

# DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE SUPERALIMENTOS À BASE DE PRODUTOS NATURAIS MARINHOS

Development of superfood technology based on marine natural products

Giselle Pinto de Faria Lopes<sup>1</sup> , Carla Eliana Davico<sup>2</sup> ,  
Fabiola Helena dos Santos Fogaça<sup>3</sup> , Narcilo Quadros Cardoso<sup>4</sup> ,  
Michael dos Anjos dos Santos<sup>4</sup> , Rayanne Antunes Fernandes Sales<sup>4</sup> ,  
Isabel Virgínia Gomes e Silva<sup>5</sup> , Larissa Almenara Soares<sup>5</sup> ,  
Dayana Muniz Maia Montalvão<sup>6</sup> , Tailah Bernardo Almeida<sup>7</sup> ,  
Alexandre Kassuga<sup>8</sup> , Guilherme Búrigo Zanette<sup>9</sup> ,  
Maria Helena Campos Baeta Neves<sup>10</sup> , Ricardo Coutinho<sup>11</sup> 

**Resumo:** Considerando o Plano Estratégico da Marinha, o presente estudo fomenta uma tecnologia inédita e inovadora no país, trazendo novas perspectivas para a nutrição humana com base na biotecnologia marinha, utilizando estratégias de confecção de superalimento à base de algas e células marinhas. Foram desenvolvidos protocolos de inovação, empregando a biotecnologia celular e a histologia, para desenvolver superalimentos. Através do conhecimento dos macronutrientes e micronutrientes de microalgas, macroalgas e diferentes organismos marinhos, verificou-se uma variabilidade nutricional relevante, além da caracterização morfológica semelhante entre as amostras *in vitro* e *in situ* de ostras, siris, vieiras e peixes. Além disso, para a validação estrutural do pescado,

**Abstract:** The present study is aligned with the Navy's Strategic Plan and aimed to introduce innovative technology in the country, bringing new perspectives for human nutrition based on marine biotechnology by creating superfoods using algae and marine cells. Innovation protocols that leverage cellular biotechnology and histology to create superfoods were developed. Through the knowledge of the macronutrients and micronutrients of microalgae, macroalgae, and different marine organisms, a significant nutritional variability was observed. Additionally, there was a similar morphological characterization between the *in vitro* and *in situ* samples of oysters, crabs, scallops, and fish. Furthermore, for the structural validation of the fish, it was noticed that cooked samples had

1. Servidora Civil, Nível Superior, Pesquisadora titular I, Encarregada da Divisão de Bioprodutos no Departamento de Biotecnologia Marinha, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: giselle.lopes@marinha.mil.br

2. Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: biodacael@gmail.com

3. Pesquisadora na Embrapa Agroindústria de Alimentos. Docente na Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ - Brasil. E-mail: fabiola.fogaca@embrapa.br;

4. Bolsistas de Treinamento e Capacitação Técnica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, da Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mails: narciloquadroscardoso@gmail.com, michaelanjossantos@gmail.com, rayannefernandes99@gmail.com

5. Doutorandos do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mails: isabel.virginia.1995@gmail.com, larissaalmenara@gmail.com

6. Terceiro-Sargento (QI), Auxiliar da Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: dayana.maia@marinha.mil.br

7. Primeiro-Tenente (T), Ajudante da Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: tailah.almeida@marinha.mil.br

8. Pós-doutorando do Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: kassuga@gmail.com

9. Pesquisador da Diretoria de Pesquisa e Produção, Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: guizanette@gmail.com

10. Servidora Civil, Nível Superior, Pesquisadora Titular III, Superintendente de Pós-Graduação do IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: maria.helena@marinha.mil.br

11. Servidor Civil, Nível Superior, Pesquisador Titular III, Chefe do Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: rcoutinhosa@yahoo.com

foi observado que as amostras cozidas apresentaram menor densidade de fibras musculares (matéria-prima predominante e comestível) comparada às cruas, e, conseqüentemente, seu diâmetro médio foi significativamente menor. Nesse sentido, o estudo tem caráter *dual*, contribuindo tanto para o combatente da Marinha do Futuro quanto para a sociedade, com potencial futuro para a geração de superalimentos marinhos de diferentes complexidades específicas para a demanda nutricional de cada cenário.

**Palavras-chave:** Biotecnologia celular marinha. Bioprodutos. Inovação biotecnológica.

a lower density of muscle fibers, which are the predominant and edible raw material, compared to the raw ones. As a result, the average diameter of the cooked muscle fibers was significantly smaller. The study has a dual character, contributing to both the Navy's future combat strategies and to society by potentially generating marine superfoods of varying complexities tailored to meet specific nutritional demands.

