

REAPROVEITAMENTO DE ÓXIDO DE ZINCO, DIÓXIDO DE TITÂNIO E ADIÇÃO DE CAROTENOIDES: UMA ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DE FOTOPROTETORES

Alexander Jason Dutra^a, Júlia Rafaela Hanauer^a, Kauana Dalsóquio Stinghen^a, Leticia Floriani Rodrigues^a,
Nelson Da Silva Rocha Junior^a, Sara Isabelle Bruch^a, Patricia Akemi Tuzimoto^{b*}

*patricia.tuzimoto@ifsc.edu.br

^a- discente do Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, Campus Centro.

^b- docente do Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, Campus Centro.

RESUMO

Em razão dos altos índices de descarte de pomadas e fotoprotetores e dos impactos causados por esse descarte inadequado, a presente pesquisa visou reaproveitar os resíduos de óxido de zinco e dióxido de titânio, com foco na reutilização desses óxidos que foram extraídos de resíduos de pomadas para assaduras e protetores solares, vencidos ou não, através do método de calcinação para o desenvolvimento de fotoprotetores. Além da combinação dos óxidos com carotenoides obtidos de cenouras, extraídos com éter de petróleo. Assim, as extrações e as emulsões foram feitas e, para comprovar a eficácia do produto final, foram realizados testes de determinação do pH, espectrofotometria UV-Vis para estimativa do Fator de Proteção Solar (FPS) e um teste qualitativo de proteção UVA em epiderme suína. As formulações desenvolvidas apresentaram pH entre 5 e 7, adequado para a pele. As análises de FPS por espectrofotometria UV-Vis para o β -caroteno extraído com a emulsão não atingiram o FPS mínimo de 6 para classificação como fotoprotetor, mas apesar disso, o teste qualitativo em epiderme suína demonstrou eficácia na proteção contra radiação.

Palavras-chaves: Fotoprotetor; Extração de β -caroteno; Reaproveitamento de Óxidos; FPS.

ABSTRACT

Due to the high rates of disposal of ointments and sunscreens, and the environmental impacts caused by improper disposal, the present research aimed to reuse zinc oxide and titanium dioxide residues, focusing on the reutilization of these oxides extracted from waste diaper rash ointments and sunscreens, whether expired or not, through the calcination method for the development of new sunscreens. In addition, the oxides were combined with carotenoids obtained from carrots, extracted using petroleum ether. Thus, the extractions and emulsions were carried out, and to verify the effectiveness of the final product, pH determination tests, UV-Vis spectrophotometry for estimating the Sun Protection Factor (SPF), and a qualitative UVA protection test on pig epidermis were performed. The developed formulations showed a pH between 5 and 7, suitable for the skin. The SPF analyses by UV-Vis spectrophotometry for the extracted β -carotene with the emulsion did not reach the minimum SPF of 6 for classification as a sunscreen, but despite this, the qualitative test on swine epidermis demonstrated efficacy in radiation protection.

Keywords: Photoprotectors; β -carotene extraction; Oxide reuse; SPF.

1 INTRODUÇÃO

A radiação solar é composta por diferentes tipos de raios, sendo os raios ultravioleta (UVA, UVB e UVC) os principais responsáveis pelos danos à pele. A exposição sem proteção a essa radiação pode causar queimaduras, manchas, envelhecimento precoce, enfraquecimento da imunidade da pele e até carcinomas de pele (Araujo e Souza, 2008; Nascimento *et al.*, 2014). Para mitigar esses efeitos, o uso de fotoprotetores é fundamental. De acordo com Martins (2019), os filtros solares – ou fotoprotetores – são produtos de aplicação tópica, e devem combinar filtros orgânicos (como o β -caroteno) e inorgânicos (como óxido de zinco e dióxido de titânio) para proteção eficaz contra UVA e UVB (Vergilio, 2018). Esses filtros são incorporados em emulsões, veículos que permitem a inclusão de filtros como óxidos e β -caroteno. As emulsões podem ser óleo em água (O/A) ou água em óleo (A/O), o que afeta a eficácia e a sensação do produto na pele. O sistema O/A foi selecionado para as emulsões formuladas. Tais produtos possuem fatores de proteção solar (FPS) que indicam a capacidade em proteger contra os danos causados pelos raios UVA e UVB, medindo o tempo que a pele pode permanecer exposta ao sol sem sofrer danos (Nascimento *et al.* 2013) e, para a utilização correta, recomenda-se passar o protetor 20 minutos antes da exposição, em quantidade de 2 mg/cm², com reaplicação a cada 2-3 horas ou após contato com água (Wroblevski *et al.*, 2014 *apud* Costa, Farias e Oliveira, 2021).

