

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA MOLECULAR E BIOTECNOLOGIA  
GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA MOLECULAR

**ESTUDO E PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA  
UTILIZAÇÃO DE *Spirulina platensis* COMO BIOFIXADORA  
DE CO<sub>2</sub> NA ETAPA DE GERMINAÇÃO DO MALTE  
CERVEJEIRO**

Thayana Coelho Monteiro

Porto Alegre 2023

Thayana Coelho Monteiro

**ESTUDO E PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA  
UTILIZAÇÃO DE *Spirulina platensis* COMO BIOFIXADORA  
DE CO<sub>2</sub> NA ETAPA DE GERMINAÇÃO DO MALTE  
CERVEJEIRO**

Orientadora: Prof. Dra. Fernanda Cortez Lopes

Porto Alegre

2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Monteiro, ThayanaCoelho  
ESTUDO E PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA UTILIZAÇÃO  
DE *Spirulina platensis* COMO BIOFIXADORA DE CO2 NA  
ETAPA DE GERMINAÇÃO DO MALTE CERVEJEIRO / Thayana  
Coelho Monteiro. -- 2023.  
37 f.  
Orientador: Fernanda Cortez Lopes.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Biociências, Curso de Biotecnologia: Biotecnologia  
Molecular, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Biofixação. 2. Dióxido de carbono. 3. *Spirulina  
platensis*. 4. Aquecimento global. I. Cortez Lopes,  
Fernanda, orient. II. Título.

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Thayana Coelho Monteiro

### **ESTUDO E PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA UTILIZAÇÃO DE *Spirulina platensis* COMO BIOFIXADORA DE CO<sub>2</sub> NA ETAPA DE GERMINAÇÃO DO MALTE CERVEJEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de bacharel em  
Biotecnologia - Ênfase em  
Biotecnologia Molecular do Instituto de  
Biotecnologia da Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul.

Orientadora: Fernanda Cortez Lopes

Porto Alegre 14 de Setembro de 2023

#### **BANCA EXAMINADORA:**

---

Dra. Fernanda Cortez Lopes  
Orientadora  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

---

Dra. Lilian Hickert  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)

---

Doutoranda Tais Suhre  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

## **Agradecimentos**

Agradecer aos meus pais, Mariane de Souza Coelho e Hamilton Carlos Schaeffer Monteiro, por todo apoio e incentivo aos meus estudos desde pequena, vocês me proporcionaram as melhores oportunidades para eu ser a pessoa que sou hoje, sempre me mostrando o certo a se fazer. Sem o apoio e paciência de vocês, esta jornada da graduação não teria sido possível, obrigada por todo amor e carinho dedicado.

Ao meu irmão Kauã Coelho Monteiro, pelo amor incondicional e por me ensinar a ser uma pessoa melhor, saiba que enquanto eu estiver respirando, você nunca estará só.

Ao meu namorado, Theylor Schumacher Klippel, por sempre me incentivar e me apoiar nas minhas ambições, sempre me dando suporte para este e outros sonhos apesar das dificuldades, saiba que tem muito de você em todas as minhas conquistas, essa jornada teria sido muito mais árdua sem você do meu lado, te amo.

A minha orientadora e amiga, Fernanda Cortez Lopez, por todo conhecimento e pela oportunidade de me orientar, me dando todo o auxílio necessário. A tua ajuda e amizade foram fundamentais para a realização deste trabalho, tornando este período mais leve, além de me orientar com muita paciência.

Aos meus amigos que me acompanharam durante a graduação e me consolaram nos momentos difíceis, em especial a Daphne Torgo Lemos, Mariana Leyser e Simone D'ambros, ter conhecido vocês foi uma das melhores coisas que a universidade me proporcionou, contem sempre comigo.

Ao meu avô Milton de Macedo Monteiro, que hoje não está mais entre nós, mas que com certeza estaria orgulhoso.

*“Quando a última árvore tiver caído,  
quando o último rio tiver sido poluído,  
quando o último peixe for pescado,  
vocês vão entender que dinheiro não se come.”*

**Alanís Obomsawin**

## Resumo

A indústria da cevada tem uma grande relevância econômica no Brasil e 80% desta cevada é designada para produção de malte para fins cervejeiros. Durante a produção do malte, na etapa da germinação, ocorre o processo de respiração dos grãos e liberação de CO<sub>2</sub>. Nesse contexto, sabe-se que gases do efeito estufa (GEE), como o CO<sub>2</sub>, são os principais responsáveis pela elevação da temperatura do planeta e conseqüentemente pelo surgimento do aquecimento global. Dessa forma, para buscar reverter o cenário que se apresenta e pensando nos objetivos e metas das indústrias de diminuir o seu impacto no aquecimento global, as maltarias existentes necessitam de uma solução para a diminuição do CO<sub>2</sub> expelido pelos grãos para o ambiente. Assim, recursos biotecnológicos, como a utilização de microalgas, podem ser uma alternativa sustentável de biofixação de CO<sub>2</sub> nessas indústrias. Dentre as espécies, nos últimos anos, a *Spirulina platensis* tem sido estudada para a produção de biomassa e fixação de carbono. Além disso, a espécie é amplamente explorada na indústria alimentícia, como suplemento alimentar, tendo aprovação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o que pode contribuir com outras oportunidades de aplicação na indústria de alimentos. Nesse cenário, o objetivo dessa monografia é trazer uma proposição de metodologia para a maltaria de Porto Alegre – Ambev, utilizando a *S. platensis* como forma de biofixação de CO<sub>2</sub>, reduzindo sua liberação dos gases do efeito estufa. Neste trabalho, através de revisão de literatura, foi feito um levantamento dos diferentes tipos de fotobiorreatores e das condições de cultivo adequadas. Os resultados obtidos apontaram que o biorreator mais adequado para as condições de germinação da cevada foi do tipo tubular com aeração do tipo *airlift*. Além disso, o meio utilizado para cultivo das microalgas foi o Zarrouk, sendo este, o mais comum e mais eficiente para o crescimento desses microrganismos. Ainda, o meio Zarrouk deve ser alterado, retirando o bicarbonato de sódio da sua composição, já que este é transformado em CO<sub>2</sub> devido ao efeito da anidrase intracelular das algas. Também o tempo de exposição à luz foi definido, sendo que por 12 h as algas deverão ser expostas à luz, e nas 12 h subsequentes a luz deve ser desligada, evitando uma possível fotoinibição. Por fim, nas análises de produção das algas, a obtenção de biomassa deve ser avaliada através de centrifugação e secagem em estufa, e o cálculo de absorção de CO<sub>2</sub> contabilizado através de fórmula obtida na literatura. Como conclusão, considera-se que a implementação desta metodologia poderá ser capaz de reduzir em até 90% do CO<sub>2</sub> gerado na etapa de germinação da maltaria.

**Palavras-chave:** Revolução industrial; dióxido de carbono; aquecimento global; gases do efeito estufa; *Spirulina platensis*; Malte; Biofixação.

## Abstract

The barley industry has great economic relevance in Brazil and 80% of this barley is designated for the production of malt for brewing purposes. During malt production, in the germination stage, the process of grain respiration and CO<sub>2</sub> release occurs. In this context, it is known that greenhouse gases (GHG), such as CO<sub>2</sub>, are mainly responsible for the increase in the planet's temperature and consequently for the emergence of global warming. Therefore, to seek to reverse the scenario that is presented and thinking about the objectives and goals of industries to reduce their impact on global warming, existing malthouses need a solution to reduce the CO<sub>2</sub> expelled by grains into the environment. Thus, biotechnological resources, such as the use of microalgae, can be a sustainable alternative for CO<sub>2</sub> biofixation in these industries. Among the species, in recent years, *Spirulina platensis* has been studied for biomass production and carbon fixation. Furthermore, the species is widely explored in the food industry, as a food supplement, with approval from the National Health Surveillance Agency (ANVISA), which can contribute to other application opportunities in the food industry. In this scenario, the objective of this monograph is to propose a methodology for the Porto Alegre – Ambev malting plant, using *S. platensis* as a form of CO<sub>2</sub> biofixation, reducing its release of greenhouse gases. In this work, through a literature review, a survey was made of the different types of photobioreactors and the appropriate cultivation conditions. The results obtained showed that the most suitable bioreactor for barley germination conditions was the tubular type with airlift-type aeration. Furthermore, the medium used to cultivate microalgae was Zarrouk, which is the most common and most efficient for the growth of these microorganisms. Furthermore, the Zarrouk medium must be changed, removing sodium bicarbonate from its composition, as this is transformed into CO<sub>2</sub> due to the effect of intracellular anhydrase in the algae. The time of exposure to light was also defined, meaning that for 12h the algae must be exposed to light, and for the subsequent 12h the light must be turned off, avoiding possible photoinhibition. Finally, when analyzing algae production, obtaining biomass must be assessed through centrifugation, and the calculation of CO<sub>2</sub> absorption accounted for using a formula obtained from the literature. In conclusion, it is considered that the implementation of this methodology may be able to reduce by up to 90% of the CO<sub>2</sub> generated in the malting germination storage.

**Keywords:** Industrial Revolution; carbon dioxide; global warming; greenhouse gases; Spirulina Platensis; Malt; Biofixation.

