



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
E MEIO AMBIENTE**



JULIANO SEBASTIÃO GONÇALVES PEREIRA

Tese

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE SPIRULINA (*Arthrospira platensis*)
NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, BIOATIVAS E SENSORIAIS DE
GELADO COMESTÍVEL**

JOÃO PESSOA

2025

JULIANO SEBASTIÃO GONÇALVES PEREIRA

Tese

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE SPIRULINA (*Arthrospira platensis*)
NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, BIOATIVAS E SENSORIAIS DE
GELADO COMESTÍVEL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Desenvolvimento e Meio Ambiente da
Universidade Federal da Paraíba, como requisito
para obtenção do título de Doutor em
Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Nataly Albuquerque dos Santos

Segunda Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª Flávia de Oliveira Paulino

JOÃO PESSOA

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436a Pereira, Juliano Sebastiao Goncalves.

Avaliação da aplicação de spirulina (*Arthrospira platensis*) nas propriedades nutricionais, bioativas e sensoriais de gelado comestível / Juliano Sebastiao Goncalves Pereira. - João Pessoa, 2025.

114 f. : il.

Orientação: Nataly Albuquerque dos Santos, Angela Maria Tribuzy de M Cordeiro.

Coorientação: Flavia de Oliveira Paulino.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Alimento nutritivo - Aplicação de spirulina. 2. *Arthrospira platensis*. 3. Ficocianina. 4. Gelados comestíveis. 5. Alimentos sustentáveis. I. Santos, Nataly Albuquerque dos. II. Cordeiro, Angela Maria Tribuzy de M. III. Paulino, Flavia de Oliveira. IV. Título.

JULIANO SEBASTIÃO GONÇALVES PEREIRA


**“AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE SPIRULINA (*Arthrospira platensis*) NAS
PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, BIOATIVAS E SENSORIAIS DE GELADO
COMESTÍVEL”**

Tese apresentado ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), como requisito para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.


Linha de Pesquisa: Tecnologias para o desenvolvimento sustentável

Defendida em: 19/11/2025.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **NATALY ALBUQUERQUE DOS SANTOS**
Data: 13/12/2025 13:47:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dra. NATALY ALBUQUERQUE DOS SANTOS
Orientadora – UFPB - Rede PRODEMA

Documento assinado digitalmente
 **ANGELA MARIA TRIBUZY DE MAGALHÃES CORDI**
Data: 18/12/2025 11:00:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dra. ANGELA MARIA TRIBUZY DE MAGALHÃES CORDEIRO
Segunda Orientadora - UFPB

Documento assinado digitalmente
 **MARIA CRISTINA BASÍLIO CRISPIM DA SILVA**
Data: 18/12/2025 13:32:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dra. MARIA CRISTINA BASÍLIO CRISPIM DA SILVA
Examinadora interna – UFPB - Rede PRODEMA

Documento assinado digitalmente
 **SAMARA ARANHA ESCHRIQUE**
Data: 17/12/2025 08:25:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. SAMARA ARANHA ESCHRIQUE
Examinadora interna – UFMA - Rede PRODEMA

Documento assinado digitalmente
 **KATHARINA KARDINELE BARROS SASSI**
Data: 13/12/2025 15:33:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. KATHARINA KARDINELE BARROS SASSI
Examinadora externa –UFPB

Documento assinado digitalmente
 **MARISTELA ALVES ALCANTARA**
Data: 15/12/2025 11:55:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. MARISTELA ALVES ALCÂNTARA
Examinadora externa – UFPB

“A descoberta de um novo manjar faz mais pela felicidade humana do que a descoberta de uma nova estrela.”

(Jean Anthelme Brillat-Savarin)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora professora Dr^a Nataly Albuquerque dos Santos pelo apoio nessa jornada. Um agradecimento para a professora Dr^a Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro pelo comprometimento no processo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço à professora Dr^a Flavia de Oliveira Paulino pela colaboração no teste de análise sensorial. Agradeço ao M.Sc Marcelo Lima, mestre sorveteiro e técnico de laboratório do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), pela contribuição com seu rico conhecimento na área de gelados comestíveis.

Por fim agradeço a todos os colaboradores dos laboratórios, onde fui muito bem recebido para desenvolver as análises da minha tese.

Não posso esquecer de agradecer o professor Dr^o Reinaldo Farias Paiva de Lucena que sempre esteve ao meu lado motivando e apoiando na minha empreitada de mestrado e doutorado.

RESUMO

A busca por novas fontes alimentares é urgente devido principalmente à necessidade de sistemas alimentares mais saudáveis e à mudança nos padrões de consumo contemporâneos. Dentre as opções emergentes, as microalgas destacam-se pelo elevado potencial biotecnológico e nutricional. Com esse trabalho objetivou-se desenvolver picolés enriquecidos com a biomassa de spirulina (*Arthrospira platensis*) e seu pigmento ficocianina, avaliando as características nutricionais, bioativas, sensoriais e a viabilidade tecnológica e gastronômica do produto. A biomassa em pó da spirulina e o pigmento ficocianina foram caracterizados por análises físicas e químicas (umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, pH, acidez e sólidos solúveis) e microbiológicas (contagem de bolores e leveduras, *Escherichia coli*, *Estafilococos* coagulase positiva, Enterobacteriaceae e pesquisa de *Salmonella* spp.). Foram elaboradas 3 formulações de picolés em base água contendo em sua formulação controle: abacaxi-pérola (*Ananas comosus* var. *comosus*), manga tommy (*Mangifera indica* 'Tommy Atkins'), couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*), hortelã (*Mentha spicata*), gengibre (*Zingiber officinale*), mel de engenho, liga neutra, água mineral. Picolés controle (PC) e formulados com biomassa de Spirulina (PSV) e com ficocianina purificada (PSA) foram avaliados quanto às propriedades físicas e químicas, microbiológicas (mesmas análises aplicadas à biomassa), tecnológicas (cor instrumental, teste de derretimento e perfil de textura) e sensoriais (intenção de compra e ordenação preferência, considerando aparência, cor, sabor e textura). As formulações enriquecidas com spirulina e com ficocianina apresentaram melhorias nutricionais expressivas, destacando-se o aumento do teor proteico (PC = 0,84%; PSA = 1,70%; PSV = 1,33%), maior estabilidade térmica no PSV (23 min 38 s; PC = 22 min 45 s; PSA = 16 min 46 s) e incremento da dureza (PC = 33,4 N; PSA = 78,7 N; PSV = 86,9 N). O teor de compostos fenólicos foi superior no PSV (56,10 mg/100 g), enquanto a atividade antioxidante foi mais elevada no PSA (DPPH = 174,83; FRAP = 1032,56; ABTS = 542,50 µmol Trolox/100 g). As análises microbiológicas enquadraram todas as amostras nos padrões aceitáveis para consumo humano. Na análise sensorial, apenas os atributos de cor e aroma diferiram significativamente entre os picolés enriquecidos. A pesquisa de mercado (n = 143) indicou alta intenção de compra (79,02%), inclusive entre consumidores pouco familiarizados com a spirulina. Conclui-se que os resultados confirmam o potencial tecnológico e funcional da spirulina na elaboração de gelados comestíveis, recomendando-se estudos futuros voltados à otimização da aceitação sensorial.

Palavras-chave: *Arthrospira platensis*; Ficocianina; Gelados comestíveis; Alimentos sustentáveis.

ABSTRACT

The search for new food sources has become increasingly urgent due to the need for healthier food systems and shifts in contemporary consumption patterns. Among the emerging alternatives, microalgae stand out for their high biotechnological and nutritional potential. The aim of this work was to develop popsicles enriched with spirulina (*Arthrospira platensis*) biomass and the pigment phycocyanin, evaluating their nutritional, bioactive, sensory attributes and technological feasibility for gastronomic applications. The powdered Spirulina biomass and phycocyanin were characterized through physicochemical analyses (moisture, ash, proteins, lipids, carbohydrates, pH, acidity, and total soluble solids) and microbiological tests (counts of molds and yeasts, *Escherichia coli*, coagulase-positive *Staphylococcus*, *Enterobacteriaceae*, and detection of *Salmonella* spp.). Three water-based popsicle formulations were developed, with the control recipe containing pineapple (*Ananas comosus* var. *comosus*), mango (*Mangifera indica* 'Tommy Atkins'), kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*), mint (*Mentha spicata*), ginger (*Zingiber officinale*), cane syrup, stabilizer, and mineral water. Control popsicles (PC) and popsicles enriched with Spirulina biomass (PSV) or purified phycocyanin (PSA) were evaluated for physicochemical, microbiological, technological (instrumental color, melting behavior, and texture profile), and sensory properties (purchase intention and preference ranking based on appearance, color, flavor, and texture). The enriched formulations showed expressive nutritional enhancements, including increased protein content (PC = 0.84%; PSA = 1.70%; PSV = 1.33%), improved thermal stability in PSV (23 min 38 s; PC = 22 min 45 s; PSA = 16 min 46 s), and greater hardness (PC = 33.4 N; PSA = 78.7 N; PSV = 86.9 N). Phenolic content was higher in PSV (56.10 mg/100 g), while PSA exhibited the strongest antioxidant activity (DPPH = 174.83; FRAP = 1032.56; ABTS = 542.50 μ mol Trolox/100 g). Microbiological analyses confirmed that all samples met safety standards. Sensory evaluation revealed significant differences only in color and aroma among the enriched popsicles. The market survey (n = 143) indicated a high purchase intention (79.02%), even among consumers with little prior familiarity with Spirulina. The results confirm the technological and functional potential of Spirulina for the development of sustainable frozen desserts, and future studies are recommended to optimize sensory acceptance.

Keywords: *Arthrospira platensis*; Phycocyanin; Edible ices; Food sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Principais produtos e aplicações das microalgas.....	19
Figura 2 -	Alimentos enriquecidos com biomassa de microalgas.....	19
Figura 3 -	Sistema <i>raceway ponds</i> na Fazenda Tamanduá, Patos - Paraíba.....	22
Figura 4 -	Fotobiorreator construído pelos alunos do Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas - LARBIM/UFPB	22
Figura 5 -	Sorvete produzido com extrato de spirulina otimizado pela empresa americana <i>Sensient Colors</i>	33
Figura 6 -	Formulações de picolé e sorvete com valor nutricional agregado. A - picolé azul vegano; B - picolé de iogurte com Spirulina; C - picolé de manga com Spirulina; D - sorvete de Chlorella	36
Figura 7 -	Spirulina produzida e comercializada na Fazenda Tamanduá, Patos - PB	37
Figura 8 -	Pigmento em pó de ficocianina produzido na China e comercializada pelo Armazém Santa Helena, São Paulo - SP.....	37
Figura 9 -	Fluxograma para produção dos picolés	39
Figura 10 -	Preparação dos hortifrutis.....	40
Figura 11 -	Picolés finalizados prontos para serem embalados. (A) PC = picolé controle; (B) PSV - Picolé com biomassa de spirulina; (C) PSA - Picolé com pigmento de spirulina	40
Figura 12 -	Teste de derretimento dos picolés destacando as gramas e os minutos do primeiro pingo, o peso a cada 5 minutos e da queda final do picolé (minutos contados após o primeiro pingo). PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de 52 spirulina	
Figura 13 -	Resultados dos compostos bioativos da biomassa em pó de spirulina, do pigmento de ficocianina, e dos PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina.....	56
Figura 14 -	Análises antioxidantes da biomassa em pó de spirulina, do pigmento de ficocianina, e dos picolés: PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com	

Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina.....	57
Figura 15 - Distribuição geográfica dos julgadores da análise sensorial	60
Figura 16 - Perfil dos julgadores quanto ao consumo regular de picolés convencionais (A), conhecimento prévio sobre picolés funcionais (B) e consumo prévio de picolés funcionais (C)	61
Figura 17 - Perfil dos julgadores quanto ao grau de confiança na produção de picolé funcional com alto valor nutricional	61
Figura 18 - Perfil dos julgadores quanto ao conhecimento prévio sobre a spirulina (A) e sobre os benefícios nutricionais da spirulina (B)	62
Figura 19 - Intenção de compra dos picolés funcionais entre os julgadores participantes da pesquisa	62
Figura 20 - Principais motivos apontados pelos julgadores para a não intenção de compra dos picolés funcionais	63
Figura 21 - Frequência dos julgadores na percepção de fruta no sabor em função da faixa etária (A) e do gênero (B)	66
Figura 22 - Frequência dos julgadores na percepção do aroma em função da faixa etária (A) e do gênero (B)	67
Figura 23 - Frequência dos julgadores na percepção do aroma/sabor em função da faixa etária (A) e do gênero (B)	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens do cultivo de microalgas	21
Tabela 2 - Formulação dos picolés a base água com mix de frutas enriquecidos com BPS e PPF	38
Tabela 3 - Custos e viabilidade econômica dos picolés enriquecidos com biomassa e pigmento de spirulina.....	41
Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos dos hortifrutis	48
Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos de BPS e PPF	50
Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos dos picolés enriquecidos com BPS e PPF	51
Tabela 7 - Parâmetros de textura dos picolés	53
Tabela 8 - Colorimetria dos picolés.....	54
Tabela 9 - Avaliações microbiológicas da biomassa em pó de spirulina, do pigmento de ficocianina, e dos picolés: PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina	58
Tabela 10 - Características sociodemográficas dos julgadores da análise sensorial	59
Tabela 11 - Somatório do Teste de Ordenação Preferência para os picolés funcionais adicionados de biomassa em pó e de pigmento em pó de <i>Arthrospira platensis</i>	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	Cultivo de microalgas	18
3.2	A <i>Anthospira platensis</i> e suas potencialidades	24
3.3	Ficocianina	32
3.4	Picolés enriquecidos	34
4	METODOLOGIA	37
4.1	Aquisição da biomassa em pó da spirulina e dos hortifrutis	37
4.2	Picolé de spirulina	38
4.2.1	Formulação dos picolés	38
4.2.2	Teste de derretimento	42
4.2.3	Análises físico-químicas	42
4.2.4	Análise de textura	43
4.2.5	Colorimetria	43
4.2.6	Determinação de ácido ascórbico (vitamina C)	43
4.2.7	Análise de compostos bioativos	44
4.2.8	Análise de compostos antioxidantes	44
4.3	Análises microbiológicas	46
4.4	Análise sensorial	46
4.5	Análise estatística	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	Análises físico-químicas	48
5.1.1	Caracterização dos hortifrutis	48
5.1.2	Caracterização das spirulinas	49
5.1.3	Caracterização dos picolés	50
5.2	Teste de derretimento	51
5.3	Análise de textura	52
5.4	Colorimetria	54
5.5	Análises dos compostos bioativos	55

5.5.1	Avaliação das propriedades bioativas	55
5.5.2	Avaliação da atividade antioxidante	56
5.6	Análises microbiológicas	58
5.7	Análise sensorial	59
5.7.1	Características sociodemográficas	59
5.7.2	Perfil de consumo de picolé	60
5.7.3	Teste de ordenação preferência	63
6	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	89
	APÊNDICE B - Questionário da avaliação sensorial	92
	APÊNDICE C- Informações nutricionais dos picolés	101
	ANEXO A - Relatório técnico da spirulina em pó comercializada pela Fazenda Tamanduá.....	104
	ANEXO B - Certificado de análises do pigmento de ficocianina fornecido pela empresa chinesa.	108
	ANEXO C - Parecer Consubstanciado do CEP	109

1 INTRODUÇÃO

O cenário global atual apresenta aumento populacional, esgotamento dos recursos da Terra, crise climática e pandemias, passando a exigir a identificação de novas estratégias desafiadoras para salvar o futuro da humanidade, que envolvam o uso de energias e materiais renováveis, reciclagem de resíduos, economia de água, decrescimento econômico, entre outros. Esses desafios estão diretamente relacionados à necessidade de promover modelos de desenvolvimento mais resilientes e sustentáveis. Nesse contexto, a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) (Brasil, 2022) estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) voltados à erradicação da fome, promoção da saúde, nutrição e produção responsável, incentivando o uso de tecnologias e ingredientes de base biológica para reduzir impactos ambientais e fortalecer a segurança alimentar global.

Em consonância com essas diretrizes globais, os desafios associados à sustentabilidade da vida, mantendo os custos de produção de alimentos baixos e atendendo à crescente demanda por alimentos, significam que o fornecimento de fontes alternativas de lipídios, proteínas, pigmentos e polímeros se tornou uma tendência global. A busca por ingredientes e tecnologias alimentares alinhadas aos ODS, capazes de reduzir o impacto ambiental e melhorar a segurança alimentar, tem impulsionado o estudo de novas matrizes biológicas, como as microalgas. Nesse contexto, microalgas ricas em nutrientes funcionais que afetam positivamente a saúde humana são um excelente exemplo de fonte alternativa de nutrientes e uma das mais importantes fontes para a economia de base biológica ((FAO, 2009; Fasaei *et al.*, 2018; Rogers *et al.*, 2014; Rutar *et al.*, 2022; Sotiroidis *et al.*, 2013; Sui *et al.*, 2020).

A partir dessa perspectiva, o aumento populacional global e a busca por alimentos mais nutritivos e sustentáveis impulsionam também o uso de suplementos alimentares. As pessoas tornaram-se mais conscientes da ligação entre nutrição adequada e saúde pessoal (Fais *et al.*, 2022). Portanto, devido à ocorrência de vários componentes bioativos, como ácidos graxos poliinsaturados, β -caroteno, antioxidantes (Sathasivam *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2021), polissacarídeos sulfatados (antivirais) e esteróis (antimicrobianos), as microalgas se tornam, em grande potencial, um dos produtos alimentares promissores para o enriquecimento nutricional (Koyande *et al.*, 2019; Pyne; Paria, 2022). Assim, seu uso na alimentação humana contribui para metas globais de segurança alimentar, saúde e sustentabilidade.

Do ponto de vista biológico e ecológico, por três bilhões e meio de anos, as microalgas colonizaram quase todos os ecossistemas do planeta: de oceanos a geleiras, passando por lagos hipersalinos, solos, rochas e árvores. São microrganismos fotossintéticos que têm um

tamanho que varia de algumas a várias centenas de micrômetros, dependendo da classe e da espécie, a maioria tem mecanismos fotossintéticos semelhantes às plantas terrestres, mas geralmente mais eficientes na conversão fotoautotrófica da energia solar em biomassa. Isso porque a estrutura celular das microalgas é menos sofisticada e o ambiente normal é aquoso com fácil acesso ao CO₂ e outros nutrientes (Abo *et al.*, 2019; Habib *et al.*, 2008; Kratzer; Murkovic, 2021).

Esses microrganismos resultam em uma biomassa valiosa, que pode ser usada para várias aplicações, como absorver dióxido de carbono, assimilar nutrientes orgânicos e sintetizar metabólitos de valor agregado na aquicultura (Sui *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020). Além disso, sua versatilidade produtiva e baixo impacto ambiental tornam seu cultivo um aliado estratégico na mitigação das mudanças climáticas e na transição para uma economia circular. Podem ser cultivadas sem o uso de terras aráveis e água doce, o que as torna uma alternativa sustentável às práticas atuais de produção de alimentos, que exploram os recursos naturais. Outro diferencial é a possibilidade de cultivo contínuo ao longo do ano, o que amplia o interesse industrial e comercial por sua biomassa (Ruiz *et al.*, 2016).

No equilíbrio ambiental global, as microalgas ao usarem a luz como fonte de energia para fixar carbono inorgânico (CO₂), desempenham um papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas marinhos e moldam o clima modulando o CO₂ atmosférico (Riebesell *et al.*, 2007). Além da imensa contribuição para o ciclo do carbono e a produção de oxigênio, as microalgas são promissoras para o futuro, pois devido à desregulamentação climática e ao esgotamento dos recursos petrolíferos, o uso de combustíveis fósseis como principal fonte de energia é amplamente contestado, fazendo com que as microalgas sejam foco de crescente atenção no campo da bioenergia (Abo *et al.*, 2019; Chisty, 2008; Höök; Tang, 2013; Wijffels; Barbosa, 2010).

Segundo Santhosh *et al.* (2016), as microalgas são capazes de produzir alimentos, suplementos alimentares, produtos químicos e biocombustíveis. As microalgas marinhas e as cianobactérias são ricas em diversos compostos químicos, portanto, podem ser utilizadas em algumas aplicações biológicas relacionadas com benefícios à saúde. Através das microalgas, uma grande variedade de compostos como polifenóis, ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) ou fitoesteróis podem ser obtidos e aplicados nas indústrias têxtil, farmacêutica, aAlimentícia e petroquímica.

A utilização de microalgas para a elaboração de produtos para nutrição/alimentação e medicinais, se encontram em pleno desenvolvimento, despontando com o comércio do subproduto carotenoide, utilizado na elaboração de alimentos funcionais e produtos medicinais.

(Barkia; Saari; Manning, 2019). Essa tendência reflete não apenas a valorização do apelo “verde” dos produtos, mas também o reconhecimento científico da eficácia dos compostos bioativos extraídos de microalgas, como antioxidantes naturais e pigmentos com propriedades nutraceuticas. Uma forma de uso das microalgas é no estado de pó, conhecido também por biomassa seca. Nesse processo, a biomassa gerada em fotobiorreatores é centrifugada, congelada e posteriormente liofilizada, garantindo a preservação dos compostos sensíveis e facilitando sua incorporação em matrizes alimentares (Muhammad *et al.*, 2020).

Para o cultivo adequado das microalgas, seja em ambiente natural ou controlado, são necessários fatores como incidência luminosa, temperatura, pH e disponibilidade de nutrientes. Alterações nesses parâmetros, por ação natural ou antrópica, influenciam diretamente o crescimento e a composição bioquímica das células, modificando o teor de proteínas, lipídios e pigmentos (Sassi, 2016). Entre as espécies mais estudadas, destacam-se *Spirulina* e *Chlorella*, amplamente reconhecidas pelo potencial na fabricação de alimentos biotecnológicos e funcionais (Lafarga *et al.*, 2020).

Na composição bioquímica das microalgas, algumas espécies, como a *Chlorella* podem apresentar um alto teor de proteínas, chegando a 65%, baixo teor de gordura (5%) e até 17% de fibras, fatores muito importantes na seleção de alimentos para o consumo humano e a manutenção da saúde (Niccolai *et al.*, 2019). Essas propriedades justificam o crescente interesse na incorporação de microalgas como ingredientes naturais capazes de melhorar o valor nutricional, modificar a cor e até realçar o sabor dos alimentos (Mohamed *et al.*, 2013).

O consumo de microalgas como alimento é milenar em algumas culturas da América do Sul e da Ásia. Atualmente, chefs e indústrias alimentícias redescobrem seu potencial gastronômico e funcional, com destaque para o chef peruano Gastón Acurio, que utiliza microalgas em preparações sofisticadas (Pérez-Loréns, 2020). O desenvolvimento de produtos atraentes para os consumidores é um fator determinante nesse processo, com a utilização das microalgas para inovar e agregar nutrientes aos produtos alimentícios, com uso de ingredientes funcionais em alimentos tradicionais (García-Segovia *et al.*, 2020), e mais recentemente na forma de suplementos (Pinto-Leite *et al.*, 2025).

Apesar do avanço científico e do crescente interesse comercial, a exploração industrial de microalgas ainda enfrenta desafios tecnológicos significativos. É necessário aumentar os rendimentos, reduzir custos e garantir a viabilidade econômica do setor (Abo *et al.*, 2019). Os atuais processos de cultivo demandam alto gasto energético em etapas como agitação, injeção de CO₂, colheita, secagem e extração. Superar essas limitações é essencial para viabilizar

economicamente a produção em larga escala e consolidar a microalga como um recurso estratégico da bioeconomia moderna (Norsker, 2011).

O mercado de produtos alimentares funcionais cresce a um ritmo acelerado, impulsionado pela disseminação de informações nas mídias digitais e pela maior conscientização dos consumidores sobre o papel da alimentação na prevenção de doenças (Guldas *et al.*, 2022). Esse movimento se conecta diretamente à demanda por alimentos sustentáveis e inovadores, reforçando a relevância de pesquisas que aliam biotecnologia, nutrição e responsabilidade ambiental.

Nesse cenário, torna-se fundamental compreender toda a cadeia de desenvolvimento de novos produtos e ajustar os processos produtivos aos princípios da sustentabilidade. Mundialmente, discute-se e amplia-se a prática do crescimento econômico verde, com modelos produtivos mais responsáveis e sensíveis ao esgotamento dos recursos naturais. Essa mudança é também impulsionada por um novo perfil de consumidor, mais exigente, informado e comprometido com o impacto ambiental de suas escolhas (Khan *et al.*, 2020).

Dessa forma, esta pesquisa adota uma abordagem interdisciplinar, integrando conhecimentos da biologia (para o cultivo das microalgas), da tecnologia de alimentos (nas análises bioquímicas), da biotecnologia (nas funcionalidades à saúde humana), da nutrição (na avaliação do valor nutricional do produto) e da gastronomia (no aprimoramento do sabor e da apresentação). Essa integração confere ao estudo relevância acadêmica e social, ao propor uma inovação em alimento biotecnológico, o picolé enriquecido com biomassa de *Spirulina* e com o pigmento de ficocianina, como alternativa funcional, sustentável e acessível.

A adição de *spirulina* na elaboração de picolé contribuirá para o enriquecimento nutricional, bioativo e sensorial do gelado comestível. Considerando que a principal barreira ao uso de microalgas em alimentos é a aceitabilidade sensorial, devido à cor, odor e sabor característicos, a metodologia proposta visa atenuar essas características e otimizar a palatabilidade, ampliando o potencial de consumo e aceitação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicação da biomassa e do pigmento ficocianina da spirulina (*Anthospira platensis*) nas propriedades nutricionais, bioativas, tecnológicas e sensoriais de gelado comestível.

2.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar a biomassa em pó e o pigmento ficocianina da spirulina quanto às suas propriedades físicas e químicas, microbiológicas e bioativas;
- b) Desenvolver e avaliar picolés à base água enriquecidos com a biomassa e com o pigmento ficocianina da spirulina, analisando sua composição nutricional, potencial bioativo, propriedades tecnológicas e microbiológicas;
- c) Realizar análise sensorial dos picolés por meio de teste de ordenação de preferência e intenção de compra.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Microalgas

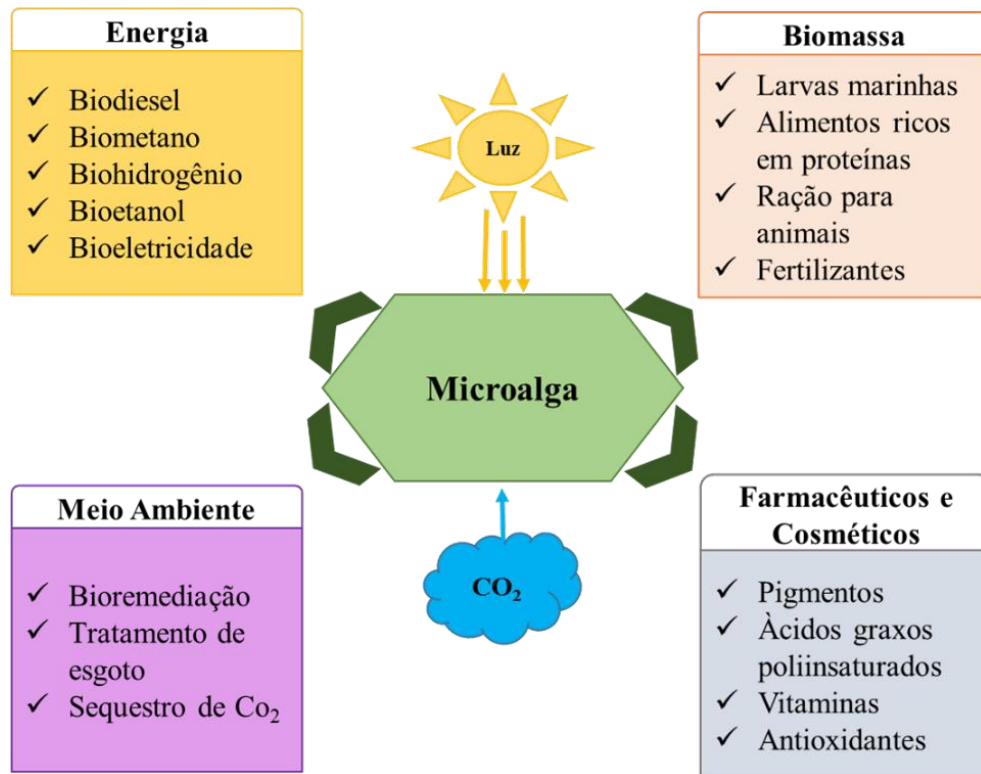
Microalga é uma denominação geral aplicada a uma variedade de microrganismos pertencentes a diversos grupos taxonômicos não relacionados filogeneticamente. São seres fotossintéticos uni ou multicelulares que vivem em diversos tipos de ambientes (Derner *et al.*, 2006). Possuem uma diversidade maior do que todas as plantas terrestres com nada menos que 200.000 espécies listadas (Mata *et al.*, 2010), no entanto, das milhares de espécies identificadas até hoje, apenas 100 foram estudadas e dificilmente uma dúzia é cultivada em escala industrial (Abo *et al.*, 2019; Cadoret; Bernard, 2008; Sunganya, 2016).

Ao se considerar a estrutura celular, as microalgas distribuem-se entre as Divisões Cyanophyta (cianobactérias) como procarióticos e as Divisões Chlorophyta, Euglenophyta, Rhodophyta, Haptophyta (Prymnesiophyta), Heterokontophyta (Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Xanthophyceae etc.), Cryptophyta e Dinophyta como eucarióticos (Derner *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2018).

As microalgas são utilizadas para consumo humano há séculos, com relatos de consumo de espécies de microalgas como *S. platensis*, *Nostoc* e *Aphanizomenon* por tribos indígenas. No entanto, o cultivo de microalgas começou há algumas décadas, (Borowitzka, 1999; Priyadarshani; Rath, 2012; Spolaore *et al.*, 2006) visando utilizá-la como fonte de proteína unicelular, devido ao crescimento exponencial da população mundial e à possível falta de alimentos mencionada por pesquisadores nas décadas de 60 e 70 (Lupatini *et al.*, 2016).

São prolíficas produtoras de proteínas, carboidratos, lipídeos e compostos bioativos valiosos (Abo *et al.*, 2019) (Figura 1), fazendo com que sejam consideradas como uma fonte potencial de aplicações, como ingrediente alimentício (Figura 2), uso ambiental para tratamento de água, aplicação energética na produção de biodiesel, ou para o setor farmacêutico através da aplicação de seus compostos de alto valor agregado (Bastante *et al.*, 2022; Levasseur *et al.*, 2020;). Atualmente, algumas espécies tem recebido interesse comercial, em função da sua composição nutricional, como: *A. platensis*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis* e *Scenedesmus obliquus* (Kratzer; Murkovic, 2021).

Figura 1- Principais produtos e aplicações das microalgas.



Fonte: Adaptado de Abo *et al.*, 2019; Al-Wathnani *et al.* 2012; Khan *et al.* 2018.

Figura 2- Alimentos enriquecidos com biomassa de microalgas



Fonte: <https://www.eufic.org/en/food-production/article/microalgae-producing-new-food-products-thatconsumers-accept>

Os cultivos intensivos de microalgas representam hoje um dos mais modernos processos advindos da biotecnologia, podendo ser usadas na produção para obtenção de energia, alimento e uma variedade de produtos de interesse nutricional, farmacológico e industrial (Chu *et al.*, 2010; Derner *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2018). Tanto em escala de bancada quanto em larga escala, os cultivos de microalgas dependem de parâmetros cruciais para o seu desenvolvimento.

