

## EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POLISSACARÍDEOS SULFATADOS DE *Gracilaria sp.* PARA APLICAÇÃO BIOTECNOLÓGICA

**Beatriz Bagattini de Lima, Milena Yuki Rosental Sudo, Leandro José Raniero, Cristina Pacheco Soares.**

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, biabagattini@hotmail.com, milenarosental@gmail.com, lraniero@univap.br, cpsoares@univap.br.

### Resumo

As algas vermelhas do gênero *Gracilaria* são fontes relevantes de polissacarídeos sulfatados com aplicações biomédicas. Este estudo teve como objetivo avaliar a extração desses compostos e analisar a composição do resíduo sólido resultado da extração, por FTIR. Amostras de *Gracilaria sp.* foram coletadas, submetidas a maceração, extração aquosa e precipitação alcoólica. Os espectros de FTIR revelaram redução de proteínas ( $1650\text{--}1550\text{ cm}^{-1}$ ) e lipídios ( $2920\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ ), além da diminuição das bandas características dos polissacarídeos sulfatados ( $1250\text{--}1260\text{ cm}^{-1}$ ,  $1030\text{--}1070\text{ cm}^{-1}$  e  $800\text{--}850\text{ cm}^{-1}$ ), indicando que esse foram para o extrato purificado. A presença de grupos sulfato é fundamental para propriedades anticoagulantes, antivirais, antioxidantes e imunomoduladoras. Destaca-se ainda o potencial antitumoral desses biopolímeros, capazes de induzir apoptose, modular o sistema imune e inibir a angiogênese, configurando-se como promissores para terapias inovadoras contra o câncer.

**Palavras-chave:** Extração. Polissacarídeos sulfatados. Algas vermelhas. FTIR. Aplicações biomédicas.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Biomédica

### Introdução

As algas são organismos fotossintetizantes aquáticos e formam a base da cadeia alimentar no ecossistema aquático, assumindo a responsabilidade de aproximadamente 40 a 50% da fixação de carbono e produção de oxigênio do planeta, além disso são fundamentais para manter a sobrevivência e o equilíbrio do ambiente aquático, de modo a participarem da mineralização (decompondo a matéria orgânica e devolvendo os nutrientes para a água), atuam no ciclo de elementos químicos e na biorremediação, isto é, remoção de elementos químicos tóxicos para os organismos vivos (Barros, 2011).

De modo abrangente, as algas vermelhas (filo Rhodophyta) representam o grupo mais diverso de algas marinhas, funcionando como importantes produtores primários nos ecossistemas oceânicos. O gênero *Gracilaria* possui pigmentos acessórios, que proporcionam a essas espécies a coloração avermelhada, ademais os lipídios, vitaminas, proteínas, polissacarídeos e outros compostos presentes possuem efeitos benéficos a saúde, podendo atuar como antitumorais, antivirais, antifúngicos, antibacterianos e anti-inflamatórios, com potenciais aplicações nas indústrias nutracêutica e farmacêutica incluindo condições médicas, doenças neurodegenerativas, diabetes e disfunções imunológicas (Costa et al., 2017; Khandwal et al., 2025).

Os polissacarídeos extraídos de algas vermelhas (ágar, carragenanas e amido florideano) são materiais biocompatíveis, biodegradáveis e não tóxicos, características essenciais para aplicações biomédicas. Sua estrutura química rica em grupos sulfatados permite interações específicas com proteínas, células e íons, tornando-os excelentes candidatos para engenharia de tecidos, sistemas de liberação controlada de fármacos e desenvolvimento de biomateriais inteligentes, além de apresentarem propriedades antitumorais, incluindo indução de apoptose em células cancerígenas, modulação do ciclo celular e efeito antiangiogênico (Jin et al., 2023; Mamede et al., 2023; Mansour et al., 2022).

