



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**CAMPUS UFRJ DUQUE DE CAXIAS**

**PROFESSOR GERALDO CIDADE**



**FERNANDA ALMEIDA DA SILVA**

**UTILIZAÇÃO DA MICROALGA *NANNOCHLOROPSIS OCEANICA* PARA OBTENÇÃO DE  
CELULOSE**

**Duque de Caxias**

**2023**

FERNANDA ALMEIDA DA SILVA

UTILIZAÇÃO DA MICROALGA *NANNOCHLOROPSIS OCEANICA* PARA OBTENÇÃO DE CELULOSE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Duque de Caxias, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharelado em Ciências Biológicas: Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Silas Pessini Rodrigues.

**Duque de Caxias**

**2023**

## CIP - Catalogação na Publicação

S586u Silva, Fernanda Almeida da  
UTILIZAÇÃO DA MICROALGA NANNOCHLOROPSIS OCEANICA  
PARA OBTENÇÃO DE CELULOSE / Fernanda Almeida da  
Silva. -- Rio de Janeiro, 2023.  
69 f.

Orientador: Dr. Silas Pessini Rodrigues.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus  
Duque de Caxias Professor Geraldo Cidade, Bacharel  
em Ciências Biológicas: Biotecnologia, 2023.

1. Biotecnologia. 2. Nannochloropsis oceanica.  
3. celulose. 4. Universidade Federal do Rio de  
Janeiro. I. Rodrigues, Dr. Silas Pessini, orient.  
II. Título.

FERNANDA ALMEIDA DA SILVA

UTILIZAÇÃO DA MICROALGA *NANNOCHLOROPSIS OCEANICA* PARA OBTENÇÃO DE CELULOSE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Duque de Caxias, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharelado em Ciências Biológicas: Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Silas Pessini Rodrigues.

Aprovado em: 01 de agosto de 2023.

---

Prof. Dr. Silas Pessini Rodrigues (UFRJ)

---

Dr. Bruno Galler Kubelka (FURG)

---

Prof. Dr. Ronaldo Pedro da Silva (UFRJ)

Dedico este trabalho a Nestor Stringuini, meu primeiro mentor e a primeira pessoa que reconheceu minha curiosidade infantil. Nestor, a quem carinhosamente chamo de "Bahia" desde a infância, era seminarista e um dos homens mais sábios que já tive o prazer de conhecer. A ele sou profundamente grato e o censuro, pois, se não fossem as dezenas de livros, quebra-cabeças, poesias, lápis, borrachas e seu olhar amigável, que eu nunca havia experimentado antes, não teria sentido o prazer da busca pelo conhecimento. Recordo-me de perguntar a Bahia "Por que a planta é verde?", enquanto minha família atribuía a cor à vontade divina. A resposta de Bahia, "fotossíntese", foi um marco em minha vida. Embora lhe censure por trazer a dor da clarificação, sei que compartilhamos o sentimento de que o conhecimento é um tesouro inestimável. Obrigado por ser uma pessoa digna de senti-lo.

Poucas horas depois, estragado pela vigília, entrou na oficina de Aureliano e perguntou: “Que dia é hoje?” Aureliano respondeu que era terça-feira. “Conforme eu pensava”, disse José Arcádio Buendía. “Mas de repente percebi que continua sendo segunda-feira, como ontem. Olhe o céu, olhe as paredes, olhe as begônias. Hoje também é segunda-feira.” Acostumado às suas manias, Aureliano não deu importância. No dia seguinte, quarta-feira, José Arcádio Buendía voltou à oficina. “Isso é um desastre — disse. — Olhe o ar, ouça o zumbido do sol, igual ao de ontem e ao de anteontem. Hoje também é segunda-feira.”

(MÁRQUEZ, 2019).

## RESUMO

A indústria da moda é uma das cinco mais poluentes do mundo junto com outras fontes poluidoras como a monocultura, utilização de agrotóxicos, utilização de recursos hídricos, intoxicação crônica do solo e envenenamento de lençóis freáticos (NIINIMÄKI et al., 2020). Está também associada a mazelas sociais, por exemplo exploração de mão de obra análoga à escravidão (AMARAL; OMETTO, 2019). Em 2018, a produção mundial de fibras totais foi de 107 milhões de toneladas. Tal produção mais que dobrou nos últimos 20 anos, e deve atingir 145 milhões de toneladas até o ano de 2030. Diante da necessidade de maior produção de fibras têxteis e a limitação ambiental de plantio, é necessário o desenvolvimento de outras fontes de fibras menos ambientalmente custosas. O principal componente químico da fibra de algodão é o polímero de celulose, o composto orgânico mais abundante naturalmente que está presente em todos os biomas. A exploração de fontes alternativas para a produção deste polímero de relevância econômica e ambiental são de muita importância considerando as projeções futuras, nas quais as demandas de fibras podem superar a produção. Este trabalho teve como objetivo realizar o cultivo da microalga *Nannochloropsis oceanica* em utilizando meio de cultivo f/2 Guillard, para a determinação de curva de crescimento das microalgas através de espectrofotometria para determinar o comportamento do cultivado e posteriormente, purificação e extração de celulose. Para isso, o acompanhamento do cultivo foi realizado através de leituras de absorvância a 750nm em espectrofotômetro dos 6 reatores em Erlenmeyer de 250mL que foram montados. A revisão bibliográfica indica que é possível modular a concentração de compostos de interesse ao submeter as microalgas a fatores de stress. Os resultados positivos apresentados neste trabalho, gerados através de levantamento bibliográfico sobre metodologia de produção de celulose tendo as microalgas como fonte de produção, pode originar um método completamente novo de recuperação além de uma oportunidade importante para viabilizar a produção dos biocombustíveis em larga escala, podem vir a ser de interesse para a biotecnologia mundialmente.

**Palavras-chave:** Algodão. Biodiesel. Biomassa. Cultivo Microalgal. Monocultura.

## ABSTRACT

The fashion industry is one of the top five polluters in the world, along with other sources of pollution such as monoculture, use of pesticides, water resource depletion, chronic soil contamination, and poisoning of groundwater (NIINIMÄKI et al., 2020). It is also associated with social ills, such as the exploitation of slave labor (AMARAL; OMETTO, 2019). In 2018, the world's total fiber production was 107 million tons. This production more than doubled in the last 20 years and is expected to reach 145 million tons by the year 2030. Given the need for greater production of textile fibers and the environmental limitation of planting, the development of other, less environmentally costly fiber sources is necessary. The main chemical component of cotton fiber is cellulose polymer, the most abundant organic compound found in nature that exists in all biomes. The exploration of alternative sources to produce this economically and environmentally relevant polymer of significant importance considering future projections, in which fiber demands may exceed production. This work aimed to cultivate the microalgae *Nannochloropsis oceanica* using f/2 Guillard culture medium, to determine the growth curve of microalgae through spectrophotometry to determine the behavior of the cultivated algae and subsequently, purification and extraction of cellulose. For this, the culture monitoring was performed through absorbance readings at 750nm in a spectrophotometer of the 6 reactors in 250mL Erlenmeyer flasks that were assembled. The literature review indicates that it is possible to modulate the concentration of compounds of interest by subjecting microalgae to stress factors. The positive results presented in this work, generated through a literature survey on cellulose production methodology with microalgae as a production source, can lead to a completely new recovery method, as well as an important opportunity to make biofuel production viable on a large scale, which may be of interest to biotechnology worldwide.

**Keywords:** Cotton. Biodiesel. Biomass. Microalgal Cultivation. Monoculture.

## RESUMEN

La industria de la moda es una de las cinco más contaminantes del mundo, junto con otras fuentes de contaminación como la monocultura, el uso de pesticidas, la utilización de recursos hídricos, la intoxicación crónica del suelo y la contaminación de acuíferos (NIINIMÄKI et al., 2020). También está asociada con problemas sociales, como la explotación laboral similar a la esclavitud (AMARAL; OMETTO, 2019). En 2018, la producción mundial de fibras textiles totales fue de 107 millones de toneladas. Esta producción se ha más que duplicado en los últimos 20 años y se espera que alcance los 145 millones de toneladas en 2030. Dado que se necesita una mayor producción de fibras textiles y la limitación ambiental del cultivo, es necesario desarrollar otras fuentes de fibras que sean menos costosas en términos ambientales. El componente químico principal de la fibra de algodón es el polímero de celulosa, el compuesto orgánico más abundante naturalmente presente en todos los biomas. La exploración de fuentes alternativas para la producción de este polímero de importancia económica y ambiental es muy importante considerando las proyecciones futuras en las que la demanda de fibras puede superar la producción. El objetivo de este trabajo fue cultivar la microalga *Nannochloropsis oceanica* utilizando el medio de cultivo f/2 Guillard para determinar la curva de crecimiento de las microalgas a través de espectrofotometría y determinar el comportamiento del cultivo y posteriormente, la purificación y extracción de celulosa. Para ello, se realizaron lecturas de absorbancia a 750nm en un espectrofotómetro de los 6 reactores en Erlenmeyer de 250mL que se montaron. La revisión bibliográfica indica que es posible modular la concentración de compuestos de interés al someter las microalgas a factores de estrés. Los resultados positivos presentados en este trabajo, generados a través de la investigación bibliográfica sobre la metodología de producción de celulosa utilizando microalgas como fuente de producción, pueden dar lugar a un método completamente nuevo de recuperación, además de una importante oportunidad para hacer viable la producción de biocombustibles a gran escala, que puede ser de interés para la biotecnología a nivel mundial.

**Palabras clave:** Algodón. Biodiésel. Biomasa. Cultivo de Microalgas. Monocultivo.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Produção global de fibras em 2019, poliéster lidera a produção de fibras seguido pelo algodão em segundo e fibra celulósica sintética (MMCF) em terceiro.....	28
Figura 2: Produção mundial de fibras (em milhões de toneladas) de 1975 a 2015.....	29
Figura 3: Utilização de Agrotóxicos em países produtores, não somente exportadores, em quilo por hectare. ....	31
Figura 4: Países líderes do uso de pesticida mundialmente durante o ano de 2020. ....	32
Figura 5: Representação da associação dos macromoleculares componentes na parede celular. ....	37
Figura 6: Ilustração estrutura da fibra de celulose para o monômero de celulose. ....	40
Figura 7: Representação de moléculas de celulose unidas por ligações glicosídicas entre os monômeros. ....	41
Figura 8: Sistema de aeração por borbulhamento montado com os seguintes componentes: (1), um compressor de ar modelo Maxxi 9000; (2) mangueiras de silicone; (3) divisores de ar; (4) Erlenmeyers fundos redondos com capacidade para 250 mL. ....	46
Figura 9: Reatores de cultivo de <i>Nannochloropsis oceanica</i> em iluminação 200 $\mu$ mol, fotoperíodo 24:0 apresentaram morte celular por fototoxicidade e baixa taxa de aeração. .	47
Figura 10: Reator de <i>N. oceanica</i> apresenta crescimento discreto após a correção de iluminação de 400 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> s para 100-200 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> s. Formação de halo de aglomerados de células. ....	48
Figura 11: Intensificação da cor do meio resultante da maior taxa de crescimento microalgal após os ajustes de luminosidade e aeração com aumento notável de densidade óptica na leitura em espectrofotômetro.....	49
Figura 12: Curva produzida no período de 24 dias. O experimento foi realizado em triplicata e apresentou valores uniformes à exceção do Grupo 5. ....	50
Figura 13: Notável diferença entre a coloração dos reatores, no qual é possível a olho nu...	51

Figura 14: A primeira figura (A) possui a massa úmida, já a segunda (B), possui a massa seca, ambos pós-processo de centrifugação.....	53
Figura 15: Massa N. oceanica e pós processo de secagem e maceração. ....	55
Figura 16: Lipídios homogeneizados em clorofórmio extraídos das amostras 1 (cultivadas) e 2 (pasta comercial). ....	56
Figura 17: Resultado do processo de extração de lipídios Bligh e Dyer. Lipídios homogeneizados em clorofórmio extraídos das amostras 1 (cultivadas) e 2 (pasta comercial). A porção aquosa contém os lipídeos e o pellet, a porção proteica. ....	57
Figura 18: Breve análise sobre a situação e tendências das produções e mundial de algas, entre 1950-2019.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela contendo a composição do meio de cultura Guillard f/2. ....	21
Tabela 2: Valores de absorvância para apreciação. ....	52
Tabela 3: Determinação do peso de massa úmida e massa seca de <i>N. oceanica</i> cultivada em reatores. ....	54
Tabela 4: Determinação do peso de massa úmida e massa seca de amostra <i>N. oceanica</i> comercial. ....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira das Indústrias Têxteis
°C	Grau Celsius
CH <sub>4</sub>	Metano
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DO	Densidade ótica
FAO	Food and Agriculture Organization
g	Grama
GP	Grau de polimerização
GPa	Grade Point Average
h	horas
ha	Hectare
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kg	Quilograma
L	Litro
MFs	Microfibers

mL	Mililitro
mm	Milímetro
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MMCF	Man-made cellulose fibers
NaOH	Hidróxido de sódio
nm	Nanômetro
OH	Hidroxila
OIT	Organização Internacional do Trabalho
RPM	Rotações por minuto
UV	Ultravioleta
$\alpha$	Alfa
$\Delta$	Delta
$\mu\text{mol}$	Micromol

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1	MÉTODOS DE CULTIVO .....	21
3.1.1	Crescimento de <i>N. oceanica</i> .....	21
3.1.2	Iluminação .....	22
<b>4</b>	<b>ANÁLISE SOBRE O CONTEXTO HISTÓRICO DA INDÚSTRIA TÊXTIL .....</b>	<b>23</b>
4.1	A INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL .....	23
4.2	CONTEXTO HISTÓRICO.....	23
4.3	CONTEXTO DA COTONICULTURA NO BRASIL .....	26
<b>5</b>	<b>DADOS DAS FIBRAS TÊXTEIS EM CARÁTER GLOBAL.....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>A PROBLEMÁTICA DOS AGROTÓXICOS .....</b>	<b>31</b>
6.1	RELAÇÃO ENTRE OS TECIDOS SINTÉTICOS E O ACÚMULO DE MICROPLÁSTICOS NOS LEITOS .....	35
<b>7</b>	<b>MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS ABUNDANTES DA FLORA BRASILEIRA.....</b>	<b>37</b>
7.1	BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR.....	37
7.2	COCO.....	38
7.3	BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE .....	39
7.4	A CELULOSE E AS POSSIBILIDADES DE MATERIAIS E TECIDOS COMPÓSITOS .....	40
<b>8</b>	<b>A NANNOCHLOROPSIS OCEANICA .....</b>	<b>42</b>
8.1	O MATERIAL CELULÓSICO .....	43

<b>9</b>	<b>MÉTODO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE UTILIZANDO A MICROALGA <i>NANNOCHLOROPSIS OCEANICA</i></b>	<b>45</b>
9.1	PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE CEPAS E NUTRIENTES	45
9.2	CULTURA DE <i>N. OCEANICA</i>	45
9.3	INOCULAÇÃO 1	46
9.4	INOCULAÇÃO 2	47
9.5	CURVA DE CRESCIMENTO	50
9.5.1	Cálculo de tempo de geração	52
9.6	PROCESSO DE REMOÇÃO DE MEIO E SECAGEM DAS MICROALGAS	53
9.6.1	<i>Nannochloropsis oceanica</i> cultivadas em laboratório	53
9.6.2	<i>Nannochloropsis oceanica</i> comercial	55
9.7	EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE LIPÍDEOS	55
9.7.1	Extração de lipídeos	55
9.7.2	Resultado da extração de lipídios	57
<b>10</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS</b>	<b>58</b>
10.1	CONCLUSÕES	58
10.2	PERSPECTIVAS FUTURAS	59
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O impacto ambiental da indústria têxtil depende primeiramente do tipo de fibra têxtil produzida. Embora os tipos e níveis de impactos que ocorrem variem dependendo do tipo de fibra têxtil produzida, os impactos ambientais estão sempre presentes (BARBOSA et al. 2016).