**Keywords:** Marine cell biotechnology. Bioproducts. Biotechnological innovation.

## 1. INTRODUÇÃO

O Plano Estratégico da Marinha (PEM2040) estabelece que a atividade científica é uma das vertentes estratégicas para o fortalecimento do conceito político-estratégico da Amazônia Azul. O presente estudo é atinente ao Poder Naval do Futuro (EN 6.3) do PEM2040 sobre o desenvolvimento de tecnologias-chave de desafios de médio e longo prazo, assim como à Ação Estratégia Naval (AEN) — Força Naval — 10, que prevê o desenvolvimento no país de produtos aplicáveis a navios, aeronaves e aos fuzileiros navais, sendo os últimos, o foco principal do presente projeto. A proposta ainda se enquadra no PEM2040, na “Construção do Núcleo do Poder Naval”, uma vez que o desenvolvimento de competências tecnológicas (ODS-7) se encaixa na área temática da Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha (EMA-415) relacionada ao meio ambiente operacional, através da macrometa do Centro tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro (CTMRJ) de Biotecnologia Marinha e subárea de Bioprospecção.

O foco do estudo considerou três aspectos principais: as *expertises*, a infraestrutura e a localização estratégica do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM); os macronutrientes da ração operacional do combatente, sendo majoritariamente carboidratos, sendo uma fonte de energia de curto prazo, ou seja, uma fonte nutricional limitada ao seu bom desempenho; e que, recentemente, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) elegeu uma cianobactéria como o alimento do futuro para seus astronautas, e a divulgou para o mundo (TADROS, 2013).

A literatura tem demonstrado há anos os benefícios do consumo de microalgas e macroalgas para a saúde humana

(WELLS et al., 2017). A biomassa de macroalgas contém produtos naturais com propriedades antibióticas, anti-inflamatórias e antioxidantes, em particular a variedade das macroalgas verdes, como as do gênero *Caulerpa* e *Ulva*, que são ingeridas até *in natura* (BIRIS-DORHOI et al., 2020). Em paralelo, alguns ensaios clínicos nutricionais já demonstraram que o uso de cápsulas de *Spirulina* (cianobactéria) e *Chlorella* (microalga) reduziram fatores de risco cardiovasculares (FALLAH et al., 2018), anemia (SELMÍ et al., 2011), além de melhorar a função imunológica (CHIDLEY; DAIVSON, 2018) e diminuir rigidez arterial (OTSUKI et al., 2013).

Em Arraial do Cabo, onde está localizado o IEAPM, nos últimos 30 anos, já foram descritas mais de 150 espécies de macroalgas e há imensuráveis registros da biodiversidade de microalgas e cianobactérias, incluindo aquelas de ambiente hipersalino (salineiras da região) (BATISTA; GRANTHOM-COSTA; COUTINHO, 2020). Diante da abrangente biodiversidade das macroalgas, evidencia-se uma rica fonte de produtos naturais inéditos para o desenvolvimento de superalimentos à base de algas (*algae-based*). Além das funções já estudadas, há exemplos recentes de que uma suplementação nutricional adequada pode favorecer a recuperação, o tratamento e a melhora especificamente do desempenho físico (GURNEY; SPENDIFF, 2022). Combatentes, assim como atletas que praticam exercícios de resistência extenuante, podem sofrer danos musculares mediados por inflamação ou estresse oxidativo, como já relatado entre os militares da própria Marinha do Brasil (SILVA et al., 2021). Há relatos correlacionando o consumo das algas com o desempenho do exercício anaeróbico e aeróbico à resistência física e à redução no aparecimento de fadiga, atribuídos às propriedades

antioxidantes e anti-inflamatórias dos seus macronutrientes e micronutrientes (LORENZO et al., 2023).

Nesse estudo, também se tornou relevante considerar as maiores fontes do macronutriente ômega 3, composto principalmente por ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA), utilizando outra estratégia biotecnológica marinha sustentável denominada *cell-based*. O consumo desses suplementos ou do pescado rico em ômega 3 já foi associado a diversos benefícios à saúde humana, incluindo efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes, anti-hipertensivos, neuroprotetores e anticâncer (HASSAN et al., 2020). Vários estudos também sugerem um efeito potencialmente benéfico da suplementação de EPA e DHA no desempenho físico através da melhoria da capacidade de resistência e do início tardio da fadiga muscular (THIELECKE; BLANNIN, 2020). Entretanto, são raros os estudos que abordam a variação na sua dose e tempo de suplementação ideal, que varia de acordo com a demanda energética (OCHI; TSUCHIYA, 2018).