### **Lista de Figuras:**

- Figura 1** - Emissões de CO<sub>2</sub> ao longo dos anos
- Figura 2** - Linha do tempo dos tratados internacionais de redução dos GEE
- Figura 3** - Diagrama do processo de malteação
- Figura 4** - Estrutura do grão de cevada
- Figura 5** - Formação de radícula no grão de cevada
- Figura 6** - Caixa de germinação de grãos de cevada da maltaria de estudo
- Figura 7** - Diferentes cores do malte após a etapa de secagem
- Figura 8** - Estrutura da microalga *Spirulina sp*
- Figura 9** - Ciclo de vida da *Spirulina platensis*
- Figura 10** - Materiais para a captura de CO<sub>2</sub>
- Figura 11** - Tipos de biorreatores
- Figura 12** - Esquema geral de um bioprocesso
- Figura 13** - Esquema e modelo de cultivo aberto *Raceway*
- Figura 14** - Modelo de fotobiorreator tubular
- Figura 15** - Modelo de um fotobiorreator plano
- Figura 16** - Parte inferior da caixa de germinação da maltaria de Porto Alegre
- Figura 17** - Esquema do fotobiorreator modelo
- Figura 18** - Indicação da posição dos tubos do biorreator na parte inferior da caixa de germinação da maltaria de Porto Alegre.
- Figura 19** - Resultados da concentração de dióxido de carbono absorvido em *Spirulina sp.* e *S. obliquus*

### **Lista de tabelas**

<b>Tabela 1</b> - Tabela de aminoácidos presentes nas proteínas da <i>Spirulina platensis</i> .....	9
<b>Tabela 2</b> - Vantagens e desvantagens de Fotobiorreatores.....	16
<b>Tabela 3</b> - Componentes do meio Zarrouk. ....	20

## Lista de abreviaturas e siglas

**GEE** Gases do efeito estufa

**CO<sub>2</sub>** Dióxido de Carbono

**CH<sub>4</sub>** Metano

**N<sub>2</sub>O** Óxido Nitroso

**SF<sub>6</sub>** Hexafluoreto de Enxofre

**HFC** Hidrofluorcarbono

**PFC** Perfluorcarbono

**IPCC** Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

**CCS** Captura e armazenamento de carbono

**BCM** A mitigação biológica de carbono

**GRAS** Geralmente reconhecido como seguro

**FDA** *Food and Drug Administration* - Agência federal americana que regulamenta alimentos e medicamentos

## Sumário:

<b>1 - Introdução:</b> .....	
1.1 Revolução Industrial.....	
1.2 Aquecimento Global.....	
1.3 Gases do Efeito Estufa.....	
1.4 Protocolo de Kyoto.....	
<b>2 - Produção de malte</b> .....	
2.1 Maceração .....	
2.2 Germinação.....	
2.3 Secagem.....	
<b>3 - Utilização da biotecnologia para fins ambientais</b> .....	
1.1 Alga <i>Spirulina platensis</i> .....	
1.2 Biofixação de dióxido de carbono.....	
1.3 Biorreatores.....	
<b>4 – Objetivos</b> .....	
4.1 Objetivos gerais.....	
4.2 Objetivos específicos.....	
<b>5 - Materiais e métodos</b> .....	
5.1 Busca na literatura.....	
<b>6 – Resultados e discussão</b> .....	
6.1 Design Fotobiorreator.....	
6.2 Cultivo das células.....	
6.3 Captação de CO <sub>2</sub> pela <i>S. platensis</i> .....	
6.4 Impacto da <i>S. platensis</i> na germinação e desenvolvimento do grão.....	
<b>7 - Conclusão e perspectivas futuras</b> .....	
<b>8 - Referências</b> .....	

## 1- Introdução:

### 1.1 - Revolução Industrial:

A revolução industrial foi um marco de extrema importância para o mundo, trazendo diversas mudanças desde então. A partir dela o crescimento em massa do processo produtivo trouxe a troca dos meios de manufatura, comuns da época, para a maquinofatura. Além disso, mudanças nas relações sociais foram observadas, com a diminuição dos processos comerciais de artesões para a vida industrial assalariada com horas de trabalho estabelecidas. Dentre as mudanças que se originaram, devido a este período, está também a mudança na relação do ser humano com o meio ambiente. (CAETANO et al., 1998; CAVALCANTE<sup>1</sup>; LUIS; DA SILVA<sup>2</sup>, 2011).

Dessa forma, com a chegada da revolução industrial, se iniciou a utilização em grande escala de recursos naturais fósseis, como meios de obter energia para o desenvolvimento e funcionamento das indústrias. Assim, recursos como, carvão mineral e vegetal, petróleo e gás natural são as mais importantes energias fósseis utilizadas desde então (BOSE, 2010). A partir do século XVIII, é necessária a busca da sociedade em evoluir e crescer; caminhando em direção a quinta revolução industrial ou também chamada de "sociedade superinteligente", onde nesta caminhada, os inúmeros problemas ambientais que vêm sendo criados pela humanidade foram ignorados. Hoje, a comunidade científica afirma através de dados que após a revolução industrial, a humanidade passou a modificar a composição química da atmosfera, criando um ambiente menos favorável para a vida (RAMANAN et al., 2010)

### 1.2 Aquecimento Global

Estamos vivendo nos últimos anos as respostas do meio ambiente que construímos nos últimos séculos. O aquecimento global é a consequência do aumento da temperatura média do planeta. Esse aumento de temperatura pode se dar através de causas naturais e das atividades humanas. Segundo o *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)- Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas, órgão das Nações Unidas, o aumento médio da temperatura do planeta é de 90%, causado pelas ações do homem (IPCC, 2022).

Essas mudanças na temperatura do planeta desencadeiam diversos fenômenos como, derretimento das calotas polares, podendo provocar o desaparecimento de algumas ilhas e por consequência o aumento do nível do mar, vindo a gerar inundações costeiras, erosão e deslocamento de populações que vivem em áreas próximas. Temos também o aumento do número de eventos como furacões, ondas de calor, *tsunamis*, tornados, tempestades, seca, chuva ácida, etc. A resposta para esses fenômenos traz consequências negativas para o ecossistema, ocasionando a extinção de animais e plantas; para a espécie humana, ocorrerá impactos na agricultura gerando escassez de alimentos e diminuição da

disponibilidade de água. Além disso, os cálculos preveem um maior número de doenças, como uma reincidência da malária, por exemplo, onde as temperaturas elevadas favorecem a proliferação do mosquito prego que é responsável pela transmissão do *Plasmodium* spp. através da picada da fêmea (HOUGHTON, 2005; WILSON; LAW, 2010).

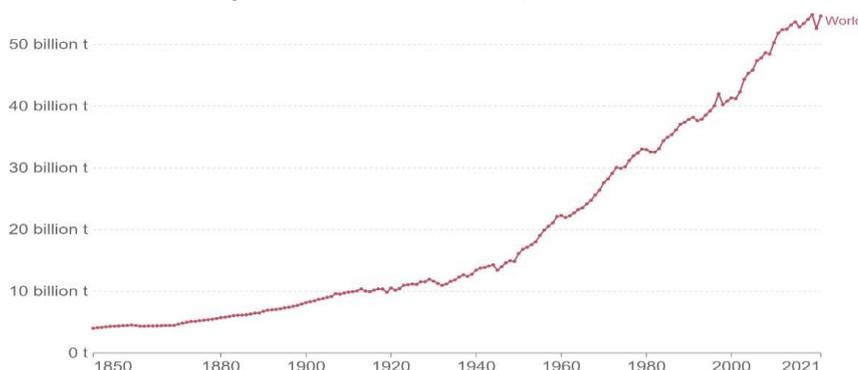
Dentre os impactos negativos que o ser humano vem causando para o meio ambiente e consequentemente desencadeando as mudanças climáticas, temos o desmatamento, descarte de resíduos sólidos em solos e mares, agropecuária, mudanças no uso do solo, e queima de combustíveis fósseis. No desenvolvimento dessas atividades temos uma enorme geração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo este um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa (HOUGHTON, 2005).

### 1.3 - Gases do Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre pelo acúmulo de gases na atmosfera. Este fenômeno é de imensa importância para a existência da vida na Terra e, sem ele, o nosso planeta estaria em uma temperatura em torno de  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , uma diferença de  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  da temperatura que vivemos hoje (MACHADO, 2012). Este efeito foi descoberto no século XIX pelo cientista físico matemático Jean-Baptiste Fourier, ele demonstrou que as estufas de vidro, produzidas na Europa para sobrevivência de plantas de climas mais quentes, seriam modelos semelhantes do que a atmosfera exercia sobre o planeta, realizando o papel de um isolante global e retendo o calor para a superfície terrestre (MACHADO, 2012). Em seguida, ainda no século XIX, o cientista John Tyndall, realizou um experimento onde obteve resultados da absorção de calor através das concentrações de dióxido de carbono e vapor de água, levantando a hipótese de que maiores concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentariam a temperatura do planeta (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018).

Atualmente, sabe-se que os gases do efeito estufa atuam absorvendo a radiação infravermelha emitida pelo Sol, dificultando assim a liberação de calor para o espaço, mantendo o planeta Terra aquecido. No entanto, com a chegada da revolução industrial e consequentemente o aumento da utilização de energias fósseis, tivemos uma liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera quase que exponencial nos últimos anos, colocando o cenário em que vivemos hoje em uma situação de aquecimento global (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018).

Figura 1. Emissões de CO<sub>2</sub> ao longo dos anos. Retirado de - (HANNAH RITCHIE AND MAX ROSER, 2021)

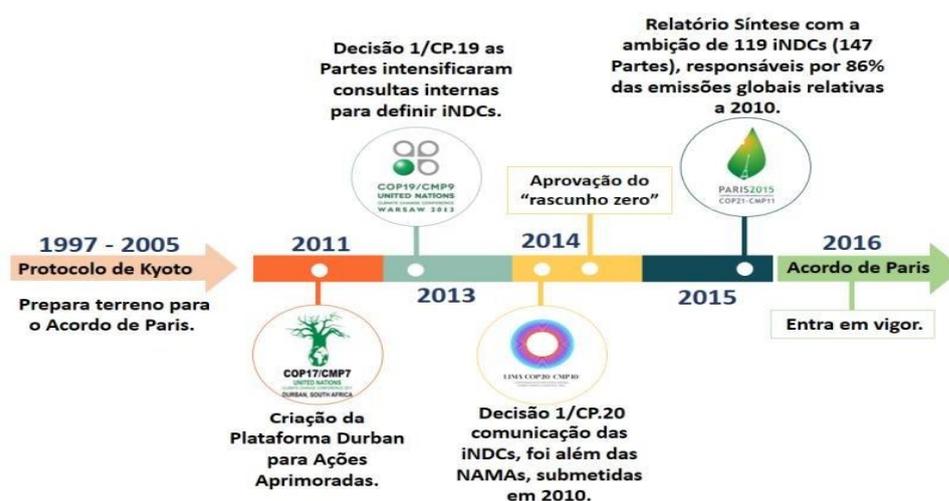


Porém, não é somente o CO<sub>2</sub> que é responsável por esta retenção de calor na atmosfera, gases como: Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), Hidrofluorcarbono (HFC) e Perfluorcarbono (PFC), incluindo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são os principais responsáveis pelo cenário de aquecimento global em que vivemos (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018).