Além disso, os polissacarídeos sulfatados extraídos de *Gracilaria sp.* apresentam destaque no tratamento oncológico, uma vez que estudos demonstram sua capacidade de inibir a proliferação

celular, induzir apoptose e bloquear a angiogênese tumoral. Essas moléculas também exercem efeito imunomodulador, estimulando células de defesa como macrófagos e linfócitos, o que potencializa a eliminação de células neoplásicas. A presença dos grupos sulfato é particularmente relevante, pois permite interações com fatores de crescimento e receptores envolvidos na progressão tumoral, conferindo a esses compostos grande potencial como adjuvantes em estratégias terapêuticas contra diferentes tipos de câncer (Souza et al., 2012; Pereira, Gheda & Ribeiro-Claro, 2013).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela ONU, estabelecem metas globais que visam promover o equilíbrio entre crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental. A extração de polissacarídeos de algas vermelhas relaciona-se diretamente com diversos ODS, especialmente o ODS 14 (Vida na Água), pois envolve o uso sustentável dos recursos marinhos, e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao estimular processos de extração mais limpos e de baixo impacto ambiental (Sacramento et al., 2022; Torres et al., 2019).

Além disso, o desenvolvimento de produtos biotecnológicos a partir desses polissacarídeos contribui para o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e o ODS 3 (Saúde e Bem-estar), já que esses compostos têm aplicações em áreas como fármacos, alimentos e biomateriais (Qiu et al., 2022). Dessa forma, a pesquisa e o uso sustentável das algas vermelhas podem impulsionar a inovação, promover a economia azul e fortalecer práticas alinhadas à sustentabilidade global.

O presente trabalho tem como objetivo investigar métodos de extração de polissacarídeos de alga *Gracilaria sp.*, visando a obtenção de compostos bioativos de alto valor agregado para aplicações biotecnológicas na engenharia biomédica, analisando o resíduo sólido resultante da extração.

## Metodologia

Para o presente trabalho, baseou-se no trabalho de Barros (2011) como protocolo para os procedimentos descritos, com as modificações cabíveis.

### Coleta e secagem das amostras

A coleta das algas vermelhas da espécie *Gracilaria sp.* foi realizada na praia das Pitangueiras na cidade de São Sebastião - SP, nas áreas de costão rochoso. Foram transportadas para o Laboratório de Biologia Celular e Tecidual, sendo feita a lavagem de cada espécime com água destilada para retirada de sal e resíduos. Foram distribuídas em estufa à 25°C para secagem e descoloração, por 72 horas.

### Maceração das amostras

Depois de secas, as algas foram pesadas, resultando em 11 gramas de algas secas. Foram inicialmente maceradas secas com o uso de pistilo e almofariz. Posteriormente foi adicionado cerca de 4ml de nitrogênio líquido e macerado novamente, resultando em, aproximadamente 11g do pó dessa alga.

### Extração dos polissacarídeos

Foi adicionado 1,5% m/v de água destilada em 5g do pó obtido, utilizando agitador magnético e mantendo a uma temperatura de 100°C por uma hora e meia. Posteriormente, o composto foi filtrado diversas vezes para retirada de todo produto não solúvel. Na solução resultante foi adicionado etanol 95% (3:1 v/v) sob leve agitação e armazenado a 4°C por 24 horas.

Após as 24 horas, a solução foi filtrada à vácuo utilizando funil de Buchner e kitassato, logo em seguida foi submersa em acetona a 50°C por 24 horas até a completa precipitação da acetona. Posteriormente, a biomassa algal resultante foi redissolvida em água destilada e submetido às mesmas etapas de precipitação em etanol absoluto, filtração à vácuo e secagem em acetona sob aquecimento, para eliminação de quaisquer resíduos.