A tecnologia *cell-based* de inovação vem buscando desenvolver alimentos através das células dos organismos marinhos de forma independente da fonte original, ou seja, o próprio pescado (FEDDERN et al., 2023). O manejo da matéria-prima celular responsável pela formação do(s) órgão(s) dos organismos marinhos comestíveis, ricos em ômega 3 e outros nutracêuticos, torna-se potencialmente um produto de melhor qualidade, por estar em ambiente controlado livre de metais pesados, por exemplo, e com flexibilidade nutricional, podendo se adequar a demanda energética (FAO, 2023; GFI, 2023; JACKSON, 2022).

Diante do exposto, este estudo utilizou uma tecnologia inédita e inovadora no país, com aplicação *dual*, trazendo novas perspectivas para a nutrição humana com base em biotecnologia celular marinha, seja através de estratégias com microalgas, as chamadas tecnologias *algae-based*, com macroalgas, ou *cell-based*, com células de diferentes organismos marinhos.

## 2. OBJETIVO

Desenvolver tecnologia de superalimento à base de produtos naturais marinhos através das tecnologias *cell-based* e *algae-based*, ricos em proteínas, lipídios, carboidratos e nutracêuticos, como fonte de energia a longo prazo com relevante valor nutricional.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. COLETA DOS ORGANISMOS MARINHOS: MATÉRIA-PRIMA DA TECNOLOGIA *CELL-BASED*

Os organismos marinhos escolhidos para este estudo foram a ostra, a vieira, o siri azul e o robalo. As cinco ostras, da espécie *Crassostrea gigas*, foram adquiridas na fazenda marinha na Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro (RJ) (Figura 1A). Os dois siris adultos, *Callinectes* sp., foram coletados na Lagoa de Araruama em Cabo Frio, RJ (Sisbio: 86022-1) (Figura 1B). As cinco vieiras adultas, da espécie *Nodipecten nodosus*, foram adquiridas de fazenda marinha na Baía da Ilha Grande no município em Angra dos Reis, RJ, e mantidas em lanternas ancoradas na balsa de pesquisa do instituto, localizada na Ilha de Cabo Frio – Arraial do Cabo (Figura 1C). Para a dissecação e o cultivo celular, os espécimes foram aclimatados no Laboratório Experimental Marinho (LEM) do IEAPM em água do mar artificial por pelo menos 24 h até o início dos experimentos.

Já os seis Robalos, *Centropomus* sp., foram adquiridos no Delta do Parnaíba (Piauí), onde os filés foram processados no laboratório da EMBRAPA. Esse pescado foi utilizado apenas



Fonte: (D) Ueberschär, B (Fishbase).

**Figura 1.** Organismos marinhos estudados na tecnologia *cell-based*. (A) a ostra, *Crassostrea gigas* (B) o siri, *Callinectes* sp. (C) a vieira, *Nodipecten nodosus*. (\*) músculo adutor; (ponta de seta) brânquias. (D) o peixe, *Centropomus* sp.

para a caracterização estrutural do músculo que compõe o filé de peixe (Figura 1D).

### 3.2. CULTURA CELULAR

Os organismos marinhos foram processados no Laboratório de Biotecnologia Celular do IEAPM para a obtenção das células. Após a anestesia e desinfecção dos animais em água deionizada gelada, eles foram submetidos inicialmente à limpeza externa realizada através de escovação da concha e lavagem com água destilada. Após essa etapa, ostras, siris e vieiras foram transferidos para a cabine de segurança, desinfectados novamente, e, em ambiente estéril, foram dissecados os seguintes órgãos: brânquias e músculo adutor das ostras; músculo cardíaco dos siris; e músculo adutor das vieiras. Os órgãos foram processados no formato de explante e de células dissociadas mecanicamente e enzimaticamente com 0,25% de tripsina ou 0,05% de papaína, em meio Leibovitz L-15 modificado e 10% de soro fetal bovino. Os cultivos primários foram acompanhados de 9 a 15 dias.

### 3.3. ANÁLISE HISTOLÓGICA

O processamento morfológico foi realizado no Laboratório de Histologia do IEAPM, com o intuito de caracterizar e comparar os tipos celulares dos organismos marinhos escolhidos, além de estudar a estrutura muscular dos filés de peixe nas apresentações crua e cozida por 10 minutos, em forno elétrico. Todas as amostras foram fixadas em solução de formol 10%, por pelo menos 24 horas, sendo em seguida desidratadas em série alcoólica, diafanizadas em xilol, incluídas em parafina e seccionadas no micrótomo com 5 µm de espessura. As lâminas foram coradas com Hematoxilina/Eosina (H&E) e Tricrômico de Mallory para posterior análises microfotográficas utilizando o *software Image-J*. Foram realizadas diferentes biometrias das fibras musculares dos filés de peixe, como medida do maior diâmetro e da densidade da fibra muscular dividindo o número de fibras pela área total da seção transversal, comparando diferenças estruturais entre amostras cruas e cozidas.