O crescimento das microalgas se dá através do processo de fotossíntese, tendo ótima adaptação em regiões de alta incidência solar como o nordeste brasileiro (Dolganyuk *et al.*, 2020).

Quando inoculada a microalga em um meio de cultura com condições adequadas, se acompanhado o seu crescimento ao longo do tempo obtêm-se uma curva com fases características do crescimento, definidas por Borzani (2001) como: 1- Fase de adaptação ou fase lag; 2- Fase de aceleração do crescimento; 3- Fase de crescimento exponencial; 4- Fase linear de crescimento; 5- Fase de desaceleração do crescimento; 6- Fase estacionária; e 7- Fase de morte. Para um crescimento promissor, as microalgas necessitam de macronutrientes, micronutrientes e vitaminas (as mais usadas são tiamina (B1), biotina (B7) e cianocobalamina (B12)) (Lourenço, 2006).

A composição da biomassa entre diferentes espécies de microalgas pode ser notavelmente diferente (Sudhakar *et al.*, 2019). Além do mais, a composição da biomassa de uma cepa de microalga também pode variar significativamente dependendo de vários fatores:

a) As fases de crescimento: embora um teor mais alto de proteína microalgal possa ser muito atraente, muito pouca biomassa pode ser acumulada durante a fase exponencial. Enquanto a fase estacionária indica o maior acúmulo de biomassa microalgal, essa biomassa pode ser pobre em proteína. Como resultado, a escolha de diferentes épocas de colheita pode afetar significativamente a composição da biomassa e a produção final de microalgas e os compostos alvo do cultivo. Em última análise, esses fatores podem influenciar o custo total de produção em grande medida (Sui; Vlaeminck, 2019; Sui *et al.*, 2020);

b) A luz é o fator mais importante para o crescimento fotossintético e tem efeito na composição celular das microalgas (fotoadaptação ou fotoaclimatação). A temperatura é um dos fatores físicos mais importantes que influenciam o crescimento de microalgas. Para cada temperatura existe uma intensidade luminosa específica para atingir a taxa máxima de fotossíntese (Hu, 2004);

c) As microalgas também necessitam de carbono inorgânico para a fotossíntese, podendo ser trazido na forma de sais (bicarbonato) ou por enriquecimento do ar infundido (pois o ar ambiente não contém CO₂ suficiente para o cultivo intensivo de microalgas). Para que as microalgas possam usar CO₂ para a fotossíntese, este deve ser solubilizado (Miron *et al.*, 2000);

d) O nitrogênio é um elemento essencial das proteínas estruturais e operacionais, o elemento mais importante depois do carbono (Becker, 1994). As microalgas também requerem potássio, ferro, sílica (para diatomáceas), enxofre, metais na forma de minerais e vitaminas. O ferro é um elemento traço essencial para o crescimento de microalgas por seu envolvimento no transporte de elétrons no processo de fotossíntese (Hu, 2004);

e) A movimentação do cultivo é um fator importante porque aumenta a produtividade e a concentração ideal (Grobbelaar, 2000; Richmond, 2007). O aumento da agitação do ambiente também aumenta a troca de nutrientes e metabólitos entre as células e o meio de cultura (Abo *et al.*, 2019).

As microalgas apresentam vantagens por considerarem um potencial significativo para exploração industrial (Khan *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018). Conforme se pode observar, são apresentadas na tabela 1 algumas vantagens do cultivo de microalgas, todavia, para algumas dessas características foram considerados valores teóricos calculados com base na eficiência fotossintética e no potencial de crescimento das microalgas (Abo *et al.*, 2019).

Tabela 1- Vantagens do cultivo de microalgas

Importante biodiversidade	O número de espécies de microalgas presentes em ecossistemas como oceanos, rios e lagos é estimado entre 200.000 e 7 milhões. Cada espécie tem um perfil bioquímico e algumas delas contêm moléculas únicas (Abo <i>et al.</i> , 2019).
Rápido crescimento	A velocidade específica está relacionada com os parâmetros ambientais e as espécies. As microalgas duplicaram sua biomassa entre 0,3 e 3 vezes ao dia. Em condições ótimas, algumas espécies como <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> podem atingir um tempo de duplicação de 4,3 h (Cadoret; Bernard, 2008.)
Alta conversão de fótons	A eficiência da fotossíntese é estimada em 9%, o que não está longe do rendimento ótimo das plantas terrestres entre 6% e 13,4%. No entanto, comparando por hectare, o rendimento é maior (cerca de 3-8% em comparação com 0,5% para plantas terrestres (Dermibas; Dermibas, 2010).
Consumo de CO₂	A produção de 100 toneladas de biomassa de algas permitiria a captura de 180 toneladas de CO ₂ (Chisti, 2007). No entanto, esses números são baseados em cálculos teóricos, no momento não há evidências em grande escala. A eficiência da fixação de CO ₂ por microalgas é fortemente dependente de condições físico-químicas e biológicas (Abo <i>et al.</i> , 2019).
Disponibilidade e captura de nutrientes	Disponibilidade significativa de nutrientes, especialmente para espécies autotróficas com grandes fontes de dióxido de carbono, que é sua principal fonte de carbono. Além disso, as microalgas têm potencial para capturar derivados de NO _x e SO _x em fumaças industriais, assim como nitratos e fosfatos em efluentes líquidos (Abo <i>et al.</i> , 2019).
Não competição com solos agricultáveis	As culturas de microalgas não competem com a produtividade das terras agrícolas (Abo <i>et al.</i> , 2019).
Consumo de águas residuais	As microalgas podem desenvolver-se nas águas residuais utilizando contaminantes e águas residuais como nutrientes (Wang <i>et al.</i> , 2008). Não há concorrência com o uso de água destinada ao consumo humano. Além disso, seu cultivo sob certas condições permite reciclar a maior parte da água utilizada (Abo <i>et al.</i> , 2019).

Fonte: adaptado de Abo *et al.* (2019).

O cultivo de microalgas pode ser dividido em sistemas que relacionam a troca direta ou não dos gases com a atmosfera: abertos, a exemplo das lagoas circulares, tanques rasos sem agitação e raceways (Figura 3); e fechados, que são os fotobiorreatores (Figura 4), que simulam o ambiente natural de crescimento das microalgas (Mantovani *et al.*, 2020).

Figura 3 - Sistema *raceway ponds* na Fazenda Tamanduá, Patos - Paraíba



Fonte: Flickr, 2012.

Figura 4 - Fotobiorreator construído pelos alunos do Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas - LARBIM/UFPB



Fonte: Aversari, 2018.

Cada sistema apresenta vantagens e desvantagens (Chew *et al.*, 2018; Fu *et al.*, 2021; Mata *et al.*, 2010). Geralmente, os cultivos em escala comercial são desenvolvidos em sistemas abertos, todavia, para a obtenção de biocompostos de maior valor agregado o cultivo em condições controladas, empregando os fotobiorreatores é mais indicado. Para a implementação de sistemas fechados, os custos de instalação e operação são dominantes (Hu *et al.*, 2018).

Lagoas de circulação aberta caracterizam-se por baixos requisitos de energia, custos operacionais e custos de capital. No entanto, o cultivo a céu aberto é propenso a riscos de contaminação e outras poluições, baixas possibilidades de controle de parâmetros (especialmente iluminação), perda de água por evaporação e alta dependência do clima. As principais limitações derivam da mistura insuficiente, causando um fornecimento abaixo do ideal de CO₂ e iluminação restrita (Koller, 2015).

Referente aos fotobiorreatores, esses oferecem as células em cultivo condições nutricionais controladas, asseguradas pela adição do meio de cultura novo por um lado e a regular retirada da biomassa produzida acompanhada do excedente do meio nutritivo usado pelo outro. Assim, há uma estabilização química do ambiente de cultivo favorecendo a manutenção de uma elevada taxa de crescimento celular. Vantagens diversas podem ser relacionadas com o uso desse sistema: a) cultivos livre de potenciais contaminações; b) meio de cultivo renovado constantemente; c) estruturas simples e variadas dos ambientes de cultivo em formato tubular ou plano, a depender do material utilizado; d) podem ser construídos inclusive com materiais reciclados; e) resultam em maior biomassa (e concentrações de produtos) e resultados reprodutíveis, com produtividade volumétrica de biomassa 13 vezes maior quando comparados com sistemas aberto raceway, para produção de biodiesel (Chisti, 2007; Jones, 2014; Kratzer; Murkovic, 2021; Rosli *et al.*, 2020).

Sobre inovações nos sistemas fechados, Singh e Mishra (2022), afirmam que para fotobiorreatores, o uso de luzes artificiais, explorando diodos emissores de luz é benéfico no aumento da produtividade volumétrica da biomassa de microalgas, pois proporcionam iluminação contínua nos fotobiorreatores e auxiliam no projeto externo e interno. No entanto, a aplicação desses diodos acarreta altos custos de entrada, algo que tem sido estimado há muito tempo, todavia, não há nenhuma análise econômica recente do mesmo.

Vuppaladadiyam *et al.* (2018), entendem que as microalgas ainda têm um potencial subexplorado para a refinaria de base biológica devido a múltiplos desafios em diferentes campos. O cultivo de microalgas em si é um dos principais. Uma conclusão comum relatada em estudos de avaliação técnico-econômica é a incerteza na produtividade da biomassa algal,

em resposta a diferentes fatores de crescimento. Outros desafios estão relacionados principalmente à sua escalabilidade, estabilidade operacional e custos associados.

Vivemos em um século de crescimento populacional acelerado e clara limitação de recursos naturais, um dos maiores desafios está em como alimentar essa superpopulação. Faz necessário o desenvolvimento de alimentos do futuro, através de plataformas eficientes e ambientalmente sustentáveis, tendo em vista que, atualmente, uma em cada nove pessoas no mundo, é desnutrida (Torres-Tiji; Fields; Mayfield, 2020). E a parcela que se nutre, o faz através de alimentos que impactam negativamente o meio ambiente, seja através do modelo de produção de proteína animal ou pela agricultura (Suybeng *et al.*, 2019).

As microalgas são uma tendência de estudo, vem sendo utilizadas como alternativa de cultivo sustentável e agregando de valor à cadeia produtiva, uma vez que atenuam os riscos ambientais comparados a cultivos de outros insumos utilizados nas indústrias ao redor do mundo. Aos poucos a pesquisa, cultivo e utilização das microalgas em território brasileiro também vem crescendo (Andrade; Telles; Castro, 2020).

3.2 A *Arthrospira platensis* e suas potencialidades

Produtoras do pigmento ficocianina, as cianobactérias conhecidas também como algas verde-azuladas, são um grupo de bactérias fotossintéticas ou fixadoras de nitrogênio, vivem em uma ampla variedade de solos úmidos e água livremente ou em uma relação simbiótica e em ambientes com características físico-químicas extremas (Kumar *et al.*, 2019).

A spirulina (*A. platensis*) é uma espécie filamentosa fotoautotrófica obrigatória e possui uma forma helicoidal característica. Têm uma organização procariótica com parede celular multicamadas, ribossomos, numerosas inclusões e um sistema fotossintético lamelar (Fais *et al.*, 2022). Seus tricomas cilíndricos multicelulares são tipicamente dispostos ao longo de todo o seu comprimento em uma hélice aberta à esquerda, e sua superfície é sem cobertura e lisa (Ali; Saleh, 2012). Seus filamentos podem atingir o tamanho de 0,5 mm de comprimento. A forma helicoidal do filamento e a presença de vacúolos de gás no interior das células fazem com que ele forme tapetes flutuantes (Thomas, 2010).

As espécies *A. platensis* e *Arthrospira maxima* (também conhecidas como spirulina), pertencentes à família Microcoleaceae, são as espécies de cianobactérias mais estudadas em aplicações farmacológicas e na indústria alimentícia (Banji *et al.*, 2013; Guiry; Guiry, 2022; Hoseini *et al.*, 2013; Komárek *et al.*, 2014).

Para produção em larga escala desta espécie, as técnicas de cultivo dependem da localização geográfica, temperatura (30–35 °C), pH (9–11), intensidade da luz (276–690 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), tempo de cultivo (30–40 dias), tipo de cepa, quantidade de inóculo (10% v/v), sistema de cultura (contínuo, semicontínuo ou em lote), mistura e aeração (5–60 cm s^{-1}), fonte de carbono (NaHCO_3 dissolvido, Na_2CO_3 ou CO_2) e concentração de carbono (56,70–141,75 g h^{-1}), concentração de nitrogênio e conhecimento do produtor (Bertolini *et al.*, 2022; Iamtham; Sornchai, 2022; Thevarajah *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2020). O cultivo em larga escala geralmente usa sistemas de lagoas abertas (lagoas naturais, lagos ou lagoas do tipo raceway) de diferentes dimensões. No entanto, pode ser cultivada em sistemas fechados ou híbridos (Thevarajah *et al.*, 2022).

Com aumento populacional e da conscientização das pessoas sobre os benefícios de uma alimentação saudável, aumentou também a necessidade de alimentos saudáveis e o uso de suplementos nutricionais. Neste cenário, a importância da spirulina decorre do fato de serem amplamente reconhecidas pela sua produção sustentável, beneficiando não só o planeta, mas também por ser uma solução viável para o problema da fome (Saraswathi; Kavitha, 2023).

Explorada desde a década de 70, a Spirulina é considerada uma rica fonte alimentar devido ao seu alto teor de macro e micronutrientes. De fato, é uma excelente fonte de proteínas, vitaminas (vitamina E, vitamina B12), minerais, pigmentos fotossintéticos (carotenoides, cfcocianina, clorofila-a), aminoácidos e outros compostos bioativos (Al-Dhabi; Arasu, 2016; Pyne; Bhattacharje; Srivastav, 2017; Rutar *et al.*, 2022). Também é considerada uma boa fonte de ácidos graxos essenciais, incluindo ácidos graxos ω -6 linoleico e γ -linolênico, bem como ácidos graxos ω -3, como ácido α -linolênico, ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA) (Ali; Saleh, 2012; Babadzhanov *et al.*, 2004). A falta de celulose em sua parede celular e a ausência de fitatos e oxalatos significam que a assimilação de nutrientes no intestino humano é alta, tornando-o popular entre os consumidores (Gutiérrez-Salmeán; Fabila-Castillo; Chamorro-Cevallos, 2015; Rutar *et al.*, 2022). Ademais, a biomassa de spirulina foi certificada como “Geralmente Reconhecida como Seguro” (GRAS - Generally Recognized as Safe).

Esse alto valor nutricional tem influenciado positivamente em efeitos e aplicações diversas, como: probiótico (Yousepi; Saidpour; Mottaghi, 2019), anti-hipertensivo (ArthurAtham *et al.*, 2019), antioxidante e anti-inflamatório (Grosshagauer; Kraemer; Somova, 2020; Wu, 2016), antiviral (Abd El-Baky; El-Baroty, 2021), anti-histamínico (Vo *et al.*, 2014), radioprotetivo (Atilgan *et al.*, 2022), gastroprotetor (Anantharajappa *et al.*, 2019),

anticancerígeno (Czerwonka *et al.*, 2018; Maddiboyina *et al.*, 2023; Mahmoud *et al.*, 2021), neuroprotetivo (Moradi-Kor *et al.*, 2020), contra infecção do COVID-19 (Aghasadeghi *et al.*, 2024; Siedenburg; Cauchi, 2022; Tzachor *et al.*, 2021), entre outros.

Prete *et al.* (2024) e Sokary *et al.* (2024), avaliaram através de revisões o potencial da spirulina na prevenção e gestão dos fatores de risco associados às doenças cardiovasculares. Observaram sua eficácia na redução do peso corporal, do índice de massa corporal e da circunferência da cintura, diminuição da resistência à insulina, dos triglicerídeos, do colesterol da lipoproteína de baixa densidade e aumento do colesterol da lipoproteína de alta densidade. Além disso, a spirulina reduziu o açúcar no sangue em jejum e o açúcar no sangue pós-prandial e aumentou a sensibilidade à insulina. Nutrientes como ficocianina, ácido gama-linolênico e vitamina B12 da spirulina contribuem para seus benefícios cardiometabólicos, sugerindo que os suplementos de spirulina podem ajudar a melhorar os fatores de risco para doenças cardiometabólicas, prevenindo assim o seu desenvolvimento.

Já Karizi *et al.* (2023), realizaram um estudo com 60 pacientes sob tratamento habitual com metformina para diabetes tipo 2. E os resultados sugerem que 2 g de *S. platensis* administrados em quatro cápsulas antes das refeições, além da terapia com metformina, melhoraram significativamente os parâmetros glicêmicos, incluindo hemoglobina glicosilada e níveis de glicemia em jejum em comparação com o grupo sob tratamento apenas com metformina e concluíram que a suplementação de 2 g/dia de spirulina durante 3 meses é considerada segura e livre de efeitos colaterais, tornando-se uma opção de tratamento eficaz para o tratamento do diabetes tipo 2 e suas complicações associadas.

Resultados similares foram observados por Sowjanya e Manjula (2022), quando dividiram pacientes diabéticos em três grupos. Durante 90 dias, o grupo 1 recebeu 2 g de spirulina contida em dois biscoitos (25 g cada) no meio da manhã e à noite e o grupo 2 recebeu duas cápsulas de spirulina pela manhã e à noite, enquanto o grupo controle não recebeu suplementação. Nos grupos 1 e 2, os níveis de glicemia em jejum, glicemia pós-prandial e hemoglobina glicada foram significativamente mais reduzidos. No grupo 1, a redução nos níveis de glicemia em jejum e glicemia pós-prandial foi maior do que no grupo 2, possivelmente devido aos efeitos sinérgicos de outros ingredientes nutricionais. Revelando claramente que a spirulina como abordagem baseada em alimentos apresenta um impacto positivo para diabéticos.

No tocante a alimentação, vários estudos têm demonstrado que a incorporação de spirulina e seus bioativos isolados na formulação de produtos alimentícios contribui para

propriedades tecnológicas e funcionais. A fim de exemplificar, alguns trabalhos estão sucintamente descritos a seguir.

No estudo de Lucas *et al.* (2018), produziram snacks extrusados. Os snacks feitos com farinha de arroz e milho e 2,6 % de spirulina apresentaram maior teor de proteínas, minerais e carotenoides do que uma formulação controle sem as microalgas. Apesar de apresentarem coloração verde, a presença de biomassa de spirulina nos snacks não afetou negativamente as características sensoriais do produto, e a taxa de aceitação foi superior a 82%. Além disso, o alimento apresentou estabilidade física e microbiológica ao longo de 12 meses de armazenamento.

Los *et al.* (2018), formularam sopas desidratadas utilizando subprodutos de pupunha, spirulina e espinafre. A sopa desenvolvida com spirulina e farinha de subproduto de pupunheira apresentou maiores teores de proteínas, lipídios e antioxidantes do que as demais formulações. Além disso, em comparação com a sopa formulada com subprodutos de pupunha e espinafre, apresentou maior teor de clorofila. Diante da aceitação sensorial ter sido baixa, os autores destacaram a necessidade de mais estudos avaliando a quantidade de spirulina que pode ser adicionada às sopas para melhorar a aceitação das formulações.

Já Menegotto *et al.* (2019), produziram um concentrado das proteínas que foram extraídas da spirulina. O concentrado verde-azul apresentou 75,97% de proteínas e 19,44% de carboidratos (em massa seca). Todos os aminoácidos essenciais foram encontrados no concentrado proteico, indicando que o produto é uma fonte alternativa de proteínas para suprir esse nutriente. Ademais, a capacidade espumante do concentrado apresentou porcentagens que se comparam à proteína da gema de ovo. Além da qualidade nutricional, os autores também destacam a importância funcional do concentrado proteico e sua utilização para melhorar os processos alimentares.

Zen *et al.* (2020), utilizaram a microalga spirulina microencapsulada com alginato de sódio e aplicada em formulações de massas alimentícias. As formulações contendo biomassa de spirulina livre e encapsulada apresentaram índice de aceitabilidade superior a 70% para os atributos avaliados (cor, textura, aparência, aroma, sabor e gosto geral), indicando que a incorporação de microalgas não tem impacto negativo na aceitabilidade do produto funcional. Embora a microencapsulação tenha protegido a atividade antioxidante da biomassa e possivelmente tenha mascarado a percepção de odor de peixe ou algas na massa formulada, os provadores não perceberam a presença de spirulina livre como atributo negativo no produto, o que também incentiva o desenvolvimento de produtos com a adição de spirulina livre.

No trabalho de Lucas *et al.* (2020), os autores formularam barras de cereais aplicando 2% e 6% de spirulina livre. Com o aumento da adição de spirulina, houve um aumento significativo na concentração de proteína das barras, e a cor verde ficou mais forte. Já na avaliação sensorial, os provadores formados por crianças com idade entre 8 e 13 anos, os atributos aparência, sabor e aroma foram bem aceitos. Além de atuar como corante natural na produção de barras, a biomassa de spirulina também é capaz de melhorar nutricionalmente os alimentos em que é aplicada e tem se mostrado uma alternativa promissora na alimentação infantil. A dosagem segura recomendada de spirulina para adultos é de aproximadamente 310 g/d, sendo 30 g/d o limite máximo de consumo (Gogna *et al.*, 2022).

Rodrigues *et al.* (2020), demonstraram que era possível substituir em sorvete os emulsificantes e estabilizantes pelo extrato rico em ficocianina da spirulina. O extrato apresentou atividade emulsificante em emulsões óleo-em-água e água-em-óleo. A adição de proteínas presentes no extrato pode ter contribuído para o desenvolvimento de textura no produto, influenciando na emulsificação, e a substituição dos estabilizantes e emulsificantes por extrato de ficocianina não alterou sensorialmente a aceitabilidade global do sorvete.

Aspirando um achocolatado enriquecido, Oliveira *et al.* (2021), utilizaram a biomassa de spirulina microencapsulada com maltodextrina e lecitina de soja incorporada em formulações de achocolatado em pó. A aplicação de microalgas contribuiu para o aumento da atividade antioxidante, concentração de proteínas e teor de compostos fenólicos nas formulações. Na análise sensorial, as notas médias das formulações, em escala hedônica, indicaram que os provadores não gostaram nem desgostaram do produto. Embora a cor verde característica das microalgas não seja inicialmente atrativa em bebidas, o pó funcional formulado pode ser utilizado em outras aplicações alimentícias, como bolos e biscoitos.

No estudo de Almeida *et al.* (2021), foi formulado molho com maior percentual de biomassa de spirulina livre (4%), que apresentou melhores notas para intenção de compra e impressão geral, sendo escolhido como o melhor produto avaliado. Comparado à formulação controle, o molho com 4% de spirulina apresentou maiores concentrações de minerais, proteínas, fibras, ácidos graxos monoinsaturados e um aumento significativo na atividade antioxidante. Além disso, os ingredientes utilizados nas formulações dos molhos avaliados foram capazes de mascarar o sabor característico da microalga.

Didem *et al.* (2021), avaliaram a importância da fortificação de spirulina na produção de kefir vegano na proporção de 0,25% e 0,50%. Os mais notáveis substitutos do leite à base de plantas, leite de soja e leite de amêndoa, foram usados para produzir kefir. Os autores observaram que o aumento da concentração de spirulina aumentou a contagem de lactobacilos

e lactococos e o conteúdo fenólico total do kefir, enquanto os valores de pH das amostras de kefir diminuíram. De acordo com os resultados deste estudo, concluiu-se que a spirulina pode ser considerada um componente alimentar funcional promissor para melhorar o potencial prebiótico e a qualidade bioativa dos alimentos.

Um trabalho um tanto curioso, foi desenvolvido por Guldás *et al.* (2022), sabendo que a capacidade antioxidante do mel depende em grande parte da flora onde a colmeia está localizada, da origem botânica do mel, da estação do ano e de fatores ambientais, os autores objetivaram produzir um mel de algas de cor verde feito naturalmente pelas abelhas com suas propriedades medicinais potencializadas. Para tanto, a colônia de abelhas foi alimentada com spirulina no seu ciclo de vida natural e habitual e como resultado dessa alimentação especial, foi obtido um novo mel contendo spirulina, com melhoria da capacidade antioxidante e elevação de teor ácidos graxos ômega, além da spirulina ser um alimento nutritivo para as abelhas.

Wijayanti, Agustini e Benjakul (2024), considerando a adição limitada da spirulina aos alimentos devido ao seu sabor, avaliaram o efeito da spirulina embebida em extrato de folhas de manjerição (*Ocimum basilicum*) na cor e nas características sensoriais e determinaram o conteúdo fenólico total e a capacidade antioxidante. Como resultado foi obtido que a spirulina aumentou o seu valor sensorial mantendo a capacidade antioxidante, por essa razão, os autores apontam que a spirulina pode potencialmente ser adicionada em maiores quantidades a vários alimentos como alimentos funcionais.

De 2019 a 2023, a popularidade da spirulina como um superalimento foi crescente principalmente devido à sua promessa de combater a fome em países pobres. A produção inicial concentrou-se principalmente em operações de pequena escala e projetos de pesquisa com condições ambientais ideais. E todo esse conhecimento, levou a um crescimento significativo na fabricação e comercialização de produtos de spirulina. O uso de métodos de cultura tradicionais permitiu aos fabricantes a produção de spirulina com maiores rendimentos, melhor qualidade e escalabilidade (Choudhury, 2024).

A spirulina também foi usada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) como suplemento alimentar para astronautas em missões espaciais, devido à sua capacidade de modular as funções imunológicas e exibir propriedades anti-inflamatórias. Dessa forma, devido à sua natureza nutritiva altamente diversificada a spirulina está ganhando mais atenção dos entusiastas da saúde em todo o mundo e eventualmente, impulsionando o crescimento no mercado global (Meticulous Research, 2022). A spirulina está ocupando o

primeiro lugar no mercado global, com cerca de 3.000 toneladas de matéria seca produzida por ano e é cultivada principalmente na China, França, Índia, Japão, Mianmar e EUA.

Espera-se que o mercado de produtos à base de spirulina, bem como a própria spirulina apresentem um crescimento contínuo e rápido até 2028 com uma taxa de crescimento anual composta de 18,1%. A maioria dos produtos comerciais à base de microalgas são produzidos na Ásia ou na Austrália, enquanto as empresas europeias respondem por aproximadamente 5% do mercado global de microalgas para alimentos e rações. Os suplementos de spirulina são segmentados em pó, a forma mais popular, além de em flocos, cápsulas, comprimidos, Spirulina congelada e extrato de ficocianina, e são promovidos por produtores e fornecedores como um alimento saudável (Meticulous Research, 2022; Rutar *et al.*, 2022; Sotiroudis; Sotiroudis, 2013).

Acredita-se que a spirulina tenha potencial para ser um suplemento nutricional, um superalimento e uma excelente arma contra uma série de deficiências nutricionais (Saraswathi; Kavitha, 2023; Sowjanya; Manjula, 2022), possuindo, portanto, um potencial com muito ainda a ser explorado para salvar a humanidade (Ahmad *et al.*, 2023).

Segundo Choudhury (2024), o mercado global de spirulina em pó deverá aumentar de 461 milhões de dólares em 2024 para 702 milhões de dólares até 2034. E em 2034, as vendas de spirulina em pó deverão subir 5,9% na taxa composta de crescimento anual. Já o mercado de extrato de spirulina foi avaliado em US\$ 4,9 bilhões de dólares em 2023 e deve atingir US\$ 12,6 bilhões de dólares até 2030, crescendo a uma taxa composta de crescimento anual de 16,12% durante o período previsto de 2024 a 2030.

Este aumento é atribuído ao aumento da conscientização sobre saúde e vegetarianismo, que por sua vez, são impulsionados pela sustentabilidade ambiental, pelo bem-estar animal e pelos benefícios do vegetarianismo para a saúde. E à medida que o estilo de vida vegano cresce, o mercado de spirulina em pó deverá beneficiar-se da crescente base de consumidores, tornando-a um excelente substituto para os veganos. A maior parte da produção é direcionada para alimentos, suplementos e nutracêuticos, que juntos respondem por 75% dos usos relatados (Choudhury, 2024; Sotiroudis; Sotiroudis, 2013).

Choudhury (2024), apresenta uma comparação de mercado, mais precisamente dos fatores de crescimento entre o mercado de spirulina em pó, o mercado do extrato de spirulina e o mercado de microalgas: no mercado de spirulina em pó o fator é a necessidade de suplementos alimentares veganos com todos os benefícios à saúde; no mercado de extrato o fator é que o mercado está crescendo à medida que os alimentos funcionais ganham força entre os consumidores, uma vez que spirulina está sendo adicionada a uma variedade de produtos

alimentícios; e no mercado de microalgas, o fator é a crescente demanda por alimentos à base de proteínas de microalgas entre consumidores preocupados com a saúde que deverá aumentar a demanda. Como conclusão, os fatores convergem, estão ligados diretamente com alimentação e saúde.

São diversas as aplicações em formulações de alimentos, no entanto, estas representam um desafio, quando se trata de sabor e odor, que são pontos limitantes, além da cor que precisa ser avaliada para uma aceitação sensorial atrativa. Há a necessidade de novas técnicas de proteção de nutrientes e fitoquímicos para preservar as importantes propriedades biológicas da spirulina.

O estudo de Paraskevopoulou *et al.* (2024), revelou a extensa diversidade de compostos voláteis em suplementos alimentares comerciais de spirulina de várias regiões geográficas e fabricantes. Destacou ainda o potencial da spirulina como reservatório de compostos voláteis e odoríferos complexos, contribuindo potencialmente para o seu perfil geral de aroma e sabor. Os autores sugerem que a variabilidade na abundância de compostos voláteis entre as amostras parece ser influenciada principalmente pelas espécies de spirulina, apontando que a composição bioquímica da biomassa da spirulina está relacionada com as condições ambientais durante o crescimento e processamento. Ademais, os autores afirmam que pesquisas adicionais para identificar os principais odorantes na biomassa da spirulina facilitarão a otimização de produtos alimentícios à base de spirulina em termos de qualidade sensorial.

Para Pal e Bose (2021), a promoção de nutrição ideal, saúde e sistemas alimentares sustentáveis em uma era de explosão populacional, transformação alimentar e mudanças climáticas é um fator de risco crítico para nossa geração. Assim, o setor de alimentos é confrontado com a questão de produzir alimentos de baixo custo, densos em nutrientes e convenientes, sendo fundamental investigar fontes de alimentos que sejam tecnologicamente viáveis e que tenham um impacto ambiental e econômico positivo, como é o caso da spirulina. Uma fonte de fácil produção, processamento e distribuição, oferecendo ainda possibilidade de melhorar a segurança alimentar.

A identificação adequada de cepas, condições de cultura e técnica de crescimento são necessárias para a comercialização bem-sucedida (Soni *et al.*, 2021). No entanto, para Medeiros *et al.* (2021), são necessários mais estudos para comprovar os efeitos na saúde humana, ampliar o tamanho do mercado, reduzir o custo de produção e restrições mais rígidas relacionadas às regulamentações. O estudo da composição nutricional e fitoquímica e dos efeitos biológicos norteiam e nortearão o desenvolvimento de novas pesquisas científicas, proporcionando a utilização deste aditivo em diversos segmentos tecnológicos.

