



Surgical & Cosmetic Dermatology



www.surgicalcosmetic.org.br/

Estudo da atividade antimicrobiana e antioxidante de gel de limpeza facial antiacne, gel desinfetante para as mãos e sabonete feitos com ficocianina e ficoeritrina

Study of the antimicrobial and antioxidant activity of anti-acne face wash, hand sanitizer gel, and soap containing phycocyanin and phycoerythrin

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.5935/scd1984-8773.2025170396>

RESUMO

Introdução: O uso de ingredientes naturais em produtos de cuidados com a pele tem ganhado grande interesse devido aos efeitos adversos dos compostos sintéticos.

Objetivo: Essa preocupação crescente impulsionou a pesquisa sobre organismos fotossintéticos como fontes sustentáveis e ecológicas de ingredientes eficazes. Extratos naturais, especialmente os derivados de plantas, algas e cianobactérias, têm atraído grande interesse da indústria de cosméticos. As cianobactérias se destacam por suas baixas exigências culturais, crescimento rápido e capacidade de produzir diversos metabólitos bioativos, tornando-as um recurso sustentável e econômico.

Métodos: Este estudo avaliou os efeitos de pigmentos naturais — ficocianina e ficoeritrina — extraídos de *Spirulina platensis* e *Nostoc* sp. em três produtos cosméticos: sabonete, gel de limpeza facial antiacne e gel desinfetante para as mãos. Após o cultivo das cianobactérias, os pigmentos foram extraídos, purificados e revestidos com quitosana como estabilizante. Esses pigmentos revestidos foram então utilizados para formular os produtos cosméticos, que foram avaliados quanto à viscosidade, pH, estabilidade, atividade antioxidante e propriedades antibacterianas.

Resultados: Os resultados mostraram que a ficocianina e o conteúdo combinado de pigmentos foram maiores no gel antiacne e sabonete, enquanto a ficoeritrina e a concentração total de pigmentos foram maiores no gel desinfetante.

Conclusão: Este estudo demonstra o potencial de produzir produtos cosméticos estáveis e enriquecidos com pigmentos de cianobactérias, oferecendo alternativas sustentáveis e eficazes aos ingredientes sintéticos.

Palavras-chave: Cianobactérias; Micro-ondas; Microbiologia.

ABSTRACT

Introduction: The use of natural ingredients in skincare products has gained increasing attention due to the harmful effects and environmental risks associated with synthetic compounds.

Objective: This growing concern has driven research into photosynthetic organisms as sustainable and eco-friendly sources of effective ingredients. Natural extracts — particularly those derived from plants, algae, and cyanobacteria — have drawn significant interest in the cosmetics industry. Cyanobacteria stand out for their low cultivation requirements, rapid growth, and ability to produce a wide range of bioactive metabolites, making them a sustainable and cost-effective resource.

Methods: This study evaluated the effects of natural pigments — phycocyanin and phycoerythrin — extracted from *Spirulina platensis* and *Nostoc* sp. on three cosmetic products: soap, anti-acne face wash, and hand sanitizer gel. After culturing the cyanobacteria, the pigments were extracted, purified, and coated with chitosan as a stabilizer. These coated pigments were then used to formulate the cosmetic products, which were assessed for viscosity, pH, stability, antioxidant activity, and antibacterial properties.

Results: The results showed that phycocyanin and the combined pigment content were higher in the anti-acne face wash and soap, whereas phycoerythrin and the total pigment concentration were greater in the hand sanitizer gel.

Conclusion: This study demonstrates the potential of cyanobacterial pigments to produce stable, enriched cosmetic products, offering sustainable and effective alternatives to synthetic ingredients.

Keywords: Cyanobacteria; Microwaves; Microbiology.

Artigo Original

Autores:

Bahareh Nowruzi¹
Mahshid Alibabaei¹

¹ Islamic Azad University, divisão de ciência e pesquisa do departamento de biologia, SR.C., Teerã, Irã

Correspondência:

Bahareh Nowruzi
E-mail: bahare77biol@yahoo.com / bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

Fonte de financiamento: Nenhuma.
Conflito de interesses: Nenhum.

Data de Submissão: 19/08/2024
Decisão final: 16/01/2025

Como citar este artigo:

Nowruzi B, Alibabaei M. Estudo da atividade antimicrobiana e antioxidante de gel de limpeza facial antiacne, gel desinfetante para as mãos e sabonete feitos com ficocianina e ficoeritrina. Surg Cosmet Dermatol. 2025;17:e20250396.



INTRODUÇÃO

As cianobactérias, utilizadas pelos chineses há cerca de 2.000 anos para sobreviver durante períodos de desnutrição, têm sido utilizadas na biotecnologia desde a década de 1950.^{1,2} Elas melhoram o valor nutricional dos alimentos e rações animais devido à sua composição química, são essenciais na aquicultura e seus subprodutos têm aplicações na indústria cosmética.² A biomassa de microalgas é usada para produzir vários produtos úteis, incluindo suplementos alimentares ricos em proteínas para nutrição humana, aquicultura e fins nutracêuticos.³ Os cosméticos são essenciais na rotina diária, com aumento da demanda por produtos para cuidados com a pele motivado por preocupações com a saúde da pele e a aparência estética. Questões éticas com produtos de origem animal e possíveis danos causados por substâncias artificiais, como alergias e riscos ambientais, levaram a um aumento nos estudos sobre cosméticos derivados de organismos fotossintéticos.⁴ Uma das principais fontes naturais de metabólitos benéficos para cosméticos são as microalgas, que podem acelerar a cicatrização e reparação da pele e têm atividade antimanchas e anti-inflamatória.⁵⁻⁷ Devido ao seu alto teor de cálcio, betacaroteno, fósforo, ferro, biotina, ácido fólico, ácido pantotênico e vitamina B12, *Nostoc*, *Spirulina* (*Arthrospira*) e *Aphanizomenon* são as espécies de cianobactérias mais estudadas.⁸ Seus extratos e compostos bioativos estão sendo estudados para uso em cosméticos para proteger a pele e o cabelo.⁹ O betacaroteno de *Desmonostoc muscorum*, *Leptolyngbya foveolarum* e *Arthrospira platensis* pode regular a expressão gênica induzida por UV-A em queratinócitos humanos¹⁰ e modular alvos biológicos como NF- κ B, COX-2 e metaloproteinase-9 da matriz, devido à sua atividade anti-inflamatória.⁵

As ficobiliproteínas (FBPs) cianobacterianas, como a ficocianina (FC), têm propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antienvhecimento e são utilizadas em cosméticos.⁷⁻¹¹ As FBPs cianobacterianas, proteínas hidrofílicas encontradas em cianobactérias e certas algas vermelhas, têm possíveis aplicações comerciais como constituintes cosméticos naturais.¹² Esses metabólitos, semelhantes à bilirrubina, têm propriedades eficazes de extinção contra derivados de oxigênio, sugerindo que podem ser potenciais agentes antioxidantes. As FBPs consistem em três componentes: ficoeritrina (FE, pigmento vermelho), aloficocianina (pigmento verde-azulado) e FC (pigmento azul). Esses complexos de proteína-pigmento fluorescentes podem ser usados comercialmente.¹³

A FC, o ácido gama-linolênico, a ficocianobilina e a ficoeritrobilina são fitopigmentos encontrados na espirulina, conhecidos por suas propriedades antioxidantes, antimelanogênicas, antirugas e antienvhecimento.¹¹ Esses compostos são usados em cosméticos como batons, delineadores e sombras como corantes naturais. Além de seus benefícios dermatológicos, a espirulina também é conhecida por suas propriedades anti-inflamatórias, neuroprotetoras e hepatoprotetoras. Demonstrou-se redução dos níveis séricos de alanina aminotransferase, aspartato aminotransferase e malondialdeído.^{4,14}

Os extratos de cianobactérias também contêm peptídeos e proteínas que têm aplicações em produtos para os cabelos, incluindo loções, xampus, soluções para ondulação permanente e produtos para tingimento capilar.^{15,16} Estudos com extratos de *Chlorogloeopsis* sp. e *Spirulina* relataram benefícios como aumento do brilho, facilidade de pentear e melhora na restauração e hidratação dos cabelos. Por exemplo, a máscara condicionadora Blue Green Algae Hair Rescue da Aubrey Organics fortalece o cabelo de forma eficaz e previne a quebra e as pontas duplas.⁶

Extratos ativos de cianobactérias, como o extrato de espirulina Spiralin®, são atualmente utilizados na indústria cosmética para fins de proteção da pele. Esses extratos, encontrados em produtos como o Skinicer® Repair Cream e o Spirularin®, têm efeitos regenerativos nas células danificadas da pele e no colágeno, além de fornecer proteção contra a radiação UV. Além disso, a FBP c-ficocianina (C-FC), derivada de *Aphanizomenon flos-aquae*, é utilizada no NaturCyanin Bioactive® como uma alternativa natural aos corantes sintéticos, devido à atraente tonalidade rosa-púrpura que ela confere aos produtos finais.¹⁷

Há poucas pesquisas sobre a utilização de outros gêneros de cianobactérias para fins cosméticos, tornando essa uma área valiosa para investigações futuras. Este estudo avalia os efeitos antioxidantes e antimicrobianos de sabonete, gel de limpeza facial antiacne e gel desinfetante para as mãos formulados com FC e FE revestidas com quitosana.

MÉTODOS

Condições de cultura das espécies *Nostoc* sp. e *Spirulina* sp.

As cepas de cianobactérias *Spirulina platensis* e *Nostoc* sp., isoladas da coleção de culturas de cianobactérias do herbário ALBORZ na divisão de ciência e pesquisa da Islamic Azad University, em Teerã, foram cultivadas em meios Zarrouk e BG110 modificados, respectivamente. As culturas foram mantidas em câmaras de crescimento iluminadas ($300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a 28 ± 2 °C por 30 dias.^{18,19}

Extração e purificação de FC e FE de grau analítico

Foram realizadas a extração e a purificação de FC e FE de culturas em fase logarítmica com 14 dias.²⁰ As culturas de cianobactérias foram centrifugadas a 4.000 rpm para coleta do sedimento de biomassa. O sedimento foi suspenso novamente em uma solução tampão específica para FC e em uma solução tampão de fosfato de potássio para FE. O processo de extração foi repetido diariamente por quatro dias até que a biomassa celular ficasse roxa escura.

Extratos de pigmentos brutos foram obtidos por centrifugação a 5.000 rpm por 10 minutos. A purificação seguiu o método de Afreen e Fatma, que envolve a adição de sulfato de amônio sólido ao extrato bruto para atingir 65% de saturação.²¹ A mistura foi centrifugada a $4.500 \times g$ por 10 minutos, os sedimentos resultantes foram suspensos novamente em solução

tampão de ácido acético e acetato de sódio 50 mM e dialisados durante a noite. Os extratos dialisados foram então filtrados em um filtro de membrana de 0,45 µm.