As fibras têxteis constituem um subgrupo de microplásticos e se originam em grande parte nas lavagens domésticas, visto que as lavadoras não contam com filtros específicos para a retenção deste tipo de partícula (NAPPER; THOMPSON, 2016). Os centros de tratamento de esgoto e águas residuais também não são preparados para reter esses materiais, que ao entrar no ambiente, podem atingir concentrações de centenas de partículas por metro cúbico, podendo ser ingeridas por diversas espécies.

As fibras sintéticas de lavagem doméstica já são consideradas parte dos resíduos no meio ambiente e recentemente receberam prioridade (VERSCHOOR et al., 2014) como fonte dispersora de microplásticos. A necessidade é urgente para investigar os problemas associados a esse tipo de poluição. A perspectiva de aumento do consumo de tecidos sintéticos e lavagem doméstica vem reforçando essa urgência. Em teste de análise de quantidade de fibras, surgiram variações de acordo com o tipo de material onde verificou-se que o algodão liberou mais fibras, seguido do acrílico, poliamida e por último, poliéster (SALVADOR; SILVA, 2020).

Frente aos problemas que a exploração têxtil traz, seja ela de cunho social ou ambiental, os indicadores ambientais apontam uma grande desvantagem em questões têxteis. Isso reforça a importância da integração destes setores, para que ao trabalharem juntos para primeiro corrigir equívocos, também se concentrem nos fatores que alimentam para a poluição. Para o enfrentamento desta problemática, o desafio deve ser combatido contando com diversas áreas científicas que podem complementar as descobertas e auxiliar a mitigar a quantidade de fibras naturais e sintéticas que chegam aos leitos.

Em outros estudos como Costa et al. (2008) foi demonstrado que a fibra obtida da celulose de bagaço de cana chega a 80% de absorção de água, comparada a fibra de celulose comercial teve absorção de 70%. A capacidade do material de reter água em sua estrutura o torna interessante para certos tipos de aplicações têxteis e médicas, como suturas, sobretudo em feridas expostas ou com secreção. Dependendo da aplicação, as propriedades de

bioestabilidade e biodegradabilidade, é um material de notável aplicação em diversas áreas da saúde.

Considerando o atual contexto de saúde ambiental e a crescente necessidade por materiais de fabricação, torna-se essencial o desenvolvimento de um novo modelo de produção de fibras ambientalmente saudáveis ou de menor impacto poluidor. Nesse sentido, esta monografia abrange uma revisão do tema têxtil e seu impacto no meio ambiente, abordando questões atuais como monocultura, microplásticos e uso de agrotóxicos, além de propor uma alternativa para a produção de fibras por meio da utilização de biomassa microalgal como fonte de celulose. As microalgas possuem características distintivas, incluindo altas taxas de fixação de carbono. Esses organismos já são cultivados para a produção de compostos de interesse em indústrias como cosméticos e biocombustíveis. A biomassa microalgal desempenha um papel relevante na captura de CO<sub>2</sub>, o que contribui ainda mais para a produção de produtos derivados de biomassa, podendo tornar a produção de microalgas mais rentável, aumentar a absorção de carbono e gerar benefícios ambientais e econômicos.

No presente estudo, é apresentada a concepção de uma nova fonte de celulose ainda pouco explorada, mas que começa a receber atenção em periódicos e patentes de forma gradual. Essa abordagem poderá resultar em um novo método de fabricação de celulose proveniente de biomassas.

A proposta central deste estudo é a utilização de biomassa microalgal para a produção de celulose, um produto de grande relevância no setor industrial. Diversas indústrias já cultivam microalgas para diversos fins, como biocombustíveis, cosméticos, medicamentos e hormônios, entre outros. O presente trabalho utiliza a cepa *Nannochloropsis oceanica*, a qual possui uma literatura que claramente demonstra a possibilidade de sintetização de compostos de alto valor, como carotenoides, ácidos graxos, eicosapentaenoico e ácido araquidônico (HUERLIMANN; DE NYS; HEIMANN, 2010). A espécie *Nannochloropsis* sp. possui ampla distribuição geográfica no Brasil e é uma alga segura para o manejo e crescimento, evitando-se assim a introdução de novos microrganismos no ambiente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Esse projeto tem como objetivo prospectar a viabilidade de produção de celulose a partir da biomassa de *Nannochloropsis Oceanica*, uma microalga amplamente presente em ambientes aquáticos de água salgada e uma das principais cepas utilizadas para a produção de biodiesel devido a sua alta concentração de lipídeos e cuja biomassa restante do processo produtivo é tratada como resíduo industrial.

Um dos pensamentos principais que baseiam este trabalho, é transformar resíduos de biomassa em artigos valiosos; devido ao baixo custo e pronta disponibilidade de diversas biomassas, os resíduos podem ser convertidos em materiais de alto valor agregado, reduzindo custos de produção e a poluição ambiental. Para presente estudo utilizamos a microalga *Nannochloropsis Oceanica*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar a literatura científica relacionada a produção industrial de microalgas e patentes como o trabalho israelense (KREBS, 2019) envolvendo *N. oceanica*, e outras microalgas e assuntos relacionados a aproveitamento biomassa, os conceitos e técnicas de cultura da microalga e a elaboração de fibras têxteis utilizando microalgas produtoras de celulose como base.
- Demonstrar a necessidade da criação de um novo material têxtil ao revisar e apontar as problemáticas do plantio do algodão que supre a maior parte do consumo têxtil mundial (NIINIMÄKI et al., 2020).
- Cultivo de *N. oceanica* em laboratório.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um estudo de revisão bibliográfica da literatura, na qual foram percorridas seis etapas de investigação, que envolvem, segundo Sousa et al. (2017):

- 1) identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa para a elaboração da revisão integrativa; 2) estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos/amostragem ou pesquisa de literatura; 3) definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados/categorização dos estudos; 4) avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa; 5) interpretação dos resultados e, 6) apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

Incluíram-se artigos disponíveis na íntegra, nos idiomas inglês e português. Excluíram-se os que perpassavam as temáticas propostas e os que apresentavam duplicata. Os elementos extraídos foram: a presença de celulose; os melhores métodos de cultivo; métodos de extração e purificação, disponíveis na literatura atual.

É uma abordagem ampla que engloba diferentes metodologias, conceitos, revisões teóricas e problemas metodológicos de uma temática específica (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010). A busca e análise foi realizada por uma revisora, no período de janeiro de 2020 a outubro de 2022.

Dessa forma, foi realizada uma busca ativa nas bases de dados Google Scholar e The Lens. Os descritores selecionados para operacionalização utilizadas foram: “microalgas”, “celulose”, “biomassa de microalgas”, “biorrefinarias”, “biocombustíveis”, “produção de biocombustíveis”, “potencial biotecnológico de microalgas”, “produção de biocombustíveis de microalgas”, “as vantagens e desvantagens do uso de microalgas em relação ao uso de plantas abundantes e outros rejeitos vegetais”, “*Nannochloropsis oceanica*”, “*Nannochloropsis sp*”. A combinação foi realizada com a utilização do operador booleano “AND” utilizando combinações díspares destes termos, sendo “biomassa and microalgas”, “biorrefinarias and microalgas”, “microalgas and cellulose”, “biomassa and biocombustíveis” e seus equivalentes no idioma inglês.

### 3.1 MÉTODOS DE CULTIVO

#### 3.1.1 Crescimento de *N. oceanica*

O meio f/2 é atualmente o meio mais utilizado para o cultivo da maioria das espécies de microalgas marinhas. Entretanto, esse meio possui composição complexa (Tabela 1), o que torna seu custo mais elevado.

Tabela 1: Tabela contendo a composição do meio de cultura Guillard f/2.

<b>Composição do meio de cultura Guillard f/2 (A x 1000)</b>	
<b>Composição</b>	<b>mg/L (A)</b>
CaCl <sub>2</sub> . 2H <sub>2</sub> O	36,76
MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	36,97
NAHCO <sub>3</sub>	12,60
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	8,71
NaNO <sub>3</sub>	85,01
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> . 9H <sub>2</sub> O	28,42
<b>Micronutrientes</b>	<b>mg (do composto)/L</b>
Na <sub>2</sub> EDTA	4,36
FeCl <sub>3</sub> . 6H <sub>2</sub> O	3,15
CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O	0,01
ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	0,022
CoCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O	0,01
MnCl <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	0,18
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> . 2 H <sub>2</sub> O	0,006
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,0
<b>Vitaminas</b>	
Tiamina . HCl	0,1 mg/L
Biotina	0,5 µg/L

B12	0,5 µg/L
-----	----------

Fonte: Adaptação dos autores Guillard e Lorenzen (1972).

O meio utilizado para substituir o meio f/2, foi um composto por fertilizantes agrícolas (YAMASHITA; MAGALHÃES, 1984). O custo desse recurso é menor e os compostos utilizados são menos ricos, sendo mais fáceis de manusear. Os componentes do meio fertilizante precisam atender às necessidades metabólicas das microalgas cultivadas, que geralmente incluem uma fonte de nitrogênio, fósforo e ferro.

No presente estudo utilizou-se o meio Guillard f/2 Algasul™ (Tabela 1) para o cultivo das microalgas *N.oceanica*.

### 3.1.2 Iluminação

No presente estudo, a luz utilizada é a luz visível artificial, que pode ser um fator limitante para o crescimento das microalgas, tanto em baixas quanto em altas intensidades. Irradiação intensa de luz visível pode gerar um número significativo de elétrons energéticos e contribuir para a formação de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), o qual pode danificar a estrutura celular da microalga, levando à morte celular (CHOJNACKA; NOWORYTA, 2004). No experimento em questão, foram empregados diferentes tipos de iluminação, e as adaptações realizadas serão discutidas e exemplificadas ao longo deste texto.

## 4 ANÁLISE SOBRE O CONTEXTO HISTÓRICO DA INDÚSTRIA TÊXTIL

### 4.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL

O setor têxtil é compreendido por ser extremamente relevante para a economia brasileira e dessa forma uma importante fonte de empregabilidades. Este setor vem crescendo, cerca de 35% ao ano, de acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Por ser uma importante ferramenta econômica e estar em franca expansão ele vem procurando fibras cada vez menos impactantes para o meio ambiente e que estas tenham uma boa disponibilidade e acima de tudo aceitabilidade, no mercado consumidor (RAMOS et al., 2020).

Segundo os dados da Associação Brasileira das Indústrias Têxteis (ABIT), disponibilizados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2017), o Brasil não é tão somente produtor de confecções, mas também de fibras diversas. Assim sendo, estima-se que o país tenha 32 mil empresas dos mais variados portes em todo o território nacional. Desta maneira, este setor vem empregar aproximadamente 1,7 milhões de brasileiros, de áreas distintas, entre costureiros, supervisores, especialistas em passar e em acabamento, operadores de computer aid design, especialistas em corte e modelagem, engenheiros de produção, estilistas, designers e outros tipos de profissionais (PIANA; COSTA, 2020).

Sabe ainda que o setor interno, consome cerca de 97,5%, da produção textual e dessa forma, o restante da produção é exportado para os mais diversos países como China, Estados Unidos, Índia entre outros. Ainda é importante destacar que as altas cargas tributárias de países exportadores de tecido brasileiro, fez com que países asiáticos, começassem a ser contemplados com os tecidos, cortes e roupas brasileiras (COSTA et al., 2020).

Sabe ainda que o setor interno consome cerca de 97,5% da produção textual e, dessa forma, o restante da produção é exportado para os mais diversos países como China, Estados Unidos, Índia entre outros (COSTA, et al., 2020).

### 4.2 CONTEXTO HISTÓRICO

Para elucidar o panorama contemporâneo da produção de algodão no Brasil, é necessário recorrer a uma breve análise histórica, que tem início com a crise enfrentada pela cotonicultura em sua região de origem (SANTOS et al., 2021).

A cotonicultura no Brasil, enquanto atividade econômica, tem origem na época colonial, tendo seu início datado na segunda metade do século XVIII. Todavia, foi na década de 1930 que ocorreu a intensificação do seu desenvolvimento, consolidando o país como um significativo exportador da fibra. A configuração espacial e técnica delineada a partir desse momento determinou a dinâmica da produção nacional até a safra de 1997/98, período que marcou o ápice dessa atividade no país (CAVALCANTE; TANNÚS, 2020).

A partir desse momento, o Brasil ingressou em um novo contexto, no qual se estabeleceu uma cotonicultura regionalmente centralizada e tecnicamente distinta da anterior. O desenvolvimento recente da cotonicultura nacional é fruto de sua transposição do Sul e Sudeste do país para o Cerrado, onde a produção se enquadra em um modelo denominado Produtivista, igualmente reconhecido como "Cotonicultura Empresarial" (DANTAS et al., 2021).

A partir da década de 1930, em substituição à crise do café, a produção de algodão se desenvolveu intensamente na Zona Meridional do Brasil, principalmente nos estados do Paraná e São Paulo, que durante décadas foram os principais produtores do país. Nessa época, as condições que regiam a cotonicultura eram distintas da estrutura predominante na atualidade (CAMPOS, 1994).

Os empreendimentos produtivos eram executados em propriedades de pequeno e médio porte, surgidas do fracionamento das fazendas cafeicultoras, nas quais era comum a adoção de um sistema de trabalho baseado em parcerias ou arrendamentos, caracterizado por uma alta demanda por mão de obra e por um desenvolvimento tecnológico relativamente incipiente (FILLETI, BOLDRIN, 2020). A partir da década de 80, a abertura econômica foi o catalisador do processo de declínio do modelo tradicional. Os impactos sobre a produção do sul-sudeste foram significativos, ocasionando uma diminuição expressiva no plantio da fibra ao longo da década de 90 (PIMENTEL, 2020).

O processo de exposição do mercado brasileiro ao algodão internacional com subsídios na origem, causou a transição do Brasil de grande exportador para principal importador da fibra do algodão durante a década de 1990, com um consumo que chegou a representar cerca de 6% das importações globais da commodity (SALVADOR; SILVA, 2020). A possibilidade de acesso a financiamentos externos vantajosos, as facilidades na aquisição de equipamentos em virtude do câmbio sobrevalorizado e a livre circulação no mercado internacional propiciaram

condições favoráveis para a indústria têxtil brasileira intensificar a importação de fibras naturais (MOURA et al., 2020).

Considerando tal conjuntura, os impactos na cotonicultura brasileira foram profundos. Quatro efeitos nocivos foram observados no período: a diminuição da produção nacional de quase um milhão de toneladas para 420 mil toneladas entre 1981 e 1993; o aumento das importações para 500 mil toneladas em 1993, representando 60% do consumo interno; a redução da área de plantio, que passou de 4,1 milhões de hectares em 1981 para 1,3 milhões de hectares em 1993 (VIANA et al., 2020); a diminuição da área de plantio no Nordeste de 3,2 milhões de hectares em 1977 para 1,2 milhões de hectares em 1987; e a eliminação de 800 mil empregos no período de 1985 a 1994, dando início a um êxodo rural intenso (CAVALCANTE; TANNÚS, 2020).

Através de uma análise no contexto atual, a produção de algodão no Brasil reflete a transição da cotonicultura do eixo Sul-sudeste para os Cerrados. Essa mudança se evidencia pela redução do cultivo nos estados de São Paulo e Paraná. Entre 1991 e 1997, a área cultivada no Paraná diminuiu de 709 mil para 59,2 mil hectares, e a produção sofreu uma queda de 335 mil para 40,4 mil toneladas de algodão em caroço. Já em São Paulo, a área plantada reduziu de 230 mil para 78,5 mil hectares, e a produção de 130,8 para 54,4 mil toneladas (DANTAS et al., 2021).