3.3 Ficocianina

As ficobiliproteínas são as principais proteínas fluorescentes presentes nas cianobactérias responsáveis pela captação de luz e subdividem-se em ficoeritrina, ficocianina e aloficocianina, de acordo com suas cores de pigmentos (Fernandes *et al.*, 2023; Hsieh-lo *et al.*, 2019).

A ficocianina é um pigmento proteico de cor azul, presente principalmente na cianobactéria spirulina (com teor de até 13%, com base no peso seco), é utilizada em diversas indústrias como alimentícia, cosmética e farmacêutica, o que aumenta seu valor de mercado. Devido ao interesse mundial e à necessidade de substituição de compostos sintéticos por naturais, esforços têm sido feitos para otimizar processos de produção em larga escala e manter a estabilidade da ficocianina, que é uma proteína altamente instável (Fernandes *et al.*, 2023; Kannaujiya *et al.*, 2023; Krasesintra *et al.*, 2022; Milia *et al.*, 2022; Setthamongkol *et al.*, 2023).

O extrato de spirulina foi aprovado em 2003 pela FDA (*Food and Drug Administration*) como ingrediente corante azul natural em aplicações de alimentos e bebidas. Houve então, um aumento na demanda por corante alimentar natural da spirulina, sendo cada vez mais comum o uso do corante em produtos de confeitaria (incluindo balas e gomas de mascar), coberturas, sorvetes e sobremesas congeladas, coberturas e coberturas de sobremesas, misturas e pós para bebidas, iogurtes, cremes, pudins, queijo cottage, gelatina (Meticulous Research, 2022). E a tendência é incorporar ingredientes naturais em alimentos funcionais que sejam seguros, com valor funcional adicional para melhorar a qualidade dos alimentos (Khandual *et al.*, 2021).

A cor desempenha um papel crucial na experiência alimentar, influenciando a percepção sensorial e a aceitação do consumidor, ela não só contribui para a atratividade visual, mas também define expectativas quanto ao sabor e à qualidade do alimento (Echegaray *et al.*, 2023; Landim Neves *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019). Além da estética, a cor fornece informações sobre o conteúdo do alimento, estabelecendo uma conexão essencial entre cor e sabor, um elemento fundamental na experiência gustativa (Özbal *et al.*, 2022; Spence, 2018; ÜstünAytekin *et al.*, 2022). No entanto, surge uma singularidade quando se trata de corante alimentar azul, menos comum na natureza, faz dele uma perspectiva inovadora para a indústria alimentícia, com o objetivo de se destacar em um mercado altamente competitivo (Bürck *et al.*, 2024a; Landim Neves *et al.*, 2021).

Estima-se que a ficocianina terá um valor de mercado global estimado em 245,5 milhões de dólares até 2027. É um bioproduto comercializado de acordo com o seu grau de pureza e

segurança (Ashaolu *et al.*, 2021; Sánchez-Laso *et al.*, 2023), para tanto, vários parâmetros devem ser considerados para uma extração eficiente, como ruptura celular, forma de biomassa (fresca ou seca), temperatura, intensidade de luz, pH, tipo de solvente, relação biomassa/solvente e uso de conservantes (Jaeschke *et al.*, 2021).

Segundo Henderson (2024), um problema que deve ser superado ao otimizar a spirulina para bases de sorvete é a taxa de uso, pois corantes naturais normalmente exigem taxas de uso muito maiores do que corantes sintéticos uma vez que as fontes botânicas não são tão concentradas quanto as formuladas e altas taxas de uso correm o risco de transmitir notas desagradáveis devido ao sabor da spirulina. Entretanto, a equipe de inovação da empresa americana *Sensient Colors* desenvolveu um método que propiciou a otimização do extrato da spirulina possibilitando a oferta de taxas de uso mais baixas para evitar sabores indesejados, mas ainda com uma bela cor azul (Figura 5).

Figura 5- Sorvete produzido com extrato de spirulina otimizado pela empresa americana *Sensient Colors*



Fonte: <https://na.sensientfoodcolors.com/dairy/optimized-spirulina-extract-for-ice-cream-bases/>

Todavia, de acordo com Jaeschke *et al.* (2021), a aplicação da ficocianina pela indústria, além de pouco explorada, é limitada devido às desvantagens dos métodos de extração e à baixa estabilidade destes compostos após o processo de extração. Para superar tais limitações, metodologias alternativas de extração vêm sendo avaliadas e agentes estabilizantes têm sido utilizados sob diferentes condições nos últimos anos.

3.4 Picolés enriquecidos

Destinados a alimentar humanos, os gelados comestíveis são o produto de uma emulsão de gorduras e proteínas, com ou sem adição de outros ingredientes e substâncias, ou da homogeneização de água, açúcares e outros ingredientes e substâncias que tenham sido congeladas, em condições que assegurem a conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado durante armazenagem, transporte e entrega ao consumidor (Brasil, 1999).

O picolé é uma das formas de classificação de gelados comestíveis, definido como porções individuais de composições diversas, geralmente suportadas por uma haste, obtidas por resfriamento até congelamento da mistura homogênea ou não, de ingredientes alimentares, com ou sem batimento (Brasil, 1999).

Independentemente da cultura, idade e nível socioeconômico, os picolés são apreciados por consumidores de todo o mundo (Balthazar *et al.*, 2017). Podem ser produzidos com ingredientes lácteos e não lácteos e geralmente são adicionados com purês e concentrados de frutas. Quando preparado apenas com ingredientes lácteos, o produto ainda é considerado um alimento nutritivo devido às concentrações de proteínas, vitaminas e minerais. Todavia, os picolés lácteos regulares não contêm uma quantidade considerável de compostos funcionais (Bahram-Parvar, 2015).

Na busca por alimentos saudáveis, o uso de matérias-primas funcionais vem se destacando nos últimos anos objetivando o fornecimento não só de nutrientes essenciais, mas também de compostos associados a efeitos benéficos à saúde (Santos *et al.*, 2022). E na lista desses alimentos estão os picolés, pela sua versatilidade em formulações e interações entre os ingredientes que podem ser utilizados (Grigio *et al.*, 2021), levando-se em consideração os atributos sensoriais do produto, como aparência, aroma, sabor e textura.

Martins *et al.*, (2018), testaram o efeito de diferentes temperaturas na concentração de suco de melancia combinado com whey para picolé, e concluíram que é uma combinação possível para a fabricação de picolés ricos em bioativos, utilizando a temperatura de concentração de 65 °C como condição de processamento adequada para potenciais aplicações industriais.

No estudo de Bezerra, Silva e Santos (2021), os autores elaboraram um picolé à base de couve-manteiga (folhas e talos), demonstrando seu potencial como ingrediente na formulação de produtos, agregando valor nutricional e comercial a mesma e como resultado o picolé

apresentou boas características sensoriais e nutricionais, sendo demonstrada sua possível viabilidade comercial.

Grigio *et al.* (2021), caracterizaram química e físicoquimicamente diferentes formulações de picolés de camu-camu (uma pequena fruta amazônica de sabor ácido) visando a melhoria das características dietéticas, potencial nutricional e compostos bioativos. Das formulações de picolé, as que continham leite em sua composição apresentaram maiores percentuais de aceitação pelos consumidores, intenções de compra e contribuíram para a melhoria das características sensoriais.

Objetivando avaliar os efeitos da temperatura para concentração do suco de maracujá nas propriedades físico-químicas, compostos bioativos, compostos voláteis de enxofre e propriedades sensoriais do picolé de milho-painço, Naizni e Vaisnavi (2023), concluíram que é viável essa combinação para a fabricação de picolés ricos em bioativos, utilizando a temperatura de 45 °C como condição de processamento adequada para potencial aplicação na indústria.

Jain *et al.* (2022), realizaram a fabricação do picolé com atributos funcionais aprimorados pelo uso de soro de leite, suco concentrado de estévia e beterraba. E mediante avaliação dos atributos físicos e químicos e sensoriais dos picolés processados observaram que é possível o uso comercial de soro de leite em pó e suco concentrado de beterraba para esta finalidade. Ainda, sugeriram que formulações propostas de picolés podem representar um produto único que merece investigação adicional para explorar os minerais, produtos químicos voláteis e nível de nitrato.

Nesse contexto de variação de ingredientes para formulação de picolés com valor nutricional agregado enquadram-se as microalgas. Em algumas páginas da web é possível encontrar receitas de picolés em cores derivadas de microalgas, como o site da *Suncore Foods*, um mix de pequenas empresas pertencentes a mulheres, as quais tem produtos divertidos e coloridos a base de plantas, apresenta a receita de um picolé vegano na cor azul, em função do uso da spirulina (Figura 6-A).

No site da *Greenspoon*, a primeira empresa da África a ser reconhecida pelo seu compromisso com as pessoas e o planeta, tem como missão mudar a maneira como o indivíduo compra, atentando para a consciência de que se é bom para você, bom para o planeta e bom para a economia local. Esta empresa não só apresenta a receita de um picolé de iogurte com spirulina (Figura 6-B) como também a comercializa na forma de pó.

Figura 6 - Formulações de picolé e sorvete com valor nutricional agregado. A - picolé azul vegano; B - picolé de iogurte com Spirulina; C - picolé de manga com Spirulina; D - sorvete de Chlorella



Fonte: A - <https://suncorefoods.com/blogs/recipes/blue-spirulina-chocolate-covered-berry-popsicles> ;
B - <https://greenspoon.co.ke/spirulina-yogurt-popsicle/>;
C - <https://writtenbyvegan.com/blog/mango-and-blue-spirulina-popsicles/>;
D - <https://veganbusiness.com.br/sophies-bionutrients-lanca-sorvete-vegano-feito-de-proteina-chlorella/>

Na página *Written by vegan*, que fala sobre saúde e veganismo, encontramos a receita de um picolé vegano de manga com spirulina (Figura 6-C). Ainda, podem ser encontrados produtos já consolidados no mercado como o da *Sophie's BioNutrients*, uma empresa de tecnologia de alimentos, que desenvolveu um sorvete vegano inovador, aproveitando a proteína da microalga chlorella, que pode oferecer uma quantidade maior de vitamina B12 e ferro em comparação ao leite (Figura 6-D).

Os potenciais são significativos, no entanto, existe a necessidade de mais informações sobre o potencial dos produtos finais, uma vez que existem poucos estudos voltados para a produção de picolés na literatura, principalmente enriquecidos com biomassa de microalgas.

4 METODOLOGIA

4.1 Aquisição da biomassa em pó da spirulina e dos hortifrutis

A biomassa em pó da spirulina (*A. platensis*) (BPS) utilizada para o desenvolvimento das análises foi adquirida da Fazenda Tamanduá (Figura 7; Anexo A), pioneira no setor orgânico e biodinâmico, que está situada no Município de Santa Teresinha, próximo a cidade de Patos, Estado da Paraíba no Nordeste do Brasil. A spirulina é cultivada nas águas puras do subsolo da fazenda, garantindo a ausência de contaminação por pesticidas ou metais pesados.

Figura 7- Spirulina produzida e comercializada na Fazenda Tamanduá, Patos - PB



Fonte: <https://www.fazendatamandua.com.br/produtos/spirulina-po/>

Já o pigmento em pó de ficocianina (PPF), proveniente da spirulina (*A. platensis*), foi adquirida do Armazém Santa Helena em São Paulo (Figura 8), um produto de origem chinesa (Anexo B) que é submetido a um processo de purificação e concentração de ficocianina.

Figura 8 - Pigmento em pó de ficocianina produzido na China e comercializada pelo Armazém Santa Helena, São Paulo - SP



Fonte: O próprio autor.

Enquanto os hortifrutis abacaxi-pérola (*Ananas comosus* var. *comosu*), manga tommy (*Mangifera indica* 'Tommy Atkins), couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*), hortelã (*Mentha spicata*), gengibre (*Zingiber officinale*), assim como o mel de engenho e a liga neutra, foram adquiridos no comércio local de João Pessoa, Paraíba, Brasil.

4.2 Picolé de spirulina

4.2.1 Formulação dos picolés

As formulações de picolés com biomassa e pigmento de spirulina foram definidas a partir de testes preliminares de bancada para definir a composição e concentração de cada ingrediente. Como formulação básica, o picolé foi elaborado em base água, com um mix de frutas, contendo em sua formulação abacaxi-pérola, manga tommy, couve-manteiga, hortelã, gengibre, mel de engenho, liga neutra, água mineral e a spirulina em pó (biomassa ou pigmento), conforme Tabela 2 e fluxograma de produção observado na figura 9.

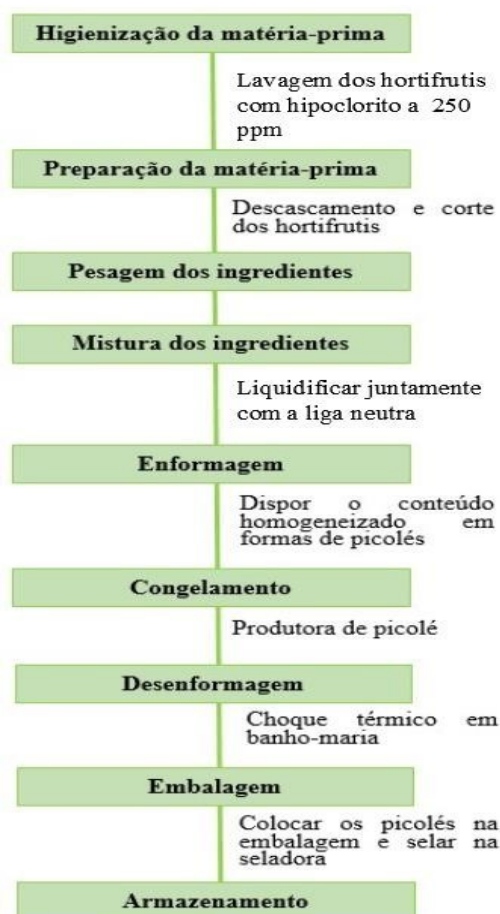
Inicialmente, todos os hortifrutis foram higienizados em água corrente, seguidos de imersão em solução de hipoclorito a 250 ppm por 15 minutos. Posteriormente, foram novamente lavados em água corrente para remoção de resíduos de hipoclorito e escorridos em peneiras.

Tabela 2 -Formulação dos picolés a base água com mix de frutas enriquecidos com BPS e PPF

Ingredientes (%)	Picolé controle (PC)	Picolé com Biomassa de spirulina (PSV)	Picolé com Pigmento de spirulina (PSA)
Abacaxi	54,9	54,9	54,9
Manga	20	20	20
Couve	3	3	3
Hortelã	0,8	0,8	0,8
Gengibre	0,8	0,8	0,8
Mel de abelha	10	10	10
Liga neutra	0,4	0,4	0,4
Água mineral	10	9,9	9,9
BPS	-	0,1	-
PPF	-	-	0,1

Fonte: O próprio autor.

Figura 9- Fluxograma para produção dos picolés



Fonte: O próprio autor.

Após a higienização, o abacaxi e a manga foram descascados e cortados em cubos pequenos, descartando-se cascas e caroços. A couve foi cortada em *chiffonade*, o gengibre em rodelas (com casca) e as folhas de hortelã foram separadas dos talos (Figura 10).

Em seguida, os ingredientes foram pesados (Tabela 2): 550g de abacaxi-pérola, 200g de manga tommy, 30g de couve-manteiga, 8g de hortelã, 8g de gengibre, 100g de mel de engenho, 4g de liga neutra e 100g de água mineral e BPS e PPF (1 % = 1g de cada).

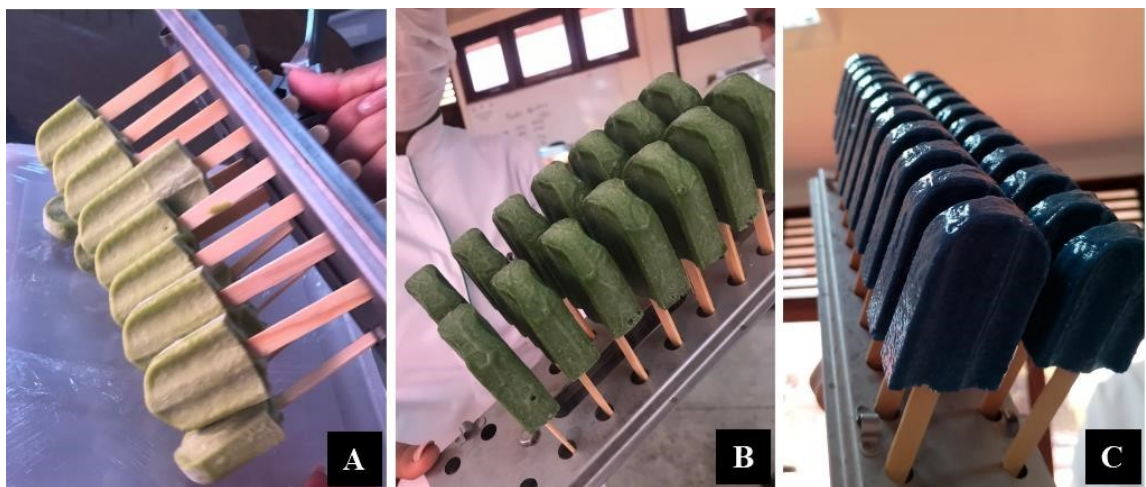
Todos os ingredientes, exceto a biomassa de spirulina em pó, foram adicionados a um liquidificador para homogeneização. Em seguida, foi adicionada a BPS e homogeneizado novamente. O conteúdo obtido foi disposto em formas de picolés, levados ao congelamento na produtora de picolé. Uma vez congelados os picolés foram desenformados (Figura 11) com choque térmico em banho-maria, postos em embalagens seladas e armazenados em freezer. Também foram estimados o custo do picolé e a sua viabilidade econômica (Tabela 3) para um rendimento total de 16 picolés.

Figura 10 - Preparação dos hortifrutis



Fonte: O próprio autor.

Figura 11 - Picolés finalizados prontos para serem embalados. (A) PC = picolé controle; (B) PSV - Picolé com biomassa de spirulina; (C) PSA - Picolé com pigmento de spirulina



Fonte: Próprio autor.

Tabela 3- Custos e viabilidade econômica dos picolés enriquecidos com biomassa (PSV) e pigmento de spirulina (PSA)

Ingredientes	Unidade	Fator de conversão	Quantidade	Valor do insumo em R\$	Valor do picolé em R\$
Abacaxi-pérola	Kg	0,5	0,550	6,99	5,76
Manga tommy	Kg	0,6	0,200	6,45	2,06
Couve-manteiga	Kg	1	0,03	3,50	0,10
Hortelã	Kg	0,7	0,008	3,50	0,47
Gengibre	Kg	0,8	0,008	29,90	0,43
Mel de abelha	Kg	1	0,100	18,90	1,89
Liga neutra	Kg	1	0,004	72,90	0,29
Água mineral	Kg	1	0,100	2,59	0,25
Palito	Unidade	1	16	0,07	1,12
Embalagem	Unidade	1	16	0,04	0,64
Total PC					13,01
Total PSA	Kg	1	0,001	585,00	15,29
Total PSV	Kg	1	0,001	2,280	13,59
Adição de 30% de margem					
PC					16,91
PSA					19,87
PSV					17,66
Valor unitário do picolé					
PC					1,05
PSA					1,24
PSV					1,10

Fonte: O próprio autor.

A constituição da formulação do picolé teve como referência o suco verde, conhecido por adeptos como “suco detox”, porém optamos por não usar essa definição pela ausência de teste para comprovar a atividade desintoxicante no organismo. A base do picolé desenvolvida levou em consideração o critério para ingredientes de origem vegetal, sem lactose e mais próximo da dieta vegana em constante adesão e crescimento.

Os ingredientes tiveram sua escolha pautada nos motivos a seguir:

O abacaxi é uma fruta comum na Paraíba, é rica em teor de água e na gastronomia destacando-se pela característica refrescante. Possui a enzima bromelina que quebra fibras sendo excelente opção para a digestão. A manga, por sua vez, foi adicionada por agregar textura

cremosa em função do seu teor de carboidratos e a gengibre pelo de sabor picante e refrescante e habitualmente um composto do suco verde.

A hortelã, em relação a área da gastronomia, proporciona refrescância a receita por ter sabor de notas mentoladas, além de ser a mais comum no mercado, enquanto a couve-manteiga, outro ingrediente comum nos sucos verdes, foi escolhida pelo forte pigmento resultante da clorofila, é rica em fibras alimentares e aumenta a capacidade digestiva.

O melaço de cana foi introduzido como agente adoçante em substituição aos açúcares mais processados ou adoçantes artificiais, conferindo a receita um sabor mais natural e mais ativo. Já a liga neutra de origem vegetal é um estabilizante usado na fabricação dos picolés base água, conferindo melhor textura, maciez e prolongamento do tempo de derretimento e a, água mineral foi adicionada para equilibrar a textura do picolé, pois água presente nos ingredientes não foi suficiente para conferir a textura ideal. Sem adição de água a composição ficava muito fibrosa.

4.2.2 Teste de derretimento

Para o teste de derretimento (g/min), empregou-se uma adaptação da metodologia de Granger et al. (2005). Inicialmente, picolés de cada formulação (com massa média de $28,88 \pm 1,13$ g) foram pesados em balança analítica.

O peso da amostra derretida foi registrado a cada 5 minutos até o derretimento total. Para assegurar a padronização, o experimento foi conduzido sob temperatura controlada de $25 \pm 0,5$ °C e umidade relativa de 60%. Os resultados da análise de derretimento foram expressos em gramas por minuto (g/min), calculados com base na massa derretida em função do tempo de escoamento.

4.2.3 Análises físico-químicas

As análises de acidez titulável, sólidos solúveis totais, umidade, cinzas e proteínas foram realizadas em triplicata para as amostras de hortifrutis e das formulações dos picolés. Esses procedimentos seguiram a metodologia do IAL (2008), com modificações. A determinação do pH foi feita conforme o método 017IV do IAL (2008), utilizando um pHmetro de bancada (Instrutherm modelo PH 2600).

Para a análise de lipídios, empregou-se o método de gravimetria de Folch et al. (1957), utilizando 50 mg da amostra e reagentes como solução de clorofórmio:metanol (2:1 v/v) e sulfato de sódio anidro. O percentual de lipídios foi calculado pela seguinte equação:

$$\% \text{ lipídios totais} = \frac{\text{Massa final (recipiente + lipídio)} - \text{Massa do recipiente}}{\text{Massa da biomassa (g)}} \times 100$$

Em que: massa final corresponde ao peso do pote com o extrato lipídico seco em gramas, e massa do recipiente é o peso inicial do pote em gramas.

A determinação de carboidratos foi realizada de acordo com as orientações da Resolução n° 360 de dezembro de 2003, utilizando-se a equação:

$$\text{Carboidratos \%} = 100 - (\text{teor de umidade} + \text{teor de lipídios \%} + \text{teor de proteína \%} + \text{teor de cinza \%})$$

4.2.4 Análise de textura

O perfil de textura (TPA) das amostras de picolé desenvolvidas neste trabalho foi realizado em texturômetro (Texture Analyser Brookfield, Modelo CT3 25K) com um “probe” cilíndrico em aço, modelo TA-44, de 4 mm de diâmetro, e base fixa modelo TA-BT-KIT. A distância percorrida foi de 5 mm, com velocidade de compressão de 0,5 mm/s. As amostras foram analisadas em 6 repetições. Para evitar o rápido descongelamento das amostras, foi necessário deixar a base fixa sob congelamento em freezer horizontal Fricon a aproximadamente -18°C, por pelo menos 30 minutos. As amostras e a base apenas foram retirados do congelamento no momento das análises.

4.2.5 Colorimetria

A caracterização da cor das amostras foi realizada por análise de refletância direta das coordenadas L* (luminosidade), a* (vermelho para verde), b* (amarelo para azul) e C* (croma) usando um tintômetro Lovibond (Modelo LC 100, Reino Unido).

4.2.6 Determinação de ácido ascórbico (vitamina C)

A determinação da vitamina C foi realizada de acordo com o método (A.O.A.C, 1984), com adaptações de Benassi e Antunes (1988), no qual a solução de extração de ácido metafosfórico é substituída por ácido oxálico.

4.2.7 Análise de compostos bioativos

4.2.7.1 Preparação dos Extratos

A preparação do extrato seguiu a metodologia utilizada por Shadad *et al.* (2024) com modificações. Inicialmente, 1g de cada amostra (biomassa de spirulina, pigmento de ficocianina, picolés) foi dissolvida em 10 mL (1:10) de solvente (metanol 50%) e, em seguida, homogeneizado em agitador de tubos (vortex) por 60 segundos. Posteriormente, as amostras foram submetidas à agitação em incubadora *Shaker* a 200 rpm a uma temperatura de 50 °C por 15 horas (*Overnight*) (ET-420, Tecnal® Incubator, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Seguidamente, foram levadas a extrações em banho ultrassom (Unique, modelo US-1800, Brasil) a 40 KHz durante 20 min (35 °C). As amostras foram centrifugadas a 6000 rpm por 15 min e os sobrenadantes filtrados com filtros de seringa 0,45 µm e armazenados sob congelamento (-18 °C) até sua utilização.

4.2.7.2 Determinação de Compostos Fenólicos

Para a determinação dos compostos fenólicos totais foi usado o método de Visentainer *et al.* (2015). Em 250 µL da amostra foi adicionado 250 µL do reagente Folin-Ciocalteu (diluído 1:1) e submetido a agitação em vórtex, posteriormente foi adicionado 500 µL de solução saturada de carbonato de sódio e 4ml de água destilada. Em vortex, os tubos foram agitados e mantidos a temperatura ambiente e proteção da luz durante 25 minutos e após foram centrifugados durante 10 minutos a 3000rpm. Para o branco foi utilizado 250 µL de água ou etanol no lugar da amostra nas mesmas condições. em um espectrofotômetro foram medidos em absorbância de 725 nm.

4.2.8 Análise de compostos antioxidantes

Estas metodologias foram aplicadas para análise dos compostos antioxidantes nas amostras de picolés e na biomassa e no pigmento de spirulina.

4.2.8.1 Atividade Captadora de Radicais DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazilo)

Para essa análise foi usado um leitor de microplacas de 96 poços. A mistura de reação em cada um dos poços consistiu em: soluções da amostra com diferentes concentrações (30 µL), compreendidas entre 50 mg/mL a 0,78 mg/mL, e solução etanólica contendo radicais DPPH (6×10^{-5} mol/L, 270 µL). A mistura foi mantida em repouso e ao abrigo da luz durante 60 min, para a estabilização dos valores de absorbância, sendo avaliada posteriormente a redução do radical DPPH pela medição da absorbância a 515 nm.

A atividade captadora de radicais livres (RSA) foi calculada como percentual de descoloração de DPPH usando a equação:

$$\%RSA = \frac{ADPPH - AS}{ADPPH} \times 100$$

Em que: AS corresponde à absorbância da solução que contém a amostra e ADPPH é a absorbância da solução de DPPH.

4.2.8.2 Método FRAP (*Ferric Reducing Ability Power*)

Inicialmente foram preparadas as soluções FRAP. Foram adicionados em 100 µL dos extratos das frações diluídas (em etanol) 3 ml da solução contendo FRAP e 300 µL de água destilada, a solução foi novamente aquecida a 37 °C durante 40 minutos, determinando-se as medidas das absorbâncias a 593 nm. Os resultados foram expressos em valor µmol de Fe (II)/g de extrato (Visentainer *et al.*, 2015).

4.2.8.3 ABTS

Inicialmente foi preparado o radical ABTS•⁺, a partir da reação de 7 mmol/l de ABTS•⁺ com 140 mmol/l de persulfato de potássio, os quais foram incubados à temperatura ambiente e na ausência de luz, por 16 horas. Transcorrido esse tempo, a solução foi diluída em etanol até se obter uma solução com absorbância de 0,70 (± 0,01). Foram adicionados 30 µL dos extratos e das frações fenólicas diluídas (em etanol) a 3 ml da solução contendo o radical, determinandose as medidas das absorbâncias a 734 nm, após 6 minutos de reação. Os resultados foram expressos em valor TEAC (capacidade antioxidante total equivalente ao Trolox) (Visentainer *et al.*, 2015).

4.3 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas seguiram as normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) de acordo com a Resolução RDC nº 161 de 1 de julho de 2022 (Brasil, 2022). Foram realizadas as análises de contagem de bolores e leveduras, *Escherichia coli*, estafilococos coagulase positiva, *Salmonella* e Enterobacteriaceae.

4.4 Análise sensorial

Os procedimentos relacionados à análise sensorial foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal da Paraíba (CAEE nº 81555724.3.0000.5188; Anexo C). Cada participante foi previamente informado sobre os objetivos da pesquisa e formalizou sua participação por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A).

Através de questionários (Apêndice B) as análises sensoriais foram conduzidas em cabines individuais climatizadas (21 ± 2 °C) com iluminação branca, no Laboratório de Inovação de Alimentos (CBIOTEC/UFPB). Participaram da avaliação 143 julgadores não treinados, selecionados entre consumidores habituais de picolés de fruta. Cada julgador foi submetido, em sessões individuais, à avaliação de três amostras: um picolé controle (sem adição de spirulina), um com adição de biomassa de spirulina e outro com pigmento de ficocianina.

A avaliação sensorial foi realizada por meio do teste de ordenação de preferência, no qual os julgadores foram instruídos a classificar as três amostras em ordem de preferência com base em sua impressão global e também avaliar quanto a cor, aroma, sabor, refrescância, cremosidade, grau de derretimento, presença de cristais de gelo, percepção de fibras e sabor residual, conforme a metodologia descrita por Stone, Bleibaum e Thomas (2012).

4.5 Análise estatística

Para os dados das análises físico-químicas e instrumentais, das variáveis de biomassa de spirulina e pigmento de ficocianina, foi utilizado o Teste t para comparação de duas médias de amostras independentes, verificando se há diferença estatisticamente significativa entre elas.

Para os mesmos parâmetros avaliados nas frutas (abacaxi, couve, gengibre, hortelã e manga) e nos picolés (controle, com biomassa de spirulina e com pigmento de ficocianina) as diferenças estatísticas foram avaliadas através da Análise de Variância (ANOVA) quando

atendido os pressupostos de normalidade e homogeneidade através dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene e as médias comparadas através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando não atendido os pressupostos após tentativa de transformação dos dados, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis seguido pelo pós-teste de Dunn para comparações múltiplas, permitindo identificar quais grupos diferiram entre si.

Os dados obtidos no teste de ordem de preferência foram analisados por meio de estatística descritiva e inferencial. Inicialmente, foi calculado o somatório das ordens atribuídas a cada amostra, considerando que menores somas indicam maior preferência. Em seguida, aplicou-se o teste de Friedman, um método não paramétrico indicado para dados ordinais e emparelhados, com o objetivo de verificar se havia diferenças significativas entre as amostras avaliadas.

Quando o teste de Friedman indicou significância estatística ($p < 0,05$), foi realizado o pós-teste de Newell & MacFarlane (1971), que compara os somatórios das ordens com base em uma diferença mínima significativa (DMS), determinada de acordo com o número de julgadores e de amostras. Amostras com somas de ordens separadas por valores maiores que a DMS foram consideradas significativamente diferentes. As análises estatísticas foram realizadas com nível de significância de 5%.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software Rstudio* (versão 4.3.3). Os pacotes utilizados incluem ‘ggplot 2’ para visualização dos dados, ‘dplyr’ para manipulação dos dados, ‘car’ para verificação de pressupostos e ‘dunn.test’ para o pós-teste de Dunn.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físico-químicas

5.1.1 Caracterização dos hortifrutis

A caracterização dos hortifrutis usados para a formulação dos picolés, quanto aos seus parâmetros físicos e químicos analisados está apresentada na tabela 4, destacando diferenças significativas entre os hortifrutis avaliados ($p < 0,05$).