O espectro de absorção dos pigmentos purificados foi determinado por varredura da amostra em comprimentos de onda variando de 300 a 750 nm com um espectrofotômetro Specord 200 (Analytik Jena, Alemanha). As concentrações de FC e FE foram calculadas a partir das medições da absorbância a 620 e 650 nm (para FC) e 565 nm (para FE), utilizando equações padrão. A pureza dos pigmentos foi avaliada em cada etapa calculando as razões de pureza: A620/A652 para a FC e A555/A280 para a FE (Figura 1).²²

- (1) $FC (\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}) = (\text{OD}_{620} - 0,70 \times \text{OD}_{650}) / 7,38$
- (2) $\text{AFC} (\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}) = (\text{OD}_{650} - 0,19 \times \text{OD}_{620}) / 5,65$
- (3) $\text{FE} (\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}) = \text{OD}_{565} - 2,8 \times [\text{FC}] - 1,34 \times [\text{AFC}]$

Estabilização e revestimento de pigmentos com quitosana

A FC e a FE foram encapsuladas combinando os pigmentos com uma solução de quitosana solúvel em água (QSA), utilizando o tripolifosfato de sódio como agente reticulante. A solução de QSA foi preparada pela dissolução de oligoquitosana em água destilada a uma concentração de 1 mg/mL. Essa mistura foi mantida a uma temperatura de 4 °C por 24 horas para garantir a hidratação completa. Em seguida, uma solução de 1 mL de FC + FE (em água deionizada) foi adicionada lentamente a uma solução de 1 mL de QSA (1 mg/mL) sob agitação constante a

uma temperatura de 25 °C. O tripolifosfato de sódio (2 mg/mL) foi então adicionado em alíquotas de 0,5 mL, seguido pelo ajuste do pH para 7 utilizando HCl a 1%. Finalmente, foram adicionados 0,5 mL de polietilenoglicol (PEG) para completar o processo de estabilização.²³

Formulação de sabonete, gel de limpeza facial antiacne e gel desinfetante para as mãos

Uma série de testes experimentais foram realizados para otimizar as formulações laboratoriais de sabonete, gel de limpeza facial antiacne e gel desinfetante para as mãos. As composições finais foram desenvolvidas com base nas combinações de ingredientes de melhor desempenho (Tabela 1). Foram incluídos quatro tratamentos controle no processo de formulação dos três produtos: (1) uma formulação sem pigmento, (2) uma formulação contendo apenas FC (1,5 g), (3) uma formulação contendo apenas FE (1,5 g) e (4) uma formulação contendo uma combinação de ambos os pigmentos (1,5 g no total) (Figura 2).²⁴⁻²⁶

Testes de avaliação do gel de limpeza facial antiacne Viscosidade

A viscosidade do gel de limpeza facial antiacne foi medida com um viscosímetro digital Brookfield (eixo no. 64), operando a 10 rpm e temperatura controlada de 25 °C. Uma quantidade predeterminada do produto foi transferida para um béquer e o eixo do viscosímetro foi imerso na amostra para realizar a medição. Os testes foram realizados em triplicata para garantir acurácia e reprodutibilidade.²⁷

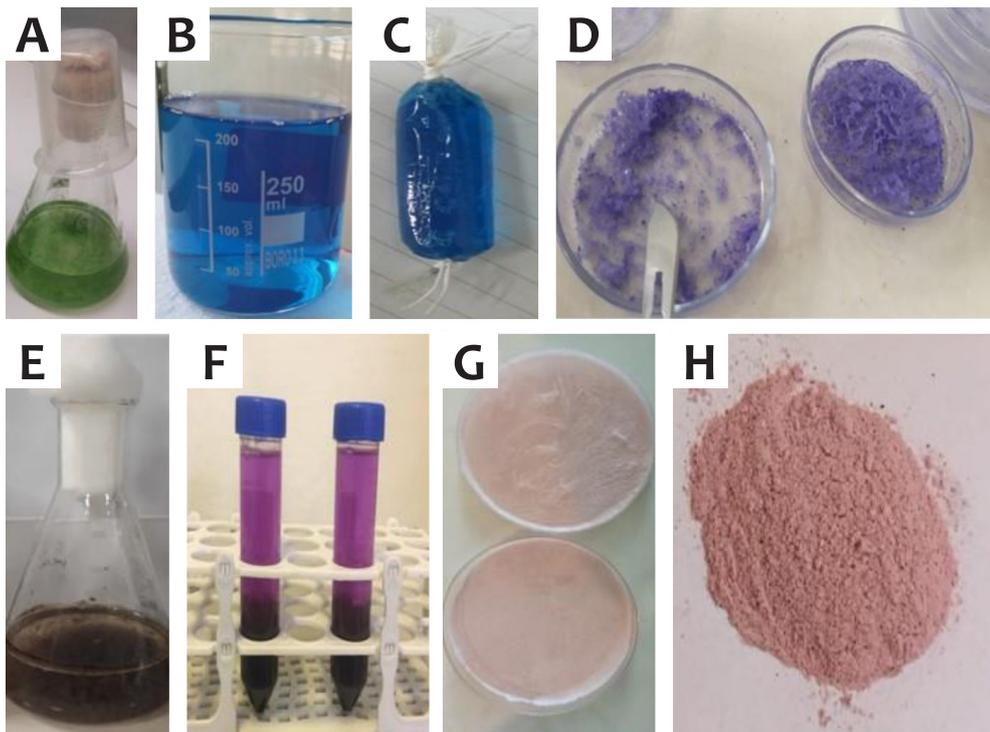


FIGURA 1: Diferentes estágios de separação e purificação dos pigmentos ficocianina (A a D) e ficoeritrina (E a H). **A** - cultura primária da cianobactéria *Spirulina*, **B** - preparação do extrato bruto **C** - diálise **D** - liofilização e preparação do pó de ficocianina **E** - cultura primária da cianobactéria *Nostoc* **F** - preparação do extrato bruto **G** - diálise **H** - liofilização e preparação do pó de ficoeritrina

TABELA 1: Composição do gel de limpeza facial antiacne, sabonete e gel desinfetante para as mãos

Produtos	Ingredientes	Quantidade
Gel de limpeza facial antiacne	Carbopol	0,1 g
	Água destilada	2,0 mL
	Metilparabeno	0,1 mg
	Propilenoglicol	0,1 mg
	TEA	0,1 g
Sabonete	Ficocianina e ficoeritrina	1,5 g
	Água destilada	2,0 mL
	Etanol	5,0 mL
	Óleo de canela	1,0 mL
	Óleo de citronela	1,0 mL
	Sabonete de glicerina derretida	9,0%
	Ácido esteárico	0,033 g
Gel desinfetante para as mãos	Ficocianina e ficoeritrina	1,5 g
	Carbopol 940	1,0 g
	EDTA	0,1 g
	Água destilada	2,0 mL
	Glicerina	5,0 g
	Perfume	0,3%
	Ficocianina e ficoeritrina	1,5 g

pH

O pH de uma solução aquosa a 1% da formulação foi determinado a uma temperatura constante de 25 °C utilizando um medidor de pH digital calibrado.²⁸

Avaliação física

Foi realizada uma inspeção visual para avaliar as características físicas da formulação, incluindo cor, aparência e consistência.²⁹

Estabilidade do gel

A estabilidade das formulações de gel foi avaliada pelo método do ciclo de congelamento-descongelamento. As amostras foram armazenadas a temperaturas de 4 °C, 25 °C, 37 °C e 40 °C por um período de 7 dias, e quaisquer alterações na aparência física ou textura foram registradas.³⁰

Homogeneidade do gel

A homogeneidade foi determinada por inspeção visual após a transferência do gel para um recipiente específico. Cada amostra foi examinada quanto à uniformidade na aparência, presença de grumos ou separação de fases e distribuição de densidade.³¹

Ensaio antimicrobiano do gel de limpeza facial antiacne

O método turbidimétrico foi empregado para avaliar a atividade antimicrobiana do gel de limpeza facial antiacne. Um meio ágar nutriente estéril foi preparado asépticamente e espalhado uniformemente em placas de Petri. No rosto de um voluntário, a área afetada pela acne foi primeiramente limpa com água destilada e deixada secar naturalmente. Utilizando um cotonete, água destilada foi aplicada em uma espinha rompida para coleta de conteúdo microbiano, que foi então transferido para o meio ágar para inoculação. Após incubação a 37 °C por 24 horas, seis bolas de algodão estéreis (1 cm de diâmetro) foram imersas por 5 minutos em várias formulações — incluindo um medicamento padrão, as formulações de teste e água destilada (controle). Um volume de 50 mL de caldo nutriente foi preparado e esterilizado; 5 mL desse caldo foi utilizado como padrão de referência em um espectrofotômetro UV. O caldo restante foi inoculado com a cultura microbiana da placa de Petri e dividido em seis tubos de ensaio estéreis, cada um contendo uma das amostras das bolas de algodão. Os tubos de ensaio foram incubados a 37 °C por 24 horas. Após a incubação, a absorbância de cada amostra foi medida a um comprimento de onda de 600 nm para avaliação da inibição do crescimento microbiano.³²