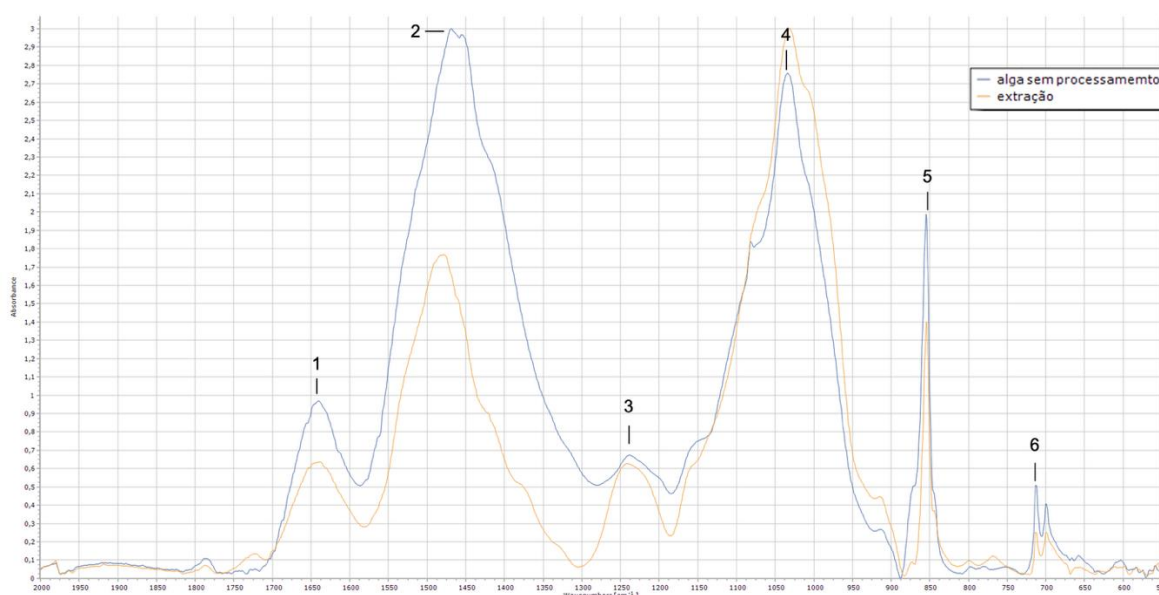
### Preparo da amostra para leitura no FTIR

Depois de 24 horas em secagem, a amostra foi maçerada para voltar ao estado de pó. Foram analisadas as amostras do pó anterior à extração e do pó após o processo de extração, por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).

## Resultados

A análise por FTIR foi utilizada para avaliar a eficiência do processo de extração ao comparar a biomassa da alga vermelha *Gracilaria sp.* sem processamento (linha azul) com o resíduo sólido resultante após a extração dos polissacarídeos (linha laranja).

Figura 1 - Espectro resultante da análise em FTIR



Fonte: Autora (2025)

A banda 1 (figura 1) é associada a vibrações de alongamento C=O de grupos amida I (proteínas) e/ou à deformação angular da água (H-O-H). A leve redução na intensidade desta banda após a extração sugere uma remoção parcial de proteínas solúveis e água livre ou ligada que estava associada à matriz de polissacarídeos.

Já a banda 2 é atribuída a deformações angulares de CH<sub>2</sub> e CH<sub>3</sub> (amida II, lipídios). A redução clara nesta região confirma a remoção de constituintes não-polissacarídicos, como proteínas residuais e possivelmente frações lipídicas, durante a purificação.

As bandas 3 e 4 são atribuídas a vibrações de deformação C-H e de alongamento C-O típicas de esqueletos de carboidratos (polissacarídeos). A redução forte na intensidade destas bandas no resíduo pós-extração é o indicativo mais direto e convincente de que os polissacarídeos foram eficientemente extraídos da biomassa algal.

As bandas 5 e 6 são características de vibrações de deformação C-O-S (854 cm<sup>-1</sup>) e C-S-O (712 cm<sup>-1</sup>) de grupos sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) presentes em polissacarídeos sulfatados, como o ágar e a carragenana. O desaparecimento quase completo destas bandas no resíduo pós-extração é uma evidência robusta de que os polissacarídeos sulfatados foram os principais compostos extraídos. Este é um resultado altamente significativo para aplicações biomédicas, pois a sulfatação confere aos polissacarídeos propriedades biológicas cruciais, como atividade anticoagulante, antiviral, antioxidante e de modulação do sistema imune.