O abacaxi apresentou teor de pH ácido (3,62), enquanto a acidez foi baixa (0,51). O percentual de carboidratos (11,61) foi mais alto que o de proteínas (0,64) e lipídeos (0,22). O percentual de cinzas, referente aos minerais, foi de 0,27, para umidade foi de 87,26 e o de sólidos solúveis 9 °BRIX.

Valores médios similares foram encontrados por Lu et al. (2014) que obtiveram para o abacaxi-pérola pH (3,61), acidez (0,61) e sólidos solúveis (12,55); Berilli et al. (2014) também para o abacaxi-pérola determinaram pH (3,8), acidez (0,59) e sólidos solúveis (13,1); e por Teles et al. (2022) que obtiveram em polpa de abacaxi *in natura* valores de umidade (85,47), pH (4,23), acidez (0,39), sólidos solúveis (14,00) e cinzas (0,41).

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos dos hortifrutis

Parâmetros	Abacaxi	Couve	Gengibre	Hortelã	Manga
pH	3,62 ± 0,01b	6,37 ± 0,04a	6,16 ± 0,08a	6,71 ± 0,31a	3,85 ± 0,02b
Proteínas (%)	0,64 ± 0,12b	1,87 ± 0,13a	0,76 ± 0,06b	1,67 ± 0,26a	0,65 ± 0,08b
Carboidratos (%)	11,61 ± 0,87b	5,03 ± 0,71c	5,03 ± 0,13c	5,49 ± 0,40c	13,94 ± 0,20a
Lipídios (%)	0,22 ± 0,02c	1,27 ± 0,39a	0,43 ± 0,09b	0,98 ± 0,24b	0,85 ± 0,01b
Cinzas (%)	0,27 ± 0,02d	1,79 ± 0,04a	0,49 ± 0,07c	1,44 ± 0,04b	0,27 ± 0,04d
Umidade (%)	87,26 ± 0,75c	90,05 ± 0,44b	93,30 ± 0,10a	90,42 ± 0,73b	84,28 ± 0,17d
Acidez (g ácido cítrico/100 g)	0,51 ± 0,03a	0,14 ± 0,01cd	0,11 ± 0,03d	0,20 ± 0,0 cb	0,28 ± 0,04b
Sólidos solúveis (°BRIX)	9 ± 0,0a	1 ± 0,0ab	0 ± 0,0b	0 ± 0,0b	7,3 ± 58a

Nota: Médias seguidas com letras diferentes na mesma linha, mostram diferença significativa em dados normais pelo Teste de Tukey e de Dunn nos dados não normais ($p < 0,05$).

A couve-manteiga também apresentou um pH ácido (6,37), mas os percentuais de proteínas (1,87), carboidratos (5,03), lipídeos (1,27), cinzas (1,79) e umidade (90,05), acidez (0,14) e sólidos solúveis (1,0) diferiram dos valores do abacaxi. Todavia, aproxima-se com os

achados de Fernandes et al. (2024) nos valores de cinzas (12,45) e umidade (85,24) para a mesma hortaliça.

O gengibre por sua vez apresentou pH ácido (6,16), percentuais de proteínas (0,76), carboidratos (5,03), lipídeos (0,43), cinzas (0,49) e umidade (93,30), que diferiram dos valores da couve-manteiga e do abacaxi. Valores mais elevados foram observados por Oliveira (2018) para cinzas (6,37), proteínas (10,40), carboidratos (32,02) e lipídeos (2,04) e por Souza (2023) para pH (11,03), carboidratos (9,84) e umidade (84,09).

A hortelã apresentou pH (6,71), percentuais de proteínas (1,67), carboidratos (5,49), lipídeos (0,98), cinzas (1,44) e umidade (90,42), acidez (0,20), mas não apresentou sólidos solúveis. Esses achados aproximam-se aos percentuais observados por Saeed et al., (2014) para umidade (84,41), proteína bruta (2,75) gordura bruta (2,72) e cinzas (3,12). E também por Naureen et al., (2022) para umidade (84,6).

Para a manga foi apresentado pH (3,85), percentuais de proteínas (0,65), carboidratos (13,94), lipídeos (0,85), cinzas (0,27) e umidade (84,28), acidez (0,28) e sólidos solúveis (7,3 °BRIX). Dados similares aos encontrados em um estudo de Ezez e Belew (2023) com mangas coletada na Etiópia, em que foi determinado pH (4,08), açúcar total (15,37), lipídeos (0,45), cinzas (0,28), umidade (84,32), acidez (0,28) e sólidos solúveis (15,68 °BRIX).

5.1.2 Caracterização das spirulinas

A caracterização da biomassa em pó de spirulina (BPS) e do pigmento em pó de ficocianina (PPF), quanto aos seus parâmetros químicos analisados está apresentada na tabela 5. Como reportado pela literatura, a spirulina é uma espécie marcadamente conhecida pelo seu elevado teor em proteínas, carboidratos e lipídios - compreendido pelo seu metabolismo primário - como pode ser observado nos valores obtidos.

A BPS apresentou maiores porcentagens de proteínas, lipídeos, cinzas (representando os minerais), umidade a mais do que o encontrado na PPF e 23,65% de carboidratos, corroborando com os dados reportados por Bürk et al. (2024b), onde a biomassa spirulina compreende aproximadamente 20% de carboidratos, 50–70% de proteína, 5% de lipídios, 7% de minerais e 3 a 6% de umidade, o que reforça a espécie como uma fonte de alimento rica em nutrientes, principalmente devido ao seu elevado teor de proteína.

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos de BPS e PPF

Parâmetros	PPF	BPS
pH	6,51 ± 0,04 b	8,97 ± 0,10 a
Proteínas (%)	31,42 ± 0,12 b	49,16 ± 3,45 a
Carboidratos (%)	60,68 ± 0,52 a	23,65 ± 3,38 b
Lipídios (%)	0,61 ± 0,46 b	6,20 ± 2,44 a
Cinzas (%)	4,67 ± 0,36 b	16,28 ± 0,83 a
Umidade (%)	2,62 ± 0,04 b	4,71 ± 0,04 a
Acidez (g ácido cítrico/100 g)	1,08 ± 0,19 a	0,51 ± 0,04 b
Sólidos solúveis (°BRIX)	11,20 ± 5,15 b	27,85 ± 0,26 a

Nota: BPS - biomassa em pó da spirulina; PPF - pigmento em pó de ficocianina; Médias com letras diferentes na mesma linha, mostram diferença significativa entre médias através do Teste T ($p < 0,05$).

Por outro lado, os percentuais observados pela PPF são mais baixos quando comparadas com a BPS, exceto o percentual de carboidratos que foi incrementado. Essa diferença pode estar justificada pelo tratamento realizado pela empresa para aumentar a concentração de ficocianina que interferiu na maioria dos parâmetros.

5.1.3 Caracterização dos picolés

A caracterização dos picolés controle (PC), com pigmento em pó de ficocianina (PSA) e com biomassa em pó de spirulina (PSV), quanto aos seus parâmetros químicos analisados está apresentada na tabela 6 e suas informações nutricionais se encontram no apêndice C. É observado que a presença de spirulina afetou poucos parâmetros químicos em comparação ao controle. E dentre as fontes de spirulinas adicionadas ao picolé, a BPS mostrou maiores índices de pH e de umidade, que pode vir a afetar o processo de derretimento, comprometendo a vida útil (Masresha *et al.*, 2020) dos picolés avaliados.

No tocante ao teor de proteínas, foi apresentada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras de picolés com spirulina (PSA e PSV) e PC, mostrando que houve um aumento proteico quando na adição das spirulinas. Considerada uma das melhores fontes de proteína (Lafarga *et al.*, 2020), a biomassa de spirulina tem se destacado também quanto ao seu isolado proteico por apresentar vantagens excepcionais, incluindo excelente valor nutricional, amplos recursos e baixa alergenicidade, emergindo assim como uma fonte promissora de proteína para a indústria alimentícia (Benelhadj *et al.*, 2023; Hong *et al.*, 2025).

Tabela 6. Parâmetros físico-químicos dos picolés enriquecidos com BPS e PPF.

Parâmetros	PC	PSA	PSV
pH	2,62 ± 0,12c	2,62 ± 0,12c	3,93 ± 0,03a
Proteínas (%)	0,84 ± 0,12a	1,70 ± 0,13b	1,33 ± 0,13c
Carboidratos (%)	18,90 ± 0,50	18,52 ± 3,70	19,05 ± 0,35
Lipídios (%)	0,57 ± 0,40	1,82 ± 2,58	0,62 ± 0,38
Cinzas (%)	0,33 ± 0,01	0,23 ± 0,10	0,28 ± 0,14
Umidade (%)	79,36 ± 0,15a	77,72 ± 1,56b	78,71 ± 0,10ab
Acidez (g ácido cítrico/100 g)	0,51 ± 0,03	0,14 ± 0,01	0,11 ± 0,03
Sólidos solúveis (°BRIX)	18,33 ± 0,40	21,17 ± 0,25	20,13 ± 0,21

Nootas: PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina; Médias seguidas com letras diferentes na mesma linha, mostram diferença significativa em dados normais pelo Teste de Tukey e de Dunn nos dados não normais ($p < 0,05$).

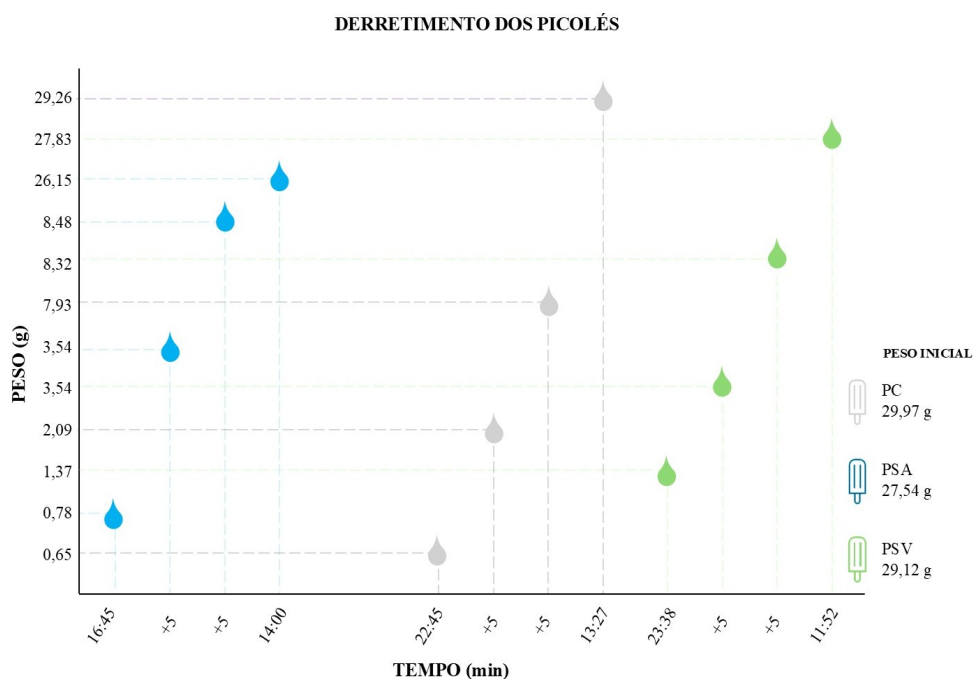
5.2 Teste de derretimento

Neste teste objetivou-se avaliar o comportamento do derretimento das formulações de picolés em função do tempo, para que seja possível indicar quais formulações seja mais resistente ao fator ambiental que será exposto, como pode ser observado na figura 12.

O peso inicial dos picolés foi de 29,26g do PC, 26,15g do PSA e 27,83g do PSV e o tempo do início do derretimento das amostras foi: para PC 22 min 45 s; para PSA 16 min 46 s; e para PSV 23 min 38. No qual o PSV apresentou maior demora para queda do primeiro pingo (23:38 min), porém um maior peso do mesmo (1,37g), o equivalente a cerca de 4,7% do peso total do PSV. E a queda total do PC, PSA e PSV, ocorreu a 13:27 min, 14:00 min e 11:52 min, respectivamente, após o primeiro pingo.

Como pode ser observado, embora submetidas as mesmas temperaturas de congelamento e derretimento (25 °C+/- 0,5 °C), as amostras apresentaram tempo iniciais de derretimento diferentes, porém quando comparadas as amostras com adição de biomassa de spirulina e controle, a PSV apresentou comportamento similar. O PSA apresentou maior velocidade de derretimento desde o seu tempo inicial (16 min 46 s) perdendo cerca de 2,8% e mais 10% do peso total 5 min após o primeiro pingo e o menor volume ao final dos 15 min, demonstrando maior derretimento em comparação com PC e PSV.

Figura 12 -Teste de derretimento dos picolés destacando as gramas e os minutos do primeiro pingo, o peso a cada 5 minutos e da queda final do picolé (minutos contados após o primeiro pingo). PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina.



Fonte: O próprio autor.

Ao se observar o comportamento do derretimento há de se considerar que as amostras apresentam água em sua composição e ausência de gordura o que contribui para seu derretimento mais rápido. Em função dos resultados, quando comparados entre PSA e PSV, pode-se inferir que a BPS tem efeito estabilizante melhor que a PPF quando adicionada ao picolé.

Resultado similar foi observado no estudo de Jadhav e Chawla (2022), em que se notou aumento no tempo de derretimento em função do aumento da quantidade de spirulina em sua forma integral em pó nas amostras (1,25 g - 13,9 min; 2,5 g - 14,7 min; 3,75 g - 15,6 min; 5 g - 17,2 min).

5.3 Análise de textura

A análise de perfil de textura (TPA) dos picolés controle (PC), com pigmento de ficocianina (PSA) e com biomassa em pó de spirulina (PSV) revelou variações significativas em alguns parâmetros mecânicos. As médias e desvios-padrão estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7- Parâmetros de textura dos picolés.

Parâmetro	PC	PSA	PSV
Dureza (N)	33,4 ± 22,1 b	78,7 ± 32,4 a	86,9 ± 42,9 a
Trabalho Total (mJ)	0,61 ± 0,41 a	1,94 ± 1,68 a	1,61 ± 1,04 a
Força adesiva (N)	0,50 ± 0,50 a	1,10 ± 0,90 a	1,70 ± 1,40 a
Aderência (mJ)	10,6 ± 8,7 a	4,8 ± 3,1 a	8,6 ± 1,5 a
Coesão	2,22 ± 0,86 a	2,41 ± 0,78 a	3,15 ± 0,50 a
Elasticidade	0,44 ± 0,17 a	0,48 ± 0,16 a	0,63 ± 0,10 a
Gomosidade (N)	0,9 ± 0,7 b	2,2 ± 1,8 a	3,1 ± 0,9 a
Mastigabilidade (mJ)	0,18 ± 0,15 b	0,44 ± 0,36 a	0,63 ± 0,18 a

Nootas: PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina; Médias ± desvio-padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Os resultados deste estudo indicam que a adição de BPS e PPF exerceu influência significativa sobre alguns parâmetros de textura dos picolés. Observou-se que a dureza foi maior nas formulações contendo BPS (PSV) e PPF (PSA), em comparação ao controle (PC), sugerindo que esses componentes contribuem para o aumento da resistência à deformação. Esse efeito pode ser atribuído, principalmente, à presença de proteínas e polissacarídeos na spirulina, que apresentam elevada capacidade de retenção de água e interação com a matriz congelada, favorecendo uma estrutura mais firme (Beheshtipour *et al.*, 2012; Çakır; Çakır, 2018). Em estudos com sorvetes enriquecidos com spirulina, resultados semelhantes foram reportados, com aumento significativo da dureza e da resistência ao derretimento conforme o nível de adição da biomassa (Beheshtipour *et al.*, 2012).

De forma semelhante, gomosidade e mastigabilidade apresentaram valores mais elevados em PSA e PSV, especialmente no picolé com biomassa de spirulina. Esses parâmetros, que refletem a energia necessária para mastigar e desintegrar o alimento, indicam que a spirulina favorece a formação de uma matriz mais densa e estruturada. Segundo Çakır & Çakır (2018), a incorporação de spirulina em produtos panificados também levou a aumento da dureza e da mastigabilidade, o que foi atribuído à formação de uma rede proteica mais compacta. Ademais, um estudo recente demonstrou que a forma física da spirulina (biomassa fresca ou seca) influencia diretamente propriedades de textura como “mastigabilidade” e “gomosidade”, reforçando que a interação da biomassa com a matriz alimentar pode modular o comportamento mecânico do produto (Bertinetti *et al.*, 2025).

Por outro lado, parâmetros como coesividade, elasticidade e adesividade não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Esse resultado sugere que a biomassa de spirulina e o pigmento de ficocianina atuam de forma seletiva sobre a textura,

reforçando a firmeza e a densidade da matriz, mas sem alterar substancialmente características relacionadas à integridade estrutural e adesão superficial. Resultados semelhantes foram descritos por Mohammadi-Gouraji, Soleimani-Zad e Ghiassi-Tarzi (2019) em sobremesas lácteas enriquecidas com spirulina, em que apenas alguns atributos texturais foram modificados.

De maneira integrada, os dados mostram que o picolé com biomassa de spirulina (PSV) apresentou maior firmeza, gomosidade e mastigabilidade, seguido do picolé com pigmento de ficocianina (PSV), enquanto o controle (PC) apresentou textura mais macia e de fácil desintegração. Esses achados indicam que a spirulina pode atuar como um agente estruturante, modificando seletivamente propriedades mecânicas dos picolés e, consequentemente, influenciando sua percepção sensorial. Tal efeito pode ser positivo em termos de resistência ao derretimento e estabilidade do produto, mas deve ser avaliado em relação à aceitação do consumidor, uma vez que texturas mais duras e mastigáveis podem não ser preferidas por todos os perfis de público (Beheshtipour *et al.*, 2012; Mohammadi-Gouraji *et al.*, 2019).

5.4 Colorimetria

Os resultados dos parâmetros de cor analisados para as amostras PC, PSA e PSV estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Colorimetria dos picolés.

Parâmetros	PC	PSA	PSV
L*	57,67 ± 0,63a	30,10 ± 0,72b	31,71 ± 0,67b
a*	-11,66 ± 0,42b	-6,90 ± 0,44a	-12,13 ± 0,33b
b*	39,01 ± 1,13a	-8,74 ± 0,15b	14,00 ± 0,40ab
C*	42,12 ± 1,14a	10,51 ± 0,12c	18,70 ± 0,46b

Notas: PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina; médias seguidas com letras diferentes na mesma linha, mostram diferença significativa ($p < 0,05$), em dados normais pelo Teste de Tukey e de Dunn nos dados não normais. L* = luminosidade, a* = vermelho para verde, b* = amarelo para azul e C* = cromo.

O parâmetro de cor L* significa luminosidade, a quantidade de luz refletida do alimento, com o maior valor (100) representando uma reflexão perfeita e o menor valor (0) representando o preto absoluto (Nazni; Vaisnavi, 2023). Para as amostras analisadas, a luminosidade (L*) diminuiu significativamente ($p < 0,05$) entre as amostras e o maior valor médio de 57,67 foi apresentado para PC, enquanto os picolés com adição de spirulina apresentaram menores

valores médios (PSA = 30,5; PSV = 31,71), desta forma, são mais escuros em relação ao PC, sendo o PSA o mais escuro entre as três amostras.

Já o parâmetro de cor a^* (o eixo a^* positivo representa as partes vermelhas de uma cor e o eixo a^* negativo representa as partes verdes) variou de forma significativa ($p < 0,05$) entre a amostra PSA (-6,90) que apresentou um verde mais claro, e as amostras PSV (-12,13) e PC (11,66) que apresentaram um verde mais intenso. Boyanova *et al.*, (2025), observaram em seu estudo colorimétrico, mudanças nas características de cor expressas em um aumento na intensidade dos componentes verde e azul do sorvete suplementado com spirulina em pó.

Para o parâmetro de cor b^* (o eixo b^* positivo é para amarelo e os valores b^* negativos estão para azul), foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras, conferindo para PC o maior valor médio de (39,01), mais próximo do amarelo, para PSA (-8,74) corroborando com a cor da ficocianina, e para PSV (14,00), um amarelo mais fraco, próximo do verde.

Enquanto o parâmetro C^* (croma), é considerado o atributo quantitativo da saturação de cor usado para determinar o grau de diferença de um matiz em comparação com uma cor cinza com a mesma luminosidade. Se o valor de C^* for alto, a intensidade da cor dos picolés também o será. As amostras estudadas apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), no valor de C^* . PC apresentou um valor médio maior (42,12), indicando maior saturação, quando comparado às outras formulações, enquanto um C^* menor foi encontrado para PSA (10,51) e PSV (18,70).

5.5 Análises dos compostos bioativos

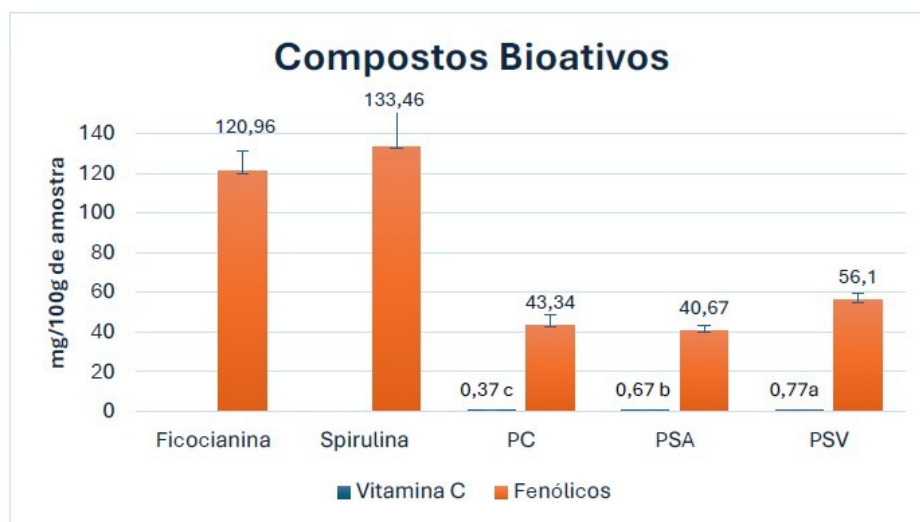
5.5.1 Avaliação das Propriedades Bioativas

Os resultados dos compostos bioativos analisados para a biomassa em pó de spirulina (BPS), o pigmento em pó de ficocianina (PPF) e os picolés controle (PC), picolé com PPF (PSA) e picolé com BPS (PSV), estão apresentados na figura 13.

O teor de vitamina C apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras de picolés com spirulina (PSA e PSV) e PC. Para PSV o valor médio foi de 0,77 mg/100g, para o PSA foi de 0,67 mg/100g e o PC apresentou menor teor com 0,37 mg/100g.

Quando avaliado o teor de compostos fenólicos entre as amostras de picolés, uma diferença foi observada entre PSV (56,10 mg/100g) e PC (43,34 mg/100g) e PSA (40,67 mg/100g).

Figura 13 - Resultados dos compostos bioativos da biomassa em pó de spirulina, do pigmento de ficocianina, e dos PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina



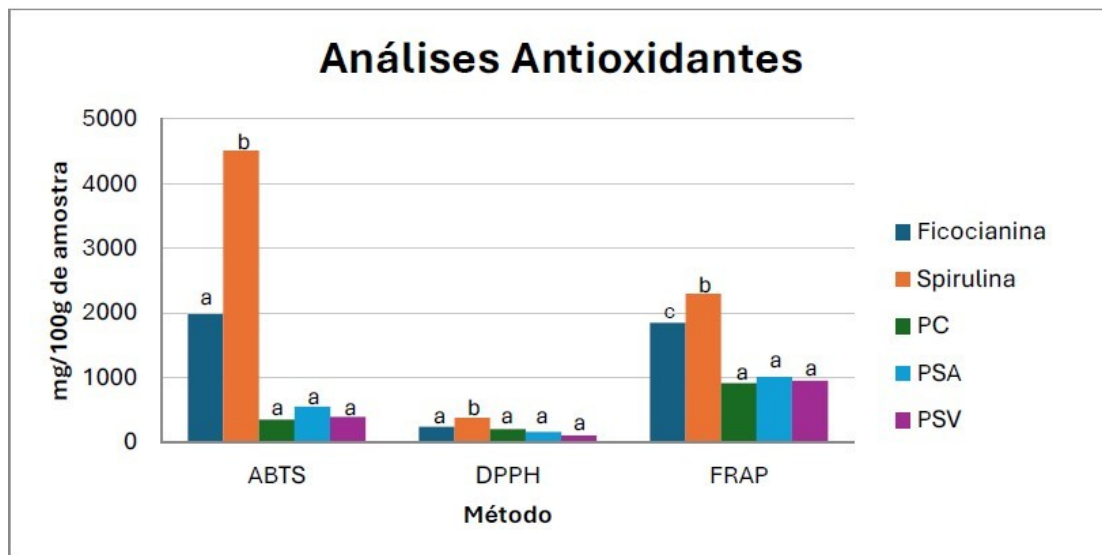
Fonte: O próprio autor.

Estes achados sugerem que a adição de spirulina pode incrementar a entrega de compostos bioativos de elevado valor para saúde em humanos. Conforme reporta a literatura, a spirulina possui uma excelente composição nutricional e bioativa, favorecendo a indústria alimentícia e farmacêutica um amplo espectro de aplicabilidades benéficas das atividades biológicas encontradas nos componentes dessas matrizes. Ademais, a presença de compostos bioativos permite seu uso em diferentes formulações alimentares como suplemento proteico para veganos, corante azul para fórmulas infantis, pró-vitamina A para a população em geral e obtenção de alimentos potencialmente funcionais (Bortolini *et al.*, 2022).

5.5.2 Avaliação da atividade antioxidante

Os resultados das análises de antioxidante para a biomassa em pó de spirulina (BPS), o pigmento em pó de ficocianina (PPF) e os picolés PC, PSA e PSV estão apresentados na figura 14. A BPS apresentou melhor atividade antioxidante, tanto pelo método FRAP quanto o ABTS, com relação aos resultados dos antioxidantes da PPF, no entanto, não foi apresentada diferença significativa para os resultados do método DPPH (Tabela 8).

Figura 14 - Análises antioxidantes da biomassa em pó de spirulina, do pigmento de ficocianina, e dos picolés: PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina



Fonte: O próprio autor.

Uzlasir *et al.* (2024) encontraram para extratos de *S. platensis* aplicados à técnica de congelamento e descongelamento (2195,83 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ e 2150,69 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$) e a técnica de extração convencional assistida por ultrassom (1143,75 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ e 1099,30 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$) ($p < 0,05$), para DPPH e FRAP.

Quando observada a atividade antioxidante para os picolés (Figura 14), os resultados não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para cada método usado, porém, PSA exibiu maiores valores médios em todos os métodos (DPPH = 174,83 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$; FRAP = 1032,56 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$; ABTS = 542,50 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$).

Os antioxidantes são chamados de eliminadores de radicais livres devido ao seu papel na estabilização de radicais instáveis, doando um elétron à sua estrutura orbital, protegendo o corpo de danos (Gulcin, 2020). Os antioxidantes naturais são divididos em antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, ambos estão presentes na spirulina, representados por uma grande quantidade superóxido dismutase, catalase, glutathione peroxidase (Asghar *et al.*, 2016; Irato; Santovito, 2021; Stunda-Zujeva *et al.*, 2023), bem como vitaminas C, E, K e do grupo B, além de 18 aminoácidos essenciais, contém também β -caroteno, provitamina A6, clorofila e ficocianina (Jung *et al.*, 2019; Maddiboyina *et al.*, 2023).

No entanto, em estudos clínicos, a biliproteína C-ficocianina do pigmento azul é considerada o principal antioxidante na spirulina (Finamore *et al.*, 2017). Todavia, apesar da sua alta atividade antioxidante, estudos mostraram que essa atividade oscila, pois depende da

combinação de ingredientes no alimento (Stunda-Zujeva *et al.*, 2023). No presente estudo, a inclusão de frutas e hortaliças na formulação dos picolés possivelmente contribuiu para potencializar a atividade antioxidante observada, evidenciando que a combinação da spirulina com ingredientes de origem vegetal pode resultar em alimentos com maior valor funcional e nutricional.

5.6 Análises microbiológicas

Uma vez que o controle sanitário é necessário visando a qualidade microbiológica dos produtos alimentícios e a proteção da saúde da população, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), Resolução RDC nº 161 de 1 de julho de 2022 (Brasil, 2022), estabelece os padrões microbiológicos sanitários para alimentos, descritos na tabela 9.

Tabela 9 - Avaliações microbiológicas da biomassa em pó de spirulina, do pigmento de ficocianina, e dos picolés: PC – Picolé Controle; PSV - Picolé com Biomassa de spirulina; PSA - Picolé com Pigmento de spirulina.

Características microbiológicas	PPF	BPS	Resultado para PC, PSA e PSV	Padrão
Contagem de bolores e leveduras (UFC/g)	1x10 ¹	3x10 ¹	----	Máx. 10 ⁴
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	Ausência	Ausência	---	Máx. 10 ²
Estafilococos coagulase positiva (UFC/g)	Ausência	Ausência	---	Máx. 10 ²
<i>Salmonella sp</i> em 25g	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Enterobacteriaceae (UFC/10g)	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

Nota: NMP/g = Número mais provável por grama; UFC/g = Unidades Formadoras de Colônias por grama.

As análises microbiológicas da biomassa em pó de spirulina (BPS), e do pigmento em pó de ficocianina (PPF) não apresentaram *Escherichia coli*, estafilococos coagulase-positivo. Já os picolés PC, PSA e PSV não apresentaram *Salmonella sp.* ou Enterobacteriaceae, atendendo aos padrões aceitáveis para consumo humano, confirmando assim a sua segurança para ser adicionada a alimentos.

5.7 Análise sensorial

5.7.1 Características sociodemográficas

Dados sociodemográficos estão listados na tabela 10.

Participaram da análise sensorial um total de 143 julgadores, com 59,4% desses sendo do gênero masculino. A maioria apresentou-se na faixa etária de 18-25 anos (67,1%) e com educação superior incompleta (55,9%). E quanto a distribuição geográfica, estão dispostos em 14 estados brasileiros, majoritariamente na Paraíba (Figura 15).