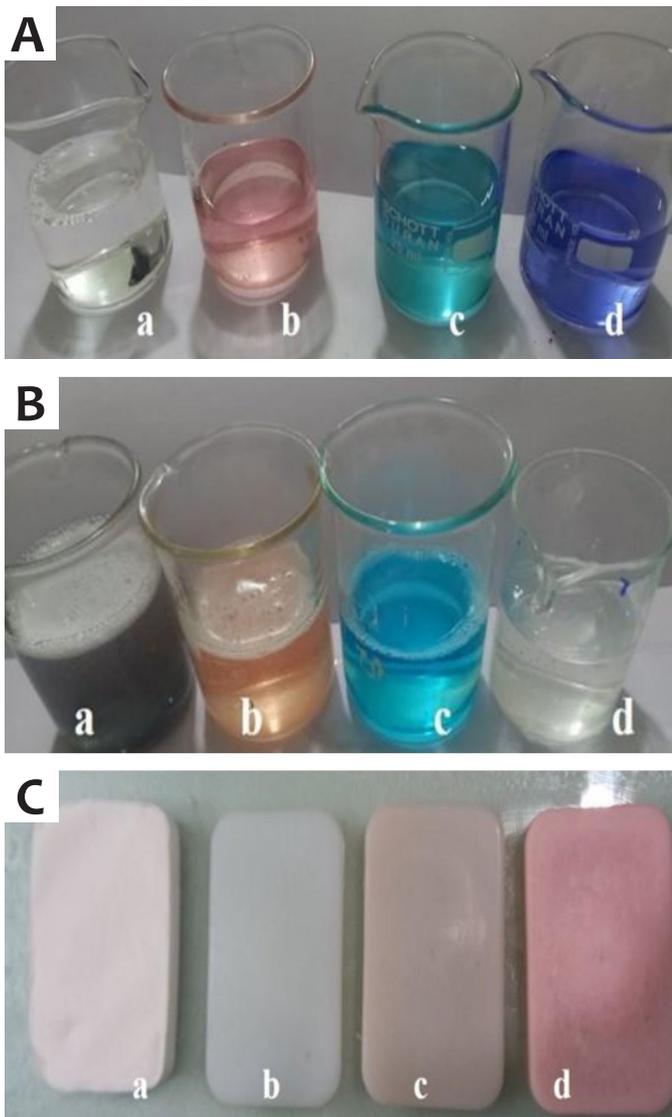


FIGURA 2: Preparação do gel antiacne **A** - (a): sem pigmento, (b): com ficoeritrina (c): total de ficoeritrina e ficocianina (d): com ficocianina; Gel para as mãos **B** - (a): total de ficoeritrina e ficocianina, (b): com ficoeritrina (c): com ficocianina (d): sem pigmento; Sabonete **C** - (a) sem pigmento, (b): com ficocianina (c): + ficoeritrina + ficocianina (d): com ficocianina

Testes de avaliação do sabonete

Teor de umidade

Uma amostra de 10 g de sabonete foi prontamente pesada e registrada como peso úmido. A amostra foi então seca a uma temperatura abaixo de 115° C utilizando um aparelho apropriado para secagem até atingir um peso constante. Após o resfriamento, a amostra foi pesada novamente e registrada como *peso seco*. O teor de umidade foi calculado utilizando a seguinte equação:

$$\%W = 100 \frac{A - B}{B} \times 100.$$

Onde:

%W = Porcentagem de umidade na amostra

A = Peso da amostra úmida (g)

B = Peso da amostra seca (g)³³

Viscosidade do sabonete

Uma porção de 40 mL da solução de sabonete foi transferida para um béquer de 100 mL. O eixo de um viscosímetro digital Brookfield foi imerso na solução e a viscosidade foi medida sob condições padrão.³⁴

Matéria gordurosa total

Uma amostra de 5 g de sabonete pesada com precisão foi transferida para um béquer de 250 mL. Foi adicionado um volume de 100 mL de água destilada aquecida para a dissolução completa do sabonete. Um volume de 40 mL de ácido nítrico 0,5 N foi então adicionado até que a solução atingisse um pH levemente ácido. A mistura foi aquecida em banho-maria para promover a separação dos ácidos graxos, que formaram uma camada distinta acima da solução. Após o resfriamento, os ácidos graxos foram isolados usando gelo.

Para extrair os ácidos graxos residuais, 50 mL de clorofórmio foi adicionado à solução restante e transferido para um funil de separação. A mistura foi agitada e, posteriormente, aguardada a separação em duas fases. A camada aquosa inferior foi descartada. Adicionou-se 50 mL de clorofórmio à solução restante para repetir o processo de extração. As camadas de clorofórmio contendo os ácidos graxos foram combinadas.

O conteúdo lipídico foi transferido para um prato de porcelana previamente pesado e deixado evaporar, e o resíduo restante foi pesado. A porcentagem de matéria gordurosa total foi calculada pela determinação da diferença de massa.³⁵

pH

Preparou-se uma solução de sabonete a 10% dissolvendo 1 g de sabonete em 10 mL de água destilada em um balão volumétrico. O pH foi determinado usando um medidor de pH digital previamente calibrado.³³

Espessura da espuma

Uma amostra de 0,5 g de sabonete foi dispersa em 25 mL de água destilada e transferida para um cilindro de medição. A solução foi diluída até alcançar um volume total de 50 mL. A mistura foi então agitada manualmente com 25 movimentos. A espessura da espuma formada acima da solução aquosa foi medida.³³

Retenção da espuma

Uma amostra de 25 mL de uma solução de sabonete a 1% foi colocada em um cilindro de medição graduado em 100 mL. O cilindro foi vedado manualmente e agitado 10 vezes. O volume da espuma foi registrado em intervalos de 1 minuto durante um período de 4 minutos.³³

Conteúdo insolúvel em álcool

Uma amostra de 5 g de sabonete foi dissolvida em 50 mL de etanol aquecido. A solução foi filtrada utilizando um filtro de papel previamente revestido com alcatrão, com um adicional de 20 mL de etanol aquecido. O filtro de papel e o resíduo retido foram secos a uma temperatura de 105 °C por 1 hora. Após a secagem, o peso do resíduo foi medido e a porcentagem de matéria insolúvel em álcool foi calculada usando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ de matéria insolúvel em álcool} = (\text{Peso do resíduo} \times 100) / \text{Peso da amostra}^{36}$$

Estabilidade em altas temperaturas

Amostras de sabonete líquido foram armazenadas em temperaturas de 25 °C, 37 °C, 40 °C e 50 °C por um período de 1 mês. A estabilidade foi monitorada durante esse período. As amostras que permaneceram homogêneas e livres de precipitação ou cristalização foram classificadas como estáveis, enquanto as amostras que desenvolveram cristais rugosos ou precipitação visível foram consideradas instáveis.³⁷

Percentual de alcalinidade livre

Aproximadamente 5 g da amostra de sabonete foi colocada em um frasco cônico e misturada com 50 mL de álcool neutralizado. A mistura foi submetida a refluxo em banho-maria por 30 minutos e então resfriada à temperatura ambiente. Em seguida, adicionou-se 1 mL de solução indicadora de fenolftaleína e titulou-se imediatamente a mistura com ácido clorídrico (HCl) 0,1 N até o desaparecimento da coloração rósea.³⁷

Determinação do índice de saponificação

O índice de saponificação representa o número de mg de hidróxido de potássio (KOH) necessário para a saponificação de 1 g de gordura ou óleo. Aproximadamente 2 g da amostra de sabonete foi colocada em um frasco cônico, seguido pela adição de uma solução de KOH 0,5 M. A mistura foi agitada continuamente e aquecida em banho-maria a aproximadamente 55 °C. Posteriormente, a temperatura foi aumentada em mais 100 °C e a ebulição foi mantida por aproximadamente 1 hora.

Foi realizada uma titulação utilizando fenolftaleína como indicador e HCl 0,5 M. O ponto final da titulação foi determinado pelo desaparecimento da coloração rósea.³⁸

O índice de saponificação foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Índice de saponificação} = (\text{Volume médio de KOH} \times 28,056) / \text{Peso do óleo (g)}$$

Ensaio antimicrobiano do sabonete

Foram realizados testes antimicrobianos para avaliar a atividade biológica das formulações de sabonete otimizadas. O método de difusão em ágar foi utilizado para avaliar sua eficácia contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa*. Placas de ágar nutriente estéreis foram inoculadas com os respectivos organismos de teste, e poços foram criados no ágar.

Cada formulação foi colocada em um poço individual e deixada em difusão por 2 horas. As placas foram então incubadas a uma temperatura de 37 °C por 24 horas. Após a incubação, as zonas de inibição (ZI) ao redor de cada poço foram medidas e comparadas para avaliação da eficácia antimicrobiana.³⁹

Testes de avaliação do gel desinfetante para as mãos

Análise física

As características físicas do gel desinfetante para as mãos foram avaliadas por meio de medições de pH e viscosidade. O pH foi determinado utilizando um medidor de pH digital previamente calibrado (Mettler Toledo, Filipinas). A viscosidade foi medida utilizando um viscosímetro digital Brookfield através da imersão do eixo em um volume prescrito de gel colocado em um recipiente de vidro.²⁶

Atividade antibacteriana por ensaio de difusão em poços de ágar

Cinco espécies bacterianas foram testadas quanto à eficácia antibacteriana do gel desinfetante para as mãos: duas bactérias gram-positivas (*S. aureus* e *Enterococcus faecalis*) e três bactérias gram-negativas (*E. coli*, *P. aeruginosa* e *Salmonella typhi*). As culturas bacterianas foram mantidas em ágar triptona de soja a uma temperatura de 40 °C.

A preparação do inóculo seguiu as diretrizes do *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI) (M02-A12).³⁹ Colônias isoladas de cada cepa bacteriana foram selecionadas a partir de placas de ágar recém-preparadas e incubadas por 18 a 24 horas. Essas colônias foram então transferidas para caldo de triptona de soja para a preparação de suspensões bacterianas. A turbidez de cada suspensão foi ajustada para atingir uma concentração de $1,0$ a $2,0 \times 10^8$ UFC/mL, verificada usando um espectrofotômetro UV-visível a um comprimento de onda de 600 nm.

Para o ensaio, 0,1 mL de cada suspensão bacteriana foi espalhado uniformemente em placas de ágar Mueller-Hinton com um espalhador estéril. Brocas estéreis foram utilizadas para criar poços com diâmetro de 6 mm. Em cada poço, foi adicionado 50 µL do gel formulado e dos géis de marca comercial. Controles positivos e negativos foram incluídos usando etanol 70% e dimetilsulfóxido (DMSO), respectivamente.

Após um período de difusão de 5 minutos à temperatura ambiente, as placas foram incubadas a 37 °C por 18 a 24 horas. Após a incubação, as ZI ao redor de cada poço foram medidas usando um contador automático de colônias configurado no modo de zona de inibição.⁴⁰

Determinação da concentração inibitória mínima (CIM)

A CIM das formulações de desinfetante para as mãos foi determinada usando o método de macrodiluição em tubos de ensaio estéreis, seguindo as diretrizes descritas no CLSI (M07-A08).⁴¹

O gel preparado em laboratório foi diluído em caldo

Mueller-Hinton usando uma proporção de 1:2, resultando em uma série de concentrações variando de 100% a 0,195%. O inóculo de teste foi preparado em três etapas: i) uma suspensão celular de cada cepa bacteriana foi preparada de acordo com o ensaio de difusão em poços de ágar, ajustada para uma concentração de $1 \text{ a } 2 \times 10^8$ UFC/mL; ii) a suspensão foi diluída na proporção de 1:150 para atingir uma densidade intermediária de 1×10^6 UFC/mL; e iii) esta suspensão foi diluída novamente na proporção de 1:2 para obtenção de uma concentração final do inóculo de 5×10^5 UFC/mL.