#### 1.4 Protocolo de Kyoto

Com o quadro crítico o ser humano vem construindo para o meio ambiente e a saúde do nosso planeta, possibilidades de mitigar essas ações antropogênicas são levantadas tanto a nível internacional, quanto nacional. O protocolo de Kyoto foi criado em 1997 na cidade de Kyoto, Japão. Seu principal objetivo era estabelecer um acordo entre os países com o intuito de reduzirem as suas emissões de GEE para a contenção das mudanças climáticas. O acordo estabelece que as nações devem reduzir as suas emissões em dos níveis de CO<sub>2</sub> em 5,2%, com relação aos níveis gerados no ano de 1990. Este acordo só se iniciou em 2005, porém nem todos os países industrializados aceitaram as metas estabelecidas, como foi o caso dos Estados Unidos. A ratificação do acordo foi aderida por 190 países, excluídos os que estavam em desenvolvimento na época, como foi o exemplo da China, No entanto, países como o Brasil aderiram ao protocolo de Kyoto, mesmo não estando na obrigatoriedade de seguirem as metas (MOREIRA; GIOMETTI, 2008). Em dezembro de 2015 o protocolo de Kyoto foi substituído pelo acordo de Paris e os governos se comprometeram a agir para manter o aumento da temperatura média mundial abaixo dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais e empregar esforços para limitar o aumento a 1,5 °C (F VITAL, 2018; MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, 2016). Dessa forma, a partir dos tratados firmados nos últimos anos, as indústrias estão em busca de diminuir os seus níveis de emissão de GEE.

Figura 2 – Linha do tempo dos tratados internacionais de redução dos GEE. Retirado de - (SOBRAL; ALMEIDA, 2017).



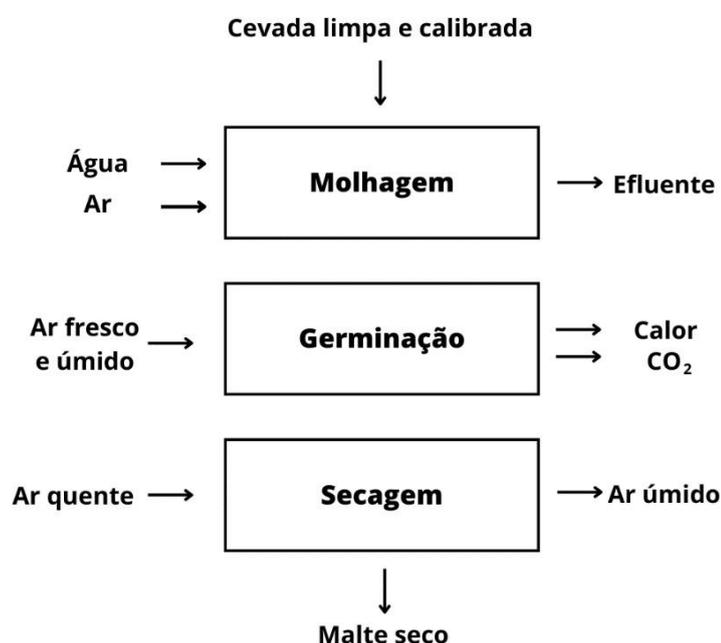
## 2 Produção de Malte

Um dos produtos biotecnológicos que já se produzia antes mesmo de utilizarmos a palavra biotecnologia, é a cerveja. A cerveja é obtida através de um bioprocesso de fermentação onde temos a utilização de um microrganismo realizando a produção de  $\text{CO}_2$  e de álcool através da utilização de fontes de açúcar. Nesse contexto, quando falamos em cerveja, o malte é um dos principais ingredientes fundamentais como fonte de açúcar e enzimas para a sua produção. (Kurtz et al., 2012)

A produção do malte no Brasil tem sido uma das principais aplicações econômicas da cevada. De toda cevada produzida no Brasil, 80% são utilizadas para produção de malte, 14% são designadas para alimentação animal e apenas 6% é separada para produção de sementes. Dos 80% de cevada que são designados para a produção de malte, 95% são utilizados para fins cervejeiros ((KURTZ; DE MORI; MINELLA, 2012).

Nas indústrias de maltarias, a cevada passa por três processos importantes antes de se transformar em malte, são eles: maceração, germinação e secagem.

Figura 3 – Diagrama do processo de malteação – Retirado de - (TANCREDO TOMAZ, 2015).



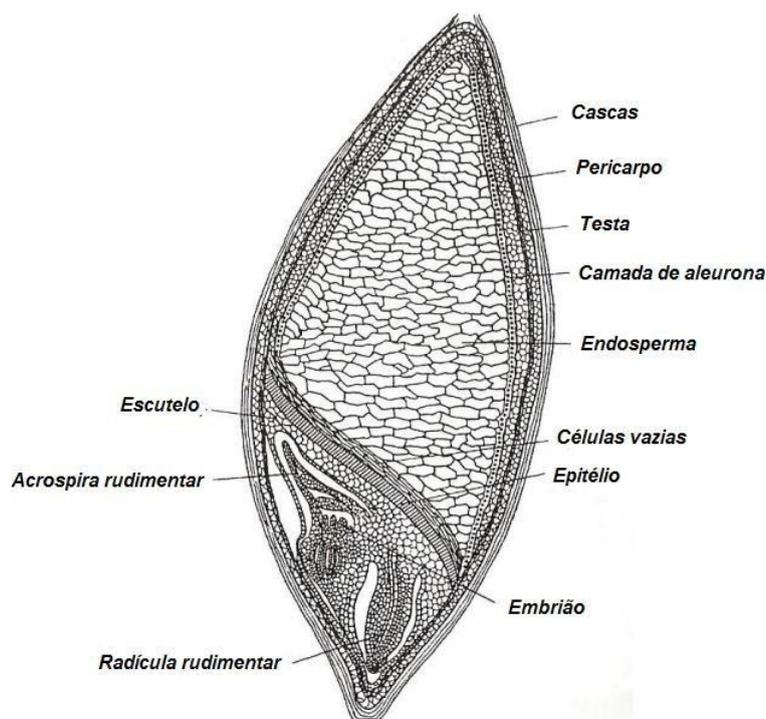
## 2.1 Maceração

A maceração é a etapa onde o grão de cevada seco é submetido á submersão em água em funis de maceração para obter uma quantidade de umidade final em torno de 47%, facilitando a etapa seguinte de germinação. Esta é a etapa mais crítica da produção do malte, pois é necessário garantir que todos os grãos cheguem na mesma concentração de umidade em todo o corpo do grão. Além da umidade, a maceração também atua como uma limpeza do grão retirando os resíduos e a poeira. Os funis de maceração operam também realizando a aeração desses grãos, promovendo uma correta oxigenação (FERNANDES, 2021).

## 2.2 Germinação

A germinação é realizada em sua maioria, em caixas retangulares com fundo perfurado possibilitando a entrada de ar. Nesta etapa irá ocorrer alterações físico-químicas no grão iniciando processos de ativação enzimática, onde serão liberadas enzimas amilolíticas que são responsáveis pela modificação do endosperma, desencadeando na degradação da parede celular do endosperma. (TOMAZ TANCREDO, 2015).

Figura 4 - Estrutura do grão de cevada. Retirado de - (FERNANDES, E. 2015)



A etapa de germinação se baseia no fornecimento de oxigênio e calor para que o grão consiga se desenvolver. No seu desenvolvimento ocorre a difusão do hormônio que é produzido no embrião do grão, chamado de Giberelina. Esta estimula a liberação da enzima

$\alpha$  - amilase. Na ativação de enzimas temos a hidrólise de açúcares e amido em pequenas cadeias, facilitando a absorção pelo grão e gerando novos tecidos como é o caso da radícula (TOMAZ TANCREDO, 2015).

Figura 5 - Formação de radícula no grão de cevada. Retirado de - (NATÁLIA, 2020)



Os grãos são movimentados por revolvedoras, que possibilitam o fluxo de forma homogênea e impossibilitam os enraizamentos dos grãos na caixa, conforme mostrado na Figura 6 (FERNANDES, 2021).

Figura 6 – Caixa de germinação de grãos de cevada da maltaria de estudo. Retirado de - (SICA, 2022).



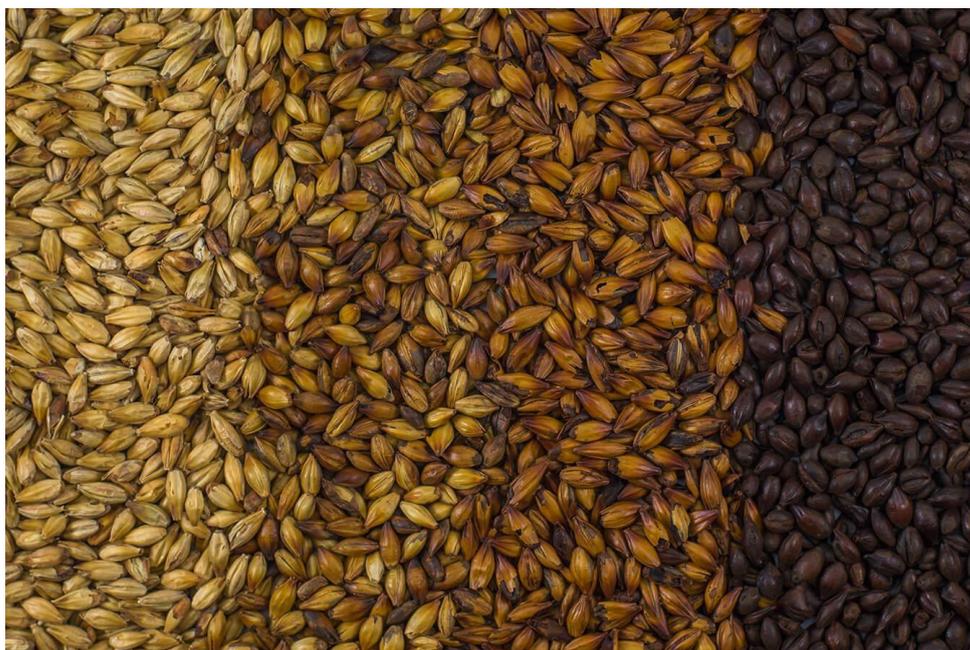
Neste processo de germinação, durante a respiração dos grãos ocorre a produção de  $\text{CO}_2$ . Este  $\text{CO}_2$  é então liberado ao ambiente em quantidades significativas, já que esta etapa pode durar de 70 a 90 h, para então a germinação ser interrompida e os grãos seguirem para

o processo de secagem. O CO<sub>2</sub> que foi liberado, muitas vezes fica preso dentro do ambiente onde é realizada a germinação, necessitando de um grande gasto de energia elétrica para a dissipação deste. Assim a alta concentração do composto químico no local pode gerar problemas graves de segurança e saúde devido à falta de oxigênio (FERNANDES, 2021).