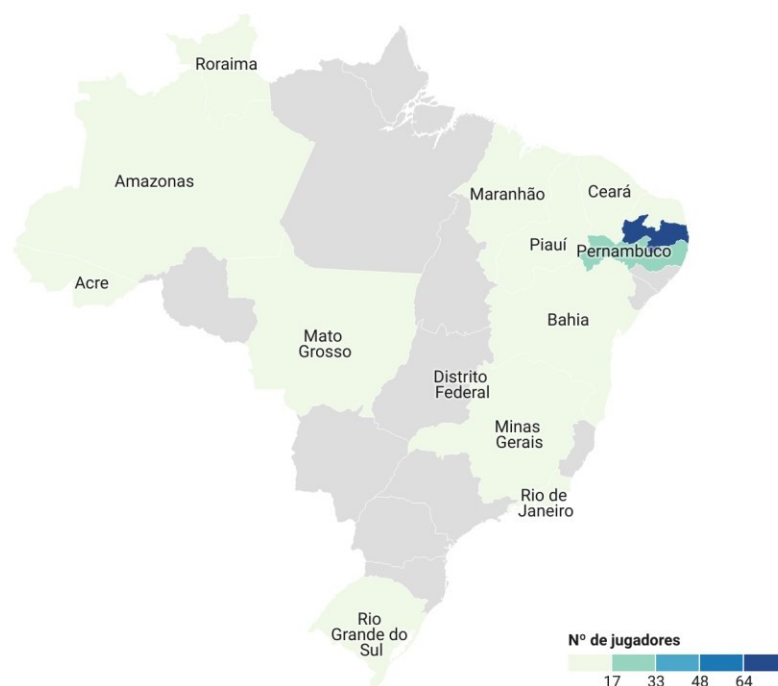
Tabela 10 - Características sociodemográficas dos julgadores da análise sensorial

Características Sociodemográficas	Total (n = 143)	
	n	%
Gênero		
Masculino	85	59,4
Feminino	54	37,8
Não-binário	04	2,8
Idade (anos)		
18-25	96	67,1
26-35	21	14,7
36-45	13	9,1
46-55	9	6,3
56-65	2	1,4
66-68	2	1,4
Escolaridade		
Educação básica completa	28	19,6
Educação básica incompleta	2	1,4
Educação superior completa	11	7,7
Educação superior incompleta	80	55,9
Pós-graduação completa	14	9,8
Pós-graduação incompleta	8	5,6

Fonte: O próprio autor.

Figura 15 -Distribuição geográfica dos julgadores da análise sensorial

Distribuição dos julgadores de acordo com os Estados brasileiros

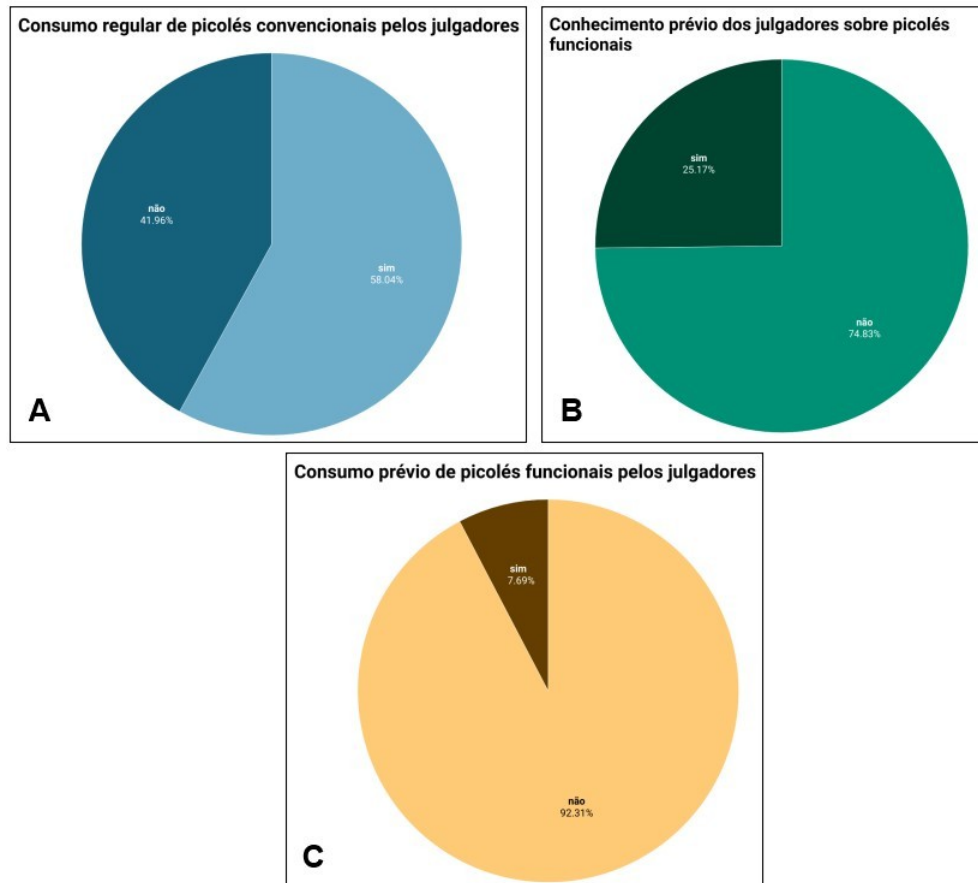


Fonte: O próprio autor.

5.7.2 Perfil de consumo de picolé

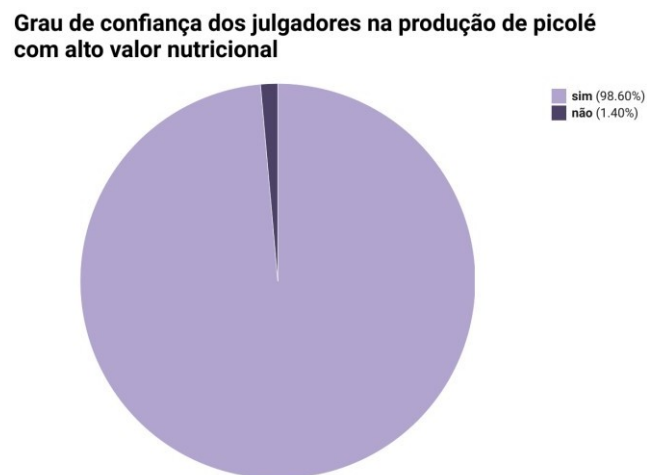
Dos julgadores 58,04% relataram consumo regular de picolés convencionais e 41,96% não (Figura 16-A). Quanto ao conhecimento sobre picolés funcionais 74,83% relataram não conhecer e 25,17% sim (Figura 16-B). E 92,31% relataram não ter consumido picolé funcional e 7,69% sim (Figura 16-C). Quando avaliado o grau de confiança na produção de picolé funcional com alto valor nutricional 98,60% dos julgadores responderam que sim e 1,40% que não (Figura 17).

Figura 16- Perfil dos julgadores quanto ao consumo regular de picolés convencionais (A), conhecimento prévio sobre picolés funcionais (B) e consumo prévio de picolés funcionais (C)



Fonte: O próprio autor.

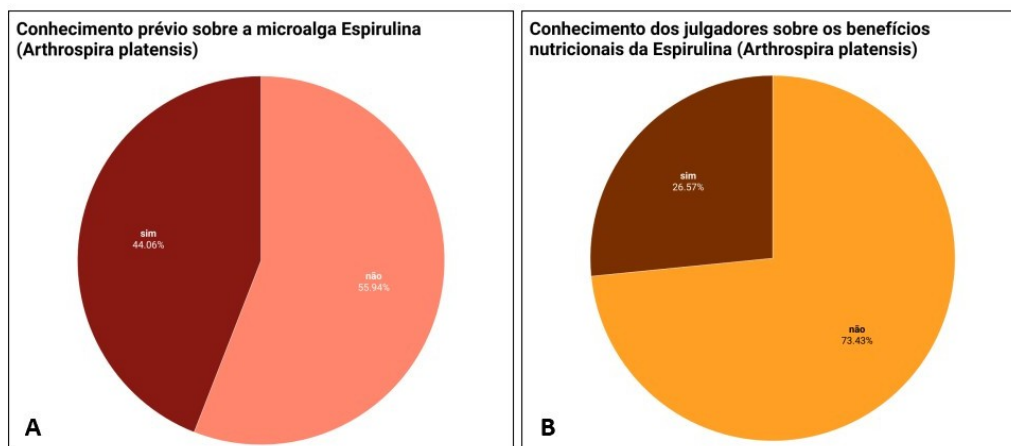
Figura 17- Perfil dos julgadores quanto ao grau de confiança na produção de picolé funcional com alto valor nutricional



Fonte: O próprio autor.

No tocante a microalga spirulina, 55,94% relataram não ter conhecimento prévio sobre a spirulina e 44,06% sim (Figura 18-A). Já sobre os benefícios nutricionais da spirulina 73,43% não conhecem, enquanto 26,57% conhecem (Figura 18-B).

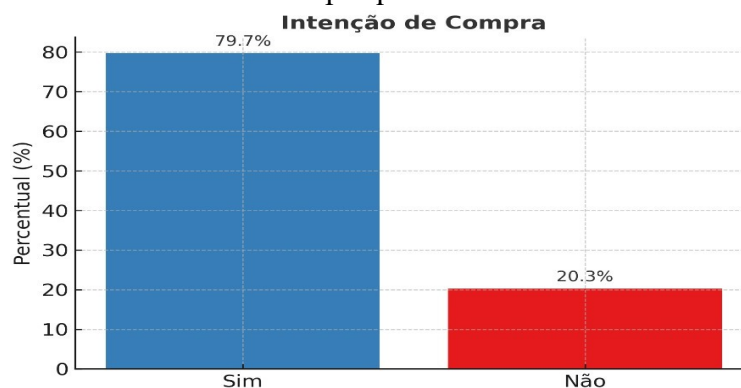
Figura 18 - Perfil dos julgadores quanto ao conhecimento prévio sobre a spirulina (A) e sobre os benefícios nutricionais da spirulina (B)



Fonte: O próprio autor.

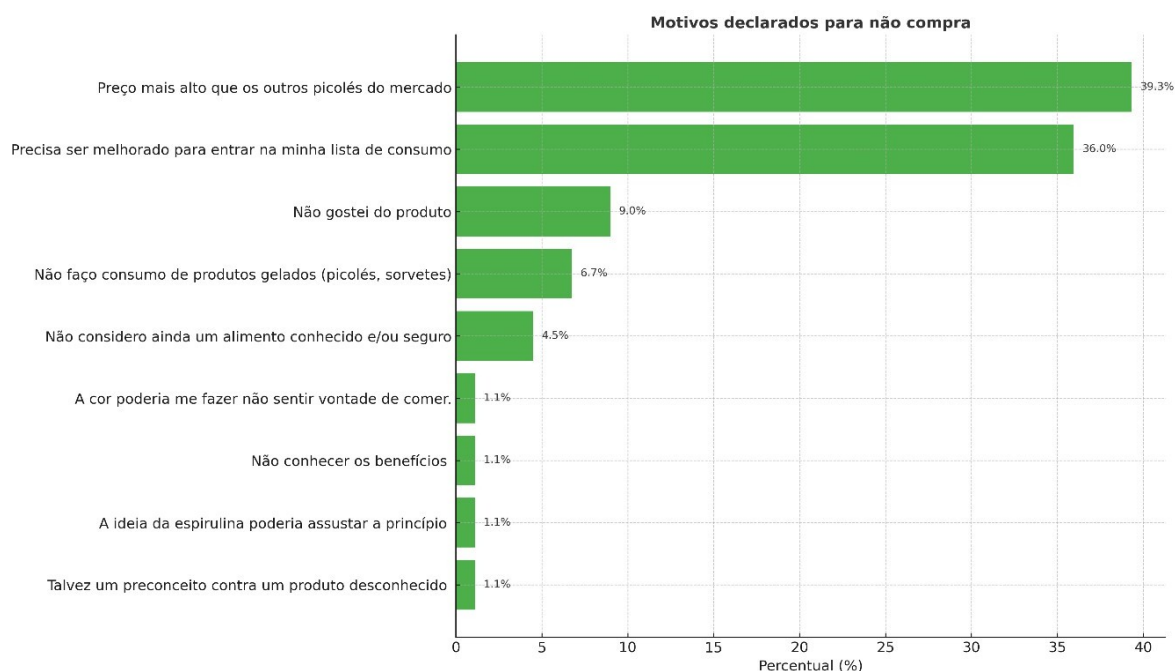
Sobre o desejo dos julgadores em comprar os picolés funcionais produzidos para esta pesquisa, 79,02% relataram que comprariam, enquanto 20,98% não (Figura 19). Referente aos motivos pelos quais os julgadores não comprariam esses picolés foram relatados os seguintes percentuais (Figura 20): 8% não gostam do produto, 53% comprariam ainda que precisasse ser melhorado, 35% julgaram o preço mais alto que os picolés convencionais, 1% tem preconceito em função de ser novidade, 6% não consomem picolés, 1% pela ideia da spirulina assustar a princípio, 1% por não conhecer os benefícios, 4% por não reconhecer ainda como produto seguro e 1% por não se sentir a vontade com a cor.

Figura 19 - Intenção de compra dos picolés funcionais entre os julgadores participantes da pesquisa



Fonte: O próprio autor.

Figura 20 - Principais motivos apontados pelos julgadores para a não intenção de compra dos picolés funcionais



Fonte: O próprio autor.

5.7.3 Teste de Ordenação Preferência

Os resultados do Teste de Ordenação Preferência para os picolés controle (PC), em comparação com os picolés com biomassa de spirulina (PSV) e com o pigmento de ficocianina (PSA) estão apresentados na tabela 11. Os valores representam o somatório das ordens atribuídas pelos julgadores, onde valores menores indicam maior preferência.

Dentre os dez atributos sensoriais avaliados, oito apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Apenas os atributos cremosidade ($p = 0,6427$) e cristais de gelo ($p = 0,9369$) não diferiram significativamente, indicando percepção sensorial semelhante pelos julgadores, independentemente da adição de spirulina.

No atributo cor, o picolé controle (PC) foi significativamente mais aceito (248), seguido por PSA (267), enquanto o PSV (309) apresentou o pior desempenho. Esse resultado pode ser explicado pela tonalidade verde intensa conferida pela biomassa da spirulina, que pode gerar estranhamento sensorial, principalmente em alimentos congelados, cuja expectativa visual tende a associar-se a cores mais suaves ou frutadas. Segundo Rocha et al. (2015), atributos visuais como a cor influenciam diretamente a expectativa e a aceitação do consumidor, especialmente quando envolvem ingredientes não convencionais.

Tabela 11 - Somatório do Teste de Ordenação Preferência para os picolés funcionais adicionados de biomassa em pó e de pigmento em pó de *Arthropira platensis*

Atributos	Tratamentos			χ^2 (Friedman)	p-valor
	PC	PSA	PSV		
Cor	248c	267b	309a	14.31	0.0008
Aroma	293a	253c	288a	6.83	0.0328
Sabor	309a	245c	275b	14.66	0.0007
Refrescância	311a	242c	269b	17.65	0.0001
Creiosidade	285a	272b	271b	0.88	0.6427
Grau Derretimento	301a	258b	263b	8.07	0.0177
Cristais de Gelo	279a	273b	276a	0.13	0.9369
Percepção Fibras	298a	265b	259c	6.44	0.04
Sabor Residual	313a	258b	257b	14.95	0.0006
Avaliação Global	325a	242c	264b	26.45	0.0

Nota: A análise sensorial comparou três tratamentos usando o teste de Friedman. Quando houve diferença significativa ($p < 0,05$), aplicou-se o pós-teste de Newell & MacFarlane para identificar as diferenças. As diferenças foram indicadas por letras distintas nas somas das ordens.

Em relação ao aroma, o PSA (253) foi significativamente mais aceito que PSV (288), enquanto o controle (293) foi o menos preferido. Isso pode indicar que o pigmento de ficocianina, submetido a processos de purificação para extração de ficocianina, apresenta menor interferência aromática desagradável, como também observado por Paz-Montelongo et al. (2024), que destacam que a extração seletiva de pigmentos reduz compostos voláteis indesejáveis.

Para a experiência alimentar a cor influencia a percepção sensorial e a aceitação do consumidor, contribuindo para a atratividade visual, além de definir expectativas quanto ao sabor e à qualidade do alimento. Mais que a estética, a cor fornece informações sobre o conteúdo do alimento, estabelecendo uma conexão essencial entre cor e sabor, um elemento fundamental na experiência gustativa (Burck et al., 2024a).

Os atributos sabor, refrescância e sabor residual seguiram padrão semelhante, com PSA sendo o mais preferido (menores somatórios), PSV em posição intermediária, e PC com as maiores somas (menor preferência). A menor aceitação do sabor do controle pode indicar que

os compostos bioativos e pigmentos de ficocianina, apesar de não convencionais, contribuíram positivamente para a complexidade sensorial, oferecendo uma experiência mais refrescante e funcional. Segundo Dąbrowska et al. (2024), o pigmento de ficocianina presente na spirulina pode conferir não apenas cor, mas também características funcionais que ampliam a percepção positiva do produto.

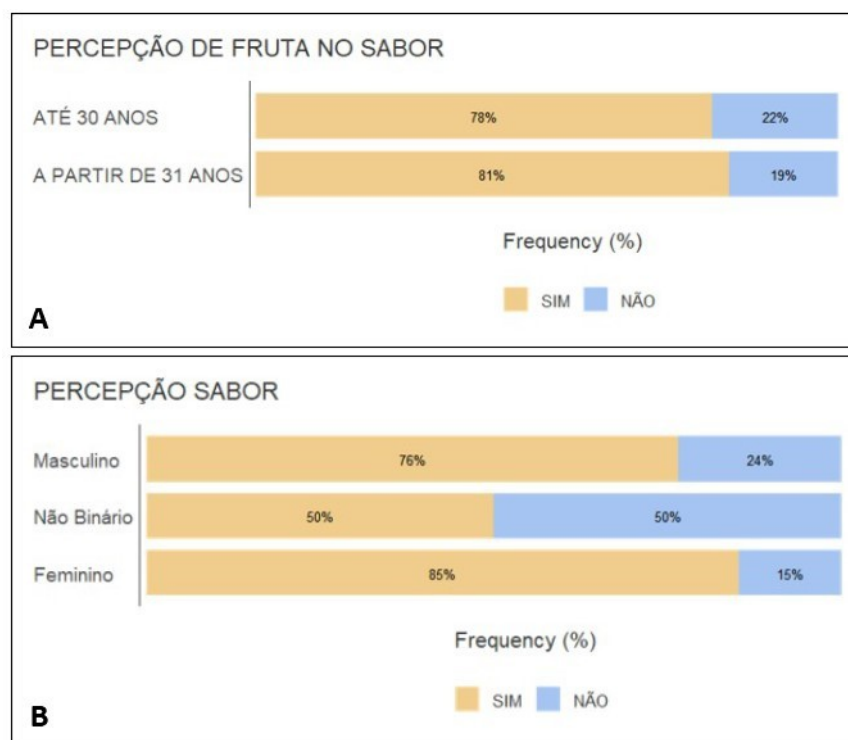
Já o atributo grau de derretimento apresentou maior aceitação para os picolés com spirulina (PSA e PSV) em comparação ao controle. Isso sugere que a presença de proteínas e polissacarídeos da spirulina pode ter contribuído para uma melhor estrutura da matriz congelada, retardando o derretimento. Estudos como os de Martelli et al. (2015) mostraram que o aumento da concentração de spirulina em sobremesas congeladas está relacionado a maior estabilidade térmica.

No atributo percepção de fibras, o picolé PSV obteve o menor somatório (melhor), indicando menor percepção de partículas ou resíduos fibrosos, o que pode ser atribuído ao processamento adequado da biomassa. A percepção de fibras pode ser um fator sensível para consumidores em alimentos com textura cremosa, como os picolés, conforme apontado por Tolve et al. (2024).

A avaliação global apresentou diferença altamente significativa ($\chi^2 = 26,45$; $p = 0,0000$), sendo o PSA (242) o mais preferido, seguido por PSV (264), e PC (325) o menos. Este dado é particularmente relevante, pois demonstra que, mesmo em um contexto sensorial, o pigmento de ficocianina pode ser melhor aceito que a formulação tradicional, abrindo espaço para seu uso em produtos congelados com apelo funcional.

Ainda foi possível observar as frequências em função de idade e gênero dos julgadores quanto a percepção de fruta no sabor, percepção no aroma e na percepção sabor/aroma anormais. Para a percepção de fruta no sabor em função da idade (Figura 21-A), nas duas faixas etárias analisadas os julgadores em sua maioria (aproximadamente 80%) conseguem fazer a percepção do sabor de frutas nas formulações testadas. No entanto, com o valor de $p > 0,05$, conclui-se que as variáveis não se relacionam, ou seja, a percepção da presença de sabor não tem relação com a idade. Já em função do gênero (Figura 21-B), a frequência foi considerada estatisticamente igual entre os gêneros ($p > 0,05$), não havendo diferença entre os gêneros para esse atributo.

Figura 21 - Frequência dos julgadores na percepção de fruta no sabor em função da faixa etária (A) e do gênero (B)

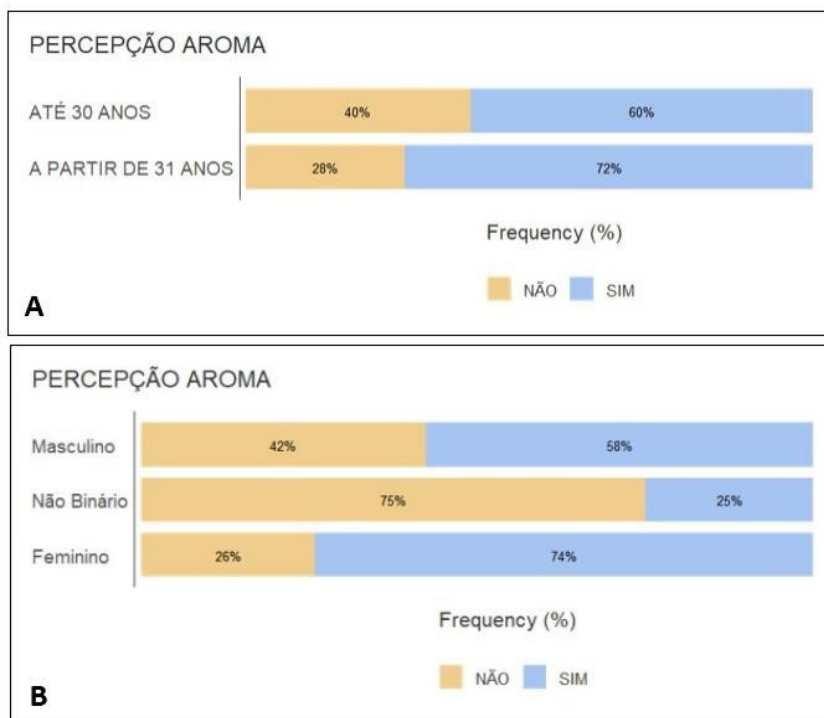


Fonte: O próprio autor.

Quando analisada a percepção do aroma em função da idade (Figura 22-A), tanto na faixa etária de até 30 anos como na faixa etária a partir de 31 anos, os julgadores em sua maioria conseguem fazer a percepção do aroma nas formulações de picolés analisados. No entanto, como o valor de $p > 0,05$, conclui-se que as variáveis não se relacionam, ou seja, a percepção da presença de aroma nos picolés não se relaciona com a faixa etária dos julgadores.

Enquanto em função do gênero (Figura 22-B), a percepção do aroma foi mais detectada nos julgadores dos gêneros feminino (74%) e masculino (58%). Em relação ao grupo dos julgadores autodenominados não-binários, apenas 25% conseguiram fazer a detecção deste atributo. Como o valor de $p < 0,05$, conclui-se que as variáveis se relacionam, ou seja, a percepção da presença de aroma nos picolés varia de acordo com o gênero dos julgadores.

Figura 22 - Frequência dos julgadores na percepção do aroma em função da faixa etária (A) e do gênero (B)

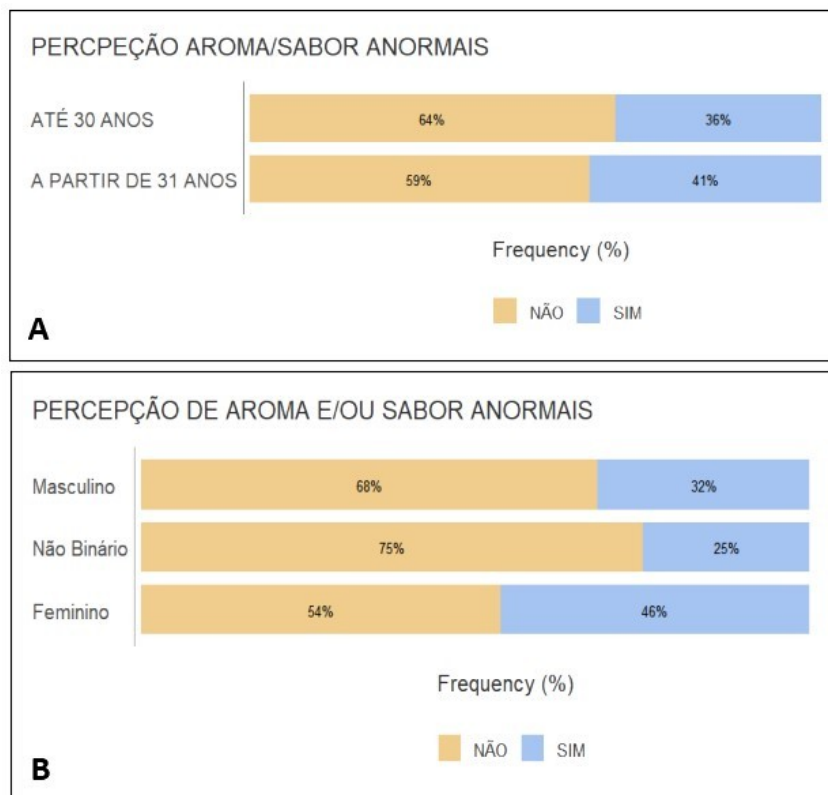


Fonte: Próprio autor.

E para a percepção aroma/sabor anormais em função da idade (Figura 23-A), nas duas faixas etárias analisadas, os julgadores em sua maioria não detectam aromas nem sabores estranhos. A análise estatística mostrou que essas duas variáveis não se relacionam ($p > 0,05$), ou seja, a idade não tem relação com a detecção de aromas e/ou sabores estranhos nos picolés testados.

Quanto ao gênero (Figura 23-B), por sua vez, embora não tivesse sido encontrada diferença estatística e uma relação entre essas duas variáveis ($p > 0,05$), considera-se que a porcentagem de julgadores que detectou aroma e/ou sabores anormais foi considerado alto. Para pessoas do gênero feminino, esse valor chegou a 46%, sendo o mais alto e abrangendo quase metade de todos os julgadores. Acredita-se que este valor pode ter sido alto devido à presença de folhas (couve), que é incomum para produção de picolés, além da adição de microalgas nas amostras PSV e PSA.

Figura 23 - Frequência dos julgadores na percepção do aroma/sabor em função da faixa etária (A) e do gênero (B)



Fonte: O próprio autor.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a incorporação da biomassa em pó de spirulina e de seu pigmento ficocianina em formulações de picolés à base de água é tecnologicamente viável e promove ganhos nutricionais, bioativos e funcionais significativos. As análises físicoquímicas e tecnológicas revelaram aumento do teor proteico, melhoria da estabilidade ao derretimento e incremento na dureza, com destaque para o picolé contendo biomassa de spirulina. A formulação com o pigmento de ficocianina apresentou maior atividade antioxidante, evidenciando o potencial do pigmento como ingrediente funcional de elevado valor agregado. Importante ressaltar que a composição gastronômica da receita desenvolvida mostrou-se eficaz para atenuar o odor característico da spirulina, contribuindo para uma aceitação sensorial satisfatória. As análises microbiológicas confirmaram a segurança das amostras, enquanto os testes sensoriais indicaram boa receptividade, mesmo entre consumidores pouco familiarizados com microalgas.

Os resultados obtidos reforçam o potencial da spirulina como ingrediente estratégico para o desenvolvimento de gelados comestíveis sustentáveis, nutritivos e alinhados às tendências globais por alimentos funcionais. Esta pesquisa integra avanços em ciência, tecnologia de alimentos e gastronomia contribuindo para ampliar a aplicabilidade da microalga e fortalecer iniciativas ligadas à bioeconomia e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Contudo, estudos futuros são essenciais para otimizar a aceitação sensorial dos picolés com spirulina, inclusive a especificação do público-alvo em futuros testes.

REFERÊNCIAS

- ABALDE, J. Purification and characterization of phycocyanin from the marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. **Plant Science**, v. 136, p. 109–120, 1998.
- ABD EL-BAKY, H. H.; EL-BAROTY, G. S. *Spirulina maxima* L-asparaginase: Immobilization, Antiviral and Antiproliferation Activities. **Recent Patents on Biotechnology**, v. 14, p. 154–163, 2020.
- ABO, B. O.; ODEY, E. A.; BAKAYOKO, M.; KALAKODIO, L. Microalgae to biofuels production: a review on cultivation, application and renewable energy. **Reviews on Environmental Health**, v. 34, n.1, p. 91-99, 2019.
- AGHASADEGHI, M. R.; BIRGANI M. A. Z.; JAMALIMOGHADAMSIYAHKALI, S. et al. Effect of high-dose *Spirulina* supplementation on hospitalized adults with COVID-19: a randomized controlled trial. **Frontiers in Immunology**, v. 15, 1332425, 2024.
- AHMAD, A. M. R.; INTIKHAB, A.; ZAFAR, S.; FAROOQ, U.; SHAH, H. B. U.; AKRAM, S.; ABID, J.; PARVEEN, Z.; IQBAL, S. *Spirulina*, an FDA-Approved Functional Food: Worth the Hype? **Cellular and Molecular Biology (Noisy-le-grand)**, v. 69, n. 1, p. 137-144, 2023.
- AL-DHABI, N. A.; ARASU, M. V. Quantification of Phytochemicals from Commercial *Spirulina* Products and Their Antioxidant Activities. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, p. 1-13, 2016.
- AL-WATHNANI, H.; ARA I.; TAHMAZ R. R.; AL-DAYEL, T. H.; BAKI M. A. Bioactivity of natural compounds isolated from cyanobacteria and green algae against human pathogenic bacteria and yeast. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 18, p. 34253433, 2012.
- ALI, S. K.; SALEH, A. M. *Spirulina*-an Overview. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 3, p. 9-15, 2012.
- ALMEIDA, L. M. R.; CRUZ, L. F.; MACHADO, B. A. S.; NUNES, I. L.; COSTA, J. A. V. FERREIRA, E.; et al. Effect of the addition of *Spirulina* sp. biomass on the development and characterization of functional food. **Algal Research**, v. 58, n.102387, 2021.
- ANANTHARAJAPPA, K. A.; DHARMESH, S. M.; RAVI, S. Gastro-protective potentials of *Spirulina*: role of vitamin B12. **Journal of Food Science and Technology**, v.57, p. 745–753, 2020. doi:10.1007/s13197-019-04107-8
- ANDRADE, D. S.; TELLES, T. S.; CASTRO, G. H. L. The Brazilian microalgae production chain and alternatives for its consolidation. **Journal of Cleaner Production**, v. 250, n. 119526, 2020, 13p.
- ARES, G.; JAEGER, S. R.; BAVA, C. M.; CHHEANG, S. L.; JIN, D.; GIMENEZ, A.; VIDAL, L.; M. FISZMAN, S. M.; VARELA, P. CATA questions for sensory product

characterization: Raising awareness of biases. **Food Quality and Preference**, v. 30, p. 11427, 2013.