Cada tubo de ensaio na série de diluição recebeu 1 mL da formulação de desinfetante para as mãos e 1 mL do inóculo bacteriano, com o procedimento realizado dentro de 15 minutos após a preparação do inóculo. O conteúdo foi bem misturado. A diluição em série foi realizada através da transferência de 1 mL de um tubo para o outro, mantendo um fator de diluição de 1:2 em toda a série. O último tubo da série continha a menor concentração (0,195%).

O mesmo procedimento foi seguido para determinar a CIM nas diferentes concentrações de pigmento no desinfetante para as mãos. Todos os tubos foram incubados a 37 °C por um período de 16 a 20 horas. A CIM foi definida como a menor concentração da formulação na qual nenhum crescimento microbiano visível foi observado, conforme determinado sem o auxílio de instrumentação.⁴⁰

Determinação da concentração bactericida mínima (CBM)

A CBM foi determinada pela inoculação de 0,1 mL da suspensão bacteriana de cada tubo utilizado no ensaio de CIM em placas de ágar Mueller-Hinton usando a técnica de espalhamento em placa. Após a inoculação, as placas foram incubadas a 37 °C por 18 a 24 horas.

Após a incubação, a CBM foi identificada como a menor concentração de gel desinfetante para as mãos na qual não foi observado crescimento bacteriano. A ausência de formação de colônias na superfície do indicou atividade bactericida completa, confirmando que a formulação eliminou efetivamente as células bacterianas viáveis na ausência de antibióticos. Os valores de CBM foram registrados para todas as formulações de desinfetante para as mãos contendo pigmentos em relação às cinco cepas bacterianas testadas.⁴⁰

Teste de estabilidade do gel desinfetante para as mãos

Os testes de estabilidade foram realizados através do armazenamento das amostras em três temperaturas diferentes (25 °C, 37 °C e 40 °C) por um período de 1 mês. As amostras foram monitoradas rotineiramente quanto a alterações em características físicas, como cor, odor e separação de fases.²⁶

Ensaio de atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos extratos e produtos deriva-

dos de cepas de cianobactérias foi avaliada utilizando o ensaio de eliminação de radicais 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH). Esse método avalia a capacidade dos compostos antioxidantes de neutralizar os radicais livres de DPPH.

Para o ensaio, 1 mL de extrato de *Andrographis paniculata* foi misturado com 2 mL de uma solução de DPPH 0,1 mM preparada em metanol. A mistura de reação foi incubada no escuro por 30 minutos para permitir a ocorrência da atividade de eliminação de radicais livres. Após a incubação, uma alíquota da mistura foi transferida para uma cubeta e a absorvância foi medida a 517 nm com um espectrofotômetro UV-Visível.

Uma amostra de controle foi preparada misturando 2 mL de uma solução metanólica de DPPH com 1 mL de metanol. Todas as medições de absorvância foram realizadas em triplicata para cada amostra.

A porcentagem de atividade de eliminação de radicais livres (% de inibição) foi calculada utilizando a seguinte fórmula⁴²:

$$\% \text{ DPPH} = [(\text{controle}_A - \text{amostra}_A) / \text{controle}_A] \times 100$$

Onde:

controle_A = absorvância do controle

amostra_A = absorvância da amostra de teste

Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) no software estatístico IBM SPSS para Windows, versão 24 (IBM Corp., Armonk, N.Y., EUA). Foi utilizado um nível de confiança de 95% para determinar a significância estatística. Quando diferenças significativas foram identificadas pela ANOVA ($p \leq 0,05$), o teste post-hoc de Tukey foi utilizado para comparar as médias.

Cada tratamento foi testado em triplicata, e os resultados foram expressos em médias \pm erro padrão da média (EPM).⁴³

RESULTADOS

Determinação da concentração e pureza dos pigmentos revestidos

A análise espectrofotométrica revelou que a FE apresentou absorvância máxima a 562 nm, com um pico secundário a 617 nm. A FC apresentou sua absorvância máxima a 621,9 nm. Os valores de pureza calculados foram 0,845 para FE e 0,401 para FC (Figura 3).

Gel de limpeza facial antiacne contendo pigmentos de FE e FC

Viscosidade

A ANOVA de uma via seguida do teste post-hoc de Tukey não indicou diferenças estatisticamente significativas na viscosidade entre os diferentes tratamentos ao longo de um período de 30 dias. No entanto, observou-se a maior viscosidade em formulações contendo apenas FC e em pigmentos FC + FE em comparação ao controle.

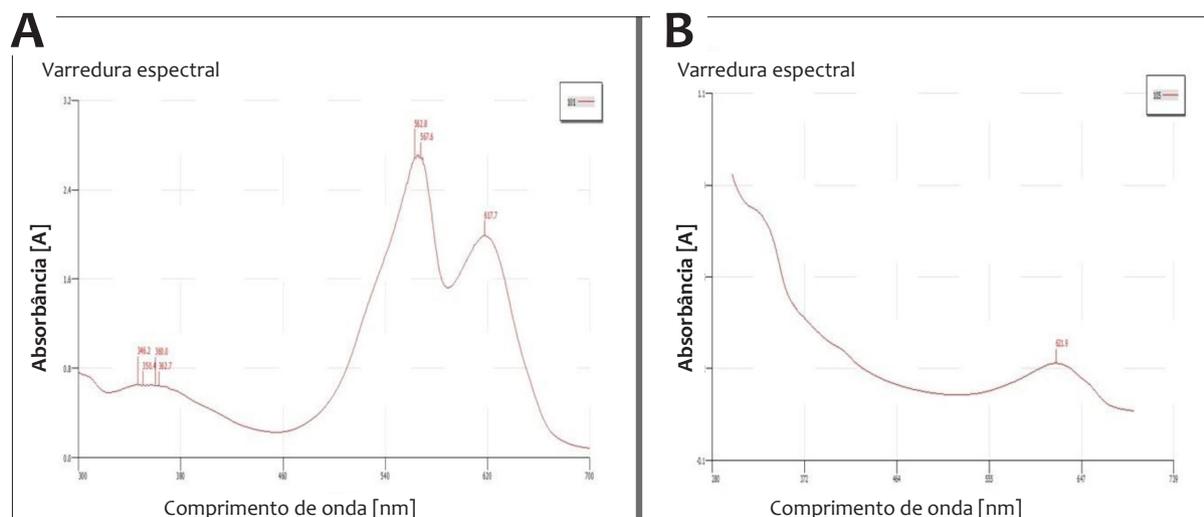


FIGURA 3: Resultados da espectrometria do pigmento extraído e purificado de **A - *Nostoc sp.*** e **B - *Spirulina sp.***

pH

A análise dos valores de pH utilizando a ANOVA de uma via o teste de Tukey não mostrou diferença significativa entre os tratamentos ao longo do período de observação de 30 dias. No entanto, o maior valor de pH foi observado na formulação controle.

Propriedades físicas

Os géis formulados com FE, FC e FE + FC apresentaram colorações distintas: rosa pálido, azul e verde, respectivamente, enquanto o gel de controle permaneceu incolor. Todas as formulações eram brilhantes, transparentes e, quando aplicadas na pele, proporcionavam uma sensação de leveza e refrescância (Figura 2).

Espumabilidade do gel de limpeza facial antiacne

A ANOVA de uma via seguida do teste de Tukey não revelou diferenças estatisticamente significativas na capacidade de formação de espuma entre as diferentes formulações durante o período de avaliação de 30 dias.

Estabilidade do gel de limpeza facial antiacne em diferentes temperaturas

A avaliação da estabilidade física — incluindo cor, odor e consistência — a uma temperatura de 4 °C ao longo de 30 dias mostrou que todas as formulações receberam uma pontuação máxima (5 de 5) para todos os parâmetros.

A 25 °C e 37 °C, não houve diferenças significativas na consistência entre as formulações contendo pigmentos e o controle. Entretanto, no dia 30 a 40 °C, a formulação controle apresentou uma redução significativa na consistência em comparação aos tratamentos contendo pigmentos.

A análise de retenção de cor a 25 °C demonstrou que as formulações contendo pigmentos mantiveram uma maior inten-

sidade de cor em comparação ao controle durante o período de 30 dias. A 37 °C e 40 °C, a partir do dia 20, foi observada uma diferença significativa na intensidade da cor entre as amostras controle e as tratadas com pigmento.

Em contraste, as avaliações de odor a temperaturas de 25 °C, 37 °C e 40 °C não revelaram diferenças significativas entre os tratamentos e o grupo controle ao longo do período de 30 dias.

Homogeneidade do gel antiacne

A inspeção visual das formulações do gel antiacne confirmou que todas as amostras permaneceram homogêneas durante todo o período de avaliação. Não foram observados sinais de separação de fases, sedimentação ou inconsistências de textura em nenhum dos dias de medição. De acordo com a ANOVA de uma via seguida do teste post-hoc de Tukey, não houve diferença significativa na atividade antimicrobiana entre o controle e o gel contendo FE até o dia 30. No entanto, as formulações contendo FC e FC + FE apresentaram atividade antimicrobiana significativamente aumentada nos dias 15 e 5, respectivamente. Entre todos os tratamentos, os géis formulados com os pigmentos combinados e aqueles contendo apenas FC apresentaram o maior percentual de inibição bacteriana.

Atividade antioxidante dos géis de limpeza facial antiacne (método de capacidade de redução férrica do plasma [FRAP])

A análise utilizando ANOVA de uma via e o teste de Tukey mostrou que a maior atividade antioxidante foi observada no dia 10 nos géis formulados com FC + FE.

Resultados dos testes de avaliação do sabonete

Teor de umidade

Os resultados da ANOVA de uma via e do teste de Tukey mostraram uma diminuição significativa no teor de umidade ao

longo do período de 30 dias. Além disso, nos dias 25 e 30, os sabonetes enriquecidos apenas com FE e com a combinação de ambos os pigmentos mantiveram um teor de umidade significativamente maior em comparação às outras formulações.

Teor de gordura total e pH

De acordo com a ANOVA de uma via e o teste de Tukey, o teor de gordura total e os níveis de pH apresentaram uma diminuição significativa ao longo do período de 30 dias. Entretanto, não houve diferença significativa no teor de gordura entre os sabonetes preparados com diferentes tipos de pigmentos.

Formação e espessura da espuma

A ANOVA de uma via e o teste de Tukey revelaram um declínio significativo na espessura da espuma diminuiu ao longo de 30 dias. Entretanto, não houve diferença significativa entre os dias 25 e 30. Além disso, não houve diferença estatisticamente significativa na espessura da espuma entre os sabonetes formulados com diferentes pigmentos nos dias 25 e 30.

Prazo de validade da espuma do sabonete

A ANOVA de uma via e o teste de Tukey mostraram que a espessura da espuma diminuiu significativamente durante o período de observação de 30 dias. No entanto, não houve diferença estatisticamente significativa na retenção de espuma entre os diferentes tratamentos contendo pigmentos e o controle em diferentes momentos.