O aumento do consumo de medicamentos e cosméticos – como fotoprotetores – no Brasil, gerou um grande acúmulo desses produtos nas residências, os quais são descartados de forma inadequada após o vencimento. Estima-se que até 28 mil toneladas de resíduos de medicamentos sejam geradas anualmente no país (ABDI, 2013 *apud* Torres, 2016), resultando em impactos ambientais e sociais, situação semelhante à dos cosméticos, cujo descarte incorreto também representa riscos à saúde e ao meio ambiente.

Diante desse cenário, este trabalho visa o reaproveitamento de resíduos contendo óxido de zinco e dióxido de titânio – substâncias de alto custo e comumente utilizadas em fotoprotetores – para o desenvolvimento de um novo produto que alie proteção solar e sustentabilidade. O projeto consistiu em coletar pomadas e protetores solares doados, extrair óxido de zinco e dióxido de titânio por meio de calcinação e, paralelamente, extrair carotenoides de cenouras utilizando um solvente. Com esses componentes, foram formuladas amostras de protetores solares, que tiveram suas propriedades avaliadas quanto à estabilidade, pH e fator de proteção solar (FPS) *in vitro*.

2 METODOLOGIA

O projeto foi iniciado com a coleta de pomadas e protetores com óxido de zinco e dióxido de titânio por meio da campanha "Ajude um CS" no Instituto Federal de Santa Catarina Câmpus Jaraguá do Sul - Centro, conforme ilustrado no apêndice A. Em seguida, procedeu-se a triagem dos protetores solares e pomadas arrecadados. Produtos contendo exclusivamente óxido de zinco (ZnO) e/ou dióxido de titânio (TiO₂) foram separados para facilitar a extração posterior.

A obtenção do β-caroteno ocorreu a partir de cenouras, adquiridas nos mercados locais, em bom estado de conservação e sempre frescas para a realização das extrações utilizando-se solvente. Dessa forma, o detalhamento da metodologia está estruturada em quatro fases: (1) extração de dióxido de titânio e óxido de zinco, (2) extração de β-caroteno, (3) formulações e (4) caracterização do fotoprotetor.

2.1 EXTRAÇÃO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO E ÓXIDO DE ZINCO

A extração dos óxidos foi realizada por meio do método de calcinação, um tratamento térmico adaptado do Instituto Adolfo Lutz (2008). As amostras foram depositadas em um cadinho de porcelana e pesadas em uma balança analítica. Ao todo, foi queimada uma massa de 71,0157 g de protetor solar (contendo TiO₂) e 10,1893 g de pomada de assadura (com ZnO). Em seguida, foram submetidas a um pré-aquecimento no bico de Bunsen durante 30 minutos para a carbonização inicial da matéria orgânica. Após isso, os cadinhos foram transferidos com as amostras para a mufla onde permaneceram por aproximadamente 2 horas sob uma temperatura de calcinação completa.

Finalizado esse processo, as cinzas foram colocadas no dessecador até o completo resfriamento, sendo quantificado os resíduos inorgânicos através da pesagem em balança analítica. Por fim, o material foi armazenado para posterior utilização.

2.2 EXTRAÇÃO DE β-CAROTENO DE CENOURAS

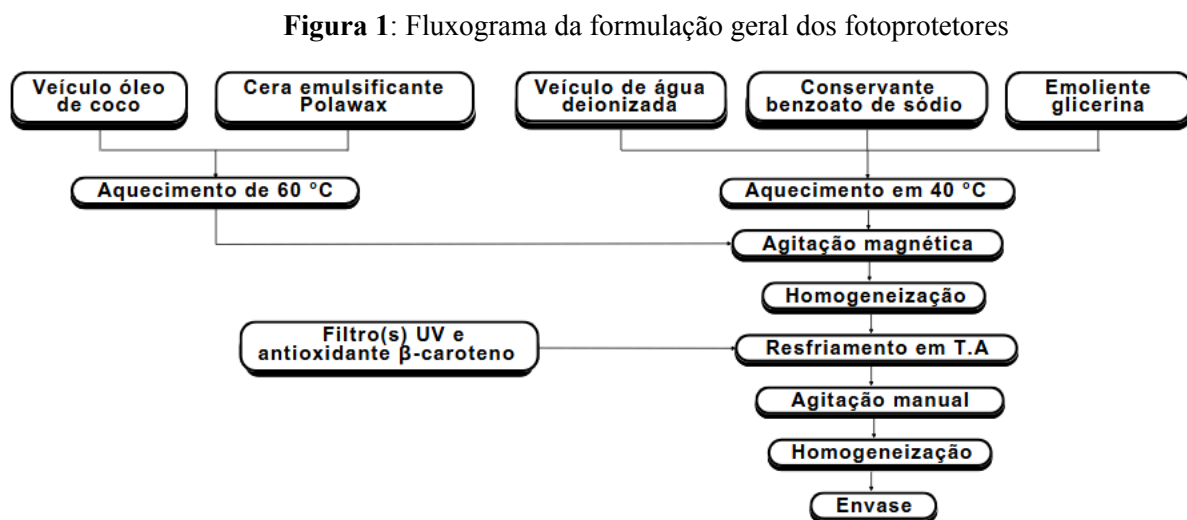
Uma amostra de 80,00 g de cenoura foi ralada e transferida para um almofariz e macerada com 50 mL de éter de petróleo (Simões, Schenkel, Mello, 1999). A solução passou por uma filtração simples e o sólido foi novamente extraído com 50 mL de éter de petróleo (Zeraik. M.L., Yariwake, J.H., 2019). Após a filtração, o solvente foi removido pela

volatilização do mesmo dentro da capela de exaustão, até que restasse apenas o extrato contendo β -caroteno.