### 3.4. MICROALGAS, CIANOBACTÉRIAS E MACROALGAS: ORIGEM DA TECNOLOGIA ALGAE-BASED

O Laboratório de Microalgas do IEAPM possui um acervo de diferentes cepas e capacidade de cultivo, isolamento

e caracterização da microbiologia local há mais de 30 anos. Inicialmente, foram realizadas bioprospecção e análise do valor nutricional das cianobactérias e microalgas. A Figura 2 mostra a morfologia da cianobactéria *Spirulina* sp., da microalga *Chlorella* sp. e da *Tetraselmis* sp. (Figura 2A–2C).

A macroalga verde *Caulerpa racemosa* foi coletada na zona infralitoral de Búzios-RJ (Sisbio: 86022-1), sendo triadas, limpas, congeladas, liofilizadas e maceradas em grânulos finos no Laboratório de Produtos Naturais Marinhos do IEAPM (Figuras 2D e 2E). Foram feitas simulações 3D do superalimento *algae-based* e *cell-based* para visualização do suplemento final em pó, que pode ser encapsulado, ou em “jujuba supernutritiva”, considerando a mobilidade e as condições em campo dos combatentes (Figura 2F).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA CELL-BASED

Inicialmente, verificou-se que há variação nas quantidades de macromoléculas dos organismos escolhidos (Tabela 1). A flexibilidade de manipulação desses valores nutricionais torna-se possível *in vitro* com o estudo da constituição celular desses organismos, seja morfológica, por histologia, seja através da biotecnologia celular (Figura 3).

A Figura 3A ilustra um órgão dissecado da ostra, as brânquias, que estão presentes em todo redor do animal, que é



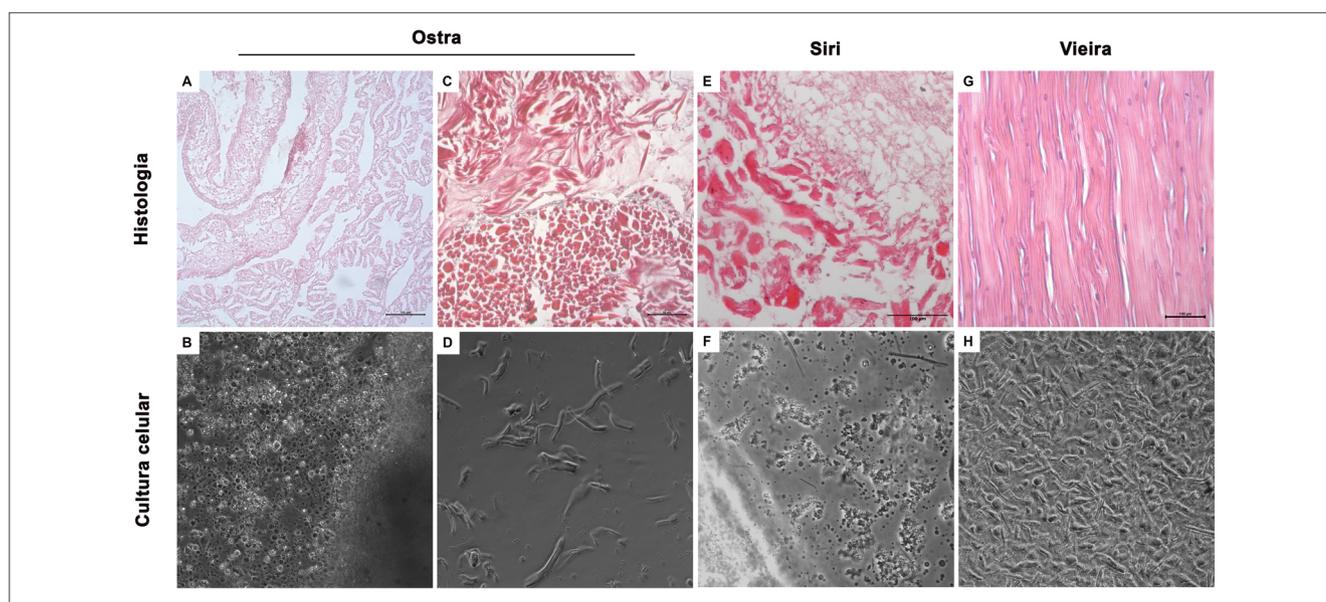
Fonte: (A - C) Disponível em: <https://www.ccap.ac.uk/>. Acesso em: 29 ago. 2023.