Matéria insolúvel em álcool

A análise revelou um aumento significativo no conteúdo insolúvel em álcool em comparação ao controle. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre as diferentes formulações tratadas com pigmento.

Estabilidade

A ANOVA de uma via e o teste de Tukey não mostraram diferenças significativas na estabilidade da cor ou do odor entre as formulações de sabonete durante o período de 30 dias. Além disso, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos contendo pigmentos e o controle em termos de estabilidade da cor. A 25 °C ao longo de 30 dias, as formulações de sabonete estáveis não apresentaram alterações visíveis de cor ou separação de fases. Amostras homogêneas foram classificadas como estáveis, enquanto aquelas que apresentaram separação semelhante a um sedimento foram consideradas instáveis. Durante os 30 dias, todas as formulações de sabonete mantiveram a integridade estrutural e receberam pontuação máxima de 5 para estabilidade de forma.

Percentual de alcalinidade

Conforme os resultados da ANOVA de uma via e do teste de Tukey, não houve diferença estatisticamente significativa no percentual de alcalinidade entre os tratamentos em comparação ao controle.

Índice de saponificação

O índice de saponificação apresentou uma redução estatisticamente significativa em comparação ao grupo controle, o que indica uma redução no grau de saponificação nas formulações de sabonete tratadas com pigmento.

Propriedades antibacterianas do sabonete

As atividades antibacterianas das formulações de sabonete contra *E. coli*, *S. aureus* e *P. aeruginosa* foram avaliadas por um período de 30 dias usando ANOVA de uma via seguida pelo teste de Tukey. Os sabonetes foram preparados em quatro condições: controle (sem pigmento), FC, FE e FC + FE (Tabela 2).

Para *E. coli*, não foram observadas diferenças significativas na atividade antibacteriana ao longo dos 30 dias, indicando a estabilidade da eficácia entre os tratamentos. Entretanto, os sabonetes formulados apenas com FC e FC + FE exibiram consistentemente atividade antibacteriana significativamente maior em comparação aos tratamentos controle e somente com FE (Tabela 2a).

Em relação a *S. aureus*, não foram encontradas diferenças significativas entre os sabonetes controle e somente com FE durante o período de 30 dias. Os sabonetes contendo ambos os pigmentos apresentaram a maior atividade antibacteriana até o dia 20. Após o dia 20, no entanto, houve uma redução significativa na atividade (Tabela 2b).

Contra *P. aeruginosa*, não houve diferença significativa na atividade antibacteriana entre o controle e os tratamentos com pigmentos individuais durante o período de 30 dias. Os sabonetes contendo ambos os pigmentos demonstraram a maior atividade antibacteriana até o dia 10, após o qual sua eficácia diminuiu significativamente (Tabela 2c).

Atividade antioxidante do sabonete

A ANOVA de uma via e o teste de Tukey indicaram que a atividade antioxidante de todas as formulações de sabonete diminuiu significativamente ao longo do período de 30 dias. Apesar dessa redução, todos os tratamentos demonstraram atividade antioxidante significativamente maior em comparação ao controle. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes sabonetes tratados com pigmentos.

Contagem de bactérias psicrófilas

A presença de bactérias psicrófilas (que gostam de frio) foi avaliada ao longo de 30 dias. A ANOVA de uma via e o teste de Tukey mostraram que o crescimento bacteriano foi detectado no sabonete controle no dia 20, e no sabonete contendo FC no dia 25 e no sabonete contendo FE no dia 30. No entanto, nenhuma bactéria psicrófila foi detectada nos sabonetes formulados com ambos os pigmentos. O sabonete controle apresentou uma contagem de bactérias psicrófilas significativamente maior em comparação a todos os outros tratamentos.

TABELA 2: Resultados da análise de variância de uma via e do teste de Tukey avaliando as propriedades antibacterianas dos sabonetes contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* ao longo de 30 dias em quatro condições diferentes: controle, ficocianina (FC), ficoeritrina (FE) e FC + FE

(a) <i>Escherichia coli</i>							
Tratamento	Dia 1	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
Controle	7,33±0,333 (aA)	7,33±0,333 (aA)	7,00±0 (aA)	7,00±0 (Aa)	6,67±0,333 (aA)	6,67±0,333 (aA)	6,33±0,333 (aA)
FE	11,00±0(bB)	11,00±0 (bB)	10,67±0,333 (bB)	10,33±0,333 (bB)	10,00±0 (bB)	9,67±0,333 (bB)	9,33±0,333 (bB)
FC	12,67±0,333 (cC)	12,33±0,333 (cC)	12,33±0,333 (cC)	12,33±0,333 (cC)	12,00±0 (cC)	11,67±0,333 (cC)	11,33±0,333 (cC)
FC + FE	13,33±0,333 (cC)	13,33±0,333 (cC)	12,67±0,333 (cC)	12,67±0,333 (cC)	12,67±0,333 (cC)	12,00±0 (cC)	11,67±0,333 (cC)
PC	12,67±0,333 (cC)	12,33±0,333 (cC)	12,33±0,333 (cC)	12,33±0,333 (cC)	12,00±0 (cC)	11,67±0,333 (cC)	11,33±0,333 (cC)
PC + PE	13,33±0,333 (cC)	13,33±0,333 (cC)	12,67±0,333 (cC)	12,67±0,333 (cC)	12,67±0,333 (cC)	12,00±0 (cC)	11,67±0,333 (cC)
(b) <i>Staphylococcus aureus</i>							
Controle	8,00±0 (aA)	8,00±0 (aA)	7,67±0,333 (aA)	7,67±0,333 (aA)	7,33±0,333 (aA)	7,00±0 (aA)	6,67±0,333 (aA)
FE	12,33±0,333 (aB)	12,33±0,333 (aB)	12,33±0,333 (aB)	12,00±0 (aB)	12,00±0 (aB)	11,67±0,333 (aB)	11,67±0,333 (aB)
FC	13,00±0 (bcBC)	13,00±0 (bcBC)	12,67±0,333 (bB)	12,67±0,333 (bcBC)	12,33±0,33 (bcBC)	12,00±0 (bB)	12,00±0 (bB)
FC + FE	13,67±0,333 (cC)	13,67±0,333 (cC)	13,67±0,333 (cB)	13,33±0,333 (cC)	13,33±0,333 (cC)	12,67±0,333 (bB)	12,67±0,333 (bB)
PC + PE	13,67±0,333 (cC)	13,67±0,333 (cC)	13,67±0,333 (cB)	13,33±0,333 (cC)	13,33±0,333 (cC)	12,67±0,333 (bB)	12,67±0,333 (bB)
(c) <i>Pseudomonas aeruginosa</i>							
Controle	7,67±0,333 (aA)	7,67±0,333 (aA)	8,00±0 (aA)	7,67±0,333 (aA)	7,33±0,333 (aA)	7,33±0,333 (aA)	6,67±0,333 (aA)
FE	11,67±0,333 (bB)	11,67±0,333 (bB)	11,33±0,333 (bB)	11,00±0 (bB)	11,00±0 (bB)	11,00±0 (bB)	10,67±0,333 (Bb)
PC	12,67±0,333 (bcBC)	12,67±0,333 (bcBC)	12,67±0,333 (bB)	12,33±0,333 (cC)	12,00±0 (bcBC)	12,00±0 (bcBC)	12,00±0 (cC)
FC + FE	13,33±0,333 (bC)	13,33±0,333 (bC)	13,00±0,577 (bB)	12,67±0,333 (cC)	12,67±0,333 (cC)	12,67±0,333 (Cc)	12,33±0,333 (cC)

Letras minúsculas indicam diferenças significativas nas linhas; letras maiúsculas indicam diferenças significativas nas colunas (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

Colorimetria dos sabonetes

A análise colorimétrica foi realizada utilizando os valores de L^* , a^* , b^* e ΔE . A ANOVA de uma via e o teste de Tukey mostraram o seguinte:

- L^* (luminosidade): Os sabonetes contendo FE e a combinação de ambos os pigmentos apresentaram brilho significativamente maior em comparação às outras formulações.

- a^* (escala vermelho-verde): Não houve diferença significativa entre os tratamentos ou entre os sabonetes tratados e os de controle ao longo do tempo. No entanto, os sabonetes tratados com FE apresentaram consistentemente os maiores valores de a^* ao longo de todo o período de avaliação.
- b^* (escala amarelo-azul): Não houve diferença significativa ao longo do tempo entre os tratamentos ou em relação ao

TABELA 3: Resultados da análise de variância de uma via e do teste de Tukey para diâmetros de inibição do crescimento (em mm) de géis desinfetantes para as mãos preparados em quatro condições diferentes: controle, ficocianina (FC), ficoeritrina (FE) e FC + FE

Treatment	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Salmonella typhi</i>
Controle	7,00±0,00 (A)	6,33±0,33 (A)	6,00±0,00 (A)	5,33±0,33 (A)	5,00±0,58 (A)
FE	9,67±0,33 (B)	8,67±0,33 (B)	7,67±0,33 (B)	6,67±0,33 (B)	6,33±0,33 (B)
FC	8,67±0,33 (C)	8,33±0,33 (B)	7,33±0,33 (B)	5,67±0,33 (A)	5,33±0,33 (A)
FC + FE	10,67±0,33 (D)	8,67±0,33 (B)	8,00±0,58 (B)	7,33±0,33 (B)	7,00±0,58 (B)

Letras minúsculas indicam diferenças significativas nas linhas; letras maiúsculas indicam diferenças significativas nas colunas (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

TABELA 4: Resultados da análise de variância de uma via e do teste de Tukey para determinar a atividade antioxidante (medida pelo ensaio DPPH) dos géis desinfetantes para as mãos preparados em quatro condições diferentes: controle, ficocianina (FC), ficoeritrina (FE) e FC + FE, durante 30 dias

Tratamento	Dia 1	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
Controle	4,39±0,10 (Aa)	5,21±0,10 (Aab)	5,83±0,13 (Ab)	7,38±0,16 (Ac)	8,56±0,18 (Ad)	11,57±0,33 (Ae)	13,34±0,25 (Af)
FE	2,22±0,01 (Ba)	2,42±0,05 (Bb)	2,45±0,01 (Bbc)	2,47±0,01 (Bbc)	2,50±0,02 (Bcb)	2,53±0,02 (Bcb)	2,56±0,02 (Bc)
FC	3,45±0,08 (Ca)	3,83±0,06 (Cab)	4,23±0,09 (Cbc)	4,36±0,05 (Ccd)	4,75±0,09 (Cde)	4,85±0,12 (Ce)	5,18±0,14 (Ce)
FC + FE	2,39±0,04 (Ba)	2,44±0,02 (Bab)	2,47±0,02 (Bab)	2,48±0,02 (Bbac)	2,55±0,01 (Bcb)	2,59±0,04 (Bcb)	2,63±0,05 (cB)

Letras minúsculas indicam diferenças significativas dentro das linhas (entre os momentos de avaliação), e letras maiúsculas indicam diferenças significativas dentro das colunas (entre os tratamentos) de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

controle, embora os sabonetes contendo FE tenham apresentado os menores valores de b^* no dia 30, com uma diferença estatisticamente significativa.