2.3 FORMULAÇÕES

Após a extração dos óxidos e do β -caroteno, foram formuladas quatro amostras de fotoprotetores com diferentes combinações: 1) emulsão, dióxido de titânio e β -caroteno extraídos; 2) emulsão, óxido de zinco e β -caroteno extraídos; 3) emulsão com ambos os óxidos (dióxido de titânio e óxido de zinco) e β -caroteno extraídos; e 4) emulsão com os mesmos componentes em suas formas comerciais.

Para facilitar a compreensão do processo metodológico, a formulação geral dos fotoprotetores está representada esquematicamente por meio do fluxograma apresentado na Figura 1.



Fonte: Os autores, 2024.

O fluxograma ilustra de forma sequencial o processo de formulação, desde a identificação dos componentes e suas respectivas funções, até a preparação final das emulsões, permitindo uma compreensão geral do processo de elaboração das amostras.

2.3.1 Formulação da emulsão

Como ponto de partida para os cálculos e o desenvolvimento das formulações, foi utilizada uma base adaptada a partir das propostas metodológicas de Corrêa (2012) e Martins (2016), composta por 15% de óleo de coco (veículo oleoso), 6% de álcool cetosteárico

(emulsionante), 60% de água deionizada (fase aquosa), 5% de glicerina (emoliente) e 1% de benzoato de sódio (conservante). A partir dessa formulação de referência foram elaboradas variações com o intuito de avaliar experimentalmente a influência de cada componente sobre a consistência e a estabilidade da emulsão. Inicialmente, foram realizados dez testes distintos, cada um contendo 20 g de emulsão total.

A amostra 6 destacou-se por apresentar melhor uniformidade e homogeneidade visual, sendo escolhida como base para os próximos experimentos. As composições das formulações testadas estão detalhadas na Tabela 1, que serviu de referência para o preparo das amostras seguintes.

Tabela 1: Formulações das amostras.

Amostra	Óleo de Coco (g)	Cera Polawax (g)	Álcool		Glicerina (g)	Benzoato de Sódio (g)
			Cetoestearílico (g)	Água Deionizada (g)		
1	3,20	-	1,36	12,00	1,00	0,20
2	3,20	-	1,36	6,02	1,00	0,20
3	3,09	-	1,50	12,02	1,00	0,2058
4	6,00	-	1,20	6,09	1,00	0,21
5	5,99	-	1,19	9,25	1,03	0,2010
6	2,97	1,20	-	12,21	1,00	0,2000
7	3,78	0,60	-	12,68	1,00	0,2114
8	2,13	2,12	1,26	6,02	1,01	0,2034
9	1,28	3,01	1,20	8,96	1,02	0,2038
10	-	4,20	1,20	12,01	1,00	0,2116

Fonte: Os autores, 2024.

A formulação 6 foi ampliada proporcionalmente para obter 60 g de emulsão final. A fase oleosa foi preparada em um béquer, misturando óleo de coco e cera emulsificante Polawax, aquecida a cerca de 60 °C com agitação magnética para dissolver completamente a cera. Paralelamente, a fase aquosa, composta por água deionizada e glicerina, foi aquecida até 40 °C, quando se adicionou benzoato de sódio, com agitação para solubilizá-lo. Com ambas as fases estabilizadas em torno de 60 °C, a fase oleosa foi adicionada gradualmente à fase aquosa, sob agitação constante, formando uma emulsão óleo-em-água (O/A). Após a emulsificação, a mistura foi deixada repousar até a temperatura ambiente.

2.3.2 Formulação do fotoprotetor

Para cada formulação, a emulsão foi pesada e transferida para um béquer, onde foram adicionados, também pesados, os óxidos e o β -caroteno. O conteúdo foi homogeneizado manualmente por agitação, formando o fotoprotetor. Esse processo foi repetido para todas as amostras, ajustando a concentração dos óxidos conforme as especificações da Tabela 2.

