-enriched *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 14, p. 43-47, 2000.

TAN L. C.; YARLAGADDA V. N.; HULLEBUSCH H. E.; LENS P, N. L. Selenium: environmental significance, pollution, and biological treatment Technologies. **Biotechnology Advances**, v. 34, 2016.

TUZEN, M.; SARI, A. Biosorption of selenium from aqueous solution by green algae (*Cladophora hutchinsiae*) biomass: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. **The Chemical Engineering Journal**, vol. 2., p. 200-206, 2010.

VAGHETTI, J. C. P. **Utilização de biosorventes para remediação de efluentes aquosos contaminados com íons metálicos**. 78 f. Tese (Doutorado). Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VIDAL, C. B.; LIMA, A. C. A. de; RAULINO, G. S. C.; MELO, D. de Q.; NASCIMENTO, R. F. do. Princípios básicos. In: NASCIMENTO, R. F. do; LIMA, A. C. A. de; VIDAL, C. B.; MELO, D. de Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. p. 13-22. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

VILAR, V. J. P.; BOTELHO, C. M. S.; BOAVENTURA, R. A. R. Copper removal by algae *Gelidium*, agar extraction algal waste and granulated algal waste: kinetics and equilibrium. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 4, p. 750-762, 2008.

VOLESKY B. Biosorption process simulation tools. **Hydrometallurgy**. 2003;17. p179 -190.

VOLESKY, B.; HOLAN, Z. R. Biosorption of heavy metals. **Biotechnology Progress**, v.11. p. 235-250.1995.

VOLESKY B. Biosorption and me. **Water Research**. v. 41, n. 18, p. 4017-29, out. 2007.

ZATOR, F. **Avaliação da potencialidade de biossorção inativa de selênio por biomassa microbiana descartada de indústria cervejeira**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Química, Universidade da Região de Joinville, 2017.

## Termo de Autorização para Publicação de Teses e Dissertações

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) a disponibilizar em ambiente digital institucional, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) e/ou outras bases de dados científicas, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data 10/04/2023.

1. Identificação do material bibliográfico: ( ) Tese  Dissertação ( ) Relatório Técnico

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: Gabriela Grossi

Orientador: Dr. Ozair Souza Coorientador: \_\_\_\_\_

Data de Defesa: 29/11/2022

Título: Bioassorção de Selênio por Pseudocaule de Bananeira e Levedura Residual de Indústria Cervejeira.

Instituição de Defesa: Univille

3. Informação de acesso ao documento:

Pode ser liberado para publicação integral  Sim ( ) Não

Havendo concordância com a publicação eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese, dissertação ou relatório técnico.

Gabriela Grossi  
Assinatura do autor

Joinville 10 de abril de 2023  
Local/Data