ARTHUR-ATAAM, J.; BIDEAUX, P.; CHARRABI, A.; SICARD, P.; FROMY, B.; LIU, K.; EDDAHIBI, S.; PASQUALIN, C.; JOUY, N.; RICHARD, S.; et al. Dietary supplementation with silicon-enriched spirulina improves arterial remodeling and function in hypertensive rats. **Nutrients**, v.11, p. 2574, 2019.

ASGHARI, A.; FAZILATI, M.; LATIFI, A. M.; SALAVATI, H.; CHOOPANI, A. A review on antioxidant properties of spirulina. **Journal of Applied Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 345–351, 2016.

ASHAOLU, T. J.; SAMBORSKA, K.; LEE, C. C.; TOMAS, M.; CAPANOGLU, E.; TARHAN, Ö.; TAZE, B.; JAFARI, S. M. Phycocyanin, a Super Functional Ingredient from Algae; Properties, Purification, Characterization, and Applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 193, p. 2320–2331, 2021.

ATILGAN, H.I.; AKBULUT, A.; YAZIHAN, N.; YUMUSAK, N.; SINGAR, E.; KOCA, G.; KORKMAZ, M. The Cytokines-Directed Roles of Spirulina for Radioprotection of Lacrimal Gland. **Ocular Immunology and Inflammation**, p. 1-6, 2022.

AVERSARI, M. **Aquicultura de microalgas: uma proposta para a melhoria na qualidade de vida de pescadores do nordeste do Brasil**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2018 (Dissertação de mestrado).

BABADZHANOV, A. S.; ABDUSAMATOVA, N.; YUSUPOVA, F. M.; FAIZULLAEVA, N.; MEZHLUMYAN, L. G.; MALIKOVA, M. K. Chemical Composition of *Spirulina* Platensis Cultivated in Uzbekistan. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 40, p. 276–279, 2004. doi: 10.1023/B:CONC.0000039141.98247.e8.

BAHRAM-PARVAR, M. A review of modern instrumental techniques for measurements of ice cream characteristics. **Food Chemistry**, v. 188, p. 625–631, 2015.

BALTHAZAR, C. F.; SILVA, H. L. A.; VIEIRA, A. H.; NETO, R. P. C.; CAPPATO, L. P.; COIMBRA, P. T.; CRUZ, A. G. Assessing the effects of different prebiotic dietary oligosaccharides in sheep milk ice cream. **Food Research International**, v. 91, p. 38–46, 2017.

BANJI, D.; BANJI, O. J. F.; PRATUSHA, N. G.; ANNAMALAI, A. R. Investigation on the role of *Spirulina platensis* in ameliorating behavioural changes, thyroid dysfunction and oxidative stress in offspring of pregnant rats exposed to fluoride. **Food Chemistry**, v. 140, p. 321–331, 2013.

BARKIA, I.; SAARI, N.; MANNING, S. R. Microalgae for High-Value Products Towards Human Health and Nutrition. **Marine Drugs**, v. 17, n. 5, p. 304–33, 2019.

BARROS, L.; PEREIRA, E.; CALHELHA, R. C.; DUEÑAS, M.; CARVALHO, A. M.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I. C. F. R. Bioactivity and chemical characterization in hydrophilic and lipophilic compounds of *Chenopodium ambrosioides* L. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 4, p. 1732–1740, 2013.

BASTANTE, C.; TIZON S. R.; CARDOSO, L. C.; SANCHEZ M. D. M.; SERRANO C. M.; DE LA OSSA E. J. M. Fractionation of Marine Microalgae Extract Using Supercritical CO₂ with Progressive Addition of Co-solvent for the Recovering of High-valuable Compounds. **Chemical Engineering Transactions**, v. 93, p. 259-264, 2022.

BECKER, E. W. **Microalgae: biotechnology and microbiology**. Cambridge University Press. 1994.

BEHESHTIPOUR, H. et al. Effect of *Spirulina platensis* on physicochemical and sensory properties of yogurt. **European Journal of Experimental Biology**, v. 2, n. 4, p. 496–502, 2012.

BENASSI, M.T.; ANTUNES, A.J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

BENZIE, I. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, 1996.

BENZIE, I. F.; DEVAKI, M. The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for nonenzymatic antioxidant capacity: Concepts, procedures, limitations and applications. In *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity*, 1st ed.; Apak, R., Capanoglu, E., Shahidi, F., Eds.; John Wiley & Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2017; Chapter 5. 77-106 p.

BERTIN, B.; MENDES, F. **Segurança de alimentos no comércio: atacado e varejo**. 1ª ed. São Paulo: Editora Senac, 2019.

BERTINETTI, F. C. et al. Impact of *Spirulina* biomass physical form on texture, color, and sensory properties of model foods. **Current Research in Food Science**, v. 10, p. 100273, 2025.

BERILLI, S. S.; FREITAS, S. J.; SANTOS, P. C.; OLIVEIRA, J. G.; CAETANO, L. C. S. Avaliação da qualidade de frutos de quatro genótipos de abacaxi para consumo in natura. **Revista Brasileira De Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 503-508, 2014.

BERTOLINI, D. G.; MACIEL, G. M.; FERNANDES, I. A. A.; PEDRO, A. C.; RUBIO, F. T. V.; BRANCO, I. G.; HAMINIUK, C. W. I. Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: Current status and future trends, **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 5, p. 100-134, 2022.

BENELHADJ, S.; DOUIRI, S.; GHOUILLI, A. HASSEN, R. B.; KESHK, S. M. A. S.; ELKOTT, A.; ATTIA, H.; GHORBEL, D. Extraction of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) proteins via Osborne sequential procedure: Structural and functional characterizations. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, p. 104984, 2023.

BEZERRA, C. V.; SILVA, F. J. C.; SANTOS, O. Elaboração de um gelado comestível tipo picolé de couve manteiga (*Brassica oleracea acephala*). In: Carlos Alberto Martins Cordeiro; Evaldo Martins da Silva; Bruna Almeida d Silva. (Org.). *Ciência E Tecnologia De Alimentos: Pesquisa e Práticas Contemporâneas* 1ed.: **Científica digital**, 2021, v. 1, p. 312-323.

BOROWITZKA, M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. **Journal of Biotechnology**, v.70, p.313-321, 1999.

BOYANOVA, P.; BOSAKOVA-ARDENSKA, A.; DANEV, A.; KUTRYANSKA, M.; DOBREVA, V.; CHAVDAROVA, A.; GRADINARSKA, D. Evaluation of color stability of ice cream with *Spirulina platensis* by image processing. **BIO Web Conf.**, v. 170, 01011, 2025.

BOYLE, K.; VERGHESE, M. Anti-Oxidative Effects of Bioactive Compounds in *Spirulina* Microalgae and Bilberry. **Food and Nutrition Sciences**, v. 15, p. 941-958, 2024.

BRAND-WILIANS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Thechnology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 379 de 26 de Abril de 1999. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, abr. 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial [da] União**. Brasília, Janeiro de 2001. Seção I, nº 7-E, p.45-53.

BÜRCK, M.; FRATELLI, C.; ASSIS, M.; BRAGA, A. R. C. Naturally Colored Ice Creams Enriched with C-Phycocyanin and *Spirulina* Residual Biomass: Development of a Fermented, Antioxidant, Tasty and Stable Food Product. **Fermentation**, v. 10, n. 6, p. 304, 2024a.

BÜRCK, M.; FRATELLI, C.; AMARANTE, M. C. A.; BRAGA, A. R. C. Unveiling the Potential of *Spirulina* Biomass—A Glimpse into the Future Circular Economy Using Green and Blue Ingredients. **Biomass**, v. 4, p. 704-719, 2024b.

CADORET, J-P.; BERNARD, O. The production of biofuel lipid with microalgae: promises and challenges. **Journal de la Societe de biologie**, v. 202, n. 3, p. 201-211, 2008.

ÇAKIR, Ö.; ÇAKIR, F. The effects of *Spirulina platensis* powder on textural and sensory properties of gluten-free biscuits. **GIDA/The Journal of Food**, v. 43, n. 3, p. 479–489, 2018.

CHENG, C.-H. et al., Comparative study of lipid extraction from microalgae by organic solvent and supercritical CO₂. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 21, p. 10151-10153, 2011.

CHEW, K. W.; YAP, J. Y.; SHOW, P. L.; SUAN, N. H.; JUAN, J. C.; LING, T. C.; LEE, D.; CHANG, J. Microalgae biorefinery: High value products perspectives. **Bioresource Technology**, v. 229, p. 53-62, 2017.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. **Trends Biotechnology**, v. 26, n. 3, p. 126–131, 2008.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances**, v. 25, p. 294-306, 2007.

CHOUDHURY, N. R. **Spirulina Extract Market Outlook for 2024 to 2034**. 2024.

Disponível em: <<https://www.futuremarketinsights.com/reports/spirulina-extracts-market>> (Acesso em 25 de agosto de 2024).

CHU, W.L.; LIM, Y. W.; RADHAKRISHNAN, A. K.; LIM, P. E. Protective effect of aqueous extract from *Spirulina platensis* against cell death induced by free radicals. **BCM Complementary and Alternative Medicine**, v. 1. n. 53, p. 3-8, 2010.

CORRÊA, P.S.; MORAIS JÚNIOR, W.G.; MARTINS, A.A.; CAETANO, N.S.; MATA, T.M. Microalgae Biomolecules: Extraction, Separation and Purification Methods. **Processes**, v. 9, n. 10, p. 2-43, 2021.

CRAMPON et al., 2017. Oil extraction from enriched *Spirulina platensis* microalgae using supercritical carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 119, p. 289-296, 2017.,

CRAMPON, C.; BOUTIN, O.; BADENS, E. Supercritical carbon dioxide extraction of molecules of interest from microalgae and seaweeds, **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 50, p. 8941–8953, 2011.

CZERWONKA, A.; KAŁAWAJ, K.; SŁAWIŃSKA-BRYCH, A.; LEMIESZEK, M. K.; BARTNIK, M.; WOJTANOWSKI, K. K.; ZDZISIŃSKA, B.; RZESKI, W. Anticancer effect of the water extract of a commercial *Spirulina (Arthrospira platensis)* product on the human lung cancer A549 cell line. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 106, p. 292–302, 2018.

DĄBROWSKA, N. K. et al. *Spirulina maxima* supplementation: Benefits and limitations—results of latest studies. **Journal of Pre-Clinical and Clinical Research**, v. 18, n. 3, p. 195200, 2024.

DEMIRBAS, A.; DEMIRBAS, M. F. **Algae energy: algae as a new source of biodiesel**. London: Springer, 2010.

DERNER, R. B.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S. M. DE; FETT, R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1959 – 1967, 2006.

DIDEM S. A.; BAŞAK G.; ESRA B.; İBRAHİM P. Development of vegan kefir fortified with *Spirulina platensis*. **Food Bioscience**, v. 42, 101050, 2021.

DOLGANYUK, V.; BELOVA, D.; BABICH, O.; PROSEKOV, A.; IVANOVA, S.; KATSEROV, D.; PATYUKOV, N.; SUKHIKH, S. Microalgae: A Promising Source of Valuable Bioproducts. 2020.

ECHEGARAY, N.; GUZEL, N.; KUMAR, M.; GUZEL, M.; HASSOUN, A.; LORENZO, J. M. Recent Advancements in Natural Colorants and Their Application as Coloring in Food and in Intelligent Food Packaging. **Food Chemistry**, v. 404, n.134453, 2023.

EZEZ, D.; BELEW, M. Analysis of physicochemical attributes, contamination level of trace metals and assessment of health risk in mango fruits from Southern region Ethiopia. **Toxicology Reports**, v. 10, p. 124-132, 2023.

FAIS, G.; MANCA, A.; BOLOGNESI, F.; BORSELLI, M.; CONCAS, A.; BUSUTTI, M.; BROGGI, G.; SANNA, P.; CASTILLO-ALEMAN, Y.M.; RIVERO-JIMÉNEZ, R.A.; BENCOMO-HERNANDEZ, A.A.; VENTURA-CARMENATE, Y.; ALTEA, M.; PANTALEO, A.; GABRIELLI, G.; BIGLIOLI, F.; CAO, G.; GIANNACCARE, G. Wide Range Applications of *Spirulina*: From Earth to Space Missions. **Marine Drugs**, v. 20, p. 299, 2022.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations . **High Level Expert Forum- How to Feed the World in 2050**. Food and Agriculture Organization of the United Nations; Rome, Italy: 2009. p. 35p.

FASAEI, F.; BITTER, J.H.; SLEGGERS, P.M.; VAN BOXTEL, A. J. B. **Techno-economic evaluation of microalgae harvesting and dewatering systems**. *Algal Resource*, v. 31, p. 347-362, 2018.

FERNANDES, R.; CAMPOS, J.; SERRA, M.; FIDALGO, J.; ALMEIDA, H.; CASAS, A.; TOUBARRO, D.; BARROS, A.I.R.N.A. Exploring the Benefits of Phycocyanin: From Spirulina Cultivation to Its Widespread Applications. *Pharmaceuticals* , v. 16, p. 592, 2023.

FERNANDES, I. M. V.; GUIMARÃES, C. M.; CARVALHO, V. S. Avaliação química de couve-manteiga (*Brassica oleracea*) submetida à adição de revestimento à base de amido. *Revista Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 6, p. 01-21, 2024.

FINAMORE, A.; PALMERY, M.; BENSEHAILA, S.; PELUSO, I. Antioxidant, Immunomodulating, and Microbial-Modulating Activities of the Sustainable and Ecofriendly *Spirulina*. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, n. 3247528, p. 1-14 pages, 2017.

FLICKR. Tanques de microalgas Fazenda Tamanduá , Patos, Paraíba. Junho de 2012. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/amandawy/7437166770/in/photostream/>> . Acesso em: 24 junho 2021.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, v. 226, p. 497-509, 1957.

GARCÍA-SEGOVIA, P.; GARCÍA ALCARAZ, V.; TÁRREGA, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Consumer perception and acceptability of microalgae based breadstick. *Food Science and Technology International*, v. 26, n. 6, p. 493-502, 2020.

GOGNA, S.; KAUR, J.; SHARMA, K.; PRASAD, R.; SINGH, J.; BHADARIYA, V.; KUMAR, P.; JARIAL, S. Spirulina- An Edible Cyanobacterium with Potential Therapeutic Health Benefits and Toxicological Consequences. *Journal of the American Nutrition Association*, Aug 2, p. 1-14, 2022.

GRANGER, C.; LEGER, A.; BAREY, P.; LANGENDORFF, V.; CANSELL, M. Influence of formulation on the structural networks in ice cream. *International Dairy journal Barking*, v. 15, n. 3, p. 255-262, 2005.

GRIGIO, M. L., MOURA, E. A., CARVALHO, G. F., ZANCHETTA, J. J., CHAGAS, P. C., CHAGAS, E. A., & DURIGAN, M. F. B. Nutraceutical potential, qualitative and acceptability of different camu-camu popsicle. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.45, n. 3, p. e15305, 2021.

GROBBELAAR, J. U. Physiological and technological considerations for optimising mass algal cultures. *Jounal Applied Phycology*, v. 12, p. 201-206, 2000.

GROSSHAGAUER, S.; KRAEMER, K.; SOMOZA, V. The True Value of Spirulina. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, p. 4109–4115, 2020.

GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. AlgaeBase. World-Wide Electronic Publication, National University of Ireland, Galway. 2022. disponível em:
https://www.algaebase.org/search/genus/detail/?genus_id=43076 (Acesso em 18 de novembro de 2022).

GULCIN, İ. Antioxidants and Antioxidant Methods: An Updated verview. **Archives of Toxicology**, v. 94, n. 651-715, 2020.

GULDAS, M.; GURBUZ, O.; CAKMAK, I.; YILDIZ, E.; SEN, H. Effects of honey enrichment with Spirulina platensis on phenolics, bioaccessibility, antioxidant capacity and fatty acids. **LWT - Food Science and Technology**, v. 153, 112461, 2022.

HABIB, M. A. B.; PARVIN, M.; HUNTINGTON, T. C.; HASAN, M. R. **A Review on Culture, Production and Use of Spirulina as Food for Humans and Feeds for Domestic Animals and Fish**; FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2008.

HADMAN, V. P. T. **Cultivo de microalgas em soro de fécula de mandioca**. 2019. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019.

HENDERSON, Z. Optimized Spirulina Extract for Ice Cream Bases. 2024. Disponível em: <<https://na.sensientfoodcolors.com/dairy/optimized-spirulina-extract-for-ice-cream-bases/>> (Acesso em 07 de novembro de 2024).

HERRERO, M.; MENDIOLA, J.A.; CIFUENTES, A.; IBANEZ, E. Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications. **Journal of Chromatography A**, v. 1217, p. 2495–2511, 2010.

HOSEINI, S. M.; KHOSRAVI-DARANI, K.; MOZAFARI, M. R. Nutritional and Medical Applications of Spirulina Microalgae. **Mini-Reviews in Medicinal Chemistry**, v.13, p. 1231–1237, 2013.

HÖÖK, M.; TANG, X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change – A review. **Energy Policy**, v. 52, p. 797–809, 2013.

HONG, X.; LI, J.; SHEN, Y.; JI, W.; LI, Z.; LI, J. Achieving high-performance Spirulina platensis protein isolate-based foam via ultrasound coupled with pH shift-induced interfacial remodeling: Dynamic adsorption and interfacial rheology behavior. **Food Hydrocolloids**, v. 168, 111479, 2025.

HSIEH-LO, M.; CASTILLO, G.; OCHOA-BECERRA, M. A.; MOJICA, L. Phycocyanin and phycoerythrin: Strategies to improve production yield and chemical stability. **Algal Research**, v. 42, 101600, 2019.

HSUEH, Y-C.; ZER-RAN YU, Z-R.; CHENG-CHI WANG, C-C.; MALCOLM KOO, M.; WANG, B-J. **Supercritical CO₂ extraction of γ -linolenic acid from *Spirulina platensis*. *Applied Mechanics and Materials*, vols 764-765, p. 92-97, 2015.**

HU, J.; NAGARAJAN, D.; ZHANG, Q.; CHANG, J. S.; LEE, D. J. Heterotrophic cultivation of microalgae for pigment production: A review. **Biotechnol Advances**, v. 36, n. 1, p. 54-67, 2018.

HU, Q. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products major industrial species: *Arthrospira (Spirulina) platensis* In: RICHMOND, A. (Ed). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology** Oxford: Blackwell Science, 2004. p. 264-272.

IAMTHAM, S.; SORNCHAI, P. Biofixation of CO₂ from a power plant through large-scale cultivation of *Spirulina maxima*. **South African Journal of Botany**, v.147, p. 840–851, 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. IV ed. IMESP533p.b São Paulo, 2008.

IOANNOU, I.; CHAABAN, H.; SLIMANE, M.; GHOUL, M. **Origin of the variability of the antioxidant activity determination of food material**, in Biotechnology (ed. Ekinci, D.), Intech Opens, 2015. p. 77-92.

IRATO, P.; SANTOVITO, G. Enzymatic and Non-Enzymatic Molecules with Antioxidant Function. **Antioxidants**, v. 10, n. 4, p. 579, 2021.

JAESCHKE, D. P.; TEIXEIRA, I. R.; MARCZAK L. D. F.; MERCALI G. D. Phycocyanin from *Spirulina*: A review of extraction methods and stability. **Food Research International**, v. 143, p.110314, 2021.

JAIN, A.; MEHRA, R.; GARHWAL, R.; RAFIQ, S.; SHARMA, S.; SINGH, B.; KUMAR, S.; KUMAR, K.; KUMAR, N.; KUMAR, H. Manufacturing and characterization of whey and stevia-based popsicles enriched with concentrated beetroot juice. **J Food Sci Technol**, v. 59, p. 3591–3599, 2022.

JONES, L. V.; PERYAM, D. R.; THURSTONE, L. L. Development of a scala for measuring soldiers' food preferences. **Food Research**, v. 20, n. 5, p. 512-20, 1955.

JUNG, F.; KRÜGER-GENGE, A.; WALDECK, P.; KÜPPER, J-H. *Spirulina platensis*, a super food? **Journal of Cellular Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 43-54, 2019.

KANNAUJIYA, V. K.; AMIN, N.; PANDEY, S.; JAISWAL, M.; RSINHA, R. P. Chapter 20 - Phycocyanin from *Arthrospira*: Production, applications, and advances, Editor(s): Eduardo Jacob-Lopes, Maria Isabel Queiroz, Mariana Manzoni Maroneze, Leila Queiroz Zepka, **Handbook of Food and Feed from Microalgae**, Academic Press, 2023, p. 237-252, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99196-4.00048-6>>.

KARIZI, S.R.; ARMANMEHR, F.; AZADI, H.G.; ZAHROODI, H.S.; GHALIBAF, A.M.; BAZZAZ, B.S.F.; ABBASPOUR, M.; BOSKABADI, J.; ESLAMI, S.; TAHERZADEH, Z. A

randomized, double-blind placebo-controlled add-on trial to assess the efficacy, safety, and anti-atherogenic effect of spirulina platensis in patients with inadequately controlled type 2 diabetes mellitus. **Phytotherapy Research**, v. 37, p. 1435–1448, 2023.

KHAN, M. I.; SHIN, J. H.; KIM, J. D. The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. **Microbial Cell Factories**, v. 17, n. 1, p. 36, 2018.

KHAN, S. A. R.; YU, Z.; SHARIF, A.; GOLPÎRA, H. Determinants of economic growth and environmental sustainability in South Asian Association for Regional Cooperation: evidence from panel ARDL. **Environmental Science and Pollution Research**, 2020.

KHANDUAL, S.; SANCHEZ, E.O. L.; ANDREWS, H. E.; LA ROSA, J. D. P. Phycocyanin content and nutritional profile of *Arthrospira platensis* from Mexico: efficient extraction process and stability evaluation of phycocyanin. **BMC Chemistry**, v. 15, n. 24, 2021.

KOLLER, M. Design of closed photobioreactors for algal cultivation. In **Algal Biorefineries**; Prokop, A., Bajpai, R.K., Zappi, M.E., Eds.; Springer: Heidelberg, Germany, 2015; pp. 133–186.

KOMÁREK, J.; KAŠTOVSKÝ, J.; MAREŠ, J.; JOHANSEN, J. R. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera), 2014 using a polyphasic approach. **Preslia**, v. 86, P. 295–335, 2014.

KOYANDE, A. K.; CHEW, K. W.; RAMBABU, K.; TAO, Y.; CHU, D-T.; PAU-LOKE SHOW, P-L. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, n. 1, p. 16-24, 2019.

KRASEASINTRA, O.; TRAGOOLPUA, Y.; PANDITH, H.; KHONKARN, R.; PATHOMAREE, W.; PEKKOH, J.; PUMAS, C. Application of phycocyanin from *Arthrospira* (Spirulina) *platensis* as a hair dye. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, 1024988, 2022.

KRATZER R, MURKOVIC M. Food Ingredients and Nutraceuticals from Microalgae: Main Product Classes and Biotechnological Production. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1626, 2021.

KUMAR, J.; SINGH, D.; TYAGI, M. B.; KUMAR, A. **Cyanobacteria: applications in biotechnology**. In: Mishra AK, Tiwari DN, Rai AN, editors. Chapter 16 in book *Cyanobacteria from basic science to applications*. Academic Press; 2019. p. 327–46.

LAFARGA, T.; FERNÁNDEZ-SEVILLA, J. M.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, C.; ACIÉN-FERNÁNDEZ, F. G. Spirulina for the food and functional food industries. **Food Research International**, v. 137, n. 109356, p. 10, 2020.

LANDIM NEVES, M. I.; SILVA, E. K.; MEIRELES, M. A. A. Natural Blue Food Colorants: Consumer Acceptance, Current Alternatives, Trends, Challenges, and Future Strategies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 163–173, 2021.

LEVASSEUR, W.; PERRÉ, P.; POZZOBON, V. A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. **Biotechnology Advances**, V. 41, P. 121, 2020.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LOS, P. R.; SIMÕES, D. R. S.; LEONE, R., BOLANHO, B. C., CARDOSO, T., DANESI, E. D. G. Viability of peach palm by-product, *Spirulina platensis*, and spinach for the enrichment of dehydrated soup. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n.11, p. 1259–1267, 2018.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, 2006. 606 p.

LU, X. H.; SUN, D.Q.; WU,Q. S.; LIU, S. H.; SUN, G. M. Physico-chemical properties, antioxidant activity and mineral contents of pineapple genotypes grown in china. **Molecules**, v. 19, n. 6, p. 8518-8532, 2024.

LUCAS, B. F.; MORAIS, M. G.; SANTOS, T. D.; COSTA, J. A. V. Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. **Food Science and Technology**, v. 90, p. 270–276, 2018.

LUCAS, B. F.; CARVALHO, R.; MORAIS, M. G.; COSTA, J. A. V. Snack bars enriched with spirulina for schoolchildren nutrition. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 146152, 2020.

MAADANE, A.; MERGHOUB, N.; AINANE, T.; EL ARROUSSI, H.; BENHIMA, R.; AMZAZI, S.; BAKRI, Y.; WAHBY, I. Antioxidant activity of some Moroccan marine microalgae: PUFA profiles, carotenoids and phenolic content. **Journal of Biotechnology**, v. 215, p. 13–19, 2015.

MADDIBOYINA, B.; VANAMAMALAI, H. K.; ROY, H.; GANDHI, S.; KAVISRI, M.; MOOVENDHAN, M. Food and drug industry applications of microalgae *Spirulina platensis*: a review. **Journal of Basic Microbiology**, v. 63, n. 6, p. 573–583, 2023.

MAHMOUD, Y. I.; SHEHATA, A. M. M.; FARES, N. H.; MAHMOUD, A. A. Spirulina inhibits hepatocellular carcinoma through activating p53 and apoptosis and suppressing oxidative stress and angiogenesis. **Life Sciences**, v. 265, p. 118827, 2021.

MALLIKARJUN G. K. G.; UDAYA S. K.; SARADA, R.; RAVISHANKAR G. A. Supercritical CO₂ extraction of functional compounds from *Spirulina* and their biological activity. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 3627–3633, 2015.

MANTOVANI, M.; MARAZZI, F.; FORNAROLI, R.; BELLUCCI, M.; FICARA, E.; VALERIA MEZZANOTTE, V. Outdoor pilot-scale raceway as a microalgae-bacteria sidestream treatment in a WWTP. **Science of The Total Environment**, v. 710, n. 135583, 2020.

MARINO, T.; LEONE, G. P.; CASELLA, P.; IOVINE, A.; MUSMARRA, D.; ZOANI, C.; BALDUCCHI, R.; MOLINO, A. Green Extraction of Microalgae Components for

Incorporation in Food and Feed Supplements. **Chemical Engineering Transactions**, v. 87, p. 457-462, 2021.

MARTELLI, G. et al. Thermal stability improvement of blue colorant C-Phycocyanin from *Spirulina platensis* for food industry applications. **Process Biochemistry**, v. 49, n. 1, p. 154159, 2014.

MARTINEZ, J. L. **Supercritical Fluid Extraction of Nutraceuticals and Bioactive Compounds**. CRC Press, 2007.

MARTINS, C. P. C.; FERREIRA, M. V. S.; ESMERINO, E. A.; MORAES, J.; PIMENTEL, T. C.; ROCHA R. S.; FREITAS, M. Q.; SANTOS, J. S.; RANADHEERA, C. S.; ROSA, L. S.; TEODORO, A. J.; MATHIAS, S. P.; SILVA, M. C.; RAICES, R. S. L.; COUTO, S. R. M.; GRANATO, D.; CRUZ, A. G. Chemical, sensory, and functional properties of wheybased popsicles manufactured with watermelon juice concentrated at different temperatures. **Food Chemistry**, v. 30, n. 55, p. 58-66, 2018.

MASRESHA, M. T.; AMMAR, B. A.; RAWDAH, M. A.; GARY, T. Study of physicochemical properties and antioxidant content of mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **Eurasian Journal of Food Science and Technology** v. 4, n. 2, p. 91-104, 2020.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. **Renew Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 217232, 2010

MEDEIROS, V. P. B.; COSTA, W. K. A.; SILVA, R. T.; TATIANA COLOMBO PIMENTEL, T. C.; MAGNANI, M. Microalgae as source of functional ingredients in new generation foods: challenges, technological effects, biological activity, and regulatory issues. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** , v. 62, I. 18, p. 4929-4950, 2022. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1879729>

MENDES, R. L.; NOBRE, B. P.; CARDOSO, M. T.; PEREIRA, A. P.; PALAVRA, A. F. Supercritical carbon dioxide extraction of compounds with pharmaceutical importance from microalgae. **Inorganica Chimica Acta**, v. 356, p. 328–334, 2003.

MENDES, R. L.; REIS, A. D.; PALAVRA, A. F. Supercritical CO₂ extraction of -linolenic acid and other lipids from *Arthrospira* (*Spirulina*) *maxima*: Comparison with organic solvent extraction. **Food Chemistry**, v. 99, p. 57–63, 2006.

MENEGOTTO, A. L. L.; SOUZA, L. E. S.; COLLA, L. M.; COSTA, J. A. V.; SEHN, E.; BITTENCOURT, P. R.; CANAN, C.; COLLA, E. (2019). Investigation of techno-functional and physicochemical properties of *Spirulina platensis* protein concentrate for food enrichment. **Food Science and Technology**, v.114, n. 108267, 2019.

METICULOUS RESEARCH® - Spirulina Market by Distribution Channel (Consumer Channel, Business Channel), Product Type (Powder, Tablets, Capsules, Flakes, Phycocyanin Extract), Application (Nutraceuticals, Food and Beverages, Agriculture, Animal Feed)-Global Forecast to 2028. [(accessed on 1 March 2022)]. Available online: <https://www.meticulousresearch.com/product/spirulina-market-5070#description>

MILIA, M.; CORRIAS, F.; ADDIS, P.; CHINI ZITELLI, G.; CICCHI, B.; TORZILLO, G.; ANDREOTTI, V.; ANGIONI, A. Influence of Different Light Sources on the Biochemical Composition of *Arthrospira* spp. Grown in Model Systems. **Foods**, v. 11, p. 399, 2022.

MIRON, A. S.; CAMACHO, F. G.; MOLINA, G. E.; CHISTI, Y. Bubble-column and airlift photobioreactors for algal culture. **American Institute of Chemical Engineers Journal**, v. 46, n. 9, p. 1872-1887, 2000.

MİĆIĆ, V.; YUSUP, S.; DAMJANOVIĆ, V.; CHAN, Y. H. Kinetic modelling of supercritical carbon dioxide extraction of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves and jatropha (*Jatropha curcas* L.) seeds, **Journal of Supercritical Fluids**, v. 100, p. 142-145, 2015.

MOHAMED, A. G., ABO-EL-KHAIR, B. E., SHALABY, S. M. Quality of novel healthy processed cheese analogue enhanced with marine microalgae *Chlorella vulgaris* biomass. **World Applied Sciences Journal**, v. 23, n. 7, p. 914–25, 2013.

MOHAMMADI-GOURAJI, E.; SOLEIMANIAN-ZAD, S.; GHIASSI-TARZI, B. Incorporation of Spirulina platensis powder into probiotic fermented milk and its impact on texture, color and sensory attributes. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, p. 1085–1093, 2019.