A tabela 1 descreve as bandas em cada região do espectro, considerando a comparação entre a amostra sem processamento e após extração dos polissacarídeos, tendo em vista a presença dessas bandas em cada amostra, a intensidade, atribuição e grupo funcional que cada banda representa.

# A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Tabela 1 – Descrição das bandas observadas na figura 1

| Numeração | Região (cm <sup>-1</sup> ) | Presente em | Intensidade relativa | Atribuição                                  | Grupo funcional                              |
|-----------|----------------------------|-------------|----------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1         | 1640                       | Sem > Após  | Leve redução         | C=O (Amida I) ou H-O-H                      | Proteínas, água                              |
| 2         | 1469                       | Sem > Após  | Redução clara        | Amida II, CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> | Proteínas, lipídios                          |
| 3         | 1238                       | Sem > Após  | Redução forte        | S=O                                         | Ésteres sulfato (Polissacarídeos sulfatados) |
| 4         | 1034                       | Após > Sem  | Leve aumento         | C-O-C + C-O                                 | Esqueleto de polissacarídeos                 |
| 5         | ~854                       | Sem > Após  | Desaparecendo        | C-O-S                                       | Polissacarídeos                              |
| 6         | ~712                       | Sem > Após  | Desaparecendo        | C-S-O                                       | Polissacarídeos                              |

Fonte: Autora (2025)

## Discussão

Os resultados obtidos pela análise de FTIR demonstram que o protocolo de extração foi altamente eficaz na obtenção de polissacarídeos sulfatados de *Gracilaria sp.*, com implicações significativas para aplicações biomédicas antitumorais. A drástica redução das bandas em 1238 cm<sup>-1</sup> (S=O), 854 cm<sup>-1</sup> (C-O-S) e 712 cm<sup>-1</sup> (C-S-O) no resíduo pós-extração confirma a remoção seletiva de polissacarídeos sulfatados no resíduo sólido, os quais são reconhecidos por suas potentes atividades biológicas.

Adicionalmente, a remoção concomitante de impurezas proteicas, evidenciada pela redução das bandas de amida I (~1640 cm<sup>-1</sup>) e amida II (~1540 cm<sup>-1</sup>), sugere que o processo de extração resultou em um extrato com menor potencial antigenicidade, o que é vantajoso para aplicações terapêuticas, reduzindo riscos de respostas imunes indesejáveis (Pereira et al., 2022).

Portanto, a confirmação espectroscópica da extração eficiente desses biopolímeros sulfatados posiciona o extrato de *Gracilaria sp.* como um candidato promissor para investigações farmacológicas futuras, incluindo ensaios de citotoxicidade seletiva em linhagens tumorais, estudos de sinalização celular e desenvolvimento de sistemas de liberação controlada baseados em nanoformulações, visando ampliar o arsenal terapêutico contra o câncer.

## Conclusão

O protocolo de extração aplicado às algas vermelhas *Gracilaria sp.* mostrou-se eficiente na obtenção de polissacarídeos sulfatados com alto grau de pureza, analisando o resíduo sólido resultante da extração, conforme confirmado pelas análises de FTIR. A remoção de proteínas e lipídios, associada à preservação das estruturas sulfatadas, indica que o processo não comprometeu a integridade química dos compostos bioativos.

Esses resultados reforçam o potencial biomédico dos polissacarídeos extraídos, uma vez que tais moléculas apresentam reconhecidas propriedades anticoagulantes, antivirais, antioxidantes e imunomoduladoras. A manutenção dos grupos sulfato, em particular, amplia as possibilidades de aplicação em estratégias antitumorais, uma vez que esses compostos podem atuar na inibição da proliferação celular, indução de apoptose, modulação do sistema imune e bloqueio da angiogênese, representando uma alternativa promissora para o desenvolvimento de terapias complementares contra o câncer.