O processo de queda da cotonicultura tradicional se sucedeu em decorrência da notável inaptidão da estrutura produtiva em tornar o algodão brasileiro competitivo em relação ao algodão estrangeiro. Foi observado durante esse período que a lavoura de algodão nos eixos tradicionais demonstravam elevado grau de produtividade, e absorviam tecnologia desenvolvida nos centros de pesquisa. Deste modo, as contrariedades confrontadas pelo algodão brasileiro não estavam diretamente associadas à sua incapacidade intrínseca (FILLETI; BOLDRIN, 2020).

O cultivo do algodão foi deslocado para a região dos Cerrados em virtude das condições edafoclimáticas favoráveis para o estabelecimento de culturas em grande escala, o que conferiu à cotonicultura maior competitividade (GONÇALVES, 2007).

### 4.3 CONTEXTO DA COTONICULTURA NO BRASIL

A difusão do cultivo do algodão em larga escala para fins comerciais teve início durante a Primeira Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII. Naquela época, a cotonicultura ganhou importância como principal fonte de fibra têxtil, substituindo a lã na produção industrial inglesa. A partir desse momento, o algodão assumiu um papel preponderante na indústria têxtil mundial, sendo cultivado em mais de 100 países e impulsionando consideráveis ciclos de negociação de importação e exportação (SANTOS et al., 2021).

A chamada Revolução Verde, que se iniciou nos anos 70, impulsionou significativamente a produção mundial de algodão. A adoção massiva de fertilizantes, agroquímicos, maquinários e sementes melhoradas resultou em um notável incremento na produtividade média do algodão em pluma entre as décadas de 70 e 2000. No início dos anos 70, a produtividade média mundial era de 377 kg/ha, enquanto em 2001 alcançou a marca de 601 kg/ha (CAVALCANTI; SANTOS, 2021).

Diferentes métodos de cultivo do algodão resultam em produtividades diversas, o que pode ser constatado através da análise das médias de produção nos principais países produtores. Em 2001, a China, os Estados Unidos, a Índia, o Paquistão, o Uzbequistão e a Turquia registraram produtividades médias de 1.089 kg/ha, 708 kg/ha, 304 kg/ha, 576 kg/ha, 662 kg/ha e 1.137 kg/ha, respectivamente (RAMOS et al., 2020).

Apesar do progresso tecnológico na agricultura ter fornecido um bom nível de eficiência produtiva para as plantações de algodão, isso não impediu que a cotonicultura global experimentasse uma crise aguda em grande parte da década de 90. Embora a demanda por fibras têxteis tenha aumentado, não houve impacto significativo na elevação do consumo de fibras de algodão, resultando em um período de baixas na produção e na comercialização da fibra (FILLETI; BOLDRIN, 2020).

Informações mais recentes acerca da dinâmica do mercado global do algodão indicam que houve poucas alterações significativas. Em 2006, a produção mundial atingiu a marca de 25,95 milhões de toneladas, enquanto a demanda global pela fibra superou ligeiramente esse valor, totalizando 26,26 milhões de toneladas. Em decorrência aos estoques acumulados em

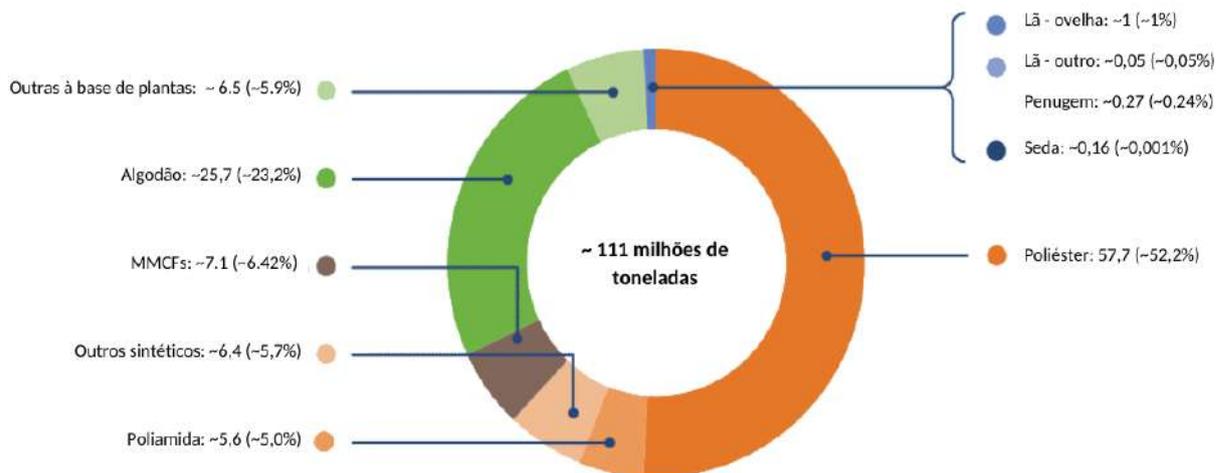
safras anteriores, o excedente mundial exportável atingiu 12,45 milhões de toneladas (PIANA; COSTA, 2020).

## 5 DADOS DAS FIBRAS TÊXTEIS EM CARÁTER GLOBAL

Embora haja uma grande quantidade de nações produtoras, grande parte da produção global de algodão está concentrada em um pequeno grupo de países. Em 2006, a cotonicultura era predominantemente exercida por seis países: China, Estados Unidos, Índia, Paquistão, Uzbequistão e Brasil. De maneira conjunta, esses países responderam por 83% da produção mundial, o que corresponde a 21,4 milhões de toneladas (SANTOS et al., 2021).

Em 2019, a produção global de fibras gerais foi de cerca de 111 milhões de toneladas, a produção de fibra mais que dobrou nos últimos 20 anos e deve crescer em mais 30% até 2030 se o crescimento estimado não for modificado (Figura 1).

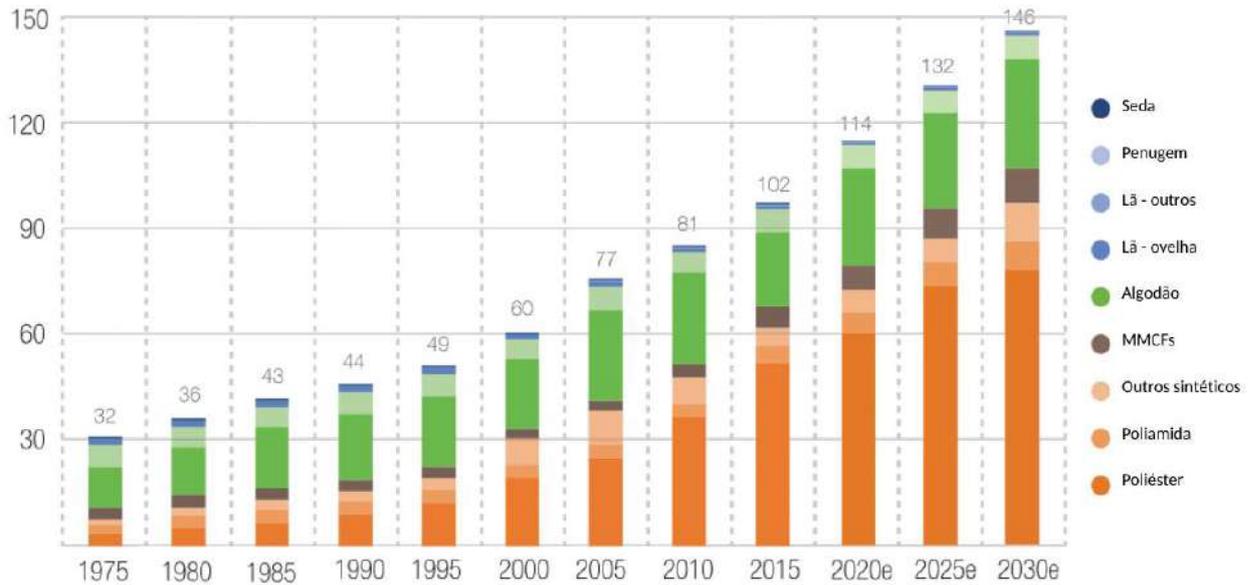
Figura 1: Produção global de fibras em 2019, poliéster lidera a produção de fibras seguido pelo algodão em segundo e fibra celulósica sintética (MMCF) em terceiro.



Fonte: Adaptado de Textile Exchange (2020).

As fibras sintéticas dominaram o mercado de fibras desde meados da década de 1990, quando ultrapassaram o algodão em volume (Figura 2). Com aproximadamente 70 milhões de toneladas de fibras sintéticas, essa classe de fibras foi responsável por aproximadamente 63% da produção global de fibras em 2019.

Figura 2: Produção mundial de fibras (em milhões de toneladas) de 1975 a 2015.



Fonte: Adaptado de Textile Exchange (2020).

O poliéster isolado, tinha participação de mercado de cerca de 52% da produção global total de fibra. Aproximadamente 58 milhões de toneladas de poliéster foram produzidas em 2019. É necessário ressaltar que o impacto dos microplásticos - um importante problema ambiental associado às fibras sintéticas.

As microfibras são liberadas principalmente no meio ambiente durante a lavagem doméstica e industrial de têxteis sintéticos (poliéster, poliamida, polipropileno e acrílico) e em conexão com a fabricação e descarte de têxteis (HENRY et al., 2019). É provável que a contribuição ambiental dos MFs (*man-made plastic-derived microfibers*) aumente devido ao crescimento constante da produção têxtil sintética.

O algodão é a segunda fibra mais relevante quando falamos de volume. Com cerca de 26 milhões de toneladas, teve uma participação de mercado de aproximadamente 23% da produção global de fibra em 2019. Uma categoria de fibras cada vez mais importante são as fibras de celulose artificiais (MMCF), com um volume de produção global de aproximadamente 7 milhões de toneladas em 2019 e uma participação de mercado de aproximadamente 6% (TEXTILE EXCHANGE, 2019).

A poliamida foi a segunda fibra sintética mais utilizada, sendo responsável por 5,6 milhões, representando 5% do mercado global de fibra em 2019. A lã representou cerca de

1% do mercado, tendo volume de produção mundial de aproximadamente 1 milhão de toneladas.

A participação de mercado de outras fibras vegetais, como juta, linho, cânhamo etc. foi de cerca de 6%.

O aumento da produção de fibras tem implicações significativas para as pessoas e o planeta. Há uma consciência crescente da necessidade urgente de um uso mais responsável dos recursos naturais. mas a mudança não está acontecendo na escala e velocidade necessárias (TEXTILE EXCHANGE, 2019).

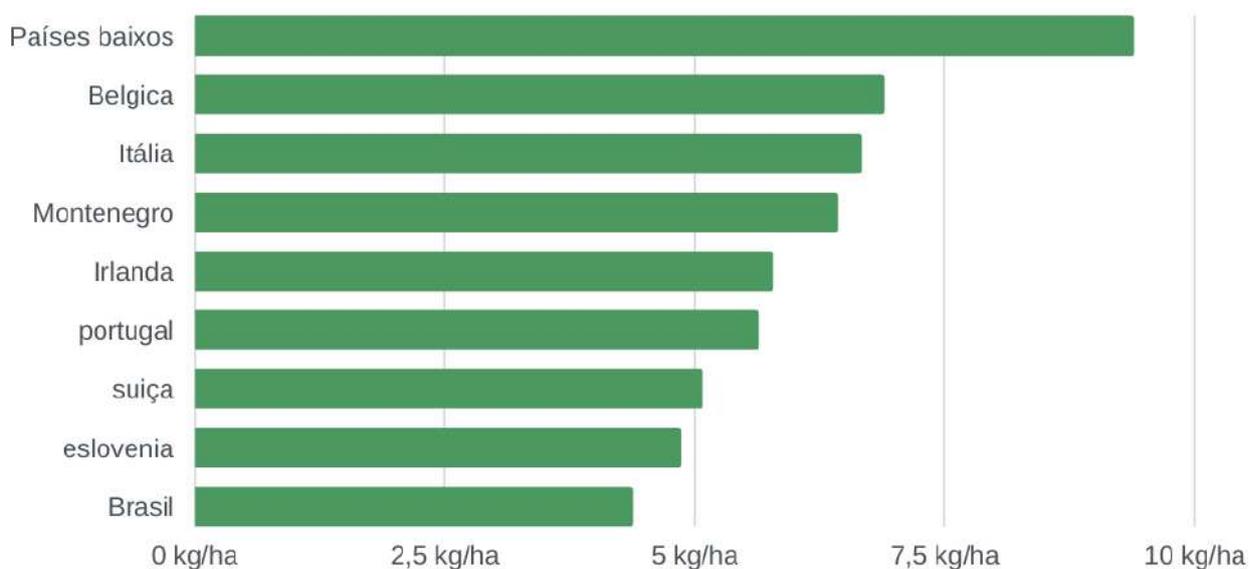
## 6 A PROBLEMÁTICA DOS AGROTÓXICOS

Agrotóxicos são produtos químicos sintéticos usados para controlar as doenças provocadas por vetores que chamamos de “pragas” como insetos, lagartas, fungos entre outros com a justificativa de controlar as doenças disseminadas, tanto em ambiente rural quanto urbano (BRASIL, 2002; INCA, 2021).

O emprego de defensivos agrícolas teve origem no Brasil durante as décadas de 60 e 70, tendo sido inicialmente utilizados para o controle de vetores na saúde pública. A partir do desenvolvimento de equipamentos e produtos químicos agrícolas, notadamente durante a Revolução Verde, houve um crescente emprego destes agentes na agricultura, para o processo de produção (CAVALCANTI; SANTOS, 2021).

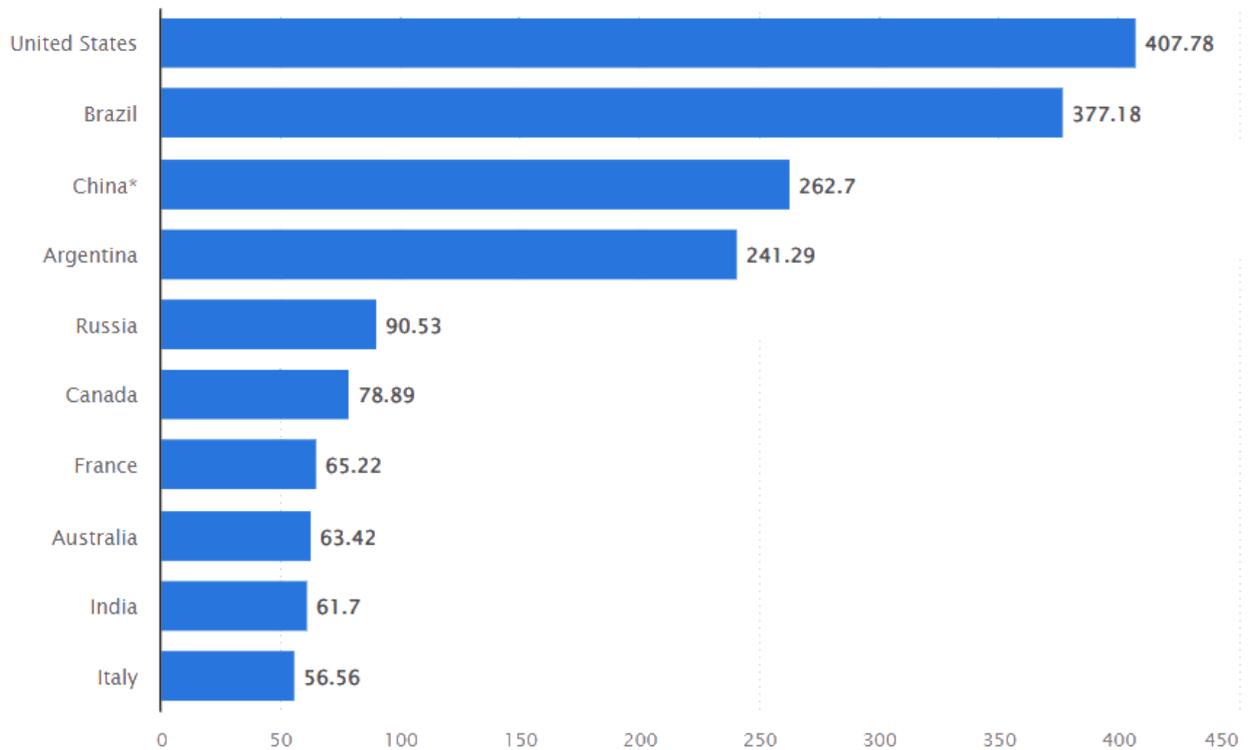
Apesar do Brasil seja visto como um “usuário racional” de agrotóxicos como é apresentado na Figura 3, se comparado aos maiores utilizadores por hectare, as dimensões continentais do país o colocam automaticamente segundo maior usuário de agrotóxicos do planeta, perdendo somente para os EUA como mostrado na Figura 4. Nesse sentido, é fundamental compreender que o uso crônico desses agroquímicos é cumulativo e geram danos ambientais que podem afetar regiões e pessoas de diversas formas.