**Figura 2.** Imagens da cianobactéria, microalgas e macroalgas incluídos no estudo. (A) *Spirulina* sp. (B) *Chlorella* sp. (C) *Tetraselmis* sp. (D) *Caulerpa racemosa* *in natura* e (E) em grânulos. (F) apresentações dos superalimentos.

**Tabela 1.** Composição nutricional por 100 g de parte comestível *in natura*.

Organismo	Proteínas	Lipídios	Carboidratos	Ácido eicosapentaenóico	Ácido docosahexaenóico
Ostra	9,45 g	2,3 g	4,95 g	0,438 g	0,25 g
Siri	18,1 g	1,08 g	0,04 g	0,17 g	0,15 g
Vieira	12,1 g	0,49 g	3,18 g	0,042 g	0,061 g
Robalo	18,9 g	3,69 g	0 g	0,238 g	0,357 g

Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2018).



**Figura 3.** Caracterização morfológica por histologia e biotecnologia celular, parâmetros para tecnologia *cell-based*. Brânquias dissecadas de ostra, (A) cujo corte transversal foi corado com H&E e (B) explante com células redondas ao redor, sugerindo migração. Músculo adutor de ostra, (C) cujo corte transversal foi corado com Tricrômico de Mallory e (D) apresenta células dissociadas e isoladas fusiformes. Músculo cardíaco de siri, (E) cujo corte transversal foi corado com H&E e (F) observamos agregados celulares próximos ao explante. Músculo adutor de vieira, (G) corte longitudinal corado com H&E e (H) células abundantes e homogêneas, tipo fusiformes. Lâminas histológicas com barra de escala: 100 µm. Fotomicrografias em contraste de fase com magnificação de 200 e 400X.

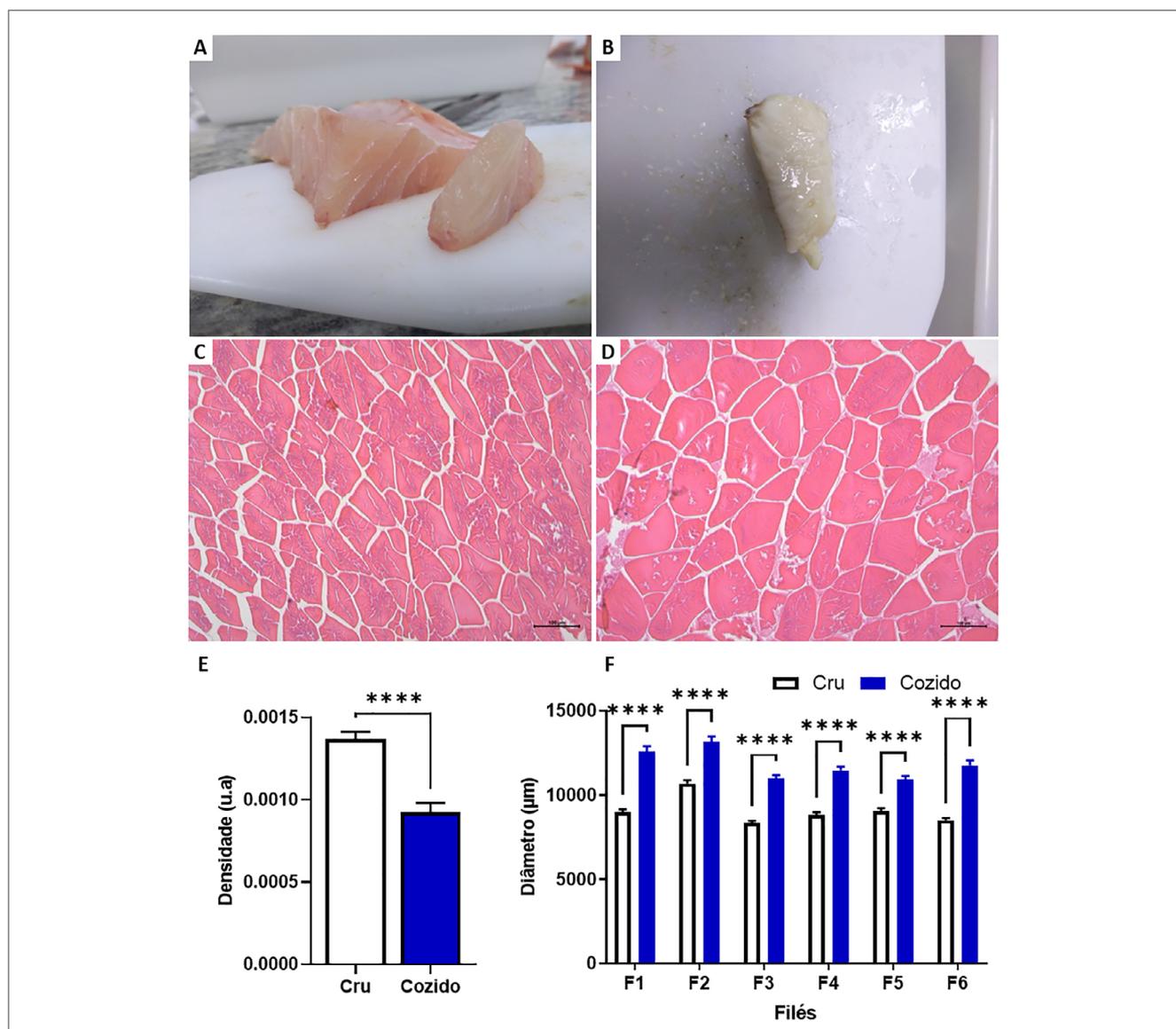
ingerido inteiro. Observou-se que os filamentos branquiais compostos por tecido epitelial ciliado, matriz extracelular rica em colágeno, preenchendo os espaços interfilamentares. A partir de 24 h de cultivo das células desse tecido, foi possível perceber diferentes células migrando do explante, ciliadas, arredondadas ou amebóides, comprovando a versatilidade do modelo *in vitro* (Figura 3B). Já a histologia do músculo adutor das ostras demonstrou duas porções teciduais sugerindo os tecidos musculares liso e estriado, junto ao tecido conjuntivo conectivo que promove a sustentação das miofibrilas (Figura 3C). Na cultura das células do músculo adutor,