Portanto, os achados não apenas demonstram a viabilidade técnica da extração, mas também evidenciam a relevância dessa biomassa marinha como fonte sustentável de compostos com impacto direto na indústria farmacêutica e na engenharia biomédica.

## Referências

## A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

AGENA, R. et al. **Pro-Apoptotic Activity of Bioactive Compounds from Seaweeds: Promising Sources for Developing Novel Anticancer Drugs**. *Marine Drugs*, v. 21, n. 3, p. 182, 15 mar. 2023;

BARROS, F. C. N. **Caracterização estrutural e propriedades atumorais dos polissacarídeos extraídos da alga marinha vermelha *Gracilaria Caudata* J Agardh**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular. Fortaleza – CE. 2011;

BORG, Michael. **Red algae**. *Current biology: CB*, v. 34, n. 18, p. R841–R842, 2024;

COSTA, Elisabete da et al. **Valorization of lipids from *Gracilaria sp.* Through lipidomics and decoding of antiproliferative and anti-inflammatory activity**. *Marine drugs*, v. 15, n. 3, p. 62, 2017;

JIN, Y. et al. **Application of seaweed polysaccharide in bone tissue regeneration**. *Frontiers in Marine Science*, v. 10, 26 set. 2023;

MAMEDE, M. et al. **Seaweed Polysaccharides in Agriculture: A Next Step towards Sustainability**. *Applied Sciences*, v. 13, n. 11, p. 6594, 29 maio 2023;

MANSOUR, A. T. et al. **Do Red Seaweed Nanoparticles Enhance Bioremediation Capacity of Toxic Dyes from Aqueous Solution?** *Gels*, v. 8, n. 5, p. 310, 17 maio 2022;

PEREIRA, L. et al. **Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides from edible marine algae**. *Trends in Food Science & Technology*, v. 119, p. 53-65, 2022;

PEREIRA, L. et al. **Identification of selected seaweed polysaccharides (phycocolloids) by vibrational spectroscopy (FTIR-ATR and FT-Raman)**. *Food Hydrocolloids*, v. 23, n. 7, p. 1903–1909, out. 2009;

PEREIRA, L.; GHEDA, S. F.; RIBEIRO-CLARO, P. J. A. **Analysis by Vibrational Spectroscopy of Seaweed Polysaccharides with Potential Use in Food, Pharmaceutical, and Cosmetic Industries**. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, v. 2013, p. 1–7, 12 mar. 2013;

QIU, S.-M. et al. **Bioactive polysaccharides from red seaweed as potent food supplements: a systematic review of their extraction, purification, and biological activities**. *Carbohydrate Polymers*, v. 275, p. 118696, jan. 2022;

SACRAMENTO, M. M. A. et al. **Green approaches for extraction, chemical modification and processing of marine polysaccharides for biomedical applications**. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 10, 8 dez. 2022;

SHARMA, R.; MONDAL, A. S.; TRIVEDI, N. **Anticancer potential of algae-derived metabolites: recent updates and breakthroughs**. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 9, n. 1, p. 44, 26 maio 2023;

SOUZA, B. W. S. et al. **Chemical characterization and antioxidant activity of sulfated polysaccharide from the red seaweed *Gracilaria birdiae***. *Food Hydrocolloids*, v. 27, n. 2, p. 287–292, jun. 2012;

TORRES, M. D.; FLÓREZ-FERNÁNDEZ, N.; DOMÍNGUEZ, H. **Integral Utilization of Red Seaweed for Bioactive Production**. *Marine Drugs*, v. 17, n. 6, p. 314, 28 maio 2019;

MOREIRA, B. R. et al. **Algas vermelhas como fonte de compostos bioativos: estratégias de regulação, cultivo e aplicação**. 2023;

## A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

KHANDWAL, D. *et al.* **A comprehensive, analytical narrative review of polysaccharides from the red seaweed *Gracilaria*: Pharmaceutical applications and mechanistic insights for human health.** *Nutrients*, v. 17, n. 5, 2025.