MONTEIRO, M., SANTOS, R. A., IGLESIAS, P., COUTO, A., SERRA, C. R., GOUVINHAS, I., BARROS, A., OLIVA-TELES, A., ENES, P., & DÍAZ-ROSALES, P. Effect of extraction method and solvent system on the phenolic content and antioxidant activity of selected macro- and microalgae extracts. **Journal of Applied Phycology**, v. 32, n. 1, p. 349–362, 2020.

MORADI-KHEIBARI, N.; AHMADZADEH, H.; TALEBI, A.F.; HOSSEINI, M.; MURRY, M. A. **Recent Advances in Lipid Extraction for Biodiesel Production**. In Advances in Feedstock Conversion Technologies for Alternative Fuels and Bioproducts: New Technologies, Challenges and Opportunities; Woodhead Publishing: Duxford, UK, 2019

MORADI-KOR, N.; GHANBARI, A.; RASHIDIPOUR, H.; BANDEGI, A. R.; YOUSEFI, B.; BARATI, M.; KOKHAEI, P.; RASHIDY-POUR, A. Therapeutic effects of spirulina platensis against adolescent stress-induced oxidative stress, brain-derived neurotrophic factor alterations and morphological remodeling in the amygdala of adult female rats. **Journal of Experimental Pharmacology**, v. 12, p. 75–85, 2020.

MOUAHID, A.; CRAMPON, C.; SID-ALI AMINE TOUDJI, S-D.; BADENS, E. Supercritical CO₂ extraction of neutral lipids from microalgae: experiments and modelling, **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 77, p. 716, 2013.

MUHAMMAD, G.; ALAM, M. D.; XIONG, W.; LV, Y. Microalgae Biomass Production: An Overview of Dynamic Operational Methods. **Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products**, p. 415-32, 2020.

NAUREEN, I.; SALEEM, A.; SAGHEER, F.; LIAQAT, S.; GULL, S.; MUQADAS, F.; ARSHAD, Z. Chemical composition and therapeutic effect of mentha species on human physiology. **Scholars Bulletin**, v. 8, n. 1, p. 25-32, 2022.

NAZNI, P.; VAISNAVI, G. Formulation and characterization of popsicles using dehydrated passion fruit juice with foxtail millet milk. **Food Measure**, v. 17, p. 2083–2094, 2023.

NICCOLAI, A.; ZITTELLI, G. C.; RODOLFI, L.; BIONDI, N. Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. **Algal Research**, v. 42, n. 101617, 2019. 25p.

NORSKER, N. H.; BARBOSA, M. J.; VERMUË, M. H.; WIJFFELS, R. H. Microalgal production – A close look at the economics. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 1, p. 24-27, 2011.

OLIVEIRA, C. T. Caracterização físico-química, quantificação do 6-gingerol e determinação da atividade antioxidante e anti-inflamatória do gengibre (*Zingiber officinale*). 2018. 108f.
OLIVEIRA, T. T. B.; REIS, I. M.; SOUZA, M. B.; BISPO, E. S.; MACIEL, L. F.; DRUZIAN, J. I.; TAVARES, P. P. L. G.; CERQUEIRA, A. O.; MORTE, E. S. B.; GLÓRIA, M. B. A.; DEUS, V. L.; SANTANA, L. R. R. Microencapsulation of Spirulina sp. LEB- 18 and its incorporation in chocolate milk: Properties and functional potential. **Food Science and Technology**, v. 148, n.111674, 2021.

ÖZBAL, B.; ÇELEKLI, A.; GÜN, D.; BOZKURT, H. Effect of Arthrospira Platensis Incorporation on Nutritional and Sensory Attributes of White Chocolate. **The International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, n. 100544, 2022.

PAL. I.; BOSE, C. Spirulina- a marine miracle for sustainable food system. **Marine biology research**, 2022. <https://doi.org/10.1080/17451000.2022.2101122>

PAN-UTAI, W.; KAHAPANA, W.; IAMTHAM, S. Extraction of C-phyococyanin from Arthrospira (Spirulina) and its thermal stability with citric acid. **Journal of Applied Phycology**, p. 1–12, 2018.

PARASKEVOPOULOU, A.; KALOUDIS, T.; HISKIA, A.; STEINHAUS, M.; DIMOTIKALI, D.; TRIANTIS, T.M. Volatile Profiling of Spirulina Food Supplements. **Foods**, v. 13, p. 1257, 2024.

PAZ-MONTELONGO, S. et al. Cyanobacterial Pigments: Pharmaceutical and Nutraceutical Applications. In: **Pharmaceutical and Nutraceutical Potential of Cyanobacteria**. Cham: Springer International Publishing, 2024. p. 31-52.

PÉREZ-LLORENS, J. L. Microalgae: From staple foodstuff to avant-garde cuisine. **International journal of gastronomy and food science**, v. 21, p. 100221, 2020.

PERRUT, M. Supercritical fluid applications: industrial developments and economic issues, **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 39, p. 4531-4535, 2000.

PETROPOULOS, S.; FERNANDES, Â.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. (2018). Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of Mediterranean okra genotypes in relation to harvest stage. **Food Chemistry**, v. 242 (September 2017), p. 466–474, 2018.

PRETE, V.; ABATE, A.C.; DI PIETRO, P.; DE LUCIA, M.; VECCHIONE, C.; CARRIZZO, A. Beneficial Effects of *Spirulina* Supplementation in the Management of Cardiovascular Diseases. **Nutrients**, v. 16, n. 5, p. 642, 2024.

PRIYADARSHANI, I.; RATH, B. Commercial and industrial applications of micro algae – A review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, v. 3, p. 89-100, 2012.

PYNE, S.; PARIA, K. Optimization of extraction process parameters of caffeic acid from microalgae by supercritical carbon dioxide green technology. **BMC chemistry**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2022.

RICHMOND, A. **Biological principles of mass cultivation** – handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology, 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2007.

RIEBESELL, U.; SCHULZ, K. G.; BELLERBY, R. G. J.; BOTROS, M.; FRITSCH, P. MEYERHÖFER, M.; et al. Enhanced biological carbon consumption in a high CO₂ ocean. **Nature**, v. 450, n. 7169, p. 545–548, 2007.

ROCHA, I. F. O.; BOLINI, H. M. A. Passion fruit juice with different sweeteners: Sensory profile by descriptive analysis and acceptance. **Food Science & Nutrition**, v. 3, n. 2, p. 129139, 2015.

RODRIGUES, E. F.; VENDRUSCOLO, L. P.; BONFANTE, K.; REINEHR, C. O.; COLLA, E.; COLLA, L. M. Phycocyanin as substitute for texture ingredients in ice creams. **British Food Journal**, v. 122, n. 2, p. 693–707, 2020.

ROGERS, J. N.; ROSENBERG, J. N.; GUZMAN, B. J.; OH, V. H.; MIMBELA, L. E.; GHASSEMI, A.; BETENBAUGH, M. J.; OYLER, G. A.; DONOHUE, M. D. A Critical Analysis of Paddlewheel-Driven Raceway Ponds for Algal Biofuel Production at Commercial Scales. **Algal Research**, v. 4, p. 76–88, 2014. doi: 10.1016/j.algal.2013.11.007.

ROSLI, S. S.; KADIR, W. N. A.; WONG, C. Y.; HAN, F. Y.; LIM, J. W.; LAM, M. K.; YUSUP, S.; KIATKITTIPONG, W.; KIATKITTIPONG, K.; USMAN, A. All rights reserved. Insight review of attached microalgae growth focusing on support material packed in photobioreactor for sustainable biodiesel production and wastewater bioremediation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 134, 2020.

RUIZ, J.; OLIVIERI, G.; DE VREE, J.; BOSMA, R.; WILLEMS, P.; REITH, J. H.; EPPINK, M. H. M.; KLEINEGRIS, D. M. M.; WIJFFELS, R. H.; BARBOSA, M. J. Towards industrial products from microalgae. **Energy Environmental Science**, v. 9, p. 3036-3043, 2016.

RUTAR J. M.; HUDOBIVNIK M. J.; NEČEMER M.; MIKUŠ K.V.; ARČON I.; OGRINC N. Nutritional quality and safety of the spirulina dietary supplements sold on the Slovenian market. **Foods**, v. 11, p. 849, 2022.

SAEED, K. PASHA, I.; BUKHARI, H.; BUTT, M. S. et al. Compositional profiling of *Mentha piperita*. **Pakistan Journal of Food Sciences**, vn. 3, p. 151-156, 2014.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KAMAT, M. Y. Supercritical CO₂ extraction of linolenic acid (GLA) from *Spirulina platensis* ARM 740 using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 84, p. 321–326, 2008.

SÁNCHEZ-CAMARGO, A.; DEL, P.; PLEITE, N.; MENDIOLA, J. A.; CIFUENTES, A.; HERRERO, M.; GILBERT-LÓPEZ, B.; IBÁÑEZ, E. Development of green extraction processes for *Nannochloropsis gaditana* biomass valorization. **Electrophoresis**, v. 39, p. 1875–1883, 2018.

SÁNCHEZ-LASO, J.; ESPADA, J. J.; RODRÍGUEZ, R.; VICENTE, G.; BAUTISTA, L. F. Novel Biorefinery Approach for Phycocyanin Extraction and Purification and Biocrude Production from *Arthrospira platensis*. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 62, n. 12, p. 5190-5198, 2023.

SANTHOSH, S.; DHANDAPANI, R.; HEMALATHA N. Bioactive compounds from Microalgae and its different applications- a review. **Advances in Applied Science Research**, v. 7, n. 4, p. 153-158, 2016.

SANTOS, P. P. A.; FERRARI, G. S.; ROSA, M. S.; ALMEIDA, K.; ARAÚJO, L. A.; PEREIRA, M. H. C.; WANDERLEY, M. E. F.; MORATO, P. N. Development and characterization of high protein functional ice cream with ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) and inulin. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, p. e2020129, 2022.

SARAN, S.; PURI, N.; JASUJA, N. D.; SHARMA, G. Optimization , Purification and characterization of Phycocyanin from *Spirulina platensis*. **International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA)**, v. 2, n. 3, p. 15–20, 2016.

SARASWATHI, K.; KAVITHA, C. H. N. Spirulina: Pharmacological Activities and Health Benefits. **Journal of Young Pharmacists [Internet]**, v.15, n.3, p.441–447, 2023.

SARMENTO, A.; BARROS, L.; FERNANDES, Â.; CARVALHO, A. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Valorization of traditional foods: Nutritional and bioactive properties of *Cicer arietinum* L . and *Lathyrus sativus* L . pulses. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 179–185, 2015.

SASSI, K. K. B. **Bioprospecção de metabólitos de interesse à indústria de alimentos produzidos por cepas regionais de microalgas em cultivos monoespecíficos**. 2016. 108f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SATHASIVAM, R.; RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD ALLAH, E. F. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, p.:709-722, 2019.

SIEDENBURG, J. R.; CAUCHI, J. P. *Spirulina* (*Arthrospira* spp) as a complementary COVID-19 response option: Early evidence of promise. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 10, n. 1, p. 129-144, 2022.

SINGH, V; MISHRA, V. A review on the current application of light-emitting diodes for microalgae cultivation and its fiscal analysis, **Critical Reviews in Biotechnology**, 2022.

SLINKARD, K.; SINGLETON, V. L. Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 28, p. 49–55, 1977.

SPENCE, C. Background Colour & Its Impact on Food Perception & Behaviour. **Food Quality and Preference**, v. 68, p. 156–166, 2018.

SOKARY, S.; BAWADI, H.; ZAKARIA, Z. Z.; AL-ASMAKH, M. The Effects of Spirulina Supplementation on Cardiometabolic Risk Factors: A Narrative Review. **Journal of Dietary Supplements**, v. 21, n. 4, p. 527-542, 2024.

SONI, R.A.; SUDHAKAR, K.; RANA, R.S.; BAREDAR, P. **Food Supplements Formulated with *Spirulina***. In: Mandotra, S.K., Upadhyay, A.K., Ahluwalia, A.S. (eds) *Algae*. Springer, Singapore. 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7518-1_9

SOTIROUDIS, T.; SOTIROUDIS, G. Health Aspects of *Spirulina (Arthrospira)* Microalga Food Supplement. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 78, p. 395–405, 2013. DOI: 10.2298/JSC121020152S.

SOUZA, A. K. A. **Avaliação fitoquímica e farmacológica dos extratos de gengibre amargo (*Zingiber zerumbet* Smith) para a elaboração de bebida energética**. 2023. 91 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2023.

SOWJANYA, M.; MANJULA, K. Effect of Food-based Approach with Spirulina on Blood Glucose Profile of Non-insulin Dependent Diabetics. **Asian Pacific Journal of Health Sciences**. v. 9, n. 2, p. 174-177, 2022.

SPOLAORE, P., JOANNIS-CASSAN, C., DURAN, E., ISAMBERT, A. Commercial applications of microalgae. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 101, p. 87-96, 2006.

STUNDA-ZUJEVA, A.; BERELE, M.; LECE, A.; *et al.* Comparison of antioxidant activity in various spirulina containing products and factors affecting it. **Scientific Reports**, v. 13, n. 4529, 2023.

SUCUPIRA, N. R.; SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; COSTA, J. N. Métodos Para Determinação da Atividade Anti-oxidante de Frutos. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas E Da Saúde**, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2014.

SUDHAKAR, M. P.; KUMAR, B. R.; MATHIMANI, T.; ARUNKUMAR, K. A review on bioenergy and bioactive compounds from microalgae and macroalgae-sustainable energy perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1320-1333, 2019.

SUI, Y.; YU JIANG, Y.; MICHELE MORETTI, SIEGFRIED, M. M.; VLAEMINCK, E. Harvesting time and biomass composition affect the economics of microalgae production, **Journal of Cleaner Production**, v. 259, n. 120782, 2020.

SUI, Y., VLAEMINCK, S.E. Effects of salinity, pH and growth phase on the protein productivity by *Dunaliella salina*. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 94, p. 1032-1040, 2019.

SUGANYA, T.; VARMAN, M.; MASJUKI, H. H.; RENGANATHAN, S. Macroalgae and

microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A BIOREFINERY APPROACH. **RENEW SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, V. 55, P. 909-941, 2016.

SUYBENG, B.; CHARMLEY, E.; GARDINER, C.P.; MALAU-ADULI, B.S.; MALAU-ADULI, A. E. O. Methane Emissions and the Use of *Desmanthus* in Beef Cattle Production in Northern Australia. **Animals** (Basel), v. 9, n. 8, p. 542-59, 2019.

TELES, S. O.; SILVA, L. S.; SOUZA, M. R. S.; SILVA, W. N.; BARBOSA, E. S. V.; JESUS, G. A.; AMARAL, C. F. Características físico-químicas de abacaxi desidratado pelo método foam-mat. In: Congresso Internacional em Ciências da Nutrição. **Agron Food Academy**, 2022. 85-92p.

THEVARAJAH, B.; NISHSHANKA, G. K. S. H.; PREMARATNE, M.; NIMARSHANA, P. H. V.; NAGARAJAN, D.; CHAN, J.-S.; ARIYADASA, T. U. Large-scale production of Spirulina -based proteins and c-phycoerythrin : A biorefinery approach. **Biochemical Engineering Journal**, v. 185, n.108541, 2022.

THOMAS, S. S. **The Role of Parry Organic Spirulina in Health Management**. Valensa International: Eustis, FL, USA, 2010.

TOLVE, R. et al. Dietary fibers effects on physical, thermal, and sensory properties of low-fat ice cream. **LWT**, v. 199, p. 116094, 2024.

TORRES-TIJI, Y.; FIELDS, F. J.; MAYFIELD, S. P. Microalgae as a future food source.

TZACHOR, A.; ROZEN, O.; KHATIB, S.; JENSEN, S.; AVNI, D. Photosynthetically Controlled Spirulina, but Not Solar Spirulina, Inhibits TNF- α Secretion: Potential Implications for COVID-19-Related Cytokine Storm Therapy. **Marine Biotechnology**, v. 23, p. 149–155, 2021.

ÜSTÜN-AYTEKIN, Ö.; ÇOBAN, I.; AKTA, S. B. Nutritional Value, Sensory Properties, and Antioxidant Activity of a Traditional Kefir Produced with *Arthrospira platensis*. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. e16380, 2022.

UZLASIR, T. SASMAZ, H. K.; KELEBEK, H. Comparison of Extraction Techniques for Determining Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of *Spirulina platensis*. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 12, n. 4, p. 554-560, 2024.

VISENTAINER, J. V.; BOROSKI, M.; COTTICA, S. M.; MORAIS, D. R. **Antioxidantes: princípios e métodos analíticos**. 1.ed.Curitiba, Appris, 2015.

VO, T. S.; NGO, D. H.; KANG, K. H.; PARK, S. J.; KIM, S. K. The role of peptides derived from *Spirulina maxima* in downregulation of Fc ϵ RI-mediated allergic responses. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 58, p. 2226–2234, 2014.

VUPPALADADIYAM, A. K.; PRINSEN, P.; RAHEEM, A.; LUQUE, R.; ZHAO, M. Microalgae cultivation and metabolites production: a comprehensive review. **Biofuels, Bioproducts and Biorefineries**, p. 1-21, 2018.

WANG, Q. J.; MIELBY, L. A.; JUNGE, J. Y.; BERTELSEN, A. S.; KIDMOSE, U.; SPENCE, C.; BYRNE, D. V. The Role of Intrinsic and Extrinsic Sensory Factors in Sweetness Perception of Food and Beverages: A Review. **Foods**, v. 8, p.211, 2019.

WIJAYANTI, I.; AGUSTINI, T. W.; BENJAKUL, S. (2024), Colour characteristics, phenolic content and antioxidant activity of *Spirulina platensis* soaked in basil (*Ocimum basilicum*) leaves extract. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 59, p. 1490-1501, 2024.

WIJFFELS, R. H.; BARBOSA, M. J. An outlook on microalgal biofuels. **Science**, v. 329, n. 5993, p. 796–799. 2010.

WU, Q.; LIU, L.; MIRON, A.; KLÍMOVÁ, B.; WAN, D.; KUČA, K. The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: An overview. **Archives of Toxicology**, v. 90, p. 1817–1840, 2016.

YANG, X.; LI, Y.; LI, Y.; YE, D.; YUAN, L.; SUN, Y.; HAN, D.; HU, Q. Solid MatrixSupported Supercritical CO₂ Enhances Extraction of γ -Linolenic Acid from the Cyanobacterium *Arthrospira (Spirulina) platensis* and Bioactivity Evaluation of the Molecule in Zebrafish. **Marine Drugs**, v. 17, n. 4, p. 203, 2019.

YANG, L.; LI, H.; LU, Q.; ZHOU, W. Emerging trends of culturing microalgae for fishrearing environment protection. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 96, n. 1, p. 31–37, 2000

YIM, S. C.; YUSUP, S.; JOHARI, K.; QUITAIN, A. T.; DAILIN, D. J. Chapter 15 - Supercritical Extraction of Value-Added Compounds From Empty Fruit Bunch: An Optimization Study by Response Surface Methodology, Editor(s): Majid Hosseini, In Woodhead Publishing Series in Energy, Advances in Feedstock Conversion Technologies for Alternative Fuels and Bioproducts, Woodhead Publishing, 2019, Pages 281-298, ISBN 9780128179376.

YOUSEFI, R.; SAIDPOUR, A.; MOTTAGHI, A. The effects of Spirulina supplementation on metabolic syndrome components, its liver manifestation and related inflammatory markers: A systematic review. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 42, p. 137–144, 2019.

YU, L.; WU, F.; CHEN, G. Next-Generation Industrial Biotechnology–Transforming the Current Industrial Biotechnology into Competitive Processes. **Biotechnology Journal**, v. 14, 1800437, 2019.

ZARROUK, C. **Contribution à l'étude d'une cyanophycée**: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch et Gardner) Geitler. 1966. Theises (Ph. D.) - Faculty of Science, Université des Paris, Paris, 1966.

ZEN, C. K.; TIEPO, C. B. V.; DA SILVA, R. V.; REINEHR, C. O.; GUTKOSKI, L. C.; ORO, T.; COLLA, L. M. Development of functional pasta with microencapsulated Spirulina: Technological and sensorial effects. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 5, p. 2018–2026, 2020.

ZHU, B.; SHEN, H.; LI, Y.; LIU, Q.; JIN, G.; HAN, J.; ZHAO, Y.; PAN, K. Large-Scale

Cultivation of Spirulina for Biological CO₂ Mitigation in Open Raceway Ponds Using Purified CO₂ From a Coal Chemical Flue Gas. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 7, p.1–8, 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Este termo foi elaborado de acordo com a Resolução nº 510/2016 e Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde/Ministério da Saúde.

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da análise sensorial da pesquisa intitulada **“AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE SPIRULINA (*Arthrospira platensis*) NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, BIOATIVAS E SENSORIAIS DE PICOLÉ”** conduzida pelo Laboratório de Inovação de Alimentos do Centro de Biotecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

O objetivo da pesquisa é avaliar sensorialmente os picolés de fruta adicionados de Spirulina, que é uma microalga de alto valor nutricional, amplamente investigada e relatada no meio científico, e que é cultivada no estado da Paraíba. Os picolés serão produzidos em escala laboratorial e terá em sua formulação base os seguintes ingredientes: abacaxi, manga, couve, hortelã, mel de engenho, gengibre, liga neutra e spirulina. Essa pesquisa permitirá testar ingredientes vegetais na formulação de um produto gelado que tem alta demanda no nordeste brasileiro (picolé de fruta). No entanto, ainda são escassas as pesquisas científicas relacionando frutas, vegetais, condimentos e microalgas para este tipo de alimento. A adição da microalga é uma alternativa para agregar valor nutricional e para aumentar o potencial de agregar valor funcional ao picolé de fruta que, geralmente é refrescante, porém com baixo valor nutricional e baixo apelo de bioativos.

Para que sua participação nesta pesquisa seja efetivada você deverá apresentar à equipe executora, antes do início das análises, documento oficial (RG ou passaporte) com foto recente, como forma comprobatória de idade igual ou superior a 18 anos completos até a data da análise. Para indivíduos com idade inferior a 18 anos, não será permitida a sua participação nesta pesquisa, sob nenhuma hipótese.

A sua participação é muito importante e ela se dará da seguinte forma: você deverá degustar cada amostra fornecida (aproximadamente 50g/amostra), individualmente, totalizando no máximo três amostras por dia de análise. A ingestão do produto é opcional.

Caso opte em não ingerir a amostra totalmente, fique à vontade para desprezá-la em recipiente próprio, que é descartável e estará identificado em sua cabine. Após análise de cada amostra você deverá preencher os formulários específicos e atribuir uma nota para cada amostra nos locais indicados, de acordo com a escala apresentada. Em seguida você deverá enxaguar a boca com água filtrada, que também estará disponível em sua cabine. O enxágue com água filtrada é importante para diminuir a interferência de sabor residual entre uma amostra e outra. Caso seja necessário a ingestão de mais água filtrada basta solicitar à equipe executora da pesquisa. No entanto, não será permitida a repetição das amostras de picolé. As amostras de picolé serão servidas uma única vez. Você não poderá, em nenhuma hipótese, se comunicar com outros avaliadores que julgarão as mesmas amostras em cabines adjacentes. Caso tenha alguma dúvida durante a análise, basta acionar qualquer membro da equipe de pesquisa para ser atendido.

Pode existir um certo desconforto e/ou risco para você que se submeter à esta análise. Um provável desconforto é o constrangimento do alimento não estar totalmente agradável ao seu paladar. No entanto, esse desconforto é considerado um baixo risco para você e, por isso, o risco justifica a pesquisa. Caso você apresente intolerância e/ou alergia ao abacaxi, manga, couve, hortelã, mel de engenho, gengibre, liga neutra, spirulina ou ainda qualquer desconforto em relação ao produto em si, você não deverá participar da pesquisa e deverá comunicar sua decisão imediatamente à equipe condutora da análise.

Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: a) participar desta pesquisa seguindo estritamente as recomendações deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecimento; b) recusar-se a participar; c) ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Informamos ainda que os dados coletados serão utilizados somente para os fins desta pesquisa e serão tratados com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. Informamos que você não será remunerado por sua participação.

Caso tenha dúvidas ou necessite de esclarecimentos, você deve entrar em contato com a coordenação do Laboratório de Inovação de Alimentos do Centro de Biotecnologia da Universidade Federal da Paraíba, cujos dados estão dispostos no quadro abaixo.

Coordenadora do Laboratório de Inovação de Alimentos	Flávia de Oliveira Paulino
Lotação	Departamento de Biotecnologia Centro de Biotecnologia Universidade Federal da Paraíba
Horário de Atendimento	Segunda-feira à sexta-feira, de 08h00min às 17h00min.
Telefones	(83) 3216-7173
E-mail	flavia@cbiotec.ufpb.br

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor. Uma via será entregue à você e a outra via ficará sob guarda do laboratório supracitado pelo período de dois anos.

APÊNDICE B – Questionário da avaliação sensorial

Tese Doutorado - Picolé Funcional

Conforme informado oralmente e também pelo TCLE que você assinou, você está prestes a iniciar, de forma voluntária, uma análise sensorial de um picolé funcional, à base de espirulina. Esta análise sensorial está sendo realizada pelo Laboratório de Inovação de Alimentos do CBiotec e é fruto de uma parceria com o Departamento de Gastronomia do Centro de Desenvolvimento Tecnológico e Regional (CTDR), ambos vinculados à Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Você receberá três (03) amostras de picolé de espirulina. O objetivo desta análise é avaliar sensorialmente a qualidade das três amostras oferecidas. Caso você tenha alergia e/ou intolerância à banana, manga, couve, gengibre, melado e/ou espirulina, bem como se tiver restrição ao consumo de doce/açúcar, favor sinalizar à equipe executora, pois neste caso você não deverá realizar o teste.

Em caso de dúvidas durante a execução do teste, você deverá acionar o botão de luz, permanecer em silêncio e aguardar atendimento em sua cabine, pois você será atendido por um dos membros da equipe de pesquisa.

Não é permitida a comunicação com outros julgadores que estarão no mesmo ambiente realizando a análise. Também não é permitido a emissão de sons pelo celular, seja por chamadas telefônicas ou bips de mensagens durante o período que estiver analisando as amostras.

Pedimos que deixe seu celular no modo silencioso e que o utilize apenas para responder as questões direcionadas a você.

Sua percepção sensorial sobre o produto avaliado é muito importante para este estudo. Agradecemos imensamente pelo seu tempo e pela sua contribuição nessa pesquisa.

_____ * Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail *

IDENTIFICAÇÃO

2. Nome Completo *

3. E-mail *

4. Telefone *

5. Idade *

6. Qual seu país de origem? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Brasil ☐ Outro

7. Caso você NÃO tenha nacionalidade brasileira, escreva abaixo o nome do seu país de origem.

8. Qual é seu Estado brasileiro de origem? *

- ☐ Acre (AC)
- ☐ Alagoas (AL)
- ☐ Amapá (AP)
- ☐ Amazonas (AM)
- ☐ Bahia (BA)
- ☐ Ceará (CE)
- ☐ Distrito Federal (DF)
- ☐ Espírito Santo (ES)
- ☐ Goiás (GO)
- ☐ Maranhão (MA)
- ☐ Mato Grosso (MT)
- ☐ Mato Grosso do Sul (MS)
- ☐ Minas Gerais (MG)
- ☐ Pará (PA)
- ☐ Paraíba (PB)
- ☐ Paraná (PR)
- ☐ Pernambuco (PE)
- ☐ Piauí (PI)
- ☐ Rio de Janeiro (RJ)
- ☐ Rio Grande do Norte (RN)
- ☐ Rio Grande do Sul (RS)
- ☐ Rondônia (RO)
- ☐ Roraima (RR)
- ☐ Santa Catarina (SC)
- ☐ São Paulo (SP)
- ☐ Sergipe (SE)
- ☐ Tocantins (TO)
- ☐ Não sou natural do Brasil

9. Com qual gênero você se identifica? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Feminino ☐ Masculino ☐ Não Binário ☐ Outro

10. Qual seu estado civil? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Solteira/solteiro ☐ Casada/Casado ☐ Separada/Separado
☐ Divorciada/Divorciado ☐ Viúva/Viúvo

11. Qual seu nível de escolaridade? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Educação básica (educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio) completa
- ☐ Educação básica (educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio) incompleta
- ☐ Educação superior (bacharelado, licenciatura, tecnólogo) completa
- ☐ Educação superior (bacharelado, licenciatura, tecnólogo) incompleta
- ☐ Pós-graduação (especialização, mestrado, doutorado, pós- doutorado) completa
- ☐ Pós-graduação (especialização, mestrado, doutorado, pós- doutorado) incompleta

TESTES SENSORIAIS

A partir daqui você deverá degustar cada amostra lentamente, no intuito de saboreá-las. Não precisa ter pressa. Tente captar todas as sensações que ela desperta em você.

Lembre-se: Você receberá apenas três (03) amostras. Não será permitida a repetição de amostras. Favor não insistir.

Você pode ingerir as amostras totalmente, parcialmente ou se recusar a ingeri-las. Caso você não se sinta à vontade para ingeri-las, basta bochechar a amostra na boca para captar sabores, aromas e outros atributos, e depois desprezá-la na cuba que estará disponível na sua cabine.

Sugerimos que, entre uma amostra e outra, você consuma parte do biscoito e tome um pouco de água, ambos disponíveis na sua bandeja. O biscoito e a água são agentes de limpeza. Caso seja necessário, você pode solicitar mais amostras desses dois itens.

Por favor, mantenha seu celular no modo silencioso. Lembramos que não é permitida a comunicação com outras pessoas que estarão no mesmo ambiente realizando a análise. Em caso de dúvidas, permaneça sentada/o, acione o botão e aguarde ser atendida/o.

12. Escreva abaixo os códigos das 3 amostras que você recebeu, na * mesma ordem que elas foram apresentadas a você. Os códigos devem estar separados por vírgula.

13. 1º TESTE: COR

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação à COR, ou seja, **da cor menos preferida para a cor mais preferida**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

14. 2º TESTE: AROMA*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação ao AROMA ou seja, **do aroma menos preferido para o aroma mais preferido**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

15. 3º TESTE: SABOR *

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação ao SABOR ou seja, **do sabor menos preferido para o sabor mais preferido**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

16. 4º TESTE: COERÊNCIA ENTRE AROMA E SABOR*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação à COERÊNCIA ENTRE AROMA E SABOR, ou seja, **da amostra menos equilibrada entre aroma e sabor para a mais equilibrada**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

17. 5º TESTE: REFRESCÂNCIA*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação à REFRESCÂNCIA, ou seja, **da refrescância menos preferida para a refrescância mais preferida**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

18. 6º TESTE: CREMOSIDADE*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação à CREMOSIDADE ou seja, **da cremosidade menos preferida para a cremosidade mais preferida**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

19. 7º TESTE: GRAU DE DERRETIMENTO NA BOCA*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação ao GRAU DE DERRETIMENTO NA BOCA, ou seja, **do derretimento menos preferido para o derretimento mais preferido na boca**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

20. 8º TESTE: PRESENÇA DE CRISTAIS DE GELO*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação à PRESENÇA DE CRISTAIS DE GELO NA BOCA, ou seja, **da amostra menos preferida em relação à presença de cristais de gelo para a mais preferida**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

21. 9º TESTE: PERCEPÇÃO DE FIBRAS/RESÍDUOS NA BOCA*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação à PERCEPÇÃO DE FIBRAS/RESÍDUOS NA BOCA, ou seja, **da amostra menos preferida em relação à presença de fibras e/ou resíduos para a mais preferida**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

22. 10º TESTE: SABOR RESIDUAL*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência em relação ao SABOR RESIDUAL, ou seja, **da amostra que apresenta sabor residual menos preferido para a amostra que apresenta sabor residual mais preferido**. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

23. 11º TESTE: PRESENÇA DE FRUTA NO AROMA*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Você percebe a presença de frutas em alguma amostra?