Figura 3: Utilização de Agrotóxicos em países produtores, não somente exportadores, em quilo por hectare.



Fonte: Adaptado de FAO (2016).

Figura 4: Países líderes do uso de pesticida mundialmente durante o ano de 2020.



Fonte: FERNÁNDEZ (2022).

Se, por outro lado, o uso de agrotóxicos promove o aumento da produção de alimentos, seu impacto na saúde humana e no meio ambiente é cada vez mais sentido. O uso indiscriminado das últimas décadas resultou em sérios danos e efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente, apesar de seus efeitos benéficos nos ganhos de produção (DIAS; BELUSSO; VASQUES, 2021).

O Brasil é está na lista dos maiores produtores agrícolas do mundo, e quando se compara o Brasil com países chamados de primeiro mundo em relação ao emprego de agrotóxicos por hectare, tem se feito uso racional destes defensores, mesmo em um ambiente temperado que favorece a incidência de pragas, o que promove a colheita de múltiplas safras anualmente (CUNHA; OLIVEIRA, 2019). Entretanto, nos últimos cinco anos, 2.382 novos agrotóxicos vieram a ser registrados no Brasil (HESS; NODARI, 2022). O ano de 2021 bateu o recorde histórico registrada pelo Ministério da Agricultura desde a década 2000, registrando 562 novos agrotóxicos.

Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), os agrotóxicos causam 70.000 intoxicações agudas e crônicas a cada ano, gerando mais mortes nos países em desenvolvimento. Outros sete milhões de pessoas com doenças agudas e crônicas não fatais

estão registradas. O Brasil é o país com maior consumo desses produtos desde 2008, graças ao desenvolvimento do setor agropecuário no setor econômico, e o país tem sérios problemas com as aplicações de agrotóxicos. Uso de agrotóxicos já banidos de vários outros países continuam a ser utilizados sem controle em muitas regiões (CARNEIRO et al., 2015).

Intoxicações por agrotóxicos podem provocar diminuição das defesas imunológicas, anemia, impotência sexual, cefaleia, insônia, alterações de pressão arterial, distímias e distúrbios de comportamento. Estas manifestações são frequentes entre os agricultores, determinando, por vezes, a proibição médica do trabalho na lavoura e a orientação para outro tipo de atividade profissional. (...) Infelizmente, são escassos os estudos de base populacional sobre as características da utilização ocupacional ou sobre as intoxicações por agrotóxicos. Cabe ressaltar que o uso indevido de pesticidas contribui intensamente para a degradação ambiental, além de ser frequente a ocorrência de intoxicações ocupacionais, constituindo um dos principais problemas de saúde pública no meio rural brasileiro (SOUZA et al. 2011).

O algodão é a quarta cultura que mais consome agrotóxicos no Brasil, com destaque para o glifosato, que representa mais da metade dos agrotóxicos vendidos no país. (BOMBARDI, 2017), um produto de alta toxicidade com evidência de carcinogenicidade e outros malefícios à saúde humana. O estado do Mato Grosso sozinho, consumiu aproximadamente 38 mil toneladas de glifosato em 2014 (BOMBARDI, 2017). Um estudo de 2018 com mulheres expostas ao glifosato no estado de Uruçuí (sul do Piauí), região de cultivo de soja, milho e algodão, estimou que uma em cada quatro gestantes da cidade sofreu aborto espontâneo e 83% das mães tinham o leite materno contaminado (FELIZARDO, 2018).

A estimativa de aplicação por hectare de algodão é a média de 28L de pesticidas por safra<sup>1</sup>, o que corresponde a 42% do custo de produção total da fibra de algodão. Culturas como soja, arroz e milho consomem, respectivamente, 12L/ha, 10L/ha e 6L/ha.

Além do uso de produtos defensores agrícolas, temos ainda químicos impactantes nas áreas de alvejamento, tinturaria e estamperia, deve-se considerar em especial o uso de pesticidas e de agrotóxicos nas monoculturas tradicionais de algodão, causando doenças nos trabalhadores rurais. A exposição vai além dos limites das plantações, deixando alimentos e água contaminados não só para os trabalhadores rurais, mas também para a população ou consumidores que vivem próximos a essas lavouras.

---

<sup>1</sup> O ciclo do algodão dura em média de 130 e 220 dias, dependendo do método de cultivo. Possui cinco fases fenológicas, sendo estas as etapas do desenvolvimento e crescimento da cultura (ROSOLEM, 2001).

Casos específicos de contaminação por agrotóxicos ocorrem na população em geral, principalmente entre trabalhadores e moradores de áreas pulverizadas, mas também entre a população afetada por água e alimentos contaminados, configurando-se como uma forma de violência contra a saúde e a dignidade humana (CARNEIRO et al., 2015). No estado do Mato Grosso, foi constatada a presença de efeitos nos seres humanos decorrentes da exposição aos agrotóxicos, como intoxicações agudas, malformações congênitas e problemas respiratórios. Esses efeitos aumentaram entre 40% e 102% nos últimos dez anos, com uma tendência de aumento de 50% em relação à incidência anual estadual. Além disso, a ocorrência desses problemas de saúde estava diretamente relacionada com a produção temporária de culturas agrícolas, como soja, milho e algodão, e com a exposição aos agrotóxicos normalmente utilizados nessas lavouras (CARNEIRO et al., 2015).

Esses pesticidas possuem elevado grau de toxicidade e podem causar efeitos neurológicos tardios após a exposição aguda; como consequência da exposição crônica, os sintomas incluem turvação mental, fraqueza muscular e abatimento, além da possibilidade de haver correlação das contaminações com o aumento da taxa de suicídio nas áreas afetadas (PIRES; CALDAS; RECENA, 2005).

A cultura tradicional do algodão inclui o uso metódico e sistemático de agrotóxicos para remediar a ação de pragas como o bicudo. Com o objetivo de exterminar o inseto e gerar menores perdas e maior qualidade dos cultivos, faz-se uso de agrotóxicos que penetram e intoxicam o solo, afetam a microbiota, promove alterações na ciclagem de nutrientes, o que acarreta mudança na fertilidade dos solos e da pureza dos lençóis freáticos.

Ao realizar uma análise da cultura do algodão no Brasil, observa-se que ela requer uma parcela significativa de todos os pesticidas comercializados no país (PIRES; CALDAS; RECENA, 2005). Além disso, os principais grupos de defensivos agrícolas utilizados nas plantações de algodão são os compostos organofosforados e carbamatos (COUTO et al., 2021).

Os organofosforados são um grupo de compostos químicos amplamente utilizados em agropecuária como inseticidas, ocasionando intoxicações acidentais em animais e humanos, e mesmo sendo utilizados em tentativas de suicídio. A toxicidade desses produtos decorre sobretudo de insuficiência cardiorrespiratória por comprometimento do sistema nervoso autônomo (CAVALIERE et al., 1996).

Os carbamatos usados com inseticidas são compostos anticolinesterásicos com variado grau de toxicidade para o ser humano. A maioria das intoxicações por esses agentes ocorre por exposição acidental da derme. Entretanto, ocorrem também ingestões acidentais e suicidas (MEDEIROS et al., 2017).

Aproximadamente 90% de todas as fibras naturais consumidas em todo o mundo são compostas de algodão, o que o torna a fibra mais consumida em nível global. No Brasil, as fibras naturais correspondem a uma participação significativa de 71% na produção têxtil, enquanto as fibras sintéticas compõem cerca de 24% e as fibras artificiais representam apenas 5% do consumo total (BARREIRA; JÚNIOR, 2020).

## 6.1 RELAÇÃO ENTRE OS TECIDOS SINTÉTICOS E O ACÚMULO DE MICROPLÁSTICOS NOS LEITOS

Os autores Arthur, Baker e Bamford (2009), colocaram que o limite de tamanho dos microplásticos como sendo “partículas de plástico menores que 5mm”. este tamanho pode ser produzido pela indústria intencionalmente ou pela degradação de material plástico no geral.

Essa definição foi refinada quando Cole et al. (2011) distinguiram os microplásticos, de acordo com sua origem, em primários, que são produzidos para serem de dimensões microscópicas como as esferas esfoliantes de cosméticos, ou secundários, que são resultantes de processos de degradação e fragmentação no meio ambiente como degradação de garrafas e itens plásticos descartados e lavagens domésticas de roupas sintéticas como poliéster (FRIAS; NASH, 2019).

Quando falamos de poliéster, devemos destacar que se trata de plástico. Existe uma grande preocupação com a fauna e flora marinhas em decorrência da crescente quantidade de microplásticos nos mares, lagos, rios etc., que são oriundos da produção de poliéster bem como das lavagens domésticas de produtos cuja composição é de alguma porcentagem de poliéster, acrílico, nylon e outros materiais sintéticos. As dimensões dessa contaminação ainda não estão totalmente claras e, portanto, não são totalmente compreendidas.

A quantidade de microplástico no meio ambiente deverá aumentar nas próximas décadas; mesmo que novas emissões de detritos plásticos interrompesse a fragmentação de itens legados que já estão no meio ambiente, seria esperado um aumento da abundância (LAW; THOMPSON, 2014).

A contaminação por microplástico é altamente persistente, os efeitos decorrentes da interação de microplásticos e organismos vivos já foram amplamente discutidos na literatura, existem diversos e extensos trabalhos de informação sobre a necessidade de se reduzir a produção de microplásticos “na fonte”, o que inclui partículas, microesferas de fibras têxteis

liberadas pela indústria têxtil, cosmética e até mesmo nas lavagens domésticas. Quanto à biota, essas partículas podem causar efeitos físicos para desregular funções fisiológicas, o que pode levar a consequências fatais para os organismos dos ecossistemas aquáticos.

Os microplásticos atmosféricos podem assentar ou flutuar no solo devido ao movimento do vento e do ar. Devido ao seu pequeno tamanho, podemos inalar microplásticos diretamente (KAYA; YURTSEVER; BAYRAKTAR, 2018). Experimentos *in vitro* mostraram que a inalação de microplásticos induziu a lesões de aspecto bolhoso e a ativação de sinais apoptóticos em células epiteliais alveolares (YANG et al., 2021).

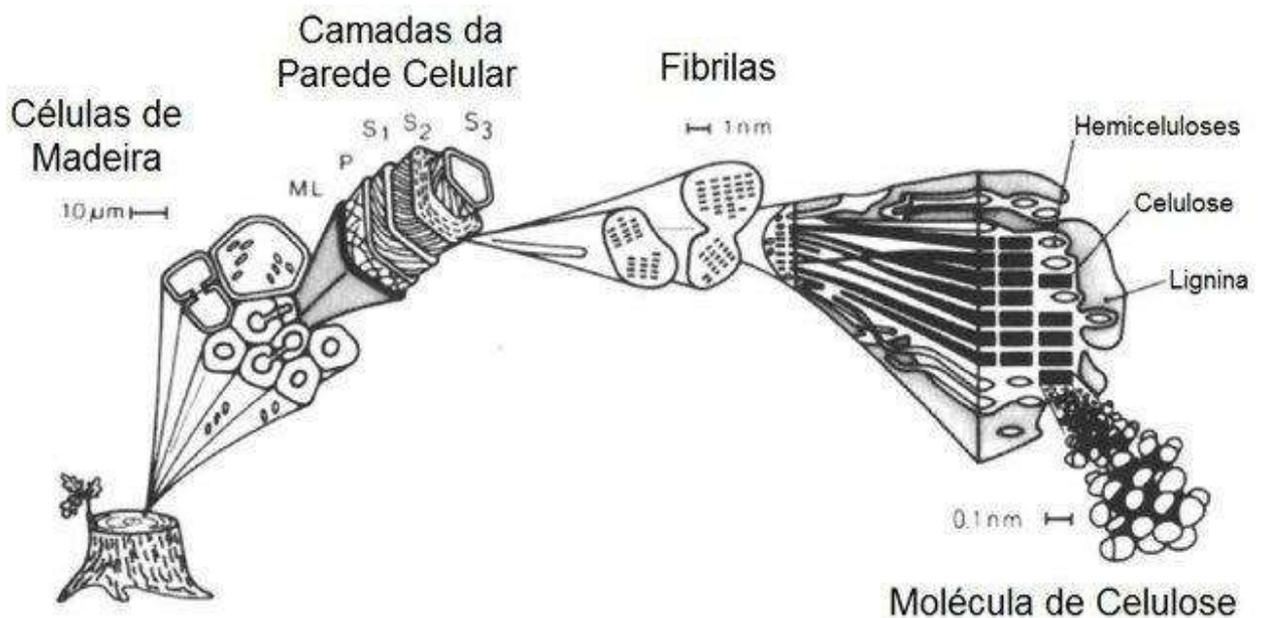
## 7 MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS ABUNDANTES DA FLORA BRASILEIRA

### 7.1 BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, produzindo 598.345,4 milhões de toneladas na Safra 2022/23, como publicado pela Associação da Indústria de Cana-de-Açúcar (CONAB, 2022), desse material se originam produtos como o açúcar e o etanol e após a produção dos produtos de interesse, sobram os resíduos onde o bagaço se destaca gerando milhões de toneladas por ano. A estrutura da cana de açúcar é composta por material lignocelulósico, o que quer dizer que a celulose e a lignina estão associadas (Figura 5).

Atualmente o bagaço da cana de açúcar é destinado principalmente à alimentação energética ao ser queimado em caldeiras que retroalimentam o sistema produtivo. (MARABEZI, 2009). O bagaço é um material lignocelulósico, constituído principalmente por lignina e celulose. Atualmente, a biomassa vegetal ou lignocelulósica é considerada na literatura uma das melhores fontes de energia renovável que pode substituir muitos combustíveis fósseis, por ser abundante na natureza e possuir propriedades físico-químicas suficientes.

Figura 5: Representação da associação dos macromoleculares componentes na parede celular.



Fonte: NOVO (2016, apud HOFFMANN; JONES, 1989).

Vários trabalhos correlacionam a quantidade de lignina da madeira com o valor calórico e mostram que quanto maior o teor de lignina encontrado, maior o valor calórico. Frente a isso, o uso da lignina na produção de energia é proposto (THOMAZ et al., 2007).