Tabela 2: Quantificação dos constituintes das amostras

Amostra	Amostra contendo	Massa emulsão-base (g)	Massa ZnO (g)	Massa TiO ₂ (g)	Massa β -caroteno (g)
1	Emulsão + β -caroteno extraído (0,02%) + TiO ₂ extraído (1,98%)	1,0103	-	0,0200	0,0006
2	Emulsão + β -caroteno extraído (0,02%) + ZnO extraído (5%)	0,9979	0,0501	-	0,0006
3	Emulsão + β -caroteno extraído (0,02%) + TiO ₂ extraído (2%) + ZnO extraído (5%)	1,0170	0,0509	0,0204	0,0006
4	Emulsão + β -caroteno comercial (0,02%) + TiO ₂ comercial (2%) + ZnO comercial (5%)	1,0156	0,0498	0,0229	0,0011

Fonte: Os autores, 2025.

Após a finalização do preparo, todas as amostras formuladas foram acondicionadas em frascos fechados, protegidas da luz e armazenadas em temperatura ambiente.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DO FOTOPROTETOR

As propriedades físico-químicas das formulações foram avaliadas por meio de técnicas de determinação do potencial hidrogeniônico, espectrofotometria UV-Vis e análise do fotoprotetor em epiderme suína. Assim, a descrição dessas técnicas estão divididas em (1)

determinação do potencial hidrogeniônico, (2) determinação do FPS por espectrofotometria UV-Vis, (3) teste de FPS qualitativo em epiderme suína.

2.4.1 Determinação do potencial hidrogeniônico

Para essa análise, uma pequena quantidade de amostra das cinco formulações foi espalhada sobre a fita indicadora de pH. Após a mudança de coloração, as fitas foram comparadas com a escala de cores fornecida pelo fabricante para determinação do pH.

2.4.2 Determinação do FPS por espectrofotometria UV-Vis.

O método *in vitro* adaptado de Mansur *et al.* (1986) e de Gonçalves, Almeida e Louchard (2017) foi seguido para determinar o Fator de Proteção Solar (FPS) do filtro orgânico. Primeiramente, no preparo das soluções, 1,0000 g de amostra foi pesado, solubilizado em etanol (PA) com auxílio de sonicação durante 5 minutos, transferido quantitativamente para o balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com etanol. Em seguida, 10 mL desta solução foram descartados e uma alíquota de 5 mL foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL, que foi posteriormente avolumado. A seguir, uma alíquota de 5 mL da solução diluída de 50 mL foi transferida para um balão volumétrico de 25 mL que foi também avolumado, formando uma segunda solução diluída (Dutra *et al.*, 2004).

Na sequência, uma cubeta de quartzo de 1 cm de caminho óptico foi inserida no espectrofotômetro digital, da marca Kasuaki, modelo IL-593-BI e as absorvâncias das três soluções (100 mL, 50 mL, 25 mL) foram registradas entre 290 a 320 nm, com intervalos de 5 nm. Perante esse cenário, o FPS foi calculado, de acordo com a equação linear 2, adaptado de Mansur *et al.* (1986):

$$FPS_{\text{espectrofotométrico}} = Fc \cdot \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \cdot I(\lambda) \cdot Abs(\lambda) \quad (2)$$

Onde:

- Fc = Fator de correlação é igual a 10;
- EE (λ) = Efeito eritematogênico da radiação solar a cada comprimento de onda (λ);
- I (λ) = Intensidade da luz solar a cada comprimento de onda (λ);

- Abs (λ)= Leitura espectrofotométrica da absorbância da solução da amostra em cada comprimento de onda (λ).

Os valores da relação entre o efeito eritematígeno e a intensidade da radiação solar em cada comprimento de onda são constantes, conforme mostra a Tabela 3:

Tabela 3: Constante EE x I empregada no cálculo por espectrofotometria.

Comprimento de onda λ (nm)	EE(λ) x I (λ)
290	0,0150
295	0,0817
300	0,2874
305	0,3278
310	0,1864
315	0,0839
320	0,0180

Fonte: adaptado de Mansur *et al* (1986).

Desse modo, as constantes e os valores da leitura espectrofotométrica da absorbância, já determinados experimentalmente, foram substituídos na equação 2 para o cálculo do FPS.

2.4.3 Teste qualitativo em epiderme suína

Conforme Souza e Brandão (2019), o protetor solar foi aplicado sobre a pele de porco com dedo protegido por luva, na dose de 2 mg/cm², formando uma camada de cerca de 1 mm. A aplicação foi feita de forma uniforme, 15 minutos antes da exposição à radiação e reaplicada a cada duas horas durante o período de exposição. A quantidade aplicada foi calculada com base na área da pele, garantindo precisão na aplicação inicial e nas reaplicações. A pele foi exposta a uma lâmpada tipo BL (Black Light), da marca Moran Lighting, com potência de 20 W e tensão de 220 V. Essa lâmpada emite radiação exclusivamente na faixa UVA (315-400 nm), com pico em 365 nm, sem cobertura da faixa UVB. Fotos da pele foram tiradas a cada 30 minutos para monitorar os efeitos da radiação por quatro horas e meia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na campanha, arrecadaram-se 52 produtos, mas apenas 12 foram utilizados, pois, em sua composição haviam os dois óxidos de interesse. Os materiais que não eram adequados foram descartados corretamente em farmácias conforme o Guia Prático de Descarte de Resíduos (BUTANTAN, Instituto, 2014, pág. 48).