### 2.3 Secagem

A secagem é a última etapa da produção de malte. Esta fase tem como objetivo remover a água presente nos grãos e interromper o processo de germinação obtendo um teor de amido específico. É nesta etapa que serão definidos o aroma, sabor e a estabilização da cor dos grãos de acordo com a receita do malte, temperatura e o tempo de secagem; este aquecimento é um processo que requer grande controle, para que os grãos não superaqueçam. Terminada a secagem, o malte está pronto para ser moído e utilizado na indústria cervejeira (FERNANDES, 2021).

Figura 7 – Diferentes cores do malte após a etapa de secagem. Retirado de (REVISTA EZBREW, 2021)



### 3 Utilização da biotecnologia para fins ambientais

A biotecnologia é uma área interdisciplinar que possibilita a criação de conjuntos de alternativas para soluções de diversos fins. O também chamado arco-íris da biotecnologia, nos mostra os diferentes segmentos onde a área pode atuar. Quando falamos em meio ambiente, a biotecnologia cinza é responsável por encontrar soluções ambientais, como a minimização dos impactos do ser humano no meio ambiente; bioplásticos, biopesticidas, biorremediação, bioprocessos entre outros (CLARA; SCHENBERG, 2010). Estas são algumas alternativas para melhorar a qualidade do solo, água e ar. No entanto, quando pensamos em gases do efeito estufa, a utilização de microrganismos como tecnologia para

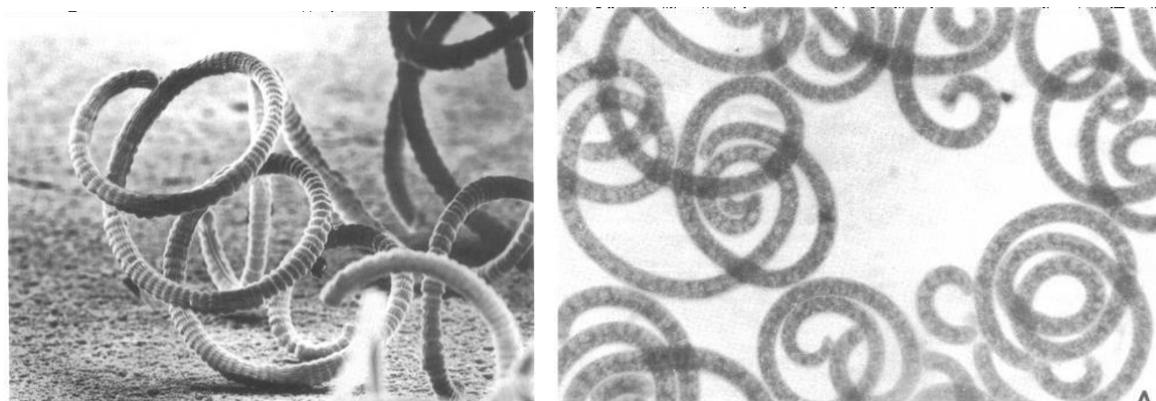
captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> são medidas interessantes para atingirmos o potencial de redução dos GEE (RAMANAN et al., 2010).

### 3.1 - Algas da espécie *Spirulina platensis*

As algas têm uma ampla variedade de formas e funções, sendo organismos fotossintéticos podendo ser unicelulares ou pluricelulares. Desse vasto grupo de organismos, temos a forma procariótica, representada pelas cianobactérias e as formas eucarióticas, os protistas euterotróficos e heterotróficos. As cianobactérias são datadas do período pré-cambriano, e do ponto de vista botânico, elas representam mais de 50% dos processos de fotossíntese do planeta (ALAMI et al., 2021; FORZZA, 2010). Apesar de serem organismos datados de 1 bilhão de anos atrás, estudos biotecnológicos utilizando algas como biofixação de carbono ainda são escassos. Entre as milhares de espécies dessas algas que existem, as espécies presentes na literatura são focadas a sua utilização para fins de alimentação humana e animal. Atualmente, estudos são realizadas utilizando algas para fins industriais, porém, são necessários mais esforços científicos para se conhecer as possibilidades e oportunidades da utilização desses organismos para outros enfoques. (CLARA; SCHENBERG, 2010).

A alga *Spirulina platensis* é uma microalga do tipo cianobactéria do gênero *Cyanobacterium*, também conhecida como alga azul, seu gênero denominado como *Spirulina* devido à sua estrutura em forma de espiral como mostrado na Figura 5. A *Spirulina platensis* utiliza do CO<sub>2</sub> para formar energia química através da fotossíntese (AMBROSI et al., 2008).

Figura 8 - Estrutura da microalga *Spirulina*. A – Microscopia eletrônica em 300 000x B – Microscopia óptica em 400x. Retirado de (CIFERRI, 1983).



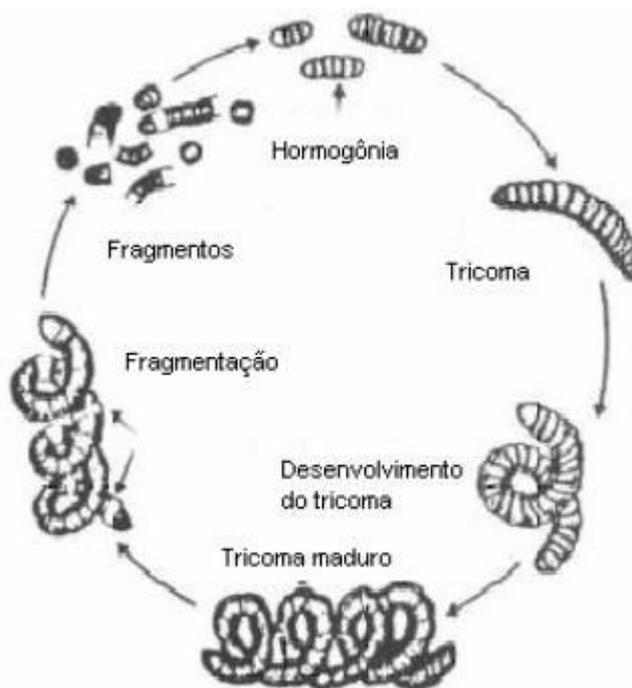
Das diferentes espécies deste gênero, a espécie *Spirulina platensis* é uma das espécies de alga mais estudadas e com uma alta gama de dados científicos levantados nos últimos anos, devido ao seu perfil nutricional. A sua composição química apresenta altas concentrações de proteínas, carboidratos e lipídios. Da sua composição, 74% são baseados em proteínas, sendo superior aos alimentos ricos em proteínas que conhecemos, como é o caso da carne e peixe, tendo em torno de 15 a 25%. Dessas proteínas presentes na *S. platensis*, boa parte delas apresenta todos os aminoácidos essenciais conforme indicado na Figura 9 (BORBA, 2009).

Tabela 1 - Tabela de aminoácidos presentes nas proteínas da *Spirulina platensis*. Retirado de (BORBA, 2009).

<i>Aminoácidos</i>	<i>S. platensis</i>	<i>S. maxima</i>
	mg AA . g PTN <sup>-1</sup>	
Fenilalanina	53	49
Histidina	22	17
Isoleucina	67	60
Leucina	98	87
Lisina	48	41
Metionina	25	20
Treonina	62	49
Triptofano	3	12
Valina	71	63

O ciclo de vida deste organismo é descrito na Figura 10, onde se inicia a primeira fase com a quebra de tricomas em partes menores resultando em pequenos fragmentos. Esses fragmentos são células especializadas, chamadas de Nécridios. Na sua segunda fase, temos a presença de hormogônia, sendo uma forma encurtada e desenrolada onde possui mobilidade. Por fim, na última fase temos a geração de um tricoma espiral produzido a partir da divisão celular das hormogônias (BORBA, 2009).

Figura 9 - Ciclo de vida da *Spirulina platensis*. Retirado de (ÂNGELO PINHO, 2003).



Quando falamos de fotossíntese estamos basicamente nos referindo a uma síntese química à base de luz. Assim como as plantas e cianobactérias, algas são seres autotróficos, isto é, são capazes de utilizar a energia química da luz para produzir compostos orgânicos através da utilização de dióxido de carbono. O dióxido de carbono reagindo com moléculas de água resulta em matéria orgânica e liberação de oxigênio para a atmosfera segundo a equação:



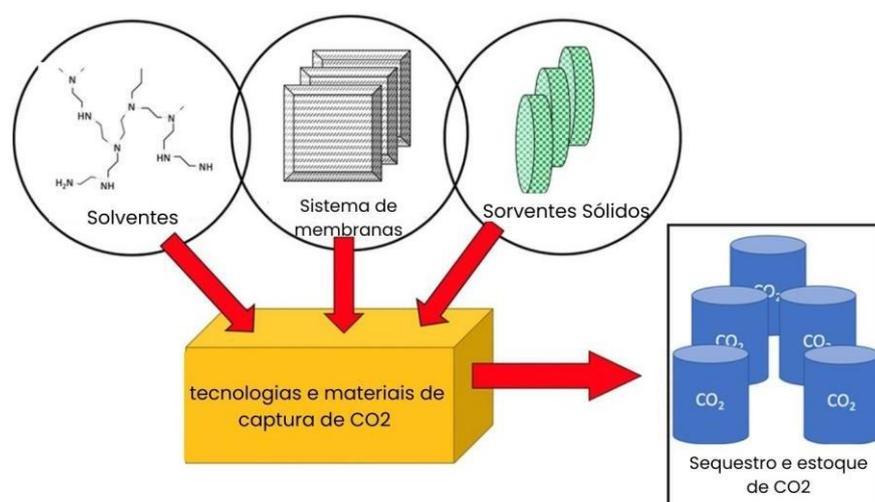
A *S. platensis* demonstra alta eficiência fotossintética, possuindo uma alta taxa de crescimento e uma capacidade de fixar cerca de 10 a 50 vezes mais dióxido de carbono do que outras plantas terrestres. Portanto, as algas se mostram como uma favorável alternativa na biofixação do  $\text{CO}_2$  para a diminuição da liberação dos GEE de forma sustentável (ALAMI et al., 2021).