A lignina é um biopolímero amorfo que possui função estrutural, confere rigidez, resistência a microrganismos e constitui a propriedade de resistência mecânica nos vegetais, é formado por estruturas complexas e redes tridimensionais e está dispersa juntamente com a celulose. A composição média dos componentes que constroem a fibra vegetal da cana-de-açúcar é de 18% a 35% de lignina, 40% a 50% de celulose de 20% a 40% de hemiceluloses (SUN et al., 2011).

Mesmo diante de toda a versatilidade e possibilidades de utilização dos materiais lignocelulósicos, o processamento deste material a nível industrial é trabalhoso. Em decorrência aos processos de redução de tamanho das fibras cruas, chamados também de “processos de alta energia” como maceração, esmagamento, *crio-crushing*, entre outros, sendo estes necessários para a diminuição do material lignocelulósico em partículas de escala micrométrica (KUMAR; SHARMA, 2017). Apenas então, os processos químicos como tratamentos ácidos que utilizam ácido sulfúrico que é responsável pela hidrólise e dissolução da hemicelulose na forma de seus açúcares podem ser iniciados, e estas problemáticas dificultam a manipulação de materiais lignocelulósicos tornando o processo caro (MOURA, 2019).

## 7.2 COCO

No Brasil, a maioria dos subprodutos do coco são despejados em aterros sanitários, ocupando muito espaço. O tempo de biodegradação da casca de coco é muito longo, cerca de 8 anos. Os aterros de coco produzem metano (CH<sub>4</sub>), que contribui para o efeito estufa se não for reciclado para produção de energia.

A fibra de coco é altamente lignificada e sua composição química varia de acordo com as condições agroclimáticas e maturidade dos frutos. A fibra de coco é responsável por aproximadamente 32% da lignina, 45% da celulose, 20% da hemicelulose e 1,3% das cinzas (SALAZAR et al. 2011).

Alguns dos principais desafios envolvidos no processamento de fibras de coco para uso têxtil são o maior percentual de lignina e menor celulose, o que gera alta rigidez das fibras; e

a falta de coesão na espessura e comprimento, o que dificulta os procedimentos de fiação. Além destes problemas, vale salientar a necessidade de processos de alta energia como maceração, esmagamento, moagem, entre outros procedimentos para reduzir ao máximo o tamanho das partículas das cascas de côco.

Existem também problemas no processamento de material lignocelulósico, principalmente com relação a materiais lenhosos; Além dos processos de alta energia existe a utilização de ácidos, área de plantio, irrigação e uso de agrotóxicos

O processamento do material lignocelulósico é dificultado devido a abundância de lignina e outros componentes que constroem estruturas sólidas, o que gera maior dificuldade no processo de extração se comparado com extrair celulose de materiais microalgais.

### 7.3 BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE

As microalgas são organismos aquáticos que crescem tanto em água doce como salgada. Eles podem usar uma variedade de metabolismos de energia, como fotossíntese, respiração e fixação/assimilação de nitrogênio para manter suas estruturas, tornando algumas espécies organismos únicos com amplas aplicações biotecnológicas (CHISTI, 2007).

A biomassa microalgal é uma escolha à biomassa tradicionalmente usada para produção de biocombustíveis, podem ser produzidas durante todo o ano independente do clima, e demanda processos de baixo, dependendo da espécie com substratos relativamente baratos, possui composição bioquímica diversificada e propriedades semelhantes às biomassas tradicionais, e a forma de obtenção de biocombustíveis a partir de microalgas é semelhante aos processos já tradicionalmente usados. A facilidade nos procedimentos de extração produz altos teores de celulose cristalina, isso representa sucesso nos resultados (CARDOSO; VIEIRA; MARQUES, 2011).

Mais pesquisas são necessárias para modificar e melhorar cada etapa do cultivo de microalgas, a fim de reduzir custos e difundir os possíveis usos de biomassas. As algas são ainda fotossintetizantes com alta capacidade de captação de CO<sub>2</sub>. Nesse cenário, o aproveitamento do dióxido de carbono pelas microalgas, juntamente com a fabricação de biocombustíveis e substâncias de interesse, configura-se como uma importante opção para a promoção da geração de energia ecologicamente sustentável.

#### 7.4 A CELULOSE E AS POSSIBILIDADES DE MATERIAIS E TECIDOS COMPÓSITOS

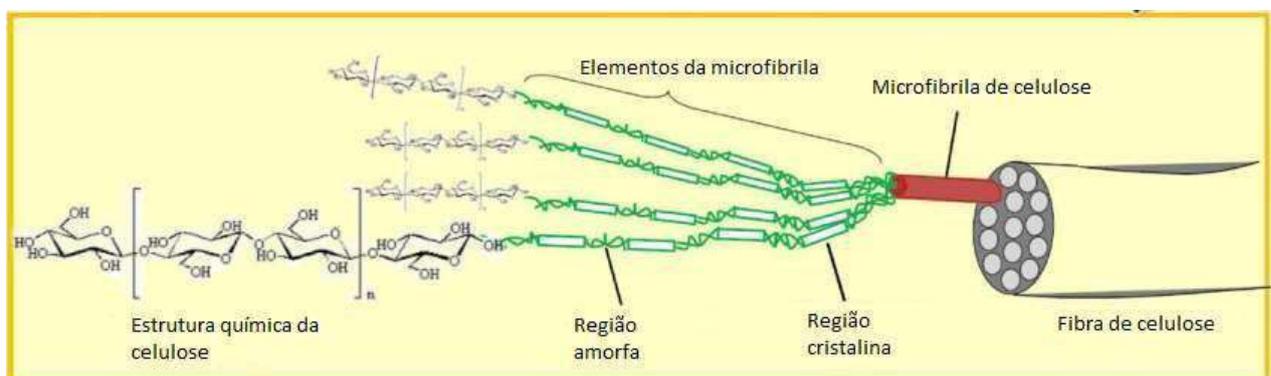
Os materiais compósitos têm sua origem frente a agregação de dois ou mais componentes distintos, como elastano, nylon, e outros compósitos que apresentam propriedades físicas e químicas diferentes, o que proporciona uma boa interface entre os materiais, como a malha. Sendo assim, ele é composto por fibras que são capazes de alcançar uma alongação perfeita fazendo com que a fibra venha se mostrar perfeita para que seu toque seja apropriado para a utilização, frente às suas inúmeras demandas.

Em virtude deste processo é importante compreender e destacar que, a aplicação da celulose, conjuntamente com um reforço termoplástico, vem sendo de grande interesse em virtude do seu grande potencial de mercado, esse se faz jus, em virtude de a indústria investir cada vez mais nesse processo e ele é o responsável ainda para a produção de novos compostos, tendo em vista que a sua composição tem propriedades diferentes das fibras como sisal, côco e bagaço de cana de açúcar.

Sendo assim, destaca-se que o uso da celulose tem benefícios múltiplos ainda mais por se tratar de uma matéria de fonte renovável e ser biodegradável. É importante destacar sua facilidade de utilização como material polimérico.

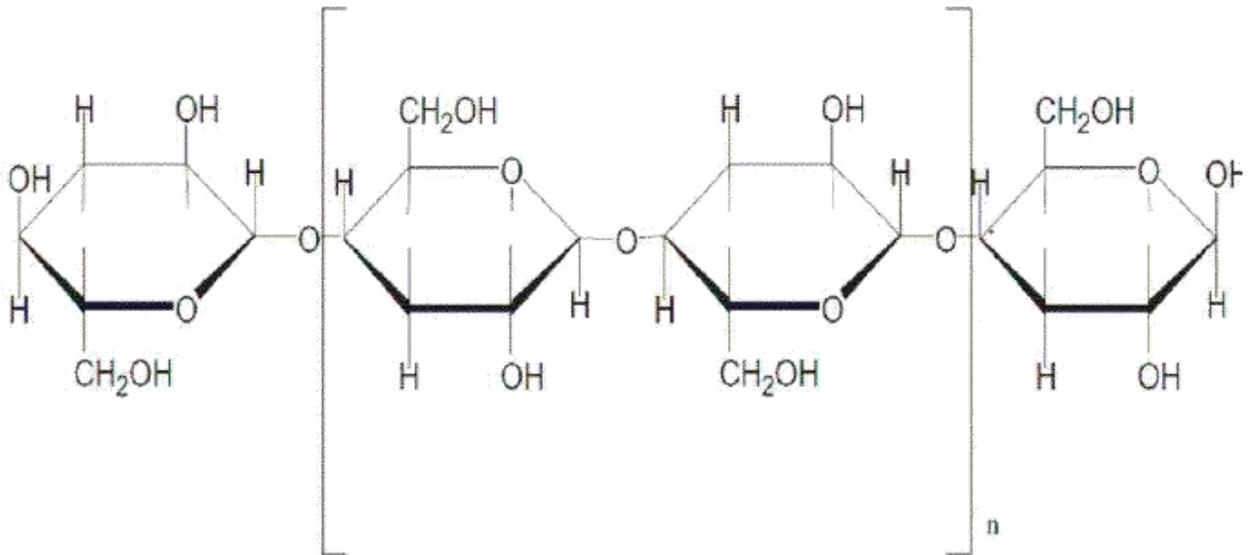
Deve-se destacar que a celulose possui partículas muito semelhantes a um bastonete e com diâmetro na escala de nanopartículas (Figura 6) e dessa forma elas vem constituir inúmeras cadeias de celulose que vem a ser combinadas por ligações múltiplas de hidrogênio intra e intermoleculares (Figura 7).

Figura 6: Ilustração estrutura da fibra de celulose para o monômero de celulose.



Fonte: Adaptado dos autores Zuppolini et al. (2022).

Figura 7: Representação de moléculas de celulose unidas por ligações glicosídicas entre os monômeros.



Fonte: Adaptado dos autores Klemm et al. (2022).

A resistência das fibras de celulose está diretamente relacionada ao seu arranjo molecular e ao grau de polimerização (GP). Quanto maior o grau de polimerização, maior a resistência da fibra.

Dessa forma destaca-se ainda que eles possuem vários tipos de morfologia, tamanho e cristalinidade. Essas estruturas de bastonetes são chamadas de nanofibrilas de celulose e são fibras de menores elementos, com ligações carbônicas. Seu diâmetro é estreito e em decorrência de seu alto modo de tração, peso leve, atividade de superfície e biocompatibilidade, atraem uma variedade imensa de aplicações.

Outra questão a ser destacada é que apesar dos métodos químicos e enzimáticos que vem sendo empregados antes do tratamento mecânico. Esses processos auxiliam mesmo brevemente no tratamento mecânicos, fazendo com que haja um auxílio positivo com relação ao consumo de energia, mas não positivo o suficiente no sentido econômico.

## 8 A NANNOCHLOROPSIS OCEANICA

*Nannochloropsis oceanica* é uma microalga fotoautotrófica pertencente à classe Eustigmatophyceae que contém altos níveis de compósitos de interesse industrial, tais como os lipídios que variam de 31% a 68% do peso seco. Damiani et al. (2008) e Pyle, Garcia e Wen (2008) relataram os seguintes componentes com técnicas de extração de lipídios da microalga: triglicerídeos: 37,74%; outros hidrocarbonetos não polares isoprenos: 8,72% e polares, glicolipídios, fosfolipídios: 3,54%.

A modulação do complexo de cultura pode modificar as características das microalgas, como a luminosidade pode afetar a fotossíntese e com isso a gama de pigmentos, mudanças na salinidade e concentração de dióxido de carbono, afetam as taxas de crescimento e a produção de lipídios (DAMIANI et al., 2008). Diversos trabalhos descrevem o aumento da produção de celulose através da privação de nitrogênio que conhecidamente provoca espessamento na parede celular, local onde se concentra a celulose, que aumenta consideravelmente quando submetidas a este tipo de stress (JEONG et al., 2017; YAP et al., 2016).

Nas culturas mixotróficas, utiliza-se uma fonte de luz para promover o crescimento autotrófico dos organismos cultivados, e adiciona-se uma fonte de carbono ao meio para viabilizar o crescimento heterotrófico das células (CHOJNACKA; NOWORYTA, 2004). No presente estudo, foi adotada a cultura mixotrófica como abordagem de cultivo, a qual possui a vantagem de reduzir os custos de produção. Isso ocorre devido à possibilidade de utilizar uma intensidade de luz na cultura inferior à exigida em culturas autotróficas, resultando em menor consumo de energia, ao mesmo tempo em que permite o crescimento autotrófico dos organismos cultivados (RAZZAK et al., 2015).

As microalgas são uma matéria-prima renovável para a diversas produções, devido à maior eficiência fotossintética, rápida produção de biomassa e potencial de crescimento rápido em comparação com outras culturas (MINOWA et al., 1995; MILNE; EVANS; NAGLE, 1990; CHISTI, 2007), a taxa de crescimento rápido ou maior produtividade de biomassa das microalgas geralmente depende de sua capacidade de dobrar sua biomassa na fase exponencial em um curto período. Diferentes tipos de microalgas têm diferentes habilidades de produtividade lipídica, proteica e polimérica.

As microalgas *Nannochloropsis sp.* mostraram excelente potencial para a produção de microbiodiesel devido à sua alta produtividade de biomassa e alto teor de lipídios (DOAN; SIVALOGANATHAN; RODOLFI et al. 2009; GOUVEIA; OLIVEIRA, 2008; MOAZAMI et al. 2012).

Fatores como intensidade e duração do fotoperíodo, podem afetar o crescimento das microalgas, conteúdo lipídico e espessura de parede. O crescimento celular pode ser modulado ou otimizado modificando parâmetros de cultivo e expondo as microalgas a algum agente estressor para otimizar a produção de algum produto microalgal.

No estudo dos autores Wahidin, Idris e Shaleh (2013), as *Nannochloropsis sp.* foram cultivadas por 9 dias em três diferentes intensidades de luz (50, 100 e 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e três diferentes fotoperíodos (24:0, 18:06 e 12:12h claro-escuro) a uma temperatura de cultura de 23°C. Observou-se um crescimento favorável com uma concentração celular máxima de  $6,5 \times 10^7$  células  $\text{mL}^{-1}$ , correspondendo a uma taxa de crescimento de  $0,339 \text{ d}^{-1}$  após 8 dias de cultura e um teor de lipídios de 31,3%. O crescimento celular máximo foi obtido a  $100 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 18h de luz: 6h de ciclo escuro.

A primeira tentativa de crescimento da microalga *Nannochloropsis oceanica* no laboratório NUMPEX-Bio utilizou intensidade de luz  $200\text{-}400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 24:0 que levou a morte da cultura, demonstrando efeitos de fototoxicidade.

## 8.1 O MATERIAL CELULÓSICO

As fibras celulósicas são as fibras cujo componente primordial é a celulose. A celulose é um polímero linear constituído pela sequência de  $\beta$ -glucose. A celulose é um carboidrato composto por 44,4% de carbono, 6,2% de hidrogênio e 49,4% de oxigênio. A celulose refere-se a duas unidades de anéis glicosídicos invertidos, formando um ângulo de  $180^\circ$  em relação a um plano comum. (BEZERRA; CORTELETTI; ARAÚJO, 2021).

A celulose forma feixes de moléculas que se unem para criar fibras. A distribuição não é totalmente paralela, algumas partes podem ter moléculas paralelas e outras uma distribuição aleatória. A resistência das fibras é influenciada pela estrutura molecular e pelo GP. Quanto maior o GP, maior a resistência teórica da fibra. (DANTAS et al., 2021). A polimerização é o processo pelo qual os monômeros poliméricos são unidos quimicamente para formar moléculas maiores. Moléculas de polímeros comerciais podem conter centenas de unidades monoméricas repetidas.