Nessa seção, os resultados obtidos por meio da metodologia aplicada ao desenvolvimento dos fotoprotetores são discutidas em: (1) extração de dióxido de titânio e óxido de zinco, (2) extração de β -caroteno, (3) formulação e (4) caracterização do fotoprotetor.

3.1 EXTRAÇÃO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO E ÓXIDO DE ZINCO

Em formulações comerciais de fotoprotetores, a concentração de dióxido de titânio varia de 1% a 25% em massa, sendo indicada uma concentração acima de 2% (FDA, 2024). Para pomadas de assadura, segundo a Infinity Pharma (2023), a concentração de óxido de zinco varia de 10% a 25% para pomadas de uso preventivo diário.

De acordo com as massas iniciais do protetor solar, e da pomada de assadura submetidas à incineração, obteve-se um rendimento de 1,48% para o TiO_2 e 22,37% para o ZnO . Esses valores corroboram com as faixas de concentração geralmente empregadas em formulações comerciais, conforme a quantidade desses óxidos utilizados nesses produtos.

3.2 EXTRAÇÃO DE β -CAROTENO DE CENOURAS

Seguindo a proporção 8 g de cenoura para 10 mL de solvente utilizada na metodologia, a partir de 20,0016 g de cenoura fresca, macerada com 25 mL de éter de petróleo, em duas porções de 12,5 mL, foi obtido um extrato com massa final de 0,0193 g. O rendimento da extração foi de 0,0965%. O extrato obtido apresentou coloração laranja e textura oleosa, compatíveis com as características da presença de carotenoides, de acordo com a literatura (Simões, Schenkel, Mello, 1999).

Em comparação com a literatura, que tem valor de rendimento igual a $(0,016 \pm 0,001)\%$ (Zeraik; Yariwake, 2008), é possível observar que o rendimento experimental ficou bem maior que o rendimento teórico. Entretanto, é necessário destacar que o β -caroteno extraído não foi purificado, pois a quantidade obtida era muito pequena, além da grande

probabilidade de degradação do composto. Em razão disso, no extrato não há apenas β -caroteno, mas também outros carotenóides presentes na cenoura, como o licopeno, justificando o valor maior do rendimento.

3.3 FORMULAÇÕES

Segundo a Tabela 2, foram feitas quatro tipos de amostras distintas, todas contendo emulsão, β -caroteno e óxidos. Ambos os óxidos presentes nas formulações atuam como filtros físicos, sendo responsáveis pela reflexão dos raios ultravioleta, enquanto o β -caroteno age como um eficaz antioxidante, sendo capaz de absorver os raios UV.

Cada amostra foi confeccionada com o objetivo de avaliar a ação protetora dos óxidos, extraídos de pomadas e fotoprotetores vencidos, e do β -caroteno extraído de uma cenoura fresca. A formulação com β -caroteno comercial foi implementada com o intuito de ser um comparativo para as outras formulações.

3.3.1 Formulação da emulsão

Das formulações apresentadas na Tabela 1, a amostra 6 apresentou visualmente as melhores características para o desenvolvimento do fotoprotetor. Após repouso, as fases se homogeneizaram, resultando em emulsão com consistência adequada, sem odor e com pH neutro.

3.3.2 Formulação do fotoprotetor

Com base nos dados apresentados por Thy *et al.* (2025), o dióxido de titânio (TiO_2) e o óxido de zinco (ZnO), amplamente utilizados como filtros físicos em protetores solares, são considerados seguros por autoridades regulatórias e podem ser empregados em concentrações de até 25% nas formulações, atuando por meio da reflexão e dispersão da radiação UV. Desse modo, optou-se por trabalhar com concentrações de 2% e 5% desses filtros inorgânicos nas formulações.

Com relação aos filtros orgânicos, Jesus *et al.* (2023) identificaram que carotenoides são utilizados em menos de 4% das formulações comerciais e, quando presentes, aparecem em concentrações tipicamente inferiores a 0,1%, valor adotado neste trabalho para o

β -caroteno. A Figura 2 mostra as quatro amostras confeccionadas seguindo as formulações presentes na Tabela 2.

Figura 2: Amostras dos fotoprotetores preparadas.



Fonte: Os autores, 2025.

As amostras 3 e 4 não apresentaram nenhum odor diferenciado, apenas as amostras 1 e 2 demonstraram ter um leve odor de coco. A presença de grandes partículas de óxidos nas três primeiras amostras levaram elas a apresentar uma textura semelhante à textura de cremes esfoliantes, entretanto a amostra 4 não mostrou essa textura, muito provavelmente pelos óxidos comerciais apresentarem uma granulometria menor.