observaram-se células fusiformes isoladas, mimetizando a assinatura morfológica desse tecido (Figura 3D). Na histologia do músculo cardíaco do siri, foi observada a presença de mais tecido conjuntivo frouxo em comparação com a ostra, com células arredondadas dispersas pelo lúmen semelhantes às células que vemos na cultura do explante, com morfologia de agregados celulares (Figuras 3E e 3F). O modelo da vieira mostrou-se mais reprodutível comparado aos demais, uma vez que o músculo adutor protuberante apresenta tipos celulares fusiformes mais homogêneos e reprodutíveis, podendo assim otimizar a tecnologia *cell-based* (Figuras 3G e 3H).

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO HISTOLÓGICA PARA PERFIL SENSORIAL DO ALIMENTO CELL-BASED

Um critério mundial muito discutido na literatura é a mimetização do alimento *cell-based* como se fosse o alimento *in natura*. Apesar da versatilidade de superalimento poder ser um suplemento de fácil transporte (vide simulações na Figura 2F), a histologia permitiu identificar a estrutura muscular do filé do peixe, evidenciando fibras transversais mais

facilmente visualizadas quando comparadas às fibras longitudinais, considerando a imagem macroscópica das amostras (Figuras 4A e 4B). Na coloração de H&E foi possível observar as camadas musculares entre os feixes e fibras e elucidar estruturalmente as duas condições experimentais analisadas (Figuras 4C e 4D). Ainda, foi observada uma menor densidade de fibras nos cortes cozidos, mas um maior diâmetro dessas fibras quando comparadas às amostras cruas, sendo estatisticamente significativo (Figuras 4E e 4F).



**Figura 4.** Parâmetros morfológicos do pescado. Amostras de Robalo (A) cru e (B) cozido. Alterações morfológicas observadas na histologia das amostras (C) cruas e (D) cozidas. (E) Densidade e (F) diâmetro das fibras musculares de amostras de Robalo cru e cozido. Os dados representam a média  $\pm$  erro padrão. Análise estatística utilizada foi o teste *t-student* e ANOVA com pós-teste de Tukey, \*\*\*\* $p < 0,05$ .

### 4.3. VALOR NUTRICIONAL DAS MICROALGAS E DA MACROALGA VERDE NA TECNOLOGIA ALGAE-BASED

Recentemente, a popularização da *Spirulina* sp. e da *Chlorella* sp. como superalimento do futuro tem impactado diferentes áreas de atuação, inclusive as forças aeroespaciais americanas, como já descrito. Entretanto, considerando a literatura e o local estratégico e a infraestrutura do IEAPM, existe uma biodiversidade relevante que foi considerada para

o desenvolvimento de novos superalimentos, pois as quantidades de micro- e macronutrientes podem até superar as encontradas naqueles populares. A Tabela 2 mostra essas comparações, evidenciando um potencial biotecnológico ainda pouco explorado e com aplicação inédita na Marinha.