No caso da celulose extraída de microalgas, foi identificado alto grau de polimerização no trabalho de Lee et al., (2018) que demonstra uma nova metodologia para produção de nanofibrilas de celulose. Neste estudo, a resistência à tração da *N. oceanica* em nanofibrilas de celulose (CNF) é em torno de 3-4 GPa em média, o que é comparável com a resistência mecânica dos *Reinforcing fillers* ainda maior do que o dos CNFs de madeira. A adição de *Reinforcing fillers* é uma forma já bem estabelecido para modificar as propriedades térmicas, mecânicas e elétricas de plásticos por exemplo. Os *Reinforcing fillers* podem constituir materiais têxteis, como a poliamida, lycra e nylon.

O estudo também demonstrou que os métodos simplificados de purificação usando *N. oceanica* são muito bem-sucedidos para a produção de CNFs com muita resistência mecânica e tem a possibilidade de ser utilizados em vários campos, como os dos materiais compósitos mencionados anteriormente neste trabalho, produzem materiais têxteis como a viscose, cuja composição e algodão e acetatos.

O grupo hidroxila (OH) quimicamente reativo da celulose pode sofrer reações de modificação nos procedimentos usados para modificar as fibras celulósicas ou na aplicação de corantes ou acabamentos. A celulose é decomposta por soluções fortes de ácidos minerais, mas apresentam excelente resistência a soluções alcalinas (KUASNE, 2008).

## 9 MÉTODO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE UTILIZANDO A MICROALGA *NANNOCHLOROPSIS OCEANICA*

### 9.1 PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE CEPAS E NUTRIENTES

Células de *N. oceanica* (Algasul™) foram adquiridas em suspensão de densidade celular 0,5 cultivadas em meio Guillard f/2, utilizado nas próximas etapas foi adquirido da mesma empresa. O meio de cultura foi preparado através da diluição do estoque em água ultrapura seguido da adição de 33,3g/L de sal marinho Verosal (Veromar™).

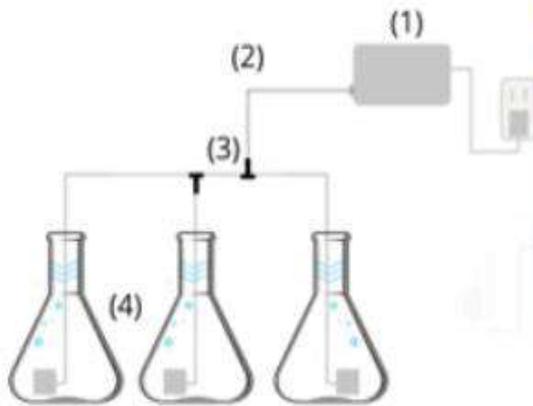
### 9.2 CULTURA DE *N. OCEANICA*

As células foram cultivadas em Erlenmeyers de 250 mL contendo 50 mL de meio de Guillard f/2. As culturas foram iniciadas de uma amostra de *N. oceanica* em suspensão com densidade ótica (DO) de 0,5, e foram aeradas utilizando-se borbulhamento constante com bomba, modelo Maxxi Compressor de ar PRO-9000™ e mangueiras de silicone e pedras porosas para distribuição de bolhas de ar. As culturas permaneceram sob temperatura ( $\cong 22^{\circ}\text{C}$ ) e fotoperíodo ( $100\text{-}200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) constantes. O crescimento celular foi monitorado em espectrofotômetro a 750 nm. Outras condições também foram testadas. A priori, os contratempos relacionados ao cultivo, além das condições de aeração impróprias em agitador orbital, motivaram a criação de um sistema de borbulhamento, permitindo para que fosse seguido assim a adequação dos parâmetros de salinidade, iluminação, aeração e cultivo (Figura 8).

Figura 8: Sistema de aeração por borbulhamento montado com os seguintes componentes: (1), um compressor de ar modelo Maxxi 9000; (2) mangueiras de silicone; (3) divisores de ar; (4) Erlenmeyers fundos redondos com capacidade para 250 mL.

## Esquema de montagem

Sistema em funcionamento auxiliando na capacidade replicativa das microalgas.



Fonte: Autoria própria (2023).

### 9.3 INOCULAÇÃO 1

Este método de cultivo se mostrou ineficiente, as células sofreram morte na primeira semana como pode ser observado na Figura 9, devido a superexposição a luz. Nesta situação, os reatores estavam recebendo iluminação  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , havendo assim a necessidade de modificar inicialmente a variável da luminosidade.

Figura 9: Reatores de cultivo de *Nannochloropsis oceanica* em iluminação  $200\mu\text{mol}$ , fotoperíodo 24:0 apresentaram morte celular por fototoxicidade e baixa taxa de aeração.



Fonte: Autoria própria (2023).

#### 9.4 INOCULAÇÃO 2

Esta metodologia se mostrou mais eficiente, houve crescimento discreto das células, como se pode ver na Figura 10, seguindo este modelo foram obtidos resultados positivos no crescimento e aspecto celular. A fototoxicidade foi resolvida alterando a iluminação de  $200\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  para  $100\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , em fotoperíodo de 24:0. Entretanto, as células apresentavam stress e geravam aglomerados, o que impossibilitava a quantificação correta, necessitando ainda novas correções.

Figura 10: Reator de *N. oceanica* apresenta crescimento discreto após a correção de iluminação de  $400\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  para  $100\text{-}200\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ . Formação de halo de aglomerados de células.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi necessária a Construção de dois dispositivos. O primeiro uma estante de fotoperíodo onde se dividiam dois ambientes com diferentes iluminações, sendo um 12:12h e 24:0h; Segundamente, foi construído o sistema de borbulhamento para aeração; a aeração no shaker se mostrou ineficiente. Utilizando uma bomba de vasão de ar para aquários modelo Maxxi 9000™, mangueiras de silicone estéreis e divisores de vasão de ar adaptando diferentes saídas para distribuição de oxigenação para oxigenar 6 reatores (Figura 8).

O experimento de crescimento em triplicata, sendo três reatores em regime de luminosidade de 24:0, e três reatores em regime de luminosidade de 12:12. Com a aeração por borbulhamento. Os resultados de crescimento celular melhoraram e ocorreu aumento da densidade óptica, medida em espectrofotômetro.

O protocolo de fotoperíodo foi montado para ciclo de 12:12 e 24:0 com iluminação digital controlada para verificar a diferenciação do comportamento celular das microalgas que pode ser visto na Figura 11 (primeira parte, reatores 12:12, e segunda parte, reatores 24:0).

Durante 20 dias foram feitas medidas de densidade óptica uma vez a cada dois dias em espectrofotômetro à 750nm.

Figura 11: Intensificação da cor do meio resultante da maior taxa de crescimento microalgal após os ajustes de luminosidade e aeração com aumento notável de densidade óptica na leitura em espectrofotômetro.

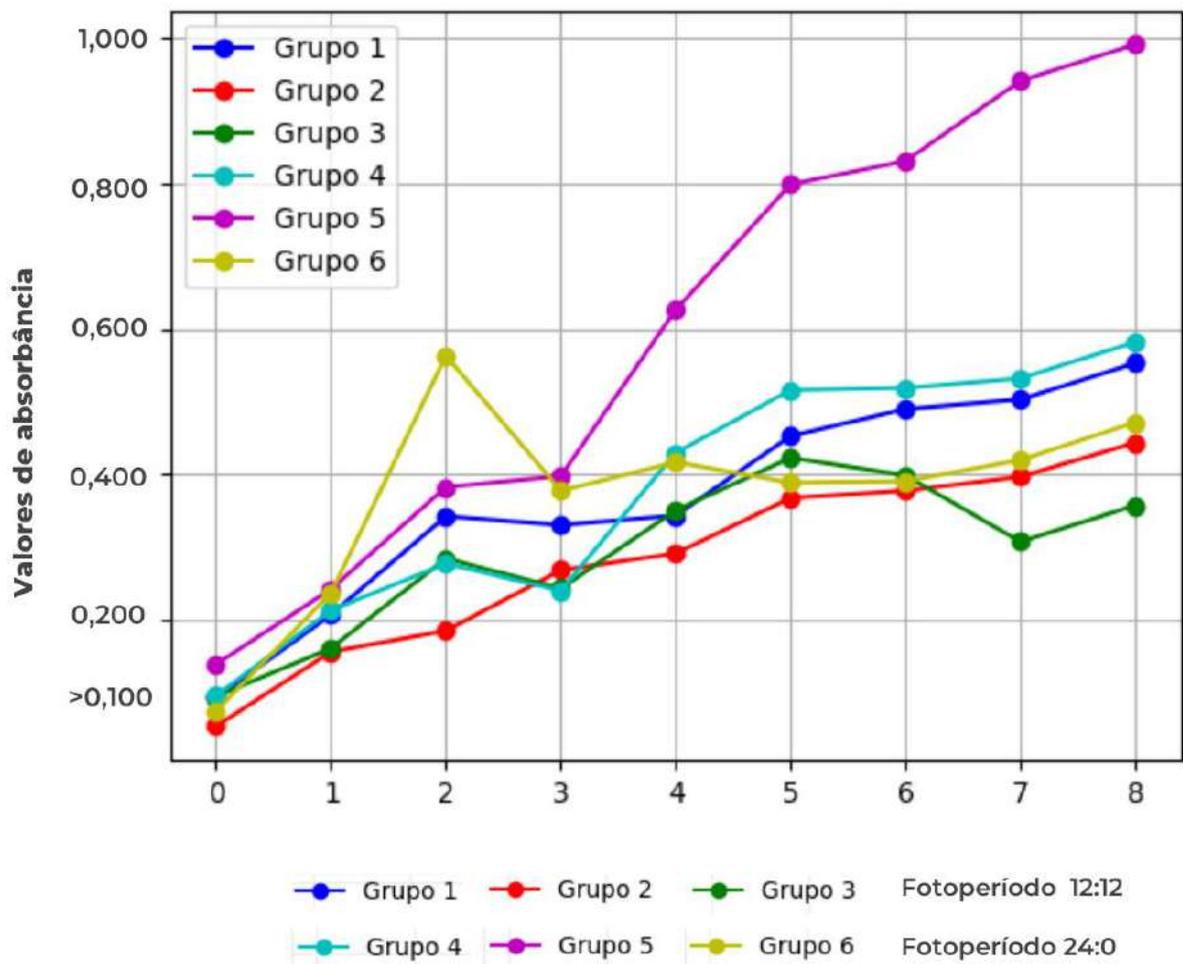


Fonte: Autoria própria (2023).

## 9.5 CURVA DE CRESCIMENTO

Durante 20 dias foram feitas medidas de densidade ótica uma vez a cada dois dias em espectrofotômetro (nome do espectro) executando leituras a 750 nm. Analisando a Figura 12 é notável a curva de crescimento reduzida com o fotoperíodo de 24:0, onde se sucedeu uma maior taxa de replicação e depleção do meio acelerada, por consequência. A taxa alta de crescimento ocasiona em morte mais rápida, fato este significativo em um cenário onde se busca uma taxa de crescimento acelerada.

Figura 12: Curva produzida no período de 24 dias. O experimento foi realizado em triplicata e apresentou valores uniformes à exceção do Grupo 5.



Fonte: Autoria própria (2023).

Percebe-se que o crescimento dos reatores cuja iluminação não teve período escuro mostraram melhor desempenho se comparado aos reatores 12:12. A maior taxa de crescimento está relacionada à maior exposição à luz e consequente maior atividade fotossintética (Figura 13).

Figura 13: Notável diferença entre a coloração dos reatores, no qual é possível a olho nu.

**Figura A:** Prateleira acima, 12:12, abaixo, 24:0.



**Figura B:** Reatores 1, 12:12

**Figura C:** Reatores 2, 24:0.

Fonte: Autoria própria (2023).

Os volumes dos reatores variaram de acordo com o tempo de borbulhamento diário do cultivo, tendo evaporação importante, desta forma para manter a salinidade e os nutrientes, os reatores foram ressuspensos em todas as medidas de densidade ótica para manter 120ml de cultura. Foi adicionada água autoclavada para manter a salinidade e volume.

A morte celular ocorreu de forma mais rápida também nos Reatores 2, considerando o maior crescimento celular, a depleção do meio ocorre com maior velocidade. É possível ter uma ideia visual da diferença das culturas na Figura 13, onde as culturas se encontram sob diferente iluminação, ao mesmo tempo de inoculação e mesmo sistema de aeração.

### 9.5.1 Cálculo de tempo de geração

Para determinar o tempo de geração de um microrganismo com base nas medidas de crescimento ao longo de um período de tempo, podemos utilizar a fórmula do tempo de geração:  $(\text{Tempo} \times \ln(2)) / \ln(N_f / N_i)$

O cálculo é feito com base nas medidas fornecidas:

- Tempo: 3 dias
- Ni (quantidade inicial)
- Nf (quantidade final)

Tabela 2: Valores de absorvância para apreciação.

Data/2022	Grupos					
	1	2	3	4	5	6
05/09	0,094	0,055	0,096	0,097	0,140	0,076
08/09	0,208	0,157	0,162	0,214	0,243	0,238
12/09	0,343	0,186	0,285	0,278	0,399	0,363
15/09	0,331	0,269	0,244	0,241	0,398	0,378
20/09	0,334	0,292	0,351	0,430	0,626	0,417
23/09	0,453	0,368	0,423	0,516	0,798	0,389
26/09	0,490	0,378	0,399	0,519	0,830	0,391
29/09	0,503	0,394	0,308	0,532	0,940	0,420
01/10	0,553	0,444	0,358	0,583	0,991	0,472
Tempo de geração	4,59h	7,82h	7,76h	7,69h	5,70h	9,15h

Data/2022	Grupos					
	1	2	3	4	5	6
Média do tempo de geração:	6,72h			7,51h		

Fonte: Autoria própria (2023).

## 9.6 PROCESSO DE REMOÇÃO DE MEIO E SECAGEM DAS MICROALGAS

### 9.6.1 *Nannochloropsis oceanica* cultivadas em laboratório

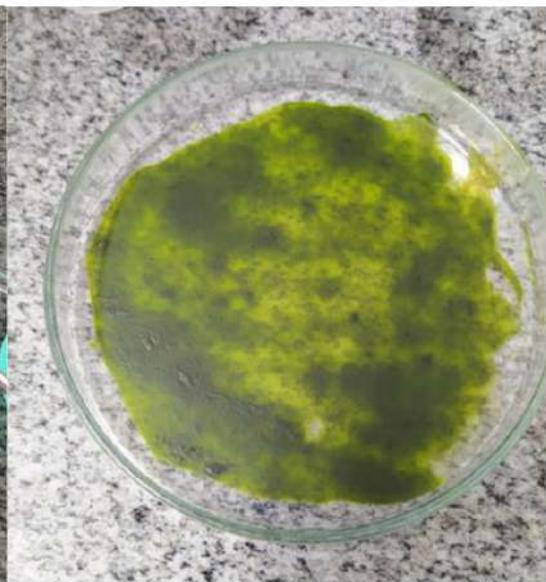
Após o cultivo, as microalgas foram centrifugadas a 10.000 RPM, por 10 minutos, desaceleração 5, temperatura 25°C para a formação de pellet de microalgas. O sobrenadante foi descartado, o pellet foi disposto em placa de vidro (Figura 14, Parte A) e colocado na estufa *overnight* 70°C (Figura 14, Parte B). Após secas, 0,55g de amostra foram pesadas e separadas para quantificação de lipídeos e proteínas. A determinação da massa úmida e massa seca também foi conduzida na Tabela 3 para a *N. oceanica* cultivada em reatores e na Tabela 3, a *N. oceanica* comercial.