A pigmentação amarelada presente nas amostras 1, 2 e 3 origina-se da presença do β -caroteno. Mesmo com a presença de β -caroteno, a amostra 4 apresentou uma tonalidade mais clara, semelhante às dos fotoprotetores, que pode ser decorrente dos óxidos comerciais inseridos nela.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO FOTOPROTETOR

As técnicas empregadas para a avaliação das propriedades físico-químicas das formulações fotoprotetoras, incluíram a determinação do pH, espectrofotometria UV-Vis para estimativa do Fator de Proteção Solar (FPS) e um teste qualitativo de proteção UVA em epiderme suína. No entanto, ao longo do processo experimental, verificou-se a necessidade de adaptações metodológicas, motivadas por limitações operacionais e pela própria natureza das amostras testadas, especialmente no que tange à distinção entre emulsões intermediárias e formulações finais.

3.4.1 Determinação do potencial hidrogeniônico

De acordo com Hübner (2017), o pH possui influência sobre a atividade fotoprotetora. Formulações de maior pH apresentam redução da atividade fotoprotetora comparados àqueles

com menor pH. Diante disso, o ideal é que a formulação tenha um pH entre 5,5 a 6,5, sendo aceitável e adequado para a maioria das pessoas (RX, 2013), uma vez que o pH da pele é ligeiramente ácido, variando entre 4,7 a 5,7 na maior parte do corpo (Eucerin, s.d).

As determinações de pH das cinco formulações analisadas estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: valores de pH para as formulações.

Formulação	pH
Protetor comercial.	6 a 7
Emulsão, dióxido de titânio extraído e β -caroteno extraído	6 a 7
Emulsão, óxido de zinco extraído e β -caroteno extraído.	6 a 7
Emulsão, dióxido de titânio e óxido de zinco extraídos, β -caroteno extraído.	6 a 7
Emulsão, dióxido de titânio e óxido de zinco comerciais, β -caroteno comercial.	5 a 6

Fonte: Os autores, 2025.

Embora se trate de uma análise qualitativa, os valores observados para o pH estão em conformidade com dados da literatura para formulações dermatológicas. Na indústria cosmética, o método da COLIPA ou ANVISA são seguidos para determinação do pH dos protetores solares. Para esses, o creme é diluído em água deionizada e homogeneizada com um agitador magnético. Posteriormente, utiliza-se um potenciômetro para a medição do pH.

3.4.2 Determinação do FPS por espectrofotometria UV-Vis

O método foi adaptado apenas para o filtro orgânico, o β -caroteno, e para a base do fotoprotetor, a emulsão. Essa adaptação foi necessária, uma vez que os filtros inorgânicos não solubilizam em etanol. Nesse caso, o dióxido de titânio e o óxido de zinco atuam como barreiras físicas. Para esses, a metodologia seguida foi a “Teste de FPS qualitativo em epiderme suína”.

Assim, as varreduras obtidas foram para o fotoprotetor comercial, betacaroteno comercial, betacaroteno extraído e a emulsão com o betacaroteno extraído. Primeiramente, os dados das leituras para o fotoprotetor comercial de FPS 60, estão inseridos na Tabela 4.

Tabela 4: FPS do fotoprotetor comercial.

Solução	290 nm	295 nm	300 nm	305 nm	310 nm	315 nm	320 nm	FPS
1) 100 mL	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	52
2) 50 mL	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	52
3) 25 mL	1,628	1,973	2,256	2,461	2,447	2,344	2,099	38

Fonte: Os autores, 2025.

Embora o valor do FPS seja informado no rótulo do produto, a análise foi realizada com o objetivo de avaliar a aplicabilidade do método utilizado. Na solução 1, o valor de FPS obtido experimentalmente foi inferior ao declarado pelo fabricante. De forma semelhante, a solução 2 também apresentou um FPS reduzido, o que pode ser atribuído ao efeito da diluição sobre a concentração dos filtros UV.

Outra leitura utilizada como parâmetro comparativo foi realizada com o β -caroteno comercial, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: FPS do β -caroteno comercial.

Solução	290 nm	295 nm	300 nm	305 nm	310 nm	315 nm	320 nm	FPS
1) 100 mL	0,766	0,488	0,376	0,312	0,279	0,272	0,272	7
2) 50 mL	0,091	0,055	0,038	0,029	0,027	0,026	0,026	1
3) 25 mL	0,006	-0,001	-0,004	-0,004	-0,004	-0,003	-0,004	0

Fonte: Os autores, 2025.