### 3.2 Biofixação do dióxido de carbono

A técnica de captura e armazenamento de carbono, do inglês (*Carbon capture and storage* - CCS) tem como objetivo reduzir a liberação dos GEE, coletando o  $\text{CO}_2$  no ar e armazenando-o no subsolo (BRILMAN; GARCIA ALBA; VENEMAN, 2013). Esta técnica envolve a utilização de várias tecnologias, desde comprimir, transportar, armazenar e sequestrar o  $\text{CO}_2$  (MOREIRA; PIRES, 2016).

Quando falamos em CCS, existem três tecnologias principais para a captura de carbono no meio industrial que vêm sendo utilizadas. A captura pós combustão, pré-combustão e a combustão de oxi-combustíveis. Cada captura pode utilizar diferentes materiais para esse sequestro, como solventes, membranas entre outros, como demonstrado na Figura 11 (ALAMI et al., 2020).

Figura 10 - Materiais para a captura de CO<sub>2</sub>. Modificado de (ALAMI et al., 2020).



Embora essas técnicas sejam viáveis e tragam resultados positivos na captura do CO<sub>2</sub>, alguns fatores negativos acabam impactando nessas estratégias. Quando se trata de indústrias elétricas, as chances de usinas operarem com uma capacidade de energia inferior, de 20 a 30% menos do que as indústrias que não utilizam o CCS, acaba sendo um fator preocupante na economia de gastos e geração de valor. Além disso, essas tecnologias são caras e altamente complexas, necessitando de um grande investimento inicial (Alami et al., 2020).

A mitigação biológica de carbono, do inglês *Biological carbon mitigation* - (BCM), é a utilização de seres vivos que utilizam CO<sub>2</sub> para produção de carbono orgânico através da fotossíntese resultando em biomassa (ALAMI et al., 2020). Dessa forma, a captura por meios biológicos de CO<sub>2</sub>, utilizando microalgas *S. platensis*, demonstra ser uma saída mais sustentável e rentável para as indústrias e o meio ambiente.

### 3.3 Biorreatores

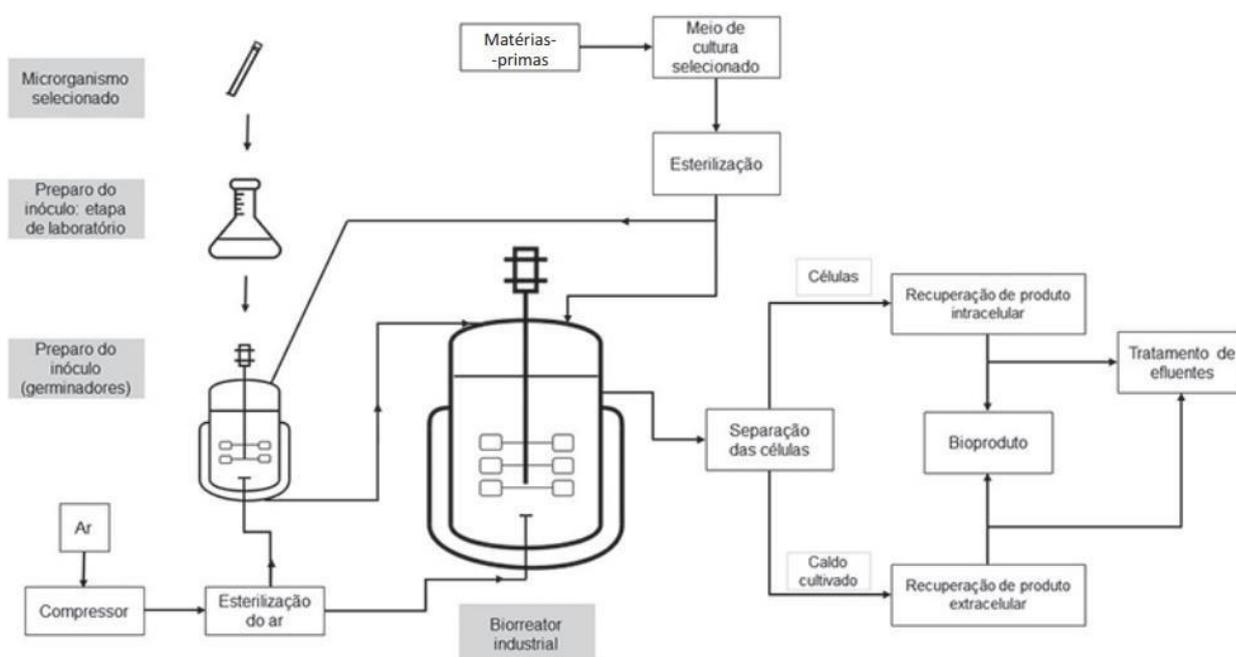
Os biorreatores são equipamentos onde ocorrem processos químicos ou enzimáticos através da utilização de células (microbianas, animais ou vegetais) ou enzimas; de forma controlada, onde os critérios como pH, oxigênio dissolvido, nutrientes, agitação, temperatura, concentração de células, concentração de produto e substratos são monitorados. O objetivo da utilização de biorreatores é transformar a matéria-prima de interesse em um produto biotecnológico, através de um bioprocesso, como é o caso da produção de vinagre, vacinas, penicilina, cerveja, insulina entre outros. Os biorreatores podem ser classificados em dois grandes grupos, são eles: reatores de fase aquosa e os reatores de fase não aquosa. Dentro de cada grande grupo existem tipos de biorreatores que variam na sua configuração, forma de agitação e tipo de biocatalisador, conforme mostrado na Figura 12 (SCHMIDELL, 2021).

Figura 11 - Tipos de biorreatores. Retirado de (WIKIVERSITY, 2017).



O bioprocesso pode ser dividido em três etapas, a *Upstream*, o bioprocesso propriamente dito e por fim a etapa de *Downstream* como mostra a Figura 13. A etapa *Upstream* consiste no início do processo em que é realizando o preparo do meio de cultura, de inóculo, bem como do biorreator até a fermentação. Já a etapa *Downstream* é a obtenção do bioproduto e sua purificação.

Figura 12 – Esquema geral de um bioprocesso. Retirado de (ALTERTHUM et al., 2021).



### 3.3.1. Fotobiorreatores

Quando pensamos em biorreatores para cultivo de algas, os fotobiorreatores são a opção mais adequada, devido à possibilidade de utilizar luz natural ou artificial. Os fotobiorreatores podem ser abertos ou fechados, no entanto, modelos fechados possibilitam um controle maior da biomassa, diminuição de riscos com contaminações, controle da concentração de  $\text{CO}_2$  e diminuem a evaporação do meio de cultura. O modelo de biorreator *Air lift* possibilita a aeração e movimentação adequada dos organismos, através de impelidores pneumáticos que garantem a agitação por meio da utilização de um gás, onde na sua maioria é o oxigênio. (Duan & Shi, 2014).

## 4 – Objetivo Geral

- Propor uma metodologia utilizando a alga *S. platensis* como biofixadora de  $\text{CO}_2$  utilizando biorreator, na etapa da germinação do grão de cevada, realizando um estudo de caso em uma maltaria no Rio Grande do Sul. Para isso será necessário:

### Objetivos Específicos

4.1 Planejar o *design* de um fotobiorreator a ser utilizado na planta de germinação de cevada da maltearia da AMBEV;

4.2 Investigar como determinar a taxa de captação de  $\text{CO}_2$  pela *S. platensis* durante o processo de germinação do grão de cevada;

4.3 Verificar como avaliar o impacto da presença da *S. platensis* no crescimento e desenvolvimento das plantas de cevada;

## 5 – Material e métodos

### 5.1 Busca na Literatura

Para realizar esta proposta de metodologia para a biofixação do dióxido de carbono na etapa da germinação da cevada, foi utilizado como estudo de caso na maltaria de Porto Alegre- Ambev. Para a busca de informações de cada processo foram utilizados os bancos de dados Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) e Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/?hl=pt>) para a busca de artigos científicos e o banco de dados do Lume da UFRGS (<https://lume.ufrgs.br/>) no período de março a agosto de 2023. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave na busca em português para trabalhos no Lume da UFRGS: Aquecimento global; gases do efeito estufa; *Spirulina platensis* e Biorreator.

Para as buscar em inglês nos bancos de dados de artigos científicos foram utilizadas as palavras chaves: *global warming*, *greenhouse gases*, *Spirullina platensis* e *Bioreactor*.

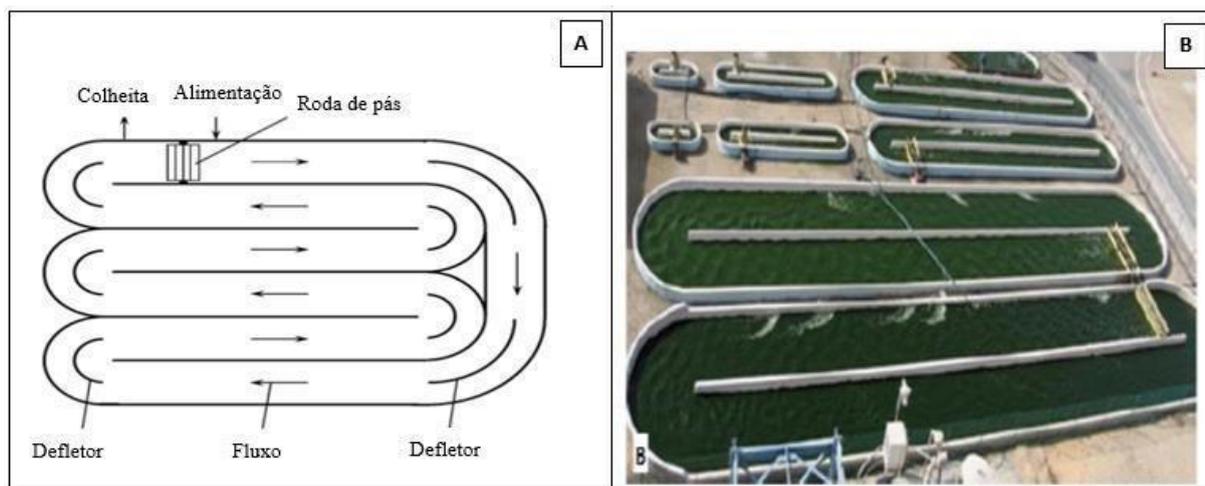
## 6. Resultados e Discussão

### 6.1 *Design* do Fotobiorreator

O cultivo de algas é baseado em fotobiorreatores abertos ou fechados. A estrutura do biorreator é de extrema importância para se obter o controle da biomassa e produtividade desses organismos. O *design* do biorreator impacta em diversos fatores como, a capacidade fotossintética dessas algas e as suas trocas gasosas com o meio. Além disso, a absorção de luz tem que ser distribuída de forma homogênea em todo reator, garantindo que todo o volume do cultivo seja atingido (LUO et al., 2003; DUARTE et al., 2014; DE MORAIS; COSTA, 2007b).