- ΔE (diferença total de cor): Não houve diferença significativa em ΔE entre os tratamentos e o controle durante o período de observação. No entanto, os sabonetes contendo FC e FC + FE apresentaram os menores valores de ΔE , com diferença significativa no dia 30.

Resultados dos testes do gel desinfetante para as mãos pH

A ANOVA de uma via e o teste de Tukey mostraram que os níveis de pH diminuíram significativamente ao longo do período de 30 dias, particularmente nos géis controle. No dia 30, o menor valor de pH foi observado nos géis enriquecidos com FC.

Viscosidade

Conforme indicado pela ANOVA de uma via e pelo teste de Tukey, a viscosidade também apresentou uma diminuição significativa ao longo de 30 dias. No dia 30, os maiores valores de viscosidade foram observados nos géis formulados com FE e FC + FE. O gel controle apresentou a menor viscosidade.

Atividade antimicrobiana do gel desinfetante para as mãos

De acordo com a ANOVA de uma via e o teste de Tukey dos diâmetros das ZI, a maior atividade antimicrobiana contra *S. aureus* foi observada nos géis enriquecidos com FC + FE. Para *E. faecalis* e *E. coli*, não foi observada diferença estatisticamente significativa nas ZI entre os géis tratados com pigmentos. Entretanto, os géis contendo FE e FC + FE apresentaram a maior inibição contra *P. aeruginosa* e *S. typhi* (Tabela 3).

CIM do gel desinfetante para as mãos

A ANOVA de uma via e o teste de Tukey mostraram que a menor CIM contra *S. aureus* ocorreu em géis enriquecidos com FE e FC + FE. Para *E. faecalis*, *E. coli*, *P. aeruginosa* e *S. typhi*, os menores valores de CIM foram consistentemente registrados em géis contendo FC + FE.

CBM do gel desinfetante para as mãos

A análise dos níveis de CBM utilizando a ANOVA de uma via e o teste de Tukey mostrou que os menores valores de CBM contra *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. faecalis* e *S. typhi* foram encontrados nos géis enriquecidos com FE, FC ou FC + FE.

TABELA 5: Resultados da análise de variância de uma via e do teste de Tukey para determinar a porcentagem de letalidade dos géis desinfetantes para as mãos preparados em quatro condições diferentes: controle, ficocianina (FC), ficoeritrina (FE) e FC + FE, durante 30 dias

Tratamento	Dia 1	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
Controle	73,66±0,41 (aA)	71,89±0,40 (Aab)	70,09±0,43 (Abc)	68,40±0,43 (Acd)	66,23±0,44 (Ad)	63,60±0,44 (Ae)	62,34±0,75 (Ae)
FE	76,95±0,41 (BCa)	75,10±0,40 (Bab)	75,21±0,43 (Bab)	73,16±0,43 (Bbc)	71,93±0,44 (Bc)	71,49±0,44 (BCcd)	69,70±0,43 (BCd)
FC	76,54±0,00 (Ba)	75,10±0,40 (Bab)	74,36±0,74 (Bab)	73,16±0,43 (Bbc)	71,49±0,44 (Bcd)	70,61±0,44 (Bde)	68,83±0,00 (Be)
FC + FE	78,19±0,41 (ACa)	75,90±0,70 (Bb)	75,64±0,00 (Bb)	74,46±0,43 (Bbc)	73,25±0,44 (Bcd)	72,81±0,44 (ACcd)	71,86±0,43 (ACd)

Letras minúsculas indicam diferenças significativas dentro das linhas (ao longo dos momentos de avaliação), e letras maiúsculas indicam diferenças significativas dentro as colunas (ao longo dos tratamentos) com base no teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para *E. coli*, os menores valores de CBM foram observados em formulações contendo FC + FE.

Teste de estabilidade do gel desinfetante para as mãos

A estabilidade foi avaliada sob várias condições de armazenamento (4 °C, 25 °C, 40 °C) através do monitoramento do odor, da cor e da separação de fases. A ANOVA de uma via e o teste de Tukey indicaram que todas as amostras obtiveram uma pontuação 5 de 5 para os três parâmetros a 4 °C, 25 °C (até o dia 15) e 40 °C.

Embora tenha sido observada uma redução significativa na estabilidade do odor e da cor ao longo de 30 dias, não houve diferença significativa entre os géis controle e os enriquecidos com pigmentos. Em relação à separação de fases, diferenças significativas foram observadas nos dias 25 e 30 a temperaturas de 25 °C, 37 °C e 40 °C. No entanto, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre as amostras controle e tratadas. Todos os géis receberam uma pontuação igual a 5 para separação de fases e cor nos dias 10 e 15 a 40 °C, e nos dias 15 e 20 a 25 °C.

Atividade antioxidante do gel desinfetante para as mãos (método DPPH)

De acordo com a ANOVA de uma via e o teste de Tukey, a atividade antioxidante diminuiu significativamente ao longo do período de 30 dias. No último dia, a maior atividade antioxidante foi observada nos géis enriquecidos com FE e FC + FE (Tabela 4).

Capacidade de formação de espuma do gel desinfetante para as mãos

Conforme indicado pela ANOVA de uma via e pelo teste de Tukey, não houve diferença significativa na capacidade de formação de espuma entre os géis controle e os tratados.

Percentual de letalidade do gel desinfetante para as mãos

A taxa de letalidade do gel desinfetante diminuiu significativamente ao longo do período de 30 dias. As maiores diferenças foram observadas nos géis enriquecidos com FC + FE (Tabela 5).

DISCUSSÃO

O uso de ingredientes naturais para fins cosméticos remonta aos tempos antigos, muito antes da formalização da indústria cosmética.⁴⁴ Nos últimos anos, o surgimento dos cosméticos destacou o potencial das cianobactérias como uma fonte promissora de componentes bioativos devido à sua capacidade de sintetizar uma ampla variedade de compostos funcionais. As cianobactérias produzem inúmeras moléculas bioativas, incluindo ácidos graxos, polifenóis, peptídeos, polissacarídeos e pigmentos, muitos dos quais possuem aplicações relacionadas em saúde, nutrição e cuidados com a pele.⁴⁵ Entre eles, os pigmentos cianobacterianos — como clorofilas, carotenoides e FBP — se destacam por suas diversas propriedades físico-químicas e uma ampla variedade de cores, do azul ao vermelho. Esses pigmentos têm ganhado cada vez mais atenção por possibilidades de aplicação em alimentos, ração animal, nutracêuticos e cosméticos.⁴⁶ Em especial, os carotenoides e as FBPs possuem notáveis propriedades antioxidantes, hidratantes e estabilizadoras da pele, tornando-os altamente desejáveis em formulações cosméticas naturais.^{6,47}

Os carotenoides são comumente incorporados em protetores solares, produtos antienvhecimento e cosméticos enriquecidos com antioxidantes devido à sua excelente habilidade de eliminação de radicais livres. Nas cianobactérias, esses pigmentos ajudam a dissipar o excesso de energia gerada durante a fotossíntese, protegendo contra danos oxidativos no nível celular.⁴⁸ Esse mecanismo fotoprotetor tem paralelos claros na pele humana, que é similarmente suscetível ao estresse oxidativo causado pela radiação UV e pela exposição intensa à luz.⁴⁹

As FBP's estão associadas a um amplo espectro de bioatividades, incluindo efeitos anticancerígenos, antivirais, antimicrobianas e antioxidantes.⁵⁰ Essas propriedades as tornam altamente valiosas como aditivos funcionais em formulações cosméticas. Além das suas atividades biológicas, as FBP's atuam como corantes naturais, oferecendo uma alternativa mais segura aos corantes sintéticos, frequentemente associados a irritações cutâneas, reações alérgicas e potencial toxicidade. Sua natureza hidrofílica e solubilidade em água aumentam ainda mais sua adequação para uso em aplicações tópicas de cuidados com a pele, especialmente em produtos como séruns e loções.⁴⁶

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da FC e da FE revestidas com quitosana na atividade antioxidante e antimicrobiana de três produtos cosméticos: sabonete, gel de limpeza facial antiacne e gel desinfetante para as mãos. Os resultados dos testes do gel de limpeza facial antiacne revelaram que a composição do pigmento influenciou significativamente vários parâmetros. Os géis enriquecidos com FC e FC + FE apresentaram maior viscosidade, melhor atividade antioxidante e maior atividade antimicrobiana contra microrganismos causadores de acne em comparação às outras formulações. Em contrapartida, a formulação controle apresentou o maior valor de pH.

Para o gel desinfetante para as mãos, foi observada uma redução na viscosidade e no pH ao longo do tempo, com os menores valores registrados para a formulação controle e a enriquecida com FC, respectivamente. A atividade antioxidante nos géis desinfetantes para as mãos foi menor de modo geral, particularmente nos géis contendo apenas FE ou pigmentos combinados, sugerindo uma estabilidade ou eficácia reduzida dos pigmentos nesse tipo de formulação. Entretanto, todas as formulações de gel mantiveram a homogeneidade ao longo do período do estudo. Os géis de limpeza facial antiacne também apresentaram características físicas atraentes — permaneceram brilhantes e transparentes e, após a aplicação, proporcionaram uma sensação de leveza e refrescância. Entre as formulações testadas, a maior letalidade antimicrobiana no gel de limpeza facial antiacne foi observada nas formulações contendo FC e FC + FE.

No entanto, entre as formulações de gel desinfetante para as mãos, o FC + FE demonstrou o melhor desempenho de modo geral. Condições ideais de cultivo são essenciais para maximizar a produção de metabólitos secundários em cianobactérias extremófilas. Zucchi e Necchi⁵¹ estudaram o crescimento e o conteúdo de pigmentos de culturas de algas de água doce e identificaram a temperatura como o principal fator influenciador da síntese de pigmentos. Em contrapartida, as variações na irradiância, no fotoperíodo e suas interações apresentaram uma contribuição menos significativa para a variação do pigmento. Seus achados também indicaram que a FC era geralmente mais abundante do que a FE, e as FBP's eram mais concentradas do que a clorofila a.