Na primeira solução, o valor estimado de FPS foi de aproximadamente 7, o que, por si só, já indica uma proteção significativa contra a radiação UVB. Na segunda solução, observou-se uma redução de quase dez vezes no valor do FPS, compatível com a diluição. A solução 3, já não apresentou fator de proteção para a região do UVB.

Para o β -caroteno extraído, os dados da varredura encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: FPS do β -caroteno extraído.

Solução	290 nm	295 nm	300 nm	305 nm	310 nm	315 nm	320 nm	FPS
1) 100 mL	0,044	0,045	0,044	0,042	0,038	0,033	0,027	1
2) 50 mL	0,023	0,019	0,020	0,019	0,018	0,016	0,015	0
3) 25 mL	0,018	0,017	0,015	0,015	0,013	0,014	0,012	0

Fonte: Os autores, 2025.

As soluções 1, 2 e 3 apresentaram valores de FPS inferiores quando comparadas às soluções contendo β -caroteno comercial. Essa diferença significativa pode ser atribuída, principalmente, à variação na concentração de β -caroteno entre a amostra comercial e a extraída. Além disso, a presença de impurezas no extrato de β -caroteno não purificado pode ter influenciado negativamente nos resultados, uma vez que o material não passou por etapas de purificação visando evitar sua degradação através de aquecimento, a qual pode, ainda assim, ter ocorrido durante o preparo das soluções devido a longa exposição a luz.

Em relação à emulsão, a solução 1 apresentou um FPS de 3. Já a solução 2 revelou um FPS igual a 0, conforme os dados na Tabela 7.

Tabela 7: FPS da emulsão.

Solução	290 nm	295 nm	300 nm	305 nm	310 nm	315 nm	320 nm	FPS
1) 100 mL	0,185	0,175	0,168	0,164	0,162	0,165	0,160	3
2) 50 mL	0,011	0,008	0,007	0,006	0,008	0,005	0,004	0
3) 25 mL	0,023	0,019	0,017	0,019	0,013	0,011	0,009	0

Fonte: Os autores, 2025.

Em relação a solução 3, também obteve um FPS igual a 0. Por outro lado, a varredura no UV da emulsão contendo o β -caroteno extraído resultou em um comportamento distinto do esperado, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8: FPS da emulsão com o β -caroteno extraído.

Solução	290 nm	295 nm	300 nm	305 nm	310 nm	315 nm	320 nm	FPS
1) 100 mL	0,053	0,043	0,036	0,032	0,028	0,026	0,022	1
2) 50 mL	0,013	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0
3) 25 mL	0,026	0,030	0,039	0,039	0,037	0,039	0,037	1

Fonte: Os autores, 2025.

Esperava-se que a emulsão contendo o β -caroteno extraído apresentasse um fator de proteção elevado nessa faixa do UV. No entanto, os resultados indicaram o contrário. Essa discrepância pode ser justificada por uma concentração de β -caroteno inferior à prevista na formulação, possivelmente devido a falhas na preparação da solução, como erros de pesagem, avolumagem, homogeneização e perda de soluto na transferência quantitativa. Além disso, é possível que a mistura não possua capacidade significativa de absorção na faixa espectral analisada.

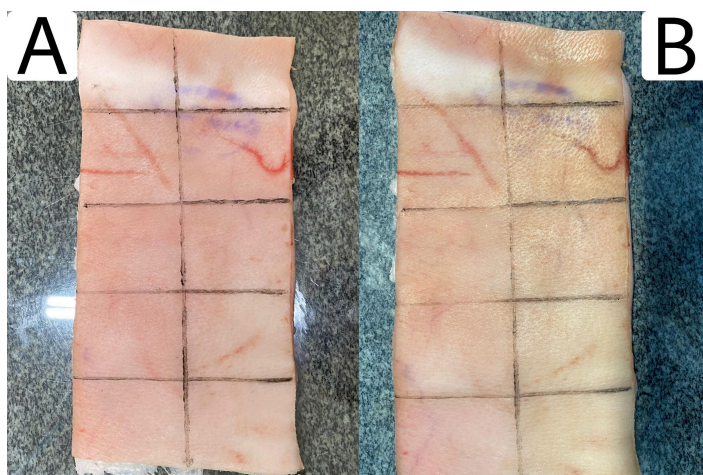
De acordo com a Anvisa (RDC 30/2012 e RDC 629/2022), o valor mínimo para que um produto seja classificado como protetor solar no Brasil é com FPS igual ou superior a 6. Desse modo, a emulsão com o β -caroteno não pode ser classificado como fotoprotetor, mas apenas como cosmético ou produto multifuncional.

3.4.3 Teste qualitativo em epiderme suína

A avaliação do fator de proteção solar (FPS) dos óxidos não é viável pela espectroscopia UV-Vis. Por isso, realizou-se um teste qualitativo com as amostras de fotoprotetor em pele suína. A epiderme suína foi escolhida por apresentar características bioquímicas e histológicas similares às humanas (Vilela, 2010). Os raios UVA são responsáveis pelo fotoenvelhecimento e por doenças de fotossensibilidade (Araujo e Souza, 2008).