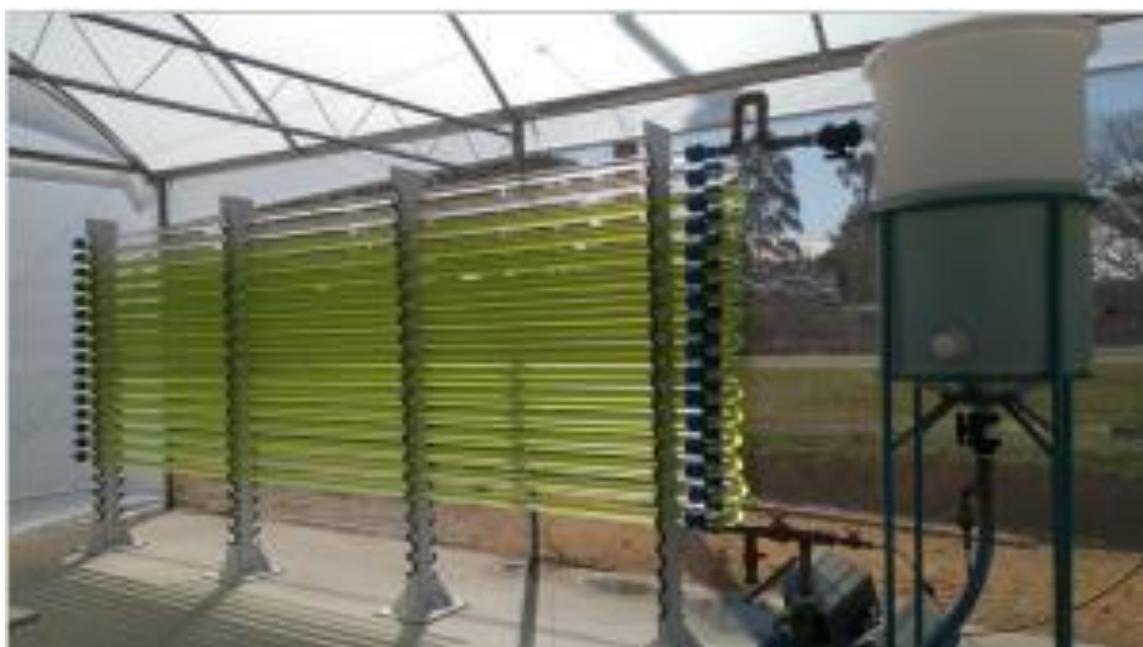
Quando falamos em fotobiorreator de tanques abertos, o *Raceway* é o modelo utilizado. No exemplo descrito na Figura 13, o meio é agitado através de pás e em seguida é realizada a alimentação com os nutrientes do meio. Este modelo tem este nome devido a sua configuração de pistas de corrida (*raceway*). O CO<sub>2</sub> requerido pelas microalgas neste exemplo é absorvido do ar, já que este é um sistema completamente aberto para a superfície (BRENNAN; OWENDE, 2010; SOUZA CAMPOS MORAES, 2018).

Figura 13 – Esquema e modelo de cultivo aberto Raceway – Retirado de (SOUZA CAMPOS MORAES, 2018).



Os fotobiorreatores tubulares são biorreatores fechados que podem receber iluminação solar natural ou até mesmo luz artificial. Diferente do sistema aberto, o fotobiorreator tubular não permite a contaminação por outros organismos e não apresenta perdas por evaporação. Neste caso, a agitação do meio é feita por bombas mecânicas evitando a sedimentação desses organismos, já que a estrutura tubular pode alcançar comprimentos de até 80 m (BRENNAN; OWENDE, 2010; MIYAWAKI et al., 2021).

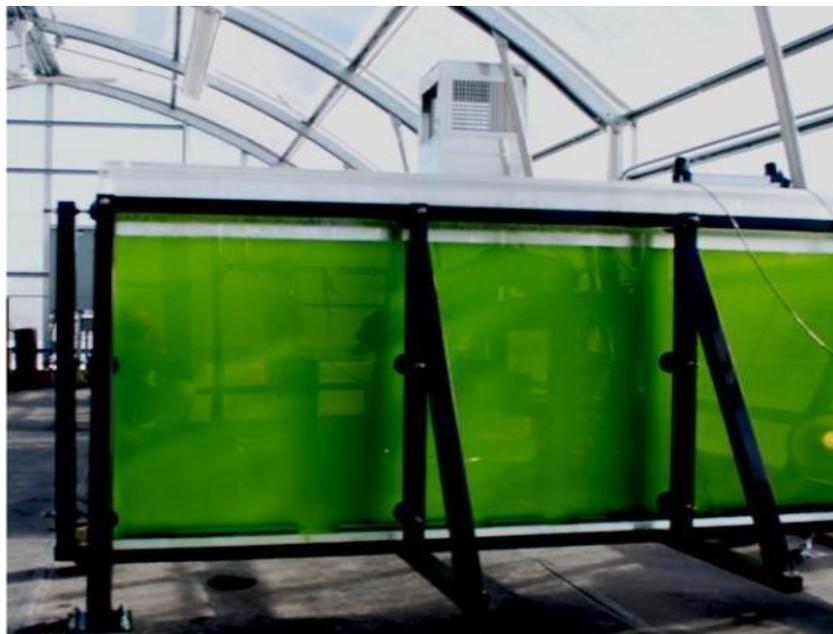
Figura 14 – Modelo de fotobiorreator tubular – Retirado de (MIYAWAKI et al., 2021).



Outro exemplo de fotobiorreator são os de placas planas mostrado na Figura 15, que permitem um grande contato da área junto do meio, já que sua estrutura é estreita podendo

se comparar a uma placa. A agitação neste modelo é realizada através do bombeamento de ar para dentro do sistema (MIYAWAKI et al., 2021).

Figura 15 – Modelo de um fotobiorreator plano. Retirado de (MONTEIRO FORTES, 2015).



Brennan & Owende realizaram um levantamento das vantagens e desvantagens de cada fotobiorreator de acordo com a utilização e necessidade. Segue a Tabela 1 descrita pelos autores.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens de fotobiorreatores. Modificado de (BRENNAN; OWENDE, 2010).

SISTEMA DE PRODUÇÃO	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
<b>RACEWAY</b>	Relativamente barato	Baixa produtividade de biomassa
	Fácil de limpar	Grande área de terreno necessária
	Utiliza terras não agrícolas	Limitado a algumas cepas de algas
	Entradas de baixa energia	Mistura fraca, utilização de luz e CO <sub>2</sub>
	Manutenção fácil	Culturas são facilmente contaminadas
<b>FOTOBIORREATOR TUBULAR</b>	Grande área de superfície de iluminação	Algum grau de crescimento da parede
	Adequado para culturas ao ar livre	Sujeira
	Relativamente barato	Requer grande área de terreno

<b>FOTOBIORREATOR DE PLACA PLANA</b>	Boas produtividades de biomassa	Gradientes de pH, oxigênio dissolvido e CO <sub>2</sub> ao longo dos tubos
	Altas produtividades de biomassa	Escalonamento difícil
	fácil de esterilizar	Difícil controle de temperatura
	Baixo acúmulo de oxigênio	Pequeno grau de estresse hidrodinâmico
	Prontamente temperado	Algum grau de crescimento da parede
	bom caminho de luz	
	Grande área de superfície de iluminação	
	Adequado para culturas ao ar livre	

O CO<sub>2</sub> é um gás pesado, apresentando uma pressão 1,5 vezes maior que a do ar. Após os grãos iniciarem a sua germinação, o CO<sub>2</sub> expelido tem uma propensão a se projetar para área abaixo da caixa germinadora, já que esta é perfurada no fundo para que ocorra a aeração dos grãos que estão presentes mais profundamente na caixa. Isso faz com que esse ambiente, depois de algumas horas, esteja completamente repleto de CO<sub>2</sub>, sendo necessária a ventilação do local para a sua correta dissipação e conseqüente o gasto de energia elétrica para o funcionamento dos ventiladores. Além disso, algumas horas após o início da germinação, a permanência na parte inferior da caixa é proibida, já que a ocorrência de CO<sub>2</sub> é maior que a presença de oxigênio, podendo levar a desmaios e conseqüentemente a óbito (PORTUGAL, 2020; SILVA et al., 2017)

Para essa proposição de metodologia e na maltaria em estudo, o fotobiorreator mais adequado é o modelo tubular horizontal. Como o objetivo deste trabalho é a utilização da captura de CO<sub>2</sub> na etapa da germinação da cevada o modelo tubular tem estruturas com diâmetro pequeno, favorecendo uma fácil iluminação das algas no ambiente fechado onde é encontrado o CO<sub>2</sub>. Além disso, como a sua largura é na faixa de milímetros, isto possibilita a otimização do espaço facilitando o acesso e limpeza do local. O local mais adequado para a localização deste biorreator será na parte inferior das caixas de germinação conforme indicado na figura 16.