Macroalgas são organismos superiores e mais complexos que microalgas. Possuem diversas aplicações gastronômicas, sendo utilizadas como temperos, aromatizantes ou em pratos principais. Conhecidas como *green caviar* ou *sea*

**Tabela 2.** Composição percentual de macronutrientes de microalgas, cianobactérias e macroalgas.

Organismo	Proteína (%)	Carboidrato (%)	Lipídios (%)
Cianobactéria			
<i>Spirulina platensis</i>	50-65	8-14	4-9
<i>Spirulina máxima</i>	60-70	13-16	6-7
<i>Synechococcus</i> sp.	63	15	11
<i>Anabaena</i> sp.	48	25-30	4-7
Microalga			
<i>Chlorella</i> sp.	51-58	12-17	14-22
<i>Scenedesmus</i> sp.	63	15	11
<i>Dunaliella</i> sp.	49-57	4-32	6-8
<i>Euglena</i> sp.	39-61	14-18	14-20
<i>Prymnesium</i> sp.	28-45	25-33	22-38
<i>Chlamydomonas</i> sp.	43-56	2.9-17	14-22
<i>Porphyridium</i> sp.	28-39	50-57	-
<i>Spirogyra</i> sp.	6-20	33-64	11-21
<i>Tetraselmis</i> sp.	52	15	16-45
<i>Pavlova</i> sp.	24-29	6-9	9-14
Macroalga			
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	6.15	30.58	7.13
<i>Rhizoclonium riparium</i>	21.09	15.34	3.37
<i>Lola capillaris</i>	40.87	22.32	4.05
<i>Ulva lactuca</i>	8.44	35.27	4.36
<i>Catenella repens</i>	8.42	28.96	5.29
<i>Polysiphonia mollis</i>	16.59	25.81	5.79

Fonte: Adaptado de Roy e Pal (2015).

grapes, macroalgas do gênero *Caulerpa* spp. são utilizadas na alimentação humana, consumidas na forma de saladas entre as comunidades costeiras asiáticas (KUMAR et al., 2011). O valor nutricional dessas algas compreende aproximadamente 10,4% de proteínas, 38,7% de carboidratos e 1,1% de lipídeos (BEZERRA, 2022), com maior proporção de carboidratos quando comparadas a outras macroalgas verdes que fazem parte da dieta humana (4,5% para *Codium*, 31,8% para *Monostroma* e 16,4% para *Ulva*). Comparando o teor proteico, *Caulerpa* e *Codium* (10,5%) possuem as maiores porcentagens.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste estudo evidenciam o potencial tecnológico e de inovação através da biotecnologia celular marinha no desenvolvimento de estratégias para caracterização e manipulação *in vitro* das células e do conteúdo nutricional dos organismos marinhos, microalgas, cianobactérias e macroalgas para atender a necessidade de macronutrientes e micronutrientes relevantes a esse perfil de demanda energética, incrementando o perfil do combatente da Marinha do Futuro.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, D.; GRANTHOM-COSTA, L. V.; COUTINHO, R. *Biodiversidade marinha dos costões rochosos de Arraial do Cabo*: histórico, ecologia e conservação. Arraial do Cabo: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, 2020.
- BEZERRA, J. N. S. *Avaliação do desempenho da macroalga Gracilaria domingensis sob diferentes fontes de nutrientes dentro de um contexto nutricional*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.
- BIRIS-DORHOI, E. S.; MICHU, D.; POP, C. R.; ROTAR, A. M.; TOFANA, M.; POP, O. L.; SOCACI, S. A.; FARCAS, A. C. Macroalgae - A sustainable source of chemical compounds with biological activities. *Nutrients*, v. 12, n. 10, 3085, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12103085>
- CHIDLEY, C.; DAVISON, G. The effect of Chlorella pyrenoidosa supplementation on immune responses to 2 days of intensified training. *European Journal of Nutrition*, v. 57, p. 2529-2536, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1525-9>
- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS (USDA). *Food Data Central*. Estados Unidos: USDA, 2018. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#>. Acesso em: 29 ago. 2023.
- FALLAH, A. A.; SARMAST, E.; DEHKORDI, S. H.; ENGARDEH, J.; MAHMOODNIA, L.; KHALEDIFAR, A.; JAFARI, T. Effect of Chlorella supplementation on cardiovascular risk factors: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Nutrition*, v. 37, n. 6, p. 1892-1901, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.09.019>
- FEDDERN, V.; OLIVEIRA, K. P. V.; GRESSLER, V.; FOGACA, F. H. S.; LOPES, G. P. FARIA; RODRIGUES, C. A. V.; MARQUES, D. M. C.; SANJUAN-ALBERTE, P. Cultivated poultry and seafood: Opportunities and future challenges. In: FRASER, E. D. G.; KAPLAN, D. L.; NEWMAN, L.; YADA, R. Y. (org.). *Cellular Agriculture: Technology, Society, Sustainability and Science*. Amsterdã: Elsevier, 2023. p. 267-291.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Cell Based Food*. Estados Unidos: FAO, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/food-safety/scientific-advice/crosscutting-and-emerging-issues/cell-based-food/en/>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- GOOD FOOD INSTITUTE (GFI). *Deep Dive: Cultivated Meat End Products*. Good Food Institute, 2023. Disponível em: <https://gfi.org/science/the-science-of-cultivated-meat/deep-dive-cultivated-meat-end-products/>. Acesso em: 11 dez. 2023.
- GURNEY, T.; SPENDIFF, O. Algae supplementation for exercise performance: current perspectives and future directions for Spirulina and Chlorella. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, 865741, 2022. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.865741>
- HASSAN, S.; FAIZA, N.; FAROOQ, M. A.; EGBUNA, C.; GAMAN, M.-A. Nutritional and health benefits of seafoods. In: EGBUNA, C.; DABLE TUPAS, G. (org.). *Functional foods and nutraceuticals: Bioactive components, formulations and innovations*. Cham: Springer, 2020. p. 219-239.
- JACKSON, L. The Future of Food. *The New York Times*, 2022. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2022/07/29/podcasts/precision-fermentation.html>. Acesso em: 11 dez. 2023.
- KUMAR, M.; KUMARI, P.; TRIVEDI, N.; SHUKLA, M. K.; GUPTA, V.; REDDY, C. R. K.; JHA, B. Minerals, PUFAs and antioxidant properties of some tropical seaweeds from Saurashtra coast of India. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, p. 797-810, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9578-7>
- LORENZO, K.; SANTOCILDES, G.; TORRELLA, J. R.; MAGALHÃES, J.; PAGÈS, T.; VISCOR, G.; TORRES, J. L.; RAMOS-ROMERO, S. Bioactivity of macronutrients from Chlorella in physical exercise. *Nutrients*, v. 15, n. 9, p. 2168, 2023. <https://doi.org/10.3390/nu15092168>
- OCHI, E.; TSUCHIYA, Y. Eicosapentaenoic Acid (EPA) and Docosahexaenoic Acid (DHA) in muscle damage and function. *Nutrients*, v. 10, n. 5, p. 552, 2018. <https://doi.org/10.3390/nu10050552>