Os fotoprotetores formulados continham filtros de amplo espectro para proteção contra raios UVA e UVB. A exposição restrita à radiação UVA permitiu avaliar a eficácia parcial dos produtos contra esse tipo específico de radiação. Para essa etapa, utilizou-se pele suína como modelo cutâneo, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: pele suína antes dos testes (A) e após os testes (B) com luz UV.



Fonte: Os autores, 2025.

A parte 3A corresponde à pele antes da aplicação dos fotoprotetores, sendo que estes foram aplicados apenas na região à esquerda da linha vertical. Já a figura 3B mostra a mesma pele após quatro horas e meia de exposição à radiação ultravioleta. Nota-se, na figura 3B, que a região à direita da linha vertical apresenta uma diferença de tonalidade, de um tom rosado natural da pele suína para um tom mais branco bronzeado, em comparação à esquerda, onde as amostras foram aplicadas. Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois a diferença na tonalidade observada indica um grau de fotoproteção, sugerindo a eficácia das formulações, mesmo que apresentem um baixo fator de proteção solar (FPS).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal contribuição deste projeto reside na aplicação prática dos princípios da química verde e da economia circular, ao transformar um resíduo problemático em matéria-prima para um novo produto de valor agregado. A pesquisa demonstrou uma rota quimicamente funcional para o reaproveitamento dos óxidos de zinco e dióxido de titânio de resíduos cosméticos e de pomadas medicamentosas. Contudo, considerando o alto consumo energético da calcinação e as perdas de material inerentes às etapas, questiona-se a viabilidade técnica e econômica em maior escala deste processo. A formulação final, por sua vez, apresentou uma discreta atividade fotoprotetora nos ensaios conduzidos.

Reconhecem-se, portanto, as limitações deste estudo. A validação completa da eficácia e segurança do produto requer testes mais robustos e padronizados, como estudos de estabilidade a longo prazo e de segurança dermatológica. Uma limitação central foi a impossibilidade de conduzir uma análise técnica para confirmar a composição e a pureza dos

óxidos recuperados devido a restrições de equipamento, uma etapa fundamental para validar a quantidade e a qualidade da matéria-prima reaproveitada. A extração do β -caroteno via solvente, embora funcional, demonstrou ser um processo de baixa eficiência. Além disso, o consumo total de etanol foi significativamente elevado devido a perdas de material, aos múltiplos testes e ajustes realizados durante a etapa de preparo de amostras e análise no UV-Vis e à higienização das ferramentas de trabalho, dada a natureza oleosa do material trabalhado.

A partir destas constatações, e visando tanto superar as limitações encontradas quanto expandir a pesquisa na área, sugerem-se as seguintes direções para trabalhos futuros: primeiramente, otimizar a análise de FPS em amostras com filtros físicos, utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora ou uma fonte de radiação UV mais potente no teste *ex vivo*; investigar métodos alternativos à calcinação para a extração de óxido de zinco e dióxido de titânio de resíduos, visando maior viabilidade técnica e econômica; realizar estudos mais aprofundados sobre a contribuição do β -caroteno e o seu efeito sinérgico com filtros inorgânicos; conduzir testes de estabilidade a longo prazo e de segurança dermatológica para validar as formulações; e, por fim, desenvolver um estudo de viabilidade econômica para a produção em larga escala.

Em última análise, a contribuição mais significativa desta pesquisa é a demonstração prática do complexo desafio que é traduzir um conceito de economia circular em um processo genuinamente sustentável. O estudo evidenciou que, enquanto o reaproveitamento de um resíduo é conceitualmente positivo, a viabilidade real depende criticamente da eficiência energética, do consumo e da capacidade de recuperação de novos reagentes e dos custos envolvidos. Portanto, o trabalho não apenas investiga uma rota, mas, principalmente, serve como um alerta: o futuro dos produtos sustentáveis exige uma análise rigorosa que vá além da origem "verde" dos seus componentes, focando na otimização de todo o ciclo de vida do processo.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T. S. De; DE SOUZA, S. O. **Protetores solares e os efeitos da radiação ultravioleta**. Scientia Plena, [S. l.], v. 4, n. 11, 2008. Disponível em: <https://scientiaplenu.emnuvens.com.br/sp/article/view/721>.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 30, de 1º de junho de 2012. Regulamento técnico Mercosul sobre protetores solares em cosméticos e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 106, p. 65–67, 04 jun. 2012. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0030_01_06_2012.html. Acesso em: 18 jun. 2025.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 629, de 10 de março de 2022. Dispõe sobre protetores solares e produtos multifuncionais em cosméticos e internaliza a Resolução GMC Mercosul nº 08/2011**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 47, p. [páginas se disponíveis], 11 