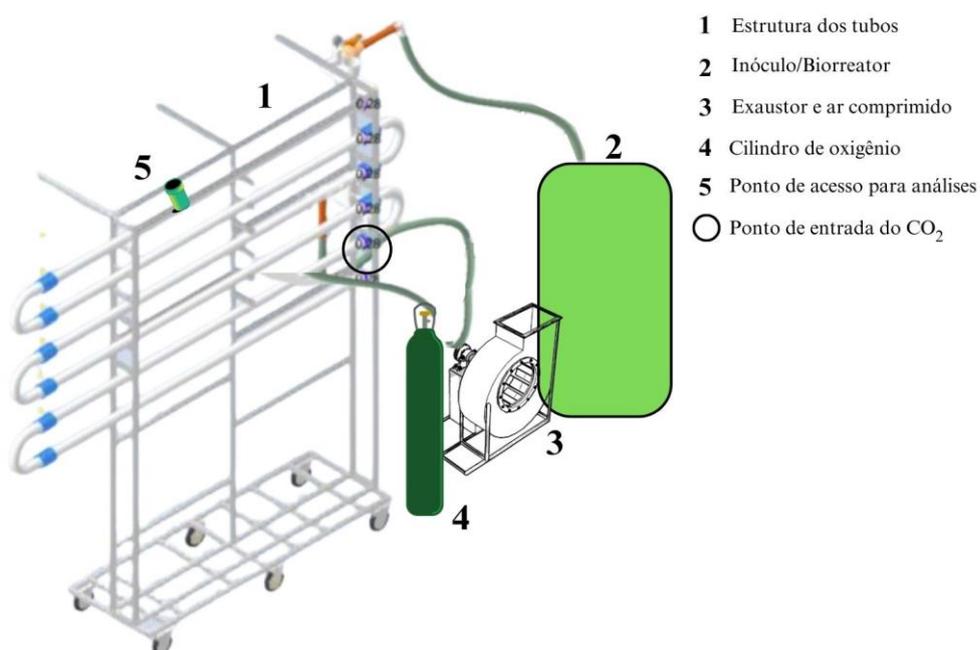
Figura 16 – Parte inferior da caixa de germinação da malteria de Porto Alegre



Como a captação de  $\text{CO}_2$  ocorrerá em um ambiente fechado, a iluminação artificial será utilizada para esta metodologia. Além disso, este tipo de iluminação apresenta vantagens sobre a luz natural, uma vez que conseguimos manipular o seu comprimento de onda, favorecendo o crescimento das algas. Outro fator negativo da luz natural seriam as estações do ano, onde haveria variações sazonais e, dependendo do local, até mesmo diárias, possibilitando a falta de luz por um longo período de tempo (MARCELLE LIMA SILVA, 2016).

Devido a alta taxa de umidade que os grãos tem após a a germinação a escolha de um fotobiorreator fechado é o ideal para evitar possíveis contaminações por outros organismos. Além disso, fotobiorreatores fechados possibilitam um controle mais específico do meio e diminuem possíveis contaminações. Para uma melhor eficiência da captação do  $\text{CO}_2$ , será usado um exaustor pneumático que funciona com o sistema de ar comprimido (ALTERTHUM et al., 2021; FRIZZO, 2022).

Figura 17 – Esquema do fotobiorreator modelo – Modificado de (ARAUJO DE PAULA et al., 2020)



A tubulação do fotobiorreator será de vidro e seu diâmetro de 30 mm. Os fotobiorreatores podem chegar a 60 mm, porém o aumento da espessura dificulta a absorção de luz pelos organismos que estão no centro do tubo. Como indicado na figura 17, a entrada de ar e CO<sub>2</sub> será pela parte inferior do fotobiorreator, favorecendo a aeração do meio e fazendo com que as algas não precipitem no fundo. A temperatura do cultivo será ambiente variando entre 28 a 32°C, já que a respiração do grão libera calor aquecendo o local. Os tubos do fotobiorreator serão projetados nas paredes laterais da caixa de germinação, para que estejam dispostos em todo o comprimento da caixa como demonstrado na Figura 18. Além disso, 3 pontos de abertura serão colocados ao decorrer do comprimento dos tubos, para análises sejam feitas garantindo a confirmação da homogeneidade em todo seu comprimento (DUAN; SHI, 2014).

Figura 18 – Indicação da posição dos tubos do biorreator na parte inferior da caixa de germinação da maltaria de Porto Alegre.





## 6.2 Cultivo das células

As células de *S. platensis* necessitam de componentes essenciais para a sua proliferação e sobrevivência, sendo elas, luz, CO<sub>2</sub>, água e nutrientes. Entre os principais nutrientes para favorecer seu crescimento, temos: fontes de nitrogênio, fósforo e ferro (DUAN; SHI, 2014).

O meio de nutrientes mais utilizado para cultivo de algas *Spirulina* é o meio Zarrouk (Zarrouk, C,1966). Os nutrientes presentes no meio estão descritos na Tabela 2.

Tabela 3 – Componentes do meio Zarrouk. Retirado de (BORBA, 2009).

Nutrientes	Concentração (g.L <sup>-1</sup> )
NaHCO <sub>3</sub>	16,8
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,50
NaNO <sub>3</sub>	2,50
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,00
NaCl	1,00
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,20
CCl <sub>2</sub>	0,04
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,01
EDTA	0,08

Baseado na utilização deste meio, será retirado o bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>), pois a sua presença intracelular na alga sofre ação da enzima anidrase carbônica, resultando na formação de CO<sub>2</sub>. Como queremos que a fonte de carbono das algas seja o CO<sub>2</sub> presente no ambiente, o meio utilizado será desprovido de bicarbonato de sódio (BRAGA S, 2018).

Para avaliação do crescimento dessas células no meio proposto, serão definidos 6 pontos no comprimento do fotobiorreator, sendo 3 de cada lado, para que possamos realizar coletas de meio de cultivo das colunas, para posterior contagem de células em microscópio através da placa de Neubauer utilizando Lugol para identificação das células mortas. (GIORDANI, 2018).

Além do meio utilizado, a disponibilidade de luz para a realização da fotossíntese será de 12 h no dia, enquanto durante as outras 12 h a luz estará desligada onde a sua frequência será de 3000 lux (Martins Ferreira, 2020) . Este parâmetro foi definido já que, a redução no crescimento das algas pode ocorrer devido à exposição da luz em excesso, também conhecido como fotoinibição. Para isso, será necessário realizar o controle do crescimento das algas através de análises de densidade óptica a 600 nm em espectrofotômetro (ALBERTO DO CARMO ARAÚJO; BORGES DEMINICIS, 2019)

### 6.3. Eficiência de Captação de CO<sub>2</sub>

Para confirmarmos a eficiência da Captação de CO<sub>2</sub> pela *S. platensis*, testes de avaliação da sua biofixação são necessários. A fixação do dióxido de carbono pode ser calculada através da equação:

$$FA = (X_t - X_0) m_{cbm} V_p (m_{CO_2} m_c^{-1}), \quad \text{Eq 1}$$

onde X é a concentração de biomassa em gramas por litro na menos um (g L<sup>-1</sup>);

$m_{cbm}$  é a fração de carbono na biomassa em gramas (g g<sup>-1</sup>);

$V_p$  é o volume específico médio no biorreator em litros (L);

$m_{CO_2}$  é a massa molar de dióxido de carbono em gramas por mol (g/mol) e por fim, o

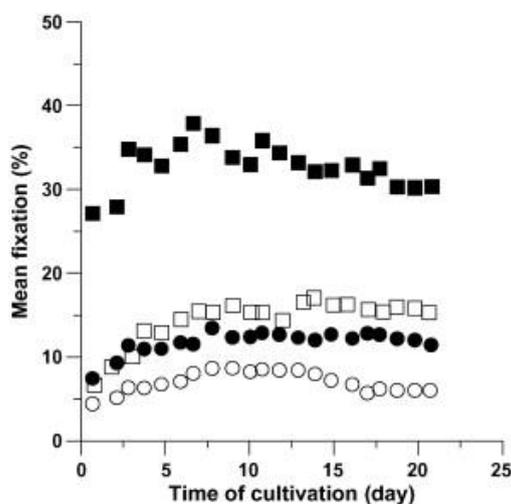
$m_c^{-1}$  é a massa molar do carbono em gramas vezes o mol na menos um (g mol<sup>-1</sup>).

Para obtenção da biomassa da alga serão retiradas amostras de 5 mL do cultivo de cada biorreator e estas serão centrifugadas a 12298 x g para obtenção somente da massa da alga, para em seguida realizar a sua pesagem.

Na obtenção da massa molar do dióxido de carbono, necessitamos saber a quantidade de CO<sub>2</sub> presente no ambiente, para então definirmos a sua massa. Dessa forma, será utilizado o sensor infravermelho (IV) para medição do dióxido de carbono.

A partir de dados retirados de (MORAIS; COSTA, 2007a), onde estes utilizaram a fórmula citada acima para observar a taxa de absorção do CO<sub>2</sub> por dois diferentes organismos (*Spirulina Sp.* e *S. obliquus*) utilizando uma triplicata de biorreatores tubulares obtendo a taxa de fixação de carbono.

Figura 19 – Resultados da concentração de dióxido de carbono absorvido em *Spirulina Sp.* e *S. obliquus* (MORAIS; COSTA, 2007a)



Os dados apresentados mostram duas concentrações diferentes de dióxido de carbono, os resultados vazados (□ ○) são referentes a 12% de dióxido de carbono presente e os resultados preenchidos (■ ●) representam 6% de dióxido de carbono. Os dados que apresentam uma esfera (○ ●) são referentes a *S. obliquus* e os quadrados (■ □) representam os resultados da *Spirulina* sp. Eles conseguiram concluir que para um longo período de tempo as espécies de *Spirulina* se mantiveram absorvendo uma taxa alta de CO<sub>2</sub> e que essa fixação pode variar conforme a concentração disponível (MORAIS; COSTA, 2007a).

Estudos mostram a eficiência da utilização de microalgas como um meio de biofixação de CO<sub>2</sub>. Segundo Sayre, nos seus experimentos identificou que a captura de CO por algas em lagoas de ambientes abertos era de até 90% (SAYRE, 2010).

#### 5.4 Impacto da *S. platensis* na germinação e no desenvolvimento do grão

Como descrito anteriormente, a *S. platensis* já apresenta uma grande gama de estudos científicos. A sua utilização na alimentação humana já é aprovada e possui o certificado GRAS - Geralmente reconhecido como seguro, do inglês *Generally Recognized As Safe*, concedido pelo FDA - Food and Drug Administration, facilitando a sua como biofixadora de CO<sub>2</sub> em indústrias de alimentos. (VIEIRA CAMERINI, 2012). Estudos envolvendo a *S. platensis* e grãos de cevada não foram encontrados nas buscas realizadas neste trabalho. Com isto, análises de qualidade da cevada precisam ser realizadas para garantir a saúde desta.