Figura 14: A primeira figura (A) possui a massa úmida, já a segunda (B), possui a massa seca, ambos pós-processo de centrifugação.

**Figura A:** Massa úmida.



**Figura B:** Massa seca.



Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 3: Determinação do peso de massa úmida e massa seca de *N. oceanica* cultivada em reatores.

Materiais	Peso em gramas
Peso da placa	41,86g
Peso da placa com pellet úmido	45,86g
Peso da placa com pellet pós secagem	43,27g
Massa úmida	4g
Massa seca	1,41g

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 4: Determinação do peso de massa úmida e massa seca de amostra *N. oceanica* comercial.

Materiais	Peso em gramas
Peso da placa	23,59g
Peso da placa com pellet úmido	26,17g
Peso da placa com pellet pós secagem	23,80g
Massa úmida	2,60g
Massa seca	0,55g

Fonte: Autoria própria (2023).

Em seguida as microalgas secas foram maceradas e armazenadas a temperatura ambiente para os processos de purificação posteriores (Figura 15).

Figura 15: Massa *N. oceanica* e pós processo de secagem e maceração.



Fonte: Autoria própria (2023).

### 9.6.2 *Nannochloropsis oceanica* comercial

As cepas de *Nannochloropsis oceanica* foram adquiridas da empresa parceira AlgaSul™ em forma de biomassa viva e viável. Essas microalgas passaram por processo de secagem a 50°C em estufa por duas horas a fim de reduzir a umidade para obter maior sucesso no processo de extração de lipídios. Após secas, 0,55g de amostra foram pesadas e separadas para o processo de extração de lipídios.

## 9.7 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE LIPÍDEOS

### 9.7.1 Extração de lipídeos

Para a extração foi utilizado o processo dos autores Bligh e Dyer (1959), que é um método de extração de lipídeos a frio (abaixo de 40°C) que utiliza uma mistura de 1,25ml de clorofórmio (MERK), 1ml de metanol (Isofarm) e 1ml de água destilada, respeitando a relação 1:2:0,8. A amostra foi homogeneizada formando apenas uma fase. Esta fase durou 30

minutos, a cada 3 minutos os frascos eram agitados de forma suave e a cada 10 minutos os frascos eram abertos para a liberação de gases. Este processo foi conduzido na capela.

Posteriormente, 1,25ml clorofórmio é adicionado, juntamente com 1,25ml de água. A adição de mais clorofórmio e água muda a proporção para 2:2:1,8 resultando na separação total do clorofórmio que carrega os lipídeos da amostra. Após essas adições, os tubos foram agitados suavemente por 2 minutos, seguido de repouso de 1h. As duas fases se separam, os lipídeos ficam na fase aquosa superior homogeneizados no clorofórmio, podendo ser removidos com facilidade por aspiração (Figura 16).

Figura 16: Lipídios homogeneizados em clorofórmio extraídos das amostras 1 (cultivadas) e 2 (pasta comercial).

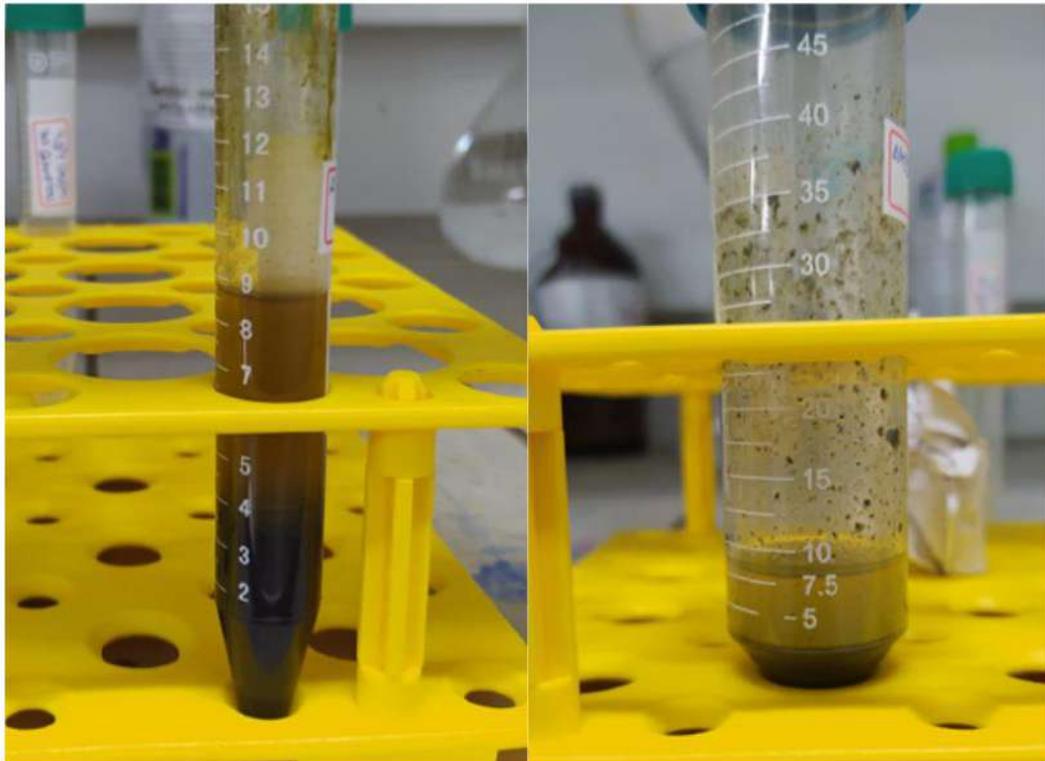


Fonte: Autoria própria (2023).

### 9.7.2 Resultado da extração de lipídios

A diferenciação de fases realizada pela extração teve como objetivo a separação dos lipídios de proteínas, os lipídios ficando no sobrenadante e a porção proteica no pellet (Figura 17). O pellet deverá ser purificado através do protocolo álcali NaOH. Segundo a revisão bibliográfica a hidrólise enzimática por NaOH, que mantém a fração celulósica mais preservada se comparada a outros métodos. Este procedimento não foi realizado e faz parte das perspectivas futuras.

Figura 17: Resultado do processo de extração de lipídios Bligh e Dyer. Lipídios homogeneizados em clorofórmio extraídos das amostras 1 (cultivadas) e 2 (pasta comercial). A porção aquosa contém os lipídeos e o pellet, a porção proteica.



Fonte: Autoria própria (2023).

## 10 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

### 10.1 CONCLUSÕES

- Sabe-se que já existem alguns métodos de extração e purificação de celulose de diversos materiais lignocelulósicos, como os utilizados na indústria do papel, que utilizam ácidos fortes e materiais não recuperáveis; as biomassas microalgais apresentam maior facilidade para os processos de extração devido à ausência de lignina.
- O uso da microalga *Nannochloropsis oceanica* mostra-se promissor, considerando seu uso industrial amplamente distribuído em diversos segmentos como farmacêutico, alimentício, entre outros, devido ao suas altas concentrações de lipídios e possibilidade de modulação de acordo com modificações de cultivo como privação de nutrientes e a quantidade de biomassa não utilizada que tende a aumentar nos próximos anos que pode modificar a realidade de indústrias como a de biocombustíveis além de oferecer um destino melhor para a biomassa residual das indústrias alimentícias e farmacêuticas.
- A aeração por agitação orbital não foi ideal para o cultivo de *N. oceanica*, que necessitam de maior quantidade de oxigênio e CO<sub>2</sub> dissolvido proporcionado através do sistema de borbulhamento construído. Após submeter as microalgas ao modelo de aeração por borbulhamento, houve êxito na multiplicação celular. Os resultados observados demonstraram que o oxigênio e CO<sub>2</sub> aumentados favoreceram a taxa de proliferação das microalgas.
- Com o sistema de borbulhamento com bolhas em tamanhos pequenos obtém-se maior taxa de crescimento de *N. oceanica*.
- Alguns parâmetros como tamanho das bolhas e fluxo de aeração são determinantes para o sucesso do cultivo, bolhas menores estão associadas a maior nível de CO<sub>2</sub> e oxigênio dissolvidos, entretanto, deve-se cuidar para que o borbulhamento excessivo pode não aumentar a medida de oxigênio dissolvido e promover um gasto energético desnecessário e alterar de forma negativa o crescimento celular. Esses parâmetros podem ser ajustados para atender aos requisitos de espécies específicas de algas

visando aumento de compostos particulares utilizando diferentes dispositivos de dispersão de bolhas (TALBOT et al., 1990).

- O fotoperíodo mostrou diferenças significativas no cultivo da biomassa de *N. oceanica*. Sob um fotoperíodo de 24:0, as microalgas apresentaram uma taxa de crescimento maior. Essa diferença também foi claramente observável.
- Para determinar o tempo de geração de um microrganismo com base nas medidas de crescimento ao longo de um período de tempo, foi utilizada a fórmula do tempo de geração ( $T_g (h) = (T^2 - t^0) / (n - 1) * \Delta t$ ).
- As microalgas em fotoperíodo 24:0 tiveram maior crescimento como observado na curva, possivelmente pela maior oferta de luz, proporcionando maior geração de energia de forma autotrófica e heterotrófica por todo o período do experimento.
- A multiplicação mais rápida, que é industrialmente interessante se deram em fotoperíodo de 24:0.

## 10.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

Os processos de purificação seguintes como a extração e purificação de proteínas, são bem documentados na bibliografia utilizando o protocolo álcali NaOH. A hidrólise enzimática por NaOH foi escolhida porque mantém a fração celulósica mais preservada se comparada a outros métodos. A extração alcalina a frio (abaixo de 40 °C) é mais seletiva na obtenção de polpa com alto teor de  $\alpha$ -celulose. Este método tem o maior rendimento e gera uma polpa celulósica com menos impurezas (RYDHOLM, 1985). A alta alcalinidade permite que as moléculas de água entrem na estrutura da celulose, o que quebra as ligações intramoleculares de hidrogênio. Esse inchaço permite que os compostos de cadeia curta se dissolvam e sejam removidos do material (SIXTA; RUTKOWSKA, 2007).

Ademais, os procedimentos de polimerização para a construção do fio têxtil poderão ser mais amplamente utilizados. Nos quais os monômeros de celulose serão interligados para formação da estrutura de celubiose, gerando estruturas maiores, dando origem aos fios que poderão ser tecidos. Frisa-se que já é possível tecer fibras têxteis derivadas de fontes

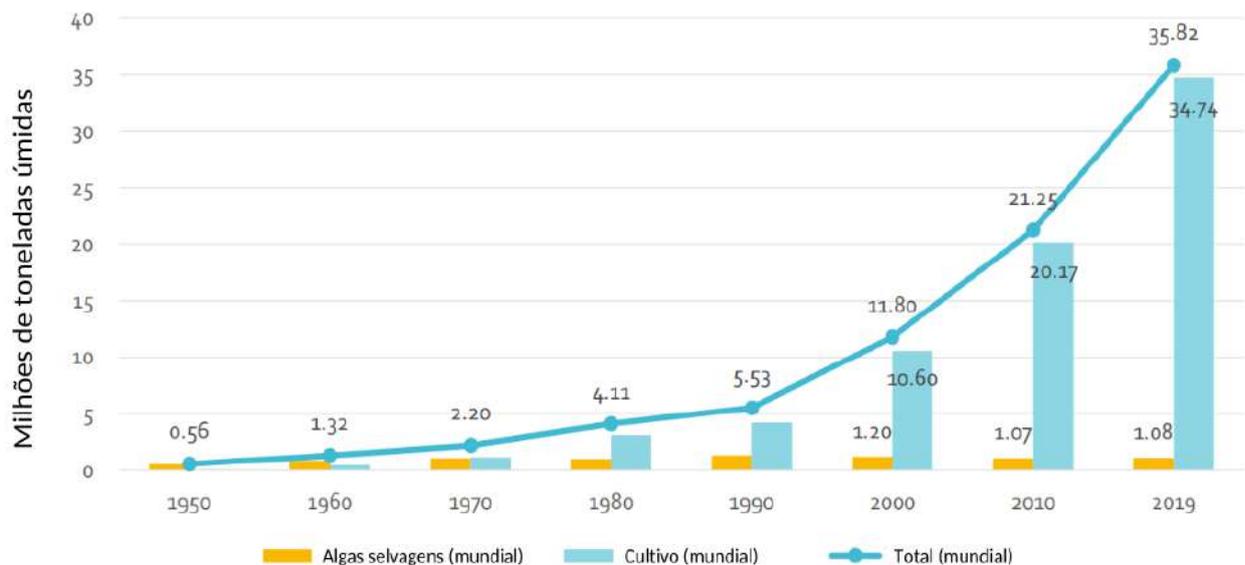
---

<sup>2</sup> Onde "Tg" (horas) representa o tempo de geração em horas, "T<sup>2</sup>" o tempo final, "T<sup>0</sup>" o tempo inicial, "n" o número de gerações e " $\Delta t$ " é o intervalo de tempo entre as medidas em dias.

alternativas, como por exemplo por intermédio do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de celulose através do método conhecido como extrusão da celulose (COSTA et al., 2008).

Visando ainda esse amplo crescimento das indústrias que empregam as algas como produtos de base, os valores anuais destes produtos podem chegar a aproximadamente 5 bilhões de dólares ao ano. A produção mundial de algas aumentou mais de 60 vezes, de 0,56 milhão de toneladas (úmidas) em 1950 para 35,82 milhões de toneladas em 2019; quase todo o crescimento foi devido ao cultivo industrial. A estimativa de microalgas isoladas permanece obscuro (Figura 18).

Figura 18: Breve análise sobre a situação e tendências das produções e mundial de algas, entre 1950-2019.



Fonte: Adaptado de FAO (2021).

Diante desse crescimento e as suas disparidades, algumas questões referentes aos seus processos de investimentos e retornos permanecem obscuras, fazendo com que as indústrias que tenham esse processamento mantenham suas estatísticas de faturamento às escuras. Já existe alta demanda de microalgas para diversos produtos, os principais são os biocombustíveis, alimentação e diversos outros segmentos industriais, incluindo as biorrefinarias. A indústria têxtil pode se beneficiar indiretamente da produção mundial de microalgas ao utilizar a porção das microalgas que é descartada ou utilizada para produção de produtos de baixo valor de mercado, como rações após a extração de lipídeos, que são os produtos com maior valor de mercado (ANDRADE, 2021; SÁNCHEZ et al., 2019; VIEIRA, 2018).