Marcar apenas uma oval.

☐ SIM ☐ NÃO

24. 12º TESTE: PRESENÇA DE FRUTA NO AROMA*

Se você respondeu SIM na questão anterior, escreva, em ordem crescente, ou seja, da amostra que você menos percebe para a amostra que você mais percebe.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a que você menos percebe o aroma de arroz; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a que você mais percebe o aroma do arroz).

25. 13º TESTE: PRESENÇA DE FRUTA NO SABOR*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Você percebe a presença de frutas no SABOR de alguma amostra?

Marcar apenas uma oval.

☐ SIM ☐ NÃO

26. 14º TESTE: PRESENÇA DE FRUTA NO SABOR

Se você respondeu SIM na questão anterior, escreva, em ordem crescente, em qual amostra você percebe mais a fruta no sabor, ou seja, da amostra que você menos percebe para a amostra que você mais percebe.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a que você menos percebe o sabor de arroz; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a que você mais percebe o sabor do arroz).

27. 15º TESTE: PRESENÇA DE AROMAS E/OU SABORES ANORMAIS*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Você percebe a presença de aromas e/ou sabores estranhos ou anormais em algum picolé?

Marcar apenas uma oval.

☐ SIM ☐ NÃO

28. 16º TESTE: PRESENÇA DE AROMAS E/OU SABORES ANORMAIS

Se você respondeu SIM na questão anterior, escreva, em ordem crescente, em qual amostra você percebe mais aromas e/ou sabores anormais a fruta no sabor, ou seja, da amostra que você menos percebe para a amostra que você mais percebe.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a que você menos percebe o sabor de arroz; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a que você mais percebe o sabor do arroz).

29. 17º TESTE: AVALIAÇÃO GLOBAL*

Agora, faça uma avaliação geral das 3 amostras, considerando todos os atributos avaliados até aqui. Avalie da esquerda para a direita cada uma das amostras e coloque-as em ordem crescente de preferência global, ou seja, considerando todos os atributos avaliados, ordene as amostras da menos preferida para a mais preferida. Separe os códigos por vírgula.

Exemplo: XXX, YYY, ZZZ. (Neste caso, a amostra XXX será a menos preferida; a amostra YYY será a intermediária; e a amostra ZZZ será a mais preferida).

30. 19º TESTE: INTENÇÃO DE CONSUMO*

Você está recebendo 3 amostras de picolé codificadas. Avalie as amostras da esquerda para a direita. Use a escala abaixo para indicar o quanto você compraria cada amostra. Neste teste as amostras devem ser avaliadas individualmente e, caso seja da sua vontade, as notas também podem se repetir.

Este teste deve ser respondido da seguinte forma: XXX = 5, YYY = 3, ZZZ = 4. Legenda:

5 - Decididamente eu compraria 4 - Provavelmente eu compraria 3 - Talvez sim/Talvez não 2 - Provavelmente eu não compraria 1 - Decididamente eu não compraria

PESQUISA DE CONSUMO

Esta é a penúltima fase da pesquisa. Queremos saber sua relação com picolés e alguns ingredientes utilizados no produto desta pesquisa. Analise as questões abaixo e responda apenas uma opção.

31. 1 - Você já ouviu falar em picolé funcional? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

32. 2 - Você já consumiu algum sorvete ou picolé funcional alguma vez?*

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

33. - Você conhece alguma marca de picolé funcional no mercado?*

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

34.

35. 4 - Caso você tenha respondido SIM na questão anterior, cite o nome da marca.

36. 5 - Você faz consumo regular de picolé? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

37. 6 - Você acredita que seja possível a produção de um picolé com alto valor nutricional?*

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

38. 7 - Você já ouviu falar em Espirulina? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

39. 8 - Você conhece os benefícios nutricionais da Espirulina? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

40. 9 - Você compraria o picolé produzido nesta pesquisa se ele estivesse disponível nos mercados, padarias ou lanchonetes da sua região?*

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim ☐ Não

41. 10 - Qual principal motivo que levaria você a NÃO comprar o picolé desta pesquisa?*

Marcar apenas uma oval.

☐ Não faço consumo de produtos gelados (picolés, sorvetes) ☐ Preço mais alto que os outros picolés do mercado

☐ Não gostei do produto

☐ Precisa ser melhorado para entrar na minha lista de consumo ☐ Não considero ainda um alimento conhecido e/ou seguro

☐ Certamente compraria o picolé, ainda que algo precisasse ser melhorado

Outro:

FINALIZAÇÃO DA SESSÃO SENSORIAL

Pronto! Você já realizou todos os testes! Agradecemos sua participação! Para finalizarmos, seguirão quatro perguntas sobre sua participação nesta sessão sensorial. As duas primeiras perguntas serão referentes às amostras, e as outras duas perguntas serão relacionadas com a sua experiência no teste.

42. Você gostaria de deixar algum comentário em relação às amostras?*

Marcar apenas uma oval.

☐ SIM ☐ NÃO

43. Caso você tenha marcado "SIM" na opção anterior, fique à vontade para falar sobre as amostras.
44. Você gostaria de deixar algum comentário em relação à sua participação e/ou o comportamento da equipe durante a sessão sensorial?*

Marcar apenas uma oval.

☐ SIM ☐ NÃO

45. Caso você tenha marcado "SIM" na opção anterior, fique à vontade para falar sobre a sua experiência ou sobre o comportamento da equipe executora.

APÊNDICE C – Informações nutricionais dos picolés

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL DO PICOLÉ CONTROLE

Porção por embalagem: 1

Porção: 60 g (1 unidade)

	100 g	60g	% VD*
Valor energético (kcal)	84	50,4	2,5
Carboidratos (g)	18,9	11,3	3,8
Açúcares totais (g)	18,3	11	
Açúcares adicionados (g)	9,1	5,5	11
Proteínas (g)	0,8	0,5	0,7
Gorduras totais (g)	0,6	0,4	0,6
Gorduras saturadas (g)	0	0	0
Gordura trans (g)	0	0	
Fibras alimentares (g)	1,4	0,8	3,2
Sódio (mg)	7,2	4,3	0,2

* Percentual de valores diários fornecidos pela porção.

**INFORMAÇÃO NUTRICIONAL DO PICOLÉ COM
PIGMENTO DE SPIRULINA**

Porção por embalagem: 1 Porção:
60 g (1 unidade)

	100 g	60g	% VD*
Valor energético (kcal)	97	58,2	2,9
Carboidratos (g)	18,5	11,1	3,7
Açúcares totais (g)	21,2	12,7	
Açúcares adicionados (g)	11,4	6,8	13,6
Proteínas (g)	1,7	1	1,3
Gorduras totais (g)	1,8	1,1	1,7
Gorduras saturadas (g)	0	0	0
Gordura trans (g)	0	0	
Fibras alimentares (g)	1,4	0,8	3,2
Sódio (mg)	7,2	4,3	0,2

* Percentual de valores diários fornecidos pela porção.

**INFORMAÇÃO NUTRICIONAL DO PICOLÉ COM
BIOMASSA DE SPIRULINA**

Porção por embalagem: 1
Porção: 60 g (1 unidade)

	100 g	60g	% VD*
Valor energético (kcal)	87	52,2	2,6
Carboidratos (g)	19,1	11,5	3,8
Açúcares totais (g)	20,1	12,1	
Açúcares adicionados (g)	8,9	5,3	10,6
Proteínas (g)	1,3	0,8	1,1
Gorduras totais (g)	0,6	0,4	0,6
Gorduras saturadas (g)	0	0	0
Gordura trans (g)	0	0	
Fibras alimentares (g)	1,4	0,8	3,2
Sódio (mg)	7,2	4,3	0,2

* Percentual de valores diários fornecidos pela porção.

ANEXOS

ANEXO A – Relatório de análises da biomassa em pó de spirulina comercializada pela Fazenda Tamanduá



Relatório de ensaio	AR-22-SM-024601-01-N	Emitido em	13/09/2022
Código da amostra	124-2022-00024067		Página 1/4

MOCO AGROPECUARIA LTDA

Flávio Alves de Medeiros

flavio.alves@fazendatamandua.com.br

FAZENDA TAMANDUA BR N.361

KM 12

ZONA RURAL

58720000 SANTA TERESINHA/PB

BRASIL



Com cópia para: Mônica Guedes
(monica@fazendatamandua.com.br)

Referência do cliente:	Fab: 16/08/2022		
Dados da amostra:	Fab: 16/08/2022		
	005-30461-0000740290		
	lote 08-		
	spirulina		
Tipo de Amostra			
Embalagem:	Alumínio		
Data do pedido:	16/08/2022		
Data de recebimento:	23/08/2022		
Início da Análise:	23/08/2022		
Término da Análise:	13/09/2022		
Identificação do Termômetro	0406	Coletor	Cliente
EQR SPAF150			
Temperatura	27,2		

Resultados de ensaio

Parâmetro	Resultado	Incerteza	Unidade
DJ9BG DJ Ácido fólico LC-MS/MS			
Ácido fólico	<5 (LOQ)*	-	µg/100 g
DJ004 DJ Aminoácidos (hidrólise ácida)			
Ácido Aspártico	5,16	± 0,722	g/100 g
Ácido glutâmico (Total)	8,06	± 1,128	g/100 g
Alanina	4,19	± 0,587	g/100 g
Arginina (Total)	3,50	± 0,49	g/100 g
Fenilalanina	2,43	± 0,340	g/100 g
Glicina	2,73	± 0,382	g/100 g
Hidroxiprolina	<0,2 (LOQ)*	-	g/100 g
Histidina	0,889	± 0,124	g/100 g
Isoleucina	3,01	± 0,421	g/100 g
Leucina	4,74	± 0,664	g/100 g
Lisina (Total)	2,57	± 0,360	g/100 g
Ornitina	<0,05 (LOQ)*	-	g/100 g
Prolina	1,96	± 0,274	g/100 g
Serina	2,61	± 0,365	g/100 g
Tirosina	2,31	± 0,323	g/100 g
Treonina	2,70	± 0,378	g/100 g
Valina	3,38	± 0,473	g/100 g
DJ8B7 DJ Biotina LC-MS			
Biotina	<1 (LOQ)*	-	µg/100 g
GR582 GR Cálcio (Ca) - Total			
Cálcio (Ca)	1015,012	± 82,825	mg/kg
GR174 GR Cinzas (Resíduo mineral fixo)			
Resíduo mineral fixo (Cinzas)	12,13	± 1,34	g/100 g
DJ011 DJ Cistina, metionina (aminoácido, oxidativo)			
Cistina + Cistina	0,488	± 0,068	g/100 g
Metionina	1,12	± 0,157	g/100 g

Eurofins do Brasil Análises de Alimentos Ltda.

Rua Francisco Bezerra Monteiro, 712

Engenho do Meio

CEP 50730-250

Recife

BRASIL

Fone+55 81 3038-4508

comercialne@eurofins.com

www.eurofins.com.br

Resultados de ensaio

Parâmetro	Resultado	Incerteza	Unidade
GR583 GR Cobalto (Co) - Total Cobalto (Co)	0,470	± 0,067	mg/kg
GR571 GR Cobre (Cu) - Total Cobre (Cu)	11,669	± 1,769	mg/kg
DJA42 DJ Colina, mg/kg (total) Colina Total	12,8	± 1,28	mg/kg
SM041 SM Determinação de umidade e substâncias voláteis em alimentos em geral Umidade e voláteis	6,50	± 0,01	g/100 g
GR572 GR Ferro (Fe) - Total Ferro	957,846	± 186,10	mg/kg
GR588 GR Fósforo (P) - Total Fósforo (P)	10020,643	± 842,73	mg/kg
J8316 JC Iodo Iodo	2,4	± 0,50	mg/kg
GR139 GR Lipídios totais Lipídios totais	5,5	± 0,50	g/100 g
GR590 GR Magnésio (Mg) - Total Magnésio (Mg)	3337,613	± 41,386	mg/kg
GR591 GR Manganês (Mn) - Total Manganês (Mn)	123,410	± 2,530	mg/kg
YI004 YI Perfil de carotenóides (all-E)-β-Criptoxantina	150	-	µg/g
Alfa-caroteno	<0,03*	-	µg/g
alfa-criptoxantina	<0,03*	-	µg/g
Carotenóides totais	3840	-	µg/g
cis-beta-caroteno	840	-	µg/g
cis-licopeno	<0,03*	-	µg/g
Gama-caroteno	<0,03*	-	µg/g
Licopeno	<0,03*	-	µg/g
Luteína	<0,03*	-	µg/g
β-caroteno	2210	-	µg/g
trans-beta-caroteno	1370	-	µg/g
trans-licopeno	<0,03*	-	µg/g
Zeaxantina	1480	-	µg/g
GR594 GR Potássio (K) - Total Potássio (K)	21187,630	± 315,69	mg/kg
QA821 QA Proteína Bruta (Combustão) Proteína	55,74	-	%
GR596 GR Selênio (Se) - Total Selênio (Se)	<0,112*	± 0,009	mg/kg
GR598 GR Sódio (Na) - Total Sódio (Na)	23568,184	± 2081,0	mg/kg
DJ009 DJ Triptofano Triptofano (Total)	0,819	± 0,082	g/100 g
A7272 DJ Vitamina A (Retinol) Vitamina A	<21 (LOQ)*	-	µg/100 g
A7273 DJ Vitamina B1 - Tiamina Vitamina B1 tiamina base	0,261	± 0,042	mg/100 g
A7289 DJ Vitamina B12 Vitamina B12 (cianocobalamina)	110	± 33,00	µg/100 g

Eurofins do Brasil Análises de Alimentos Ltda.

Rua Francisco Bezerra Monteiro, 712

Engenho do Meio

CEP 50730-250

Recife

BRASIL

Fone+55 81 3038-4508

comercialne@eurofins.com

www.eurofins.com.br

Relatório de ensaio
Código da amostra

AR-22-SM-024601-01-N
124-2022-00024067

Emitido em 13/09/2022
Página 3/4

Resultados de ensaio

Parâmetro	Resultado	Incerteza	Unidade
A7274 DJ Vitamina B2 - Riboflavina Vitamina B2 (riboflavina)	0,654	± 0,105	mg/100 g
DJA53 DJ Vitamina B3 - Niacina Vitamina PP / B3	90,5	± 12,67	mg/kg
A7278 DJ Vitamina B5 - Ácido Pantotênico Vitamina B5 (Ácido pantotênico)	0,0503	± 0,0120	mg/100 g
A7251 DJ Vitamina B6 Vitamina B6 (piridoxina)	0,167	± 0,023	mg/100 g
A7291 DJ Vitamina C Vitamina C	<0,5 (LOQ)*	-	mg/100 g
A7252 DJ Vitamina D3, colecalciferol Vitamina D3	<0,25 (LOQ)*	-	µg/100 g
A7296 DJ Vitamina E Vitamina E (como alfa-tocoferol)	16,2	± 2,592	mg/100 g
GR603 GR Zinco (Zn) - Total Zinco	123,354	± 16,690	mg/kg

Lista de Métodos

A7251 - Vitamina B6: EN 14164:2014.; EN 14164:2014
A7252 - Vitamina D3, colecalciferol: EN 12821:2009; EN 12821:2009.
A7272 - Vitamina A (Retinol): EN 12823-1 2014; EN 12823-1 2014.
A7273 - Vitamina B1 - Tiamina: EN 14122: 2014 mod.; EN 14122: 2014 mod.
A7274 - Vitamina B2 - Riboflavina: EN 14152:2014 mod.; EN 14152:2014 mod.
A7278 - Vitamina B5 - Ácido Pantotênico: AOAC 945.74 / 45.2.05 (1990)
A7289 - Vitamina B12: AOAC 952.20
A7291 - Vitamina C: Food Chemistry, 94 (2006) 626-631
A7296 - Vitamina E: EN 12822:2014.
D1004 - Aminoácidos (hidrólise ácida): ISO 13903:2005; EU 152/2009 (F)
DJ009 - Triptofano: EU 152/2009
DJ011 - Cistina, metionina (aminoácido, oxidativo): ISO 13903:2005; EU 152/2009 (F)
DJ8B7 - Biotina LC-MS: J AOAC vol 93 no. 5 - 2010
DJ9BG - Ácido fólico LC-MS/MS: AOAC 2013.13
DJA42 - Colina, mg/kg (total): AOAC Vol 91,1 2008
DJA53 - Vitamina B3 - Niacina: EN 15652:2009
GR139 - Lipídios totais: Método Interno, Gravimetria
GR174 - Cinzas (Resíduo mineral fixo): Método 018/IV do Instituto Adolfo Lutz:2008
GR571 - Cobre (Cu) - Total: POP-FQ123
GR572 - Ferro (Fe) - Total: POP-FQ123
GR582 - Cálcio (Ca) - Total: POP-FQ123
GR583 - Cobalto (Co) - Total: POP-FQ123
GR588 - Fósforo (P) - Total: POP-FQ123
GR590 - Magnésio (Mg) - Total: POP-FQ123
GR591 - Manganês (Mn) - Total: POP-FQ123
GR594 - Potássio (K) - Total: POP-FQ123
GR596 - Selênio (Se) - Total: POP-FQ123
GR598 - Sódio (Na) - Total: POP-FQ123
GR603 - Zinco (Zn) - Total: POP-FQ123
J8316 - Iodo: EN 15111
QA821 - Proteína Bruta (Combustão): AOAC 990.03
SM041 - Determinação de umidade e substâncias voláteis em alimentos em geral: Método 012/IV do Instituto Adolfo Lutz:2008
Y1004 - Perfil de carotenóides: Internal Method (HPLC) - ECT, LC-VIS/DAD [LC-UV]

Eurofins do Brasil Análises de Alimentos Ltda.

Rua Francisco Bezerra Monteiro, 712
Engenho do Meio
CEP 50730-250
Recife
BRASIL

Fone+55 81 3038-4508
comercialne@eurofins.com
www.eurofins.com.br

Relatório de ensaio

AR-22-SM-024601-01-N

Emitido em 13/09/2022

Código da amostra

124-2022-00024067

Página 4/4

Informações Adicionais

* = Menor que o Limite de Quantificação

NA = Não se aplica ND = Não detectado LQ = Limite de Quantificação

Este documento só deve ser reproduzido por completo, a reprodução parcial requer aprovação escrita do laboratório. Os resultados referem-se apenas à amostra recebida.

Resultados foram obtidos e reportados de acordo com as condições gerais de venda acordadas no momento da requisição.

Os testes identificados pelo código de duas letras DJ são analisados no laboratório Eurofins Vitamin Testing Denmark.

Os testes identificados pelo código de duas letras GR são analisados no laboratório Eurofins ALAC (Garibaldi).

Os testes identificados pelo código de duas letras JC são analisados no laboratório Eurofins WEJ Contaminants GmbH (Hamburg).

Os testes identificados pelo código de duas letras QA são analisados no laboratório Eurofins Central Analytical Laboratories.

Os testes identificados pelo código de duas letras YI são analisados no laboratório Eurofins Craft Technologies (Wilson).

Os testes identificados pelo código de duas letras SM são analisados no laboratório Eurofins do Brasil Análises de Alimentos Recife.

Apenas a versão original assinada eletronicamente é autêntica.

Laudo emitido por Paula Moreira Catao Lopes.

Suporte técnico: analisesrecife@eurofins.com**Assinatura**

Assinado eletronicamente conforme "Medida Provisória 2.200-2" de 24/8/2001.
Visite <http://www.eurofins.com.br/assinaturadigital> para baixar uma chave de verificação.

Marina Salvadori Possebon
Gerente Técnica

e/ou

Carolina Notaro de Barros
Coordenadora do Laboratório de Microbiologia

Verificação de autenticidade: 0B6E292E-20B1-4399-B52A-9D490667C3CD

Verifique a autenticidade do seu relatório de ensaio em: <https://arverification.eurofins.com.br> e acesse o seu relatório on line digitando o código de segurança no campo indicado.

ANEXO B - Certificado de análises do pigmento de ficocianina fornecido pela empresa chinesa



安徽辰可化工有限公司
GNF CHEMICAL CO.,LTD

Manufactured and supplied by GNF CHEMICAL CO., LTD
Address: Room 2829, Yuefang Center, Luzhou Avenue 2868, Hefei, Anhui Province, China

Certificate of Analysis

Product Name:	Spirulina Blue (Phycocyanin)	Batch Quantity:	100KG
Manufacturing Date:	NOV.15,2023	Expiration Date:	NOV.14,2025
Origin:	China	Batch No.:	2110401

Test	Standard	Results
Appearance	Blue Fine Powder	Conforms
Algae Variety Identification	Spirulina Platensis	Conforms
Taste/Odor	Mild, taste like seaweed	Conforms
Moisture	≤8.0%	5.30%
Ash	≤10.0%	6.90%
Particle Size	100% through 80 mesh	Conforms
Colour value (10% solution)	E180.0±5%	E184
Solubility	100% water soluble	Conforms
Pesticide	Not detected	Not detected
Arsenic	≤1ppm	0.20ppm
Lead	≤2ppm	0.43ppm
Mercury	≤0.1ppm	0.01ppm
Cadmium	≤0.2ppm	0.01ppm
Total Plate Count	≤1000CFU/g	700CFU/g
Yeast & Mould	≤100CFU/g	<100CFU/g
Coliforms	Negative/10g	Negative
Salmonella	Negative/10g	Negative
E. Coli	Negative/10g	Negative
Staphylococcus	Negative/10g	Negative
Conclusion	The product is complied with Enterprise Standard.	
STORAGE	STORE IN COOL & DRY PLACE, DO NOT FREEZE. KEEP AWAY FROM STRONG LIHGT AND HEAT.	

ANEXO C - Parecer consubstanciado do CEP

CENTRO DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA -
CCS/UFPB



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE SPIRULINA (*Arthrospira platensis*) NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, BIOATIVAS E SENSORIAIS DE PICOLÉ

Pesquisador: Flávia de Oliveira Paulino

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 81555724.3.0000.5188

Instituição Proponente: Universidade Federal da Paraíba

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.968.446

Apresentação do Projeto:

O projeto de pesquisa Intitulado " AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE SPIRULINA (*Arthrospira platensis*) NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, BIOATIVAS E SENSORIAIS DE PICOLÉ", é um projeto do doutorado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA , do Centro de Ciências e Exatas e da Natureza.

Introdução:

Cada vez mais se faz necessário o entendimento da cadeia de desenvolvimento de um novo produto, e o ajuste do processo, aos conceitos de sustentabilidade. Mundialmente, se discute e aumenta a prática de crescimento econômico verde, utilizando modelos produtivos mais responsáveis em relação a cuidados com o meio ambiente, esse processo também é influenciado por consumidores mais conscientes, visto que o mundo de acordo com pesquisas se encontra em déficit, retirando mais recursos da natureza em relação a ações de restauração ao meio ambiente (KHAN et al., 2020). As microalgas são uma tendência de estudo, e vem sendo utilizadas como alternativa de cultivo sustentável e agregador de valor à cadeia produtiva, com diminuição nos riscos ambientais comparados a cultivos de outros insumos tradicionalmente utilizados nas indústrias mundo afora. Aos poucos a pesquisa, cultivo e

utilização das microalgas em território brasileiro também vem crescendo (ANDRADE; TELLES; CASTRO, 2020). Esta pesquisa traz importância frente ao grande número de pesquisas destinados a alimentos biotecnológicos, onde se insere a produção do picolé enriquecido com Spirulina, o que deverá trazer excelentes resultados e posteriormente beneficiar a população desse avanço em tecnologia sustentável. Este projeto sugere uma abordagem interdisciplinar necessitando dos conhecimentos das áreas da biologia para o cultivo das microalgas, a tecnologia de alimentos nas análises bioquímicas, a biotecnologia contribuindo com as funcionalidades que o produto criado pode trazer a saúde humana, a nutrição pela avaliação dos fatores nutricionais do produto e a gastronomia contribuindo com o sabor, técnica de preparo e apresentação do produto.

Hipótese: Tendo em vista que um dos desafios do uso de microalgas no enriquecimento de alimentos está na aceitabilidade do produto, em função da cor, odor e sabor que estas agregam ao alimento, acredita-se que a metodologia aplicada na elaboração propiciará uma melhor palatabilidade para o picolé de Spirulina.

Metodologia Proposta:

O picolé de spirulina será elaborado em base água e conterá em sua formulação abacaxi-pérola, manga tommy, couve-manteiga, hortelã, gengibre, mel de engenho, liga neutra, água mineral e a Spirulina em pó. Inicialmente todos os hortifrutis serão higienizados em água corrente, seguido por imersão em solução de hipoclorito a 250 ppm por 15 minutos e posteriormente, lavados novamente em corrente para retirada do resíduo de hipoclorito e, assim, deixados sob uma peneira para escorrer toda a água. Após a higienização dos hortifrutis, se realizará o descascamento e o corte em cubos pequenos do abacaxi e da manga (desprezando a casca e o caroço). A couve será cortada em chiffonade, o gengibre em rodela, preservando a casca e as folhas de hortelã sem o talo. Após preparados os hortifrutis os ingredientes serão pesados e homogeneizados. Serão produzidas três formulações do picolé, que constituirão três grupos amostrais. Todos os ingredientes, exceto a Spirulina em pó, serão adicionados a um liquidificador para homogeneização. Em seguida será adicionada a Spirulina e homogeneizado novamente. O conteúdo obtido será disposto em formas de picolés, levados ao congelamento na máquina produtora de picolé. Uma vez congelados, os picolés serão desenformados com choque térmico em banho-maria, postos em embalagens seladas e armazenados em congelador.

Critério de Inclusão: - Pessoas com idade igual ou superior a 18 anos. - Pessoas que consumam picolés, sorvetes ou outras sobremesas geladas; - Assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para a realização da pesquisa. **Critério de Exclusão:** - Pessoas que apresentem qualquer limitação sensorial. - Pessoas que estejam com sintomas de quadro respiratório e/ou alérgico; - Pessoas que sejam alérgicas a qualquer um dos ingredientes da fórmula; - Pessoas que não se comuniquem através da língua portuguesa; - Crianças e adolescentes; - Gravidez ou risco de gravidez.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: Desenvolver picolé suplementado com a microalga spirulina (*Anthospira platensis*) e avaliar as características nutricionais, bioativas, sensoriais e a viabilidade como incremento à gastronomia.

Objetivo Secundário: a) Caracterizar a Spirulina em pó quanto aos seus aspectos físico-químicos e bioativos e determinar a qualidade microbiológica; b) Elaborar três formulações de picolés enriquecidos com a biomassa em pó de spirulina; c) Avaliar a composição nutricional dos picolés elaborados; d) Determinar o potencial bioativo dos picolés elaborados; e) Avaliar as propriedades tecnológicas dos picolés elaborados; f) Determinar a qualidade microbiológica das amostras de picolé; g) Realizar análise sensorial dos picolés por meio de testes afetivos quantitativos de aceitação, intenção de consumo e CATA (check-all-that-apply questions).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

- O produto não estar adequado ou satisfazer os padrões sensoriais do julgador;
- Desconforto em relação à presença da Spirulina no picolé.
- Possível sabor residual de pescado.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A busca por novas fontes alimentares é urgente e uma opção são as microalgas que se tornam em grande potencial capazes de produzir alimentos, suplementos alimentares, além de produtos químicos e biocombustíveis, uma vez que são prolíficas produtoras de proteínas,

**CENTRO DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA -
CCS/UFPB**



Continuação do Parecer: 6.968.446

carboidratos, lipídeos e outros compostos bioativos valiosos. Dessa forma, será utilizada a microalga *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) como forma de suplementação nutricional de um produto amplamente consumido no nordeste brasileiro, que é o picolé. Serão produzidos quatro grupos amostrais de picolé de fruta, com diferentes teores de *Spirulina*, devidamente certificada. As matérias-primas e o alimento obtido serão submetidos às análises físico-química e microbiológica, para garantir que os produtos obtidos na pesquisa são seguros e não oferecem risco ao consumo. Após os ensaios químicos e microbiológicos serão aplicados testes sensoriais para verificar a viabilidade do produto sob a perspectiva comercial com consumidores adultos, com faixa etária entre 18 e 60 anos

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O projeto em tela encontra-se dentro das Normas da resolução 466/12 e das Normativas Operacional 001/13

Recomendações:

Recomenda-se aprovar

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado!

Considerações Finais a critério do CEP:

Certifico que o Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba e CEP/CCS aprovou a execução do referido projeto de pesquisa. Outrossim, informo que a autorização para posterior publicação fica condicionada à submissão do Relatório Final na Plataforma Brasil, via Notificação, para fins de apreciação e aprovação por este egrégio Comitê.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2360703.pdf	12/07/2024 16:25:43		Aceito
Parecer Anterior	Aprovacao_projeto_doutorado_PRODEMA.pdf	12/07/2024 16:24:46	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	12/07/2024 16:24:00	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2360703.pdf	10/06/2024 20:44:31		Aceito

Endereço: Campus I / Prédio do CCS UFPB - 1º Andar
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 58.051-900
UF: PB **Município:** JOAO PESSOA
Telefone: (83)3216-7791 **Fax:** (83)3216-7791 **E-mail:** comitedeetica@ccs.ufpb.br

**CENTRO DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA -
CCS/UFPB**



Continuação do Parecer: 6.968.446

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_Consentimento_Livre_e_Esclarecido.pdf	10/06/2024 20:41:34	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_Consentimento_Livre_e_Esclarecido.pdf	10/06/2024 20:41:34	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Doutorado.pdf	10/06/2024 20:41:12	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Doutorado.pdf	10/06/2024 20:41:12	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Orçamento	Orcamento.pdf	10/06/2024 20:40:59	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	10/06/2024 20:40:59	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Declaração de Pesquisadores	Carta_anuencia_Nataly.pdf	10/06/2024 20:40:46	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Carta_anuencia_Nataly.pdf	10/06/2024 20:40:46	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Declaração de Pesquisadores	Carta_anuencia_Juliano.pdf	10/06/2024 20:40:36	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Carta_anuencia_Juliano.pdf	10/06/2024 20:40:36	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Declaração de concordância	Carta_anuencia_Flavia.pdf	10/06/2024 20:39:33	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Declaração de concordância	Carta_anuencia_Flavia.pdf	10/06/2024 20:39:33	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Carta_anuencia_Laboratorio_CBiotec.pdf	10/06/2024 20:38:35	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Carta_anuencia_Laboratorio_CBiotec.pdf	10/06/2024 20:38:35	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Cronograma	Cronograma_execucao.pdf	10/06/2024 20:38:26	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Cronograma	Cronograma_execucao.pdf	10/06/2024 20:38:26	Flávia de Oliveira Paulino	Postado
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	10/06/2024 20:30:45	Flávia de Oliveira Paulino	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	10/06/2024 20:30:45	Flávia de Oliveira Paulino	Postado

CENTRO DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA -
CCS/UFPB



Continuação do Parecer: 6.968.446

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

JOAO PESSOA, 26 de Julho de 2024

Assinado por:

Eliane Marques Duarte de Sousa
(Coordenador(a))