Além disso, análises como, tempo de germinação e aparecimento da radícula devem ser monitorados a fim de encontrar qualquer irregularidade durante a utilização da *S. platensis*.

## 7 - Conclusão e perspectivas futuras:

Com o desenvolvimento futuro do trabalho e metodologia proposta utilizando como base a maltaria de Porto Alegre, é possível iniciar os experimentos em escala piloto para obtenção e confirmação dos dados e aplicação da metodologia sugerida neste trabalho. Além disso, este trabalho abre espaço para utilização de biorreatores para biofixação da *Spirulina platensis* para outros fins. Não é de hoje que estamos vivendo este cenário de aquecimento global, e a elaboração de novas estratégias e tecnologias abrem portas para revertermos as projeções de modelos para o futuro ou até mesmo mitigar os gases do efeito estufa. Além disso, com a elaboração desta metodologia, muitos estudos utilizados aqui como referência, realizaram a utilização da *S. platensis* para biofixação e se dedicaram também a realização e conversão da biomassa gerada pelas algas como utilização de biocombustíveis, já que esses microrganismos tem um alto valor agregado de carboidratos, lipídeos e proteínas resultando em valor energético, podendo ser convertido em bioenergias. A partir disso, novas soluções para produção de energia sustentável são disponíveis, minimizando a utilização de recursos fósseis.

A área da biologia encontra-se na fronteira para produção de novas engenharias tecnológicas com utilização fora da área acadêmica. A biotecnologia tem uma vasta disponibilidade de conhecimentos e ferramentas para o melhoramento de plantas, animais e meio ambiente e cabe a nós utilizarmos para o benefício de todos. Como perspectivas deste trabalho, almejamos realizar um protótipo na maltaria de Porto Alegre com o objetivo de testar esta metodologia e realizar a liofilização da biomassa excedente das algas cultivadas no biorreator, para que no futuro, esta biomassa seja convertida em biocombustível e possa trazer valor agregado a utilização e até mesmo para fins de utilização em frotas de caminhões.

## 8 - Referências

ALAMI, A. H. et al. Materials and logistics for carbon dioxide capture, storage and utilization. **Science of the Total Environment**, v. 717, 15 maio 2020.

ALAMI, A. H. et al. Investigating algae for CO<sub>2</sub> capture and accumulation and simultaneous production of biomass for biodiesel production. **Science of the Total Environment**, v. 759, 10 mar. 2021.

ALBERTO DO CARMO ARAÚJO, S.; BORGES DEMINICIS, B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 4, p. 463–472, 2019.

ALTERTHUM, F. et al. **COLEÇÃO BIOTECNOLOGIA INDUSTRIAL VOLUME 2 ENGENHARIA BIOQUÍMICA 2a edição**. [s.l: s.n.].

AMBROSI, M. A. et al. **Propriedades de saúde de Spirulina spp.** [s.l: s.n.].

ÂNGELO PINHO, M. **Commercial development of microalgal biotechnology: From the test tube to the marketplace**. Biomolecular Engineering. **Anais...Elsevier**, 2003.

ARAUJO DE PAULA, A. C. et al. **PROJETO DE FOTOBIOREATOR PARA FACHADAS DE EDIFÍCIOS**. [s.l: s.n.].

BORBA. **CYANOBACTÉRIA Arthrospira (Spirulina) platensis: BIOTECNOLOGIA E APLICAÇÕES**. [s.l: s.n.].

BOSE, B. K. Global warming: Energy, environmental pollution, and the impact of power electronics. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 4, n. 1, p. 6–17, mar. 2010.

BRAGA S, V. **PRODUÇÃO DE MACROMOLÉCULAS NO CULTIVO DE Spirulina E Chlorella COM CO<sub>2</sub>, CINZAS E REDUÇÃO DA FONTE DE NITROGÊNIO**. [s.l: s.n.].

BRENNAN, L.; OWENDE, P. **Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, fev. 2010.

BRILMAN, W.; GARCIA ALBA, L.; VENEMAN, R. Capturing atmospheric CO<sub>2</sub> using supported amine sorbents for microalgae cultivation. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p. 39–47, jun. 2013.

CAETANO, R. et al. **Patterns of industrialization risks and environment**. [s.l: s.n.].

CAVALCANTE<sup>1</sup>, Z. V.; LUIS, M.; DA SILVA<sup>2</sup>, S. **A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia**. [s.l: s.n.].

CIFERRI, O. **Spirulina, the Edible Microorganism** **MICROBIOLOGICAL REVIEWS**. [s.l: s.n.].

CLARA, A.; SCHENBERG, G. **Biotechnology and sustainable development estudos avançados**. [s.l: s.n.].

MACHADO, L. **Ponderações sobre o efeito estufa e o aquecimento global**. [s.l: s.n.].

DE MORAIS, M. G.; COSTA, J. A. V. Biofixation of carbon dioxide by *Spirulina* sp. and *Scenedesmus obliquus* cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor. **Journal of Biotechnology**, v. 129, n. 3, p. 439–445, 1 maio 2007a.

DE MORAIS, M. G.; COSTA, J. A. V. Isolation and selection of microalgae from coal fired thermoelectric power plant for biofixation of carbon dioxide. **Energy Conversion and Management**, v. 48, n. 7, p. 2169–2173, jul. 2007b.

DUAN, Y.; SHI, F. Bioreactor design for algal growth as a sustainable energy source. Em: **Reactor and Process Design in Sustainable Energy Technology**. [s.l.] Elsevier Inc., 2014. p. 27–60.

DUARTE, J. H. et al. **BIOFIXAÇÃO DE CO<sub>2</sub> POR Spirulina sp. LEB 18 CULTIVADA EM DIFERENTES BIORREATORES**. [s.l.: s.n.].

F VITAL, M. H. **Meio ambiente AQUECIMENTO GLOBAL: ACORDOS INTERNACIONAIS, EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E O SURGIMENTO DOS MERCADOS DE CARBONO NO MUNDO**. [s.l.: s.n.].

FERNANDES, L. F. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA REÚSO DE EFLUENTE: ESTUDO DE CASO EM UMA MALTARIA NO RIO GRANDE DO SUL**. [s.l.: s.n.].

FORZZA, R. C. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil. Volume 1**. [s.l.: s.n.].

FRIZZO, C. **Fotossíntese À Luz Contextualização**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.udesc.br/cct/ppgecmt>>.

GIORDANI, D. **Análise de Técnicas para Contagem de Microalgas baseadas na Análise de Imagens**. [s.l.: s.n.].

HANNAH RITCHIE AND MAX ROSER. **Greenhouse gas emissions**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

HOUGHTON, J. Global warming. **Reports on Progress in Physics**, v. 68, n. 6, p. 1343–1403, 1 jun. 2005.

IPCC. **The Intergovernmental Panel on Climate Change**.

KURTZ, P.; DE MORI, C.; MINELLA, E. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada. 2012.

JUNGES, A.; SANTOS, V.; MASSONI, N. **Greenhouse effect and global warming: a conceptual approach from the perspective of physics to basic education**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.skepticalscience.com/>>.

LUO, H. P. et al. Analysis of photobioreactors for culturing high-value microalgae and cyanobacteria via an advanced diagnostic technique: CARPT. **Chemical Engineering Science**, v. 58, n. 12, p. 2519–2527, 2003.

MARCELLE LIMA SILVA, L. **AVALIAÇÃO DE FOTOBIORREATORES ILUMINADOS POR DIODOS EMISSORES DE LUZ PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS**. [s.l.: s.n.].

MARGARIDO MOREIRA, H.; BUENO DOS REIS GIOMETTI, A. O Protocolo de Quioto e as Possibilidades de Inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de Projetos em Energia Limpa. 2008.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, T. I. E C. Acordo de Paris. 2016.

MIYAWAKI, B. et al. **Tratamento de emissões poluentes por microalgas em fotobiorreatores**. [s.l.: s.n.].

MONTEIRO FORTES, M. **FOTOBIOREACTORES PARA O CULTIVO DE MICROALGAS DESTINADAS À PRODUÇÃO DE BIODIESEL**. [s.l: s.n.].

MOREIRA, D.; PIRES, J. C. M. Atmospheric CO<sub>2</sub> capture by algae: Negative carbon dioxide emission path. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 371–379, 1 set. 2016.

NATÁLIA. **Etapas da Malteação**.

PORTUGAL, L. **Conselhos de Segurança. 12-Trabalhar com dióxido de carbono CO<sub>2</sub>**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.linde.pt,>.

RAMANAN, R. et al. Enhanced algal CO<sub>2</sub> sequestration through calcite deposition by *Chlorella* sp. and *Spirulina platensis* in a mini-raceway pond. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 8, p. 2616–2622, abr. 2010.

REVISTA EZBREW. **Principais tipos de maltes cervejeiros e suas diferenças**.

SAYRE, R. Microalgae: The potential for carbon capture. **BioScience**, v. 60, n. 9, p. 722–727, out. 2010.

SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial**. [s.l: s.n.]. v. 2

SICA, L. M. **ANÁLISE DO IMPACTO DO TEMPO DE GERMINAÇÃO EM PARÂMETROS DE QUALIDADE DO MALTE DE CEVADA: ESTUDO DE CASO**. [s.l: s.n.].

SILVA, L. A. et al. Solubilidade e reatividade de gases. **Química Nova**, v. 40, n. 7, p. 824–832, 1 ago. 2017.

SOBRAL, G.; ALMEIDA, D. E. **DIREITO AMBIENTAL INTERNACIONAL: 21ª CONFERÊNCIA DO CLIMA**. [s.l: s.n.].

SOUZA CAMPOS MORAES, G. **Produção de biomassa algal e extração de óleo a partir da microalga *Chlorella Vulgaris***. [s.l: s.n.].

TANCREDO TOMAZ, J. **Estudo de caso de melhoria na etapa de secagem de uma maltaria no RS**. [s.l: s.n.].

TOMAZ TANCREDO, J. **Estudo de caso de melhoria na etapa de secagem de uma maltaria no RS**. [s.l: s.n.].

VIEIRA CAMERINI, F. **MODELAGEM APLICADA AO PROCESSO DE BIOFIXAÇÃO DE CO<sub>2</sub> POR MICROALGAS**. [s.l: s.n.].

WIKIVERSITY. **Biorreatores**.

WILSON, J.; LAW, S. **Um Breve Guia sobre Aquecimento Global**. [s.l: s.n.].