Entre as inovações de mercado, está a patente israelense (KREBS, 2019), cuja invenção consiste na fabricação de material têxtil baseado em celulose a partir de microalgas; este material pode ser enriquecido para diversos fins, como finalidades médicas de tratamento cutâneo, tratamentos antimicrobianos e cicatrizantes promovendo uma inovação nunca vista na indústria têxtil, tanto em matéria prima quanto em versatilidade. Seu uso não se restringe apenas ao uso médico, materiais com proteção UV, propriedades mecânicas e/ou protetoras podem vir a ser desenvolvidos, além da possibilidade de criação de novos materiais compósitos que servirão a diversos fins.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, W. A. N.; OMETTO A. R. (Coord.). *Moda circular no Brasil*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2019.
- ANDRADE, H. M. M. de Q. *Estudo do Potencial de Cultivo e Produção de Bioprodutos de *Gracilaria birdiae* na Costa Oriental do Estado do Rio Grande do Norte/RN – Brasil*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021
- ARTHUR, C.; BAKER J.; BAMFORD H. *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris*. Sep. 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30, 2009.
- BARBOSA, P. P. et al. *Análise do Impacto Ambiental de Fibras Têxteis Naturais, Sintéticas e Artificiais*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção - VI CONBREPRO, 2016, João Pessoa. *Contribuições da Engenharia de Produção para melhores práticas de gestão e modernização do Brasil*. João Pessoa: ABEPRO, 2016. p. 1–12.
- BARREIRA, I. O.; JÚNIOR, E. B. B. *Dos trapos de imundícia às vestes repartidas de Jesus Cristo: Experiências de upcycling no vestuário do mundo bíblico*. **Colloquium: Revista Multidisciplinar de Teologia**, v. 5, n. 2, dez. 2020.
- BEZERRA, E. L. M., CORTELETTI, R. F., ARAÚJO, I. M. *Relações de trabalho e desigualdades de gênero na indústria têxtil e de confecções do Nordeste*. **Caderno CRH**, v. 33, p. 020030, 22 dez. 2020.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. *A rapid method of total lipid extraction and purification*. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911–917, 1 ago. 1959.
- BOMBARDI, L. M. *Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia*. São Paulo: FFLCH-USP, 2017.
- CAMPOS, R. T. *O Impacto do Ataque do Bicudo Na Cotonicultura do Semiárido Cearense*. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 32, n.1, p. 75-86, 1994.
- CARDOSO, A. DA S.; VIEIRA, G. E. G.; MARQUES, A. K. *O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis*. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 4, p. 542–542, 21 nov. 2011.
- CARNEIRO, F. F. (Org.) *Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde*. Organização de Fernando Ferreira Carneiro, Lia Giraldo da Silva Augusto, Raquel Maria Rigotto, Karen Friedrich e André Campos Búrigo. – Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

CAVALCANTE, A. U. M.; TANNÚS, S. P. Competitividade da cotonicultura em países selecionados. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, v. 7, n. 3, p. 638–652, 13 dez. 2020.

CAVALCANTI, A. M.; SANTOS, G. F. A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 20, n. 3, 12 maio 2021.

CAVALIERE, M. J. et al. Miotoxicidade por organofosforados. **Revista de Saúde Pública**, v. 30, n. 3, p. 267–272, jun. 1996.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances**, v. 25, n. 3, p. 294–306, maio 2007.

CHOJNACKA, K.; NOWORYTA, A. Evaluation of *Spirulina* sp. growth in photoautotrophic, heterotrophic and mixotrophic cultures. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 34, n. 5, p. 461–465, abr. 2004.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, Brasília: CNI, 2017.

COLE, M. et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2588–2597, dez. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v.1, n.1, Brasília: CONAB, 2022.

COSTA, M. A. et al. O empreendedorismo social e a indústria têxtil na promoção do empoderamento feminino: projeto alinhar-te. **Brazilian Journal of Business**, v. 2, n. 3, p. 1986–1994, 8 Jul. 2020.

COSTA, S. M. et al. Produção de fibras têxteis a partir da celulose do bagaço de cana-de-açúcar. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, ed. 18, 24-28 de novembro, 2008, Porto de Galinhas, PE. **Anais do 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, p. 9472–9484, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/15877>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

COUTO, H. H. et al. Diagnóstico das atuações do design na produção de abacaxi na região de Berilo-MG. **Actas de Diseño**, n. 35, 12 fev. 2021.

CUNHA, S. G. C. da; OLIVEIRA, A. J. de. A adesão da fibra de algodão orgânico branco e o naturalmente colorido ao mercado da moda sustentável. **Blucher Design Proceedings**, v. 6, n. 3, out. 2019.

DAMIANI, M. C. et al. Lipid analysis in *Haematococcus pluvialis* to assess its potential use as a biodiesel feedstock. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 3801–3807, jun. 2010.

DANTAS, Í. J. de M. et al. Os Atributos Estético-Simbólicos da Cultura Material da Cotonicultura do Seridó/RN. **Humanas Sociais & Aplicadas**, v. 11, n. 31, p. 46–63, 6 jul. 2021.

DIAS, R. DE C. R.; BELUSSO, D.; VASQUES, R. S. A seda como matéria prima sustentável na indústria têxtil e de vestuário. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49349–49367, 7 jun. 2021.

DOAN, T. T. Y.; SIVALOGANATHAN, B.; OBBARD, J. P. Screening of marine microalgae for biodiesel feedstock. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2534–2544, jul. 2011.

FELIZARDO, N. **A cidade em que o glifosato mata quem ainda nem nasceu – e contamina até o leite materno**. Disponível em: <<https://theintercept.com/2018/09/17/agrotoxico-aborto-leite/>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

FERNÁNDEZ-LINARES, L. C. et al. Assessment of *Chlorella vulgaris* and indigenous microalgae biomass with treated wastewater as growth culture medium. **Bioresource Technology**, v. 244, p. 400-406, nov. 2017.

FERNÁNDEZ, L. Global pesticide agricultural use 2020. **Statista**, 2022. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1263069/global-pesticide-use-by-country/>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Fishery and Aquaculture Production Statistics, mar. 2021. Disponível em: <<https://www.fao.org/about/org-chart/en/>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

FILLETI, J. DE P.; BOLDRIN, R. A indústria têxtil no Brasil: um modelo econométrico analisando a hipótese de desindustrialização setorial. **Economia e Sociedade**, v. 29, n. 3, p. 861–890, dez. 2020.

FRIAS, J. P. G. L.; NASH, R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. **Marine Pollution Bulletin**, v. 138, p. 145–147, jan. 2019.

GONÇALVES, J. S. Impactos do fracasso das políticas estaduais de revitalização da pequena e média cotonicultura. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 37, n. 9, p. 53–70, set. 2007.

GOUVEIA, L.; OLIVEIRA, A. C. Microalgae as a raw material for biofuels production. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 36, n. 2, p. 269–274, 4 nov. 2008.

GUILLARD, R. R. L.; LORENZEN, C. J. Yellow-green algae with chlorophyllide C 1, 2. **Journal of Phycology**, v. 8, n. 1, p. 10-14, 1972. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1972.tb03995.x>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

HENRY, B.; LAITALA, K.; KLEPP, I. G. Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. **Science of The Total Environment**, v. 652, p. 483–494, fev. 2019.

HESS, S. C.; NODARI, R. O. Agrotóxicos no Brasil: Panorama dos produtos aprovados entre 2019 e 2022. **Ambientes em Movimento**, v. 2, n. 2, p. 39–52, 18 dez. 2022.

HUERLIMANN, R.; DE NYS, R.; HEIMANN, K. Growth, lipid content, productivity, and fatty acid composition of tropical microalgae for scale-up production. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 107, n. 2, p. 245–257, 20 maio 2010.

JEONG, S. W. et al. Transcriptional Regulation of Cellulose Biosynthesis during the Early Phase of Nitrogen Deprivation in *Nannochloropsis salina*. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 13 Jul. 2017.

KAYA, A. T.; YURTSEVER, M.; BAYRAKTAR, S. Ç. Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air. **The European Physical Journal Plus**, v. 133, n. 11, nov. 2018.

KLEMM, D. et al. Nanocelluloses: A New Family of Nature-Based Materials. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 50, n. 24, p. 5438–5466, 20 maio 2011.

KREBS, R. Fibers comprising cultivated microalgae, method for manufacturing the same, and yarns, fabrics and garments comprising such fiber. Google Patents WO2019097518A1. 2019. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/WO2019097518A1/en>>. Acesso em: 09 fev. 2023.

KUASNE, A. Fibras têxteis. Santa Catarina: CEFET/SC. 2008.

KUMAR, A. K.; SHARMA, S. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 7, p. 1–19, 2017.

LAW, K. L.; THOMPSON, R. C. Microplastics in the seas. **Science**, v. 345, n. 6193, p. 144–145, 10 Jul. 2014.

LEE, H.-R. et al. A new method to produce cellulose nanofibrils from microalgae and the measurement of their mechanical strength. **Carbohydrate Polymers**, v. 180, p. 276–285, jan. 2018.

MARABEZI, K. Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar. **Instituto de Química de São Carlos, Dissertação de Mestrado, Catálogo USP**, 2009.

MEDEIROS, L. R. F. B. et al. Intoxicação exógena por carbamato: relato de caso. **Revista de Medicina da UFC**, v. 57, n. 2, p. 57, 24 ago. 2017.

MILNE, T. A.; EVANS, R. J.; NAGLE, N. Catalytic conversion of microalgae and vegetable oils to premium gasoline, with shape-selective zeolites. **Biomass**, v. 21, n. 3, p. 219–232, jan. 1990.

MINOWA, T. et al. Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction. **Fuel**, v. 74, n. 12, p. 1735–1738, dez. 1995.

MOAZAMI, N. et al. Large-scale biodiesel production using microalgae biomass of *Nannochloropsis*. **Biomass and Bioenergy**, v. 39, p. 449–453, abr. 2012.

MOURA, L. et al. Evolução da produção de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum*, Malvaceae). [s.l.] *In*: LANDAU, E. C. et al. (ed.). Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem vegetal. **Embrapa**, v. 2, n. 10, p. 265-294., 2020.

NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 112, n. 1-2, p. 39–45, nov. 2016.

NIINIMÄKI, K. et al. The Environmental Price of Fast Fashion. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 4, p. 189–200, 2020.

NOVO, L. P. **Novas perspectivas para uma biorrefinaria de cana-de-açúcar no Brasil**. 2016. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75134/tde-12082016-090114/publico/LisiasPereiraNovorevisado.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2023.

ORGANIZAÇÃO PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Indicadores de pesticidas**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/EP>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

PIANA, J.; COSTA, R. G. M. Atividades Inovadoras em Indústrias Low-tech: Análise de Patentes na Indústria Têxtil. **Administração de Empresas em Revista**, v. 3, n. 21, p. 186–205, 25 ago. 2020.

PIMENTEL, C. R. M. **Análise dos fatores que influenciam os custos de produção do algodoeiro arbóreo no município de patos, PB**. Disponível em: <<http://www.resr.periodikos.com.br/article/5ea8cd880e8825f917f17439>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

PIRES, D. X.; CALDAS, E. D.; RECENA, M. C. P. Uso de agrotóxicos e suicídios no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, n. 2, p. 598–604, abr. 2005.

PYLE, D. J.; GARCIA, R. A.; WEN, Z. Producing Docosahexaenoic Acid (DHA)-Rich Algae from Biodiesel-Derived Crude Glycerol: Effects of Impurities on DHA Production and Algal Biomass

Composition. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 11, p. 3933–3939, jun. 2008.

RAMOS, M. D. N. et al. Análise crítica das características de efluentes industriais do setor têxtil no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 4, 28 ago. 2020.

RAZZAK, S. A. et al. Effects of CO<sub>2</sub> Concentration and pH on Mixotrophic Growth of *Nannochloropsis oculata*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 176, n. 5, p. 1290-1302, 1 Jul. 2015.

RODOLFI, L. et al. Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 102, n. 1, p. 100–112, 1 jan. 2009.

RYDHOLM, S. A. *Pulping Processes*. Robert Krieger Publishing, Malabar, 1985.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e Manejo da Cultura do Algodoeiro. *In*: Fundação MT. (Org.). Boletim de Pesquisa de Algodão. 1ª ed. Rondonópolis: Fundação MT, v. 4, p. 147-160, 2001.

SALAZAR, V. L. P. et al. Biodegradation of Coir and Sisal Applied in the Automotive Industry. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 19, n. 3, p. 677–688, 1 Jul. 2011.

SALVADOR, D. S. C. de O.; SILVA, A. L. D. DA. A produção de vestimentas na dinâmica territorial de São José do Seridó (RN). **Revista Geografar**, v. 15, n. 2, p. 493, 24 dez. 2020.

SÁNCHEZ, J. et al. Biomass Resources. **The Role of Bioenergy in the Bioeconomy**, p. 25–111, 2019.

SANTOS, E. S. dos et al. Economia popular e solidária e indústria têxtil: um estudo com base na Rede Justa Trama. **Revista Macambira**, v. 5, n. 1, p. E051006, 30 jun. 2021.

SIXTA, H.; RUTKOWSKA, E.W. Estudo cinético abrangente da polpa Kraft de *Eucalyptus globulus*. **O Papel**, São Paulo, v. 68, n. 2, p. 68–81, 2007.

SOUSA, L. M. M. et al. Metodologia de Revisão Integrativa da Literatura em Enfermagem. **Revista Investigação Enfermagem**, Ser. II, v. 21, p. 17-26, 2017.

SOUZA, A. et al. Avaliação do impacto da exposição a agrotóxicos sobre a saúde de população rural: Vale do Taquari (RS, Brasil). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3519–3528, ago. 2011.

SOUZA, M. T. DE; SILVA, M. D. DA; CARVALHO, R. DE. Integrative review: what is it? How to do it? **Einstein (São Paulo)**, v. 8, n. 1, p. 102–106, mar. 2010.

SUN, R. et al. Effect of lignin content on enzymatic hydrolysis of furfural residues. **BioResources**, v. 6, n. 1, p. 317–328, 7 dez. 2011.

TALBOT, P.; LENCKI, R. W.; DE LA NOÛE, J. Carbon dioxide absorption characterization of a bioreactor for biomass production of *Phormidium bohneri*: comparative study of three types of diffusers. **Journal of Applied Phycology**, v. 2, n. 4, p. 341–350, dez. 1990.

TEXTILE EXCHANGE. 2019 Preferred Fiber & Materials Report, 2019. Disponível em: <<https://textileexchange.org/news/2019-preferred-fiber-materials-report/>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

\_\_\_\_\_. Preferred Fiber & Materials, Market Report, 2020. Disponível em: <[https://textileexchange.org/app/uploads/2021/04/Textile-Exchange\\_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report\\_2020.pdf](https://textileexchange.org/app/uploads/2021/04/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2022.

THOMAZ, D. T. et al. Poder calorífico da madeira e do carvão vegetal: lignina e carbono fixo como determinantes. *In*: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 6., 2007, Colombo. Anais. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2007.

THOMPSON, R. F. et al. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? **Science**, v. 304, n. 5672, p. 838, 2004.

VIANA, E. V. M. et al. Eficiência de formulações feromonais para o manejo de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) em algodão no Mato Grosso. **Anais do I Congresso Brasileiro de Biotecnologia On-line**, v. 2, n. 1, 24 mar. 2021.

VIEIRA, M. B. Quantitative Sustainability Analysis of Third Generation Biofuels Using Process Data from Microalgae Biorefinery. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

VERSCHOOR, A. et al. Quick scan and prioritization of microplastic sources and emissions. **RIVM Advisory Letter 250012001**. National Institute for Public Health and Environment, Bilthoven (NL), 2014.

WACHEKOWSKI, G.; CARNET FIGUEIREDO, T.; LAZZARI RIZZI, J.; VIEIRA SOARES, N. Agrotóxicos, Revolução Verde e seus impactos na sociedade: Revisão narrativa de literatura. **Salão do Conhecimento**, v. 7, n. 7, 2021.

WAHIDIN, S.; IDRIS, A.; SHALEH, S. R. M. The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae *Nannochloropsis* sp. **Bioresource Technology**, v. 129, p. 7–11, fev. 2013.

YAMASHITA, C.; MAGALHÃES, P.M.D.S. Métodos simples para o cultivo da alga *Tetraselmis chuii*. **EMPARN-Boletim de Pesquisa**, p. 1-20, 1984.

YANG, S. et al. In vitro evaluation of nanoplastics using human lung epithelial cells, microarray analysis and co-culture model. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 226, p. 112837, 15 dez. 2021.

YAP, B. H. J. et al. Nitrogen deprivation of microalgae: effect on cell size, cell wall thickness, cell strength, and resistance to mechanical disruption. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 43, n. 12, p. 1671–1680, 24 out. 2016.

ZUPPOLINI, S. et al. Cellulose Amphiphilic Materials: Chemistry, Process and Applications. **Pharmaceutics**, v. 14, n. 2, p. 386, 10 fev. 2022.