OTSUKI, T.; SHIMIZU, K.; IEMITSU, M.; KONO, I. Multicomponent supplement containing *Chlorella* decreases arterial stiffness in healthy young men. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, v. 53, n. 3, p. 166-169, 2013. <https://doi.org/10.3164/jcbrn.13-51>

ROY, S. S.; PAL, R. Microalgae in aquaculture: a review with special references to nutritional value and fish dietetics. *Proceedings of the Zoological Society*, v. 68, p. 1-8, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12595-013-0089-9>

SELMI, C.; LEUNG, P. S. C.; FISCHER, L.; GERMAN, B.; YANG, C.-Y.; KENNY, T. P.; CYSEWSKI, G. R.; GERSHWIN, M. E. The effects of *Spirulina* on anemia and immune function in senior citizens. *Cellular & Molecular Immunology*, v. 8, n. 3, p. 248-254, 2011. <https://doi.org/10.1038/cmi.2010.76>

SILVA, A. C.; GUIMARÃES, T. T.; SILVA, J. M.; GOMES, D. V.; MENDONÇA, C. F.; PESQUEIRO, J. B.; PALMISANO, G.; MOREIRA, J. C.; PEREIRA, M.

D. Rabdomiólise em militares: uma missão de reconhecimento para prevenção. *Jornal de Investigação Médica*, v. 2, n. 1, 2021.

TADROS, M. G. Characterization of *Spirulina* biomass for cells' diet potential. NTRS - Nasa Technical Reports Server. Estados Unidos: National Aeronautics and Space Administration, 2013. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19890016190>. Acesso em: 30 ago. 2023.

THIELECKE, F.; BLANNIN, A. Omega-3 fatty acids for sport performance—are they equally beneficial for athletes and amateurs? a narrative review. *Nutrients*, v. 12, n. 12, p. 3712, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12123712>

WELLS, M. L.; POTIN, P.; CRAIGIE, J. S.; RAVEN, J. A.; MERCHANT, S. S.; HELLIWELL, K. E.; SMITH, A. G.; CAMIRE, M. E.; BRAWLEY, S. H. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, v. 29, p. 949-982, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>