Em contraste, Rizzo *et al.*,⁵² não observaram variação no conteúdo de proteína total ou na produção de proteína de ligação à penicilina em diferentes condições de luz. Ma *et al.*⁵³

demonstraram que o conteúdo de FBP atingiu o pico em intensidades de luz abaixo de $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Entretanto, os níveis de FC e aloficocianina aumentaram com a maior intensidade da luz, enquanto os níveis de FE diminuíram. Além disso, o estudo identificou que a exposição à luz azul e vermelha levou aos maiores aumentos no peso fresco, no conteúdo de proteína e nos níveis de FBP, que foram associados a maiores concentrações de matéria seca, FC e clorofila a.

A FE demonstrou aplicações versáteis nos setores farmacêutico, antioxidante e alimentício.⁵⁴⁻⁵⁵ Entretanto, sua estabilidade limitada permanece como uma barreira significativa ao seu uso em larga escala. A FE é altamente sensível a fatores como pH, concentração de sal, temperatura, atividade de água e exposição à luz, bem como a processos *in vitro*, incluindo extração, purificação, armazenamento e formulação. Essas condições frequentemente comprometem sua integridade estrutural e bioatividade. O tamanho e a composição proteica do complexo FE variam em resposta às condições ambientais. Por exemplo, a baixa intensidade de luz melhora a síntese de FE e resulta no alongamento das estruturas em forma de haste.

Diversas técnicas de purificação e caracterização foram desenvolvidas para isolar FE de diferentes cepas de cianobactérias e algas vermelhas.¹⁴

A análise de estabilidade da cor, do odor e da consistência tanto do gel de limpeza facial antiacne quanto do gel desinfetante para as mãos revelou que todas as formulações receberam consistentemente uma pontuação máxima de 5. No caso do gel de limpeza facial antiacne, as medidas de estabilidade da cor a 25 °C, bem como a 37 °C e 40 °C (a partir do dia 20), foram maiores no controle. No entanto, não foram observadas diferenças significativas no odor entre os tratamentos e o controle em todas as temperaturas ao longo do período de avaliação de 30 dias. Da mesma forma, todas as formulações do gel desinfetante para as mãos mantiveram estabilidade total — recebendo pontuações 5 de 5 para odor, cor e ausência de separação de fases a 4 °C, 25 °C (até o dia 15) e 40 °C. As formulações do sabonete também mantiveram a integridade física e a estabilidade da forma, com todas recebendo a pontuação máxima de 5.

A capacidade de formação de espuma permaneceu inalterada durante todo o período de avaliação tanto para o gel de limpeza facial antiacne quanto para o gel desinfetante para as mãos. Nos sabonetes, parâmetros como teor de gordura total, pH, formação e espessura da espuma, prazo de validade, alcalinidade e atividade antioxidante diminuíram gradualmente ao longo do tempo; no entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas. Embora o conteúdo insolúvel em álcool tenha aumentado ao longo dos 30 dias, essa alteração não foi estatisticamente significativa.

As cianobactérias possuem mecanismos de proteção inerentes contra a desidratação, o que as torna candidatas promissoras a agentes hidratantes em formulações cosméticas. Diversos estudos demonstraram sua capacidade de melhorar a hidratação e a elasticidade da pele.⁵⁶⁻⁵⁷ Por exemplo, a aplicação tópica de

microalgas demonstrou melhora da hidratação e elasticidade da pele.⁴ Pesquisas sobre a *Nostoc commune* revelaram ainda que as células contendo substâncias poliméricas extracelulares (extracellular polymeric substances, EPS) apresentaram tolerância significativamente maior à dessecação, destacando sua capacidade superior de retenção de água em comparação à ureia e à quitosana.^{58,59}

As EPS são biopolímeros de alto peso molecular compostos de grupos de sulfato hidratado, açúcares neutros (por exemplo, glicose, galactose, manose, frutose, ribose, xilose, arabinose, fucose e ramnose), componentes não carboidratos (por exemplo, fosfato, lactato, acetato e glicerol) e diversos ácidos urônicos (por exemplo, ácido glucurônico e galacturônico). A forte capacidade de ligação à água desses polissacarídeos é atribuída às interações entre as moléculas de água e os grupos hidrofílicos –OH. Notavelmente, a composição das EPS varia dependendo das condições ambientais e das espécies.⁶⁰ Por exemplo, *Chroococcidiopsis* modifica a composição de seu envelope celular sob estresse hídrico, produzindo compostos como materiais semelhantes à esporopolenina, proteínas, polissacarídeos betaligados, sulfatos ácidos e lipídios. Esses metabólitos contribuem para a redução da perda de água e melhora da regulação da hidratação.⁶¹

No presente estudo, tanto o teor de umidade quanto a taxa de saponificação diminuíram nos sabonetes ao longo do tempo, com a redução mais substancial na umidade observada nos sabonetes enriquecidos com FE e FC + FE nos dias 25 e 30. Além disso, a presença de bactérias psicrófilas foi maior no sabonete controle, ressaltando ainda mais o efeito protetor das formulações enriquecidas com pigmentos contra contaminação microbiana em condições de frio.

Com base nos resultados da colorimetria para as formulações de sabonete, os maiores níveis de brilho (L^*) foram observados em sabonetes contendo FE e FC + FE. Os maiores valores de a^* , que refletem a vermelhidão, foram encontrados em sabonetes enriquecidos apenas com FE. Em contraste, os menores valores de b^* (indicando amarelamento) foram associados a sabonetes tratados com FE, e os menores valores de diferença total de cor (ΔE) foram registrados em sabonetes contendo FC e FC + FE. Em relação às propriedades antibacterianas dos sabonetes, não foram

observadas diferenças significativas ao longo do período de 30 dias na inibição de *E. coli*, *S. aureus* (nos sabonetes controle e tratados com FE) e *P. aeruginosa* (nos sabonetes controle e enriquecidos com FE e FC). Para as formulações de gel desinfetante para as mãos, a maior ZI contra *S. aureus* ocorreu nos géis enriquecidos com FC + FE. Não foi observada nenhuma diferença significativa nos diâmetros da ZI para *E. faecalis* e *E. coli* entre os géis enriquecidos com pigmentos. Entretanto, as maiores taxas de inibição contra *P. aeruginosa* e *S. typhi* foram registradas em géis contendo FE e FC + FE. Os resultados de CIM para os géis desinfetantes para as mãos mostraram que as menores concentrações inibitórias foram alcançadas com FE e FC + FE contra *S. aureus*, e com FC + FE contra *E. faecalis*, *E. coli*, *P. aeruginosa* e *S. typhi*. Em relação a CBM, as menores concentrações bactericidas contra *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. faecalis* e *S. typhi* ocorreram nos géis enriquecidos com os pigmentos combinados (FC + FE), bem como com FE ou FC isoladamente. Para *E. coli*, os menores valores de CBM ocorreram em géis contendo FC + FE.

CONCLUSÃO

O foco crescente na saúde da pele, especialmente em relação à estética e ao envelhecimento, impulsionou a demanda por produtos cosméticos inovadores derivados de fontes naturais. Esses produtos oferecem a vantagem de efeitos adversos reduzidos e maior sustentabilidade ambiental. As cianobactérias são candidatas promissoras para as indústrias cosmética e cosmecêutica devido à sua capacidade natural de resistir à desidratação, à radiação e ao estresse oxidativo por meio da produção de compostos bioativos especializados. Este estudo demonstrou o potencial de pigmentos de cianobactérias, especialmente FC e FE, na formulação de três produtos cosméticos sustentáveis e de baixo custo: sabonete, gel de limpeza facial antiacne e gel desinfetante para as mãos. Essas formulações não apenas exibiram propriedades físico-químicas e antimicrobianas desejáveis, mas também se alinharam às estratégias biotecnológicas para aumento da eficiência e da compatibilidade ambiental na produção de cosméticos. Os achados suportam o uso de cianobactérias como um recurso valioso no desenvolvimento de produtos cosméticos de última geração, derivados de fontes naturais. ●

REFERÊNCIAS:

- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. *J Biosci Bioeng*. 2006;101(2):87-96.
- Sousa I, Gouveia L, Batista AP, Raymundo A, Bandarra NM. Microalgae in novel food products. In: Papadopoulos K. *Food Chemistry Research Developments*. New York: Nova Science Publishers; 2008. p. 75-112.
- Del Campo JA, García-González M, Guerrero MG. Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives. *Applied Microbiol Biotech*. 2007;74(6):1163-74.
- Mourelle ML, Gómez CP, Legido JL. The potential use of marine microalgae and cyanobacteria in cosmetics and thalassotherapy. *Cosmetics*. 2017;4(4):46.
- Berthon J-Y, Nachat-Kappes R, Bey M, Cadoret J-P, Renimel I, Filaire E. Marine algae as attractive source to skin care. *Free Radic Res*. 2017;51(6):555-67.
- Joshi S, Kumari R, Upasani VN. Applications of algae in cosmetics: an overview. *Int J Innov Res Sci Eng Technol*. 2018;7(2):1269.
- Singh R, Parihar P, Singh M, Bajguz A, Kumar J, Singh S, et al. Uncovering potential applications of cyanobacteria and algal metabolites in biology, agriculture and medicine: current status and future prospects. *Front Microbiol*. 2017;8:515.
- Singh S, Kate BN, Banerjee U. Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview. *Critic Rev Biotech*. 2005;25(3):73-95.
- Mourelle M, Gómez CP, Legido J, Legido N. [Innovation in the use of microalgae in thermalism]. *Bol Soc Esp Hidrol Méd*. 2016;31(1):53-64. Spanish.
- Lisby S, Gniadecki R, Wulf HC. UV-induced DNA damage in human keratinocytes: quantitation and correlation with long-term survival. *Exp Dermatol*. 2005;14(5):349-55.
- Sathasivam R, Radhakrishnan R, Hashem A, Allah EFA. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi J Biol Sci*. 2019;26(4):709-22.
- Sonani RR, Rastogi RP, Patel R, Madamwar D. Recent advances in production, purification and applications of phycobiliproteins. *World J Biol Chem*. 2016;7(1):100.
- Basheva D, Moten D, Stoyanov P, Belkinova D, Mladenov R, Teneva I. Content of phycoerythrin, phycocyanin, allophycocyanin and phycoerythrocyanin in some cyanobacterial strains: applications. *Eng Life Sci*. 2018;18(11):861-6.
- Nowruzi B, Sarvari G, Blanco S. The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites. *Algal Res*. 2020;49:101959.
- Gonzalez-Ramirez E, Andujar-Sanchez M, Ortiz-Salmeron E, Bacarizo J, Cuadri C, Mazzuca-Sobczuk T, et al. Thermal and pH stability of the B-phycoerythrin from the red algae *Porphyridium cruentum*. *Food Biophysics*. 2014;9:184-92.
- Ariede MB, Candido TM, Jacome ALM, Velasco MVR, Carvalho JCM, Baby AR. Cosmetic attributes of algae: a review. *Algal Research*. 2017;25:483-7.
- Morone J, Lopes G, Preto M, Vasconcelos V, Martins R. Exploitation of filamentous and picoplanktonic cyanobacteria for cosmetic applications: potential to improve skin structure and preserve dermal matrix components. *Marine Drugs*. 2020;18(9):486.
- Liu L, Jokela J, Wahlsten M, Nowruzi B, Permi P, Zhang YZ, et al. Nostocins, trypsin inhibitors isolated from the terrestrial cyanobacterium *Nostoc* sp. strain FSN. *J Nat Prod*. 2014;77(8):1784-90.
- Bhattacharya S, Shivaprakash M. Evaluation of three *Spirulina* species grown under similar conditions for their growth and biochemicals. *J Sci Food Agri*. 2005;85(2):333-6.
- Nowruzi B, Anvar SAA, Ahari H. Extraction, purification and evaluation of antimicrobial and antioxidant properties of phycoerythrin from terrestrial cyanobacterium *Nostoc* sp. FA1. *J Microbial World*. 2020;13(2):138-53.
- Afreen S, Fatma T. Laccase production and simultaneous decolorization of synthetic dyes by cyanobacteria. *Int J Innovative Res Sci Eng Technol*. 2013;2:3563-8.
- Mishra S, Mishra D. A novel remote sensing algorithm to quantify phycocyanin in cyanobacterial algal blooms. *Environ Res Letters*. 2014;9(11):114003.
- Suzery M, Majid D, Setyawan D, Sutanto H, editors. Improvement of stability and antioxidant activities by using phycocyanin-chitosan encapsulation technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; 2017.
- Kusuma SAF, Abdassah M, Valas BE. Formulation and evaluation of anti-acne gel containing citrus aurantifolia fruit juice using carbopol as gelling agent. *Int J App Pharm*. 2018;10(4):147-52.
- Afsar Z, Khanam S. Formulation and evaluation of poly herbal soap and hand sanitizer. *Int Res J Pharm*. 2016;7(8):54-7.
- Acharya SB, Ghosh S, Yadav G, Sharma K, Ghosh S, Joshi S. Formulation, evaluation and antibacterial efficiency of water-based herbal hand sanitizer gel. *Biorxiv*. 2018:373928.
- Ingle A, Meshram M. Formulation and evaluation of Ayurvedic face wash. *Int J Phytopharm*. 2018;8(4):26-30.
- Rasheed A, Reddy AKG, Mohanalakshmi S, Kumar CKA. Formulation and comparative evaluation of poly herbal anti-acne face wash gels. *Pharm Biol*. 2011;49(8):771-4.
- Shah MA, Natarajan SB, Gousuddin M. Formulation, evaluation, and antibacterial efficiency of herbal hand wash Gel. *Int J Pharm Sci*. 2014;25(2):120-4.
- Kumar L, Verma R. In vitro evaluation of topical gel prepared using natural polymer. *Int J Drug Deliv*. 2010;2(1).
- Haneefa MK, Shilpa N, Junise V, Chandran A. Formulation and evaluation of medicated soap of *Ixora coccinea* root extract for dermal infections. *J Pharm Sci Res*. 2019;11(8):3094-7.
- Kamble M, Selwate T, Dhabarde D, Ingole A, Baheti J. Formulation and evaluation of anti-acne face wash gel using guava seed extract. *J Drug Deliv Therap*. 2019;9(3):5-7.
- Sharma SK, Singh S. Antimicrobial herbal soap formulation. *J Pharma Res Int*. 2020;32(36):82-8.
- Sindhu RK, Chitkara M, Kaur G, Kaur A, Arora S, Sandhu I. Formulation development and antimicrobial evaluation of polyherbal soap. *Plant Arch*. 2019;19(2):1342-6.
- Amrutkar SV, Patil AR, Ishikar SK. A review on herbal soap. *Res J Topic Cosmet Sci*. 2022;13(1):49-54.
- Hassan M, Kubmarawa D, Modibbo U, NAT. Production of medicated soap from *Butyrospermum Paradoxum* plant. *J Physical Sci Innov*. 2010;2:90-6.
- Sinha SK, Poudyal S, Khatiwada S, Ahmed S, Chatterjee A, Mohanty J, et al. Formulation and evaluation of herbal handwash using neem and reetha extract. *J Pharm Phytochem*. 2022;11(5):207-10.
- Hayati S, Rosyida V, Darsih C, Nisa K, Indrianingsih A, Apriyana W, et al. Physicochemical properties, antimicrobial and antioxidant activity of ganoderma transparent soap. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; 2020.
- Ali MN, Guesmi N, Ali S, Abofard M, Gaber M, Al-Dosari FBA, et al. Evaluation of laboratory formulated hand sanitizing gel in riyadh municipality central area labs. *Saudi J Med Pharm Sci*. 2020;6(8):548-58.
- Sari-Chmayssem N, Taha S, Mawlawi H, Guégan J-P, Jeftić J, Benvegna T. Extracted and depolymerized alginates from brown algae *Sargassum vulgare* of lebanese origin: chemical, rheological and antioxidant properties. *J App Phycol*. 2016;28:1915-29.
- MA W. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard. *Clsi (Nccls)*. 2006;26:M7-A.
- Vieira MV, Pastrana LM, Fuciños P. Microalgae encapsulation systems for food, pharmaceutical and cosmetics applications. *Marine Drugs*. 2020;18(12):644.
- Nowruzi B, Khavari-Nejad R, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadshari T. Optimization of cultivation conditions to maximize extracellular investments of two *Nostoc* strains. *Arch Hydrobiol Suppl Algal Stud*. 2013;142(1):63-76.

44. Scott DA. A review of ancient Egyptian pigments and cosmetics. *Studies Conserv.* 2016;61(4):185-202.
45. Guedes AC, Amaro HM, Malcata FX. Microalgae as sources of high added-value compounds — a brief review of recent work. *Biotech Progress.* 2011;27(3):597-613.
46. Pagels F, Guedes AC, Vicente AA, Vasconcelos V. Cyanobacteria-based bioprocess for cosmetic products — cyanobium sp. as a novel source of bioactive pigments. *Phycology.* 2023;3(1):47-64.
47. Morone J, Alfeus A, Vasconcelos V, Martins R. Revealing the potential of cyanobacteria in cosmetics and cosmeceuticals — a new bioactive approach. *Algal Res.* 2019;41:101541.
48. Anunciato TP, Rocha Filho PA. Carotenoids and polyphenols in nutraceuticals, nutraceuticals, and cosmeceuticals. *J Cosmet Dermatol.* 2012;11(1):51-4.
49. Pagels F, Vasconcelos V, Guedes AC. Carotenoids from cyanobacteria: biotechnological potential and optimization strategies. *Biomolecules.* 2021;11(5):735.
50. Pagels F, Guedes AC, Amaro HM, Kijjoo A, Vasconcelos V. Phycobiliproteins from cyanobacteria: chemistry and biotechnological applications. *Biotech Adv.* 2019;37(3):422-43.
51. Zucchi MR, Necchi Jr O. Effects of temperature, irradiance and photoperiod on growth and pigment content in some freshwater red algae in culture. *Phycol Res.* 2001;49(2):103-14.
52. Rizzo RF, Santos BNCd Castro GFPS, Passos TS, Nascimento MA, Guerra HD, et al. Production of phycobiliproteins by *Arthrospira platensis* under different light conditions for application in food products. *Food Sci Technol.* 2015;35:247-52.
53. Ma R, Lu F, Bi Y, Hu Z. Effects of light intensity and quality on phycobiliprotein accumulation in the cyanobacterium *Nostoc sphaeroides* Kützing. *Biotechnol Lett.* 2015;37:1663-9.
54. Mishra SK, Shrivastav A, Pancha I, Jain D, Mishra S. Effect of preservatives for food grade C-Phycocerythrin, isolated from marine cyanobacteria *Pseudanabaena* sp. *I J Biol Macromol.* 2010;47(5):597-602.
55. Soni B, Visavadiya NP, Dalwadi N, Madamwar D, Winder C, Khalil C. Purified c-phycocerythrin: safety studies in rats and protective role against permanganate-mediated fibroblast-DNA damage. *J App Toxicol.* 2010;30(6):542-50.
56. Warren-Rhodes KA, McKay CP, Boyle LN, Wing MR, Kiekeleybusch EM, Cowan DA, et al. Physical ecology of hypolithic communities in the central namib desert: the role of fog, rain, rock habitat, and light. *J Geophys Res Biogeosci.* 2013;118(4):1451-60.
57. Smith HD, Baqué M, Duncan AG, Lloyd CR, McKay CP, Billi D. Comparative analysis of cyanobacteria inhabiting rocks with different light transmittance in the Mojave desert: a Mars terrestrial analogue. *I J Astrobiol.* 2014;13(3):271-7.
58. Li H, Xu J, Liu Y, Ai S, Qin F, Li Z, et al. Antioxidant and moisture-retention activities of the polysaccharide from *Nostoc commune*. *Carbohydrate Polymers.* 2011;83(4):1821-7.
59. Tamaru Y, Takani Y, Yoshida T, Sakamoto T. Crucial role of extracellular polysaccharides in desiccation and freezing tolerance in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *App Environ Microbiol.* 2005;71(11):7327-33.
60. Nowruzi B, Khavari-Nejad R, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, NejadSattari T. Optimization of cultivation conditions to maximize extracellular investments of two *Nostoc* strains. *Algologic Stud.* 2013;142(1):63-76.
61. Caiola MG, Billi D, Friedmann EI. Effect of desiccation on envelopes of the cyanobacterium *Chroococcidiopsis* sp. (*Chroococcales*). *Eur J Phycol.* 1996;31(1):97-105.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES:

Bahareh Nowruzi  ORCID 0000-0001-6656-777X

Análise estatística, aprovação da versão final do manuscrito, concepção e planejamento do estudo, elaboração e redação do manuscrito, participação efetiva na orientação da pesquisa, participação intelectual em conduta propedêutica e/ou terapêutica de casos estudados, revisão crítica da literatura, revisão crítica do manuscrito.

Mahshid Alibabaei  ORCID 0009-0000-3743-226X

Análise estatística, aprovação da versão final do manuscrito, concepção e planejamento do estudo, elaboração e redação do manuscrito, participação efetiva na orientação da pesquisa, participação intelectual em conduta propedêutica e/ou terapêutica de casos estudados, revisão crítica da literatura, revisão crítica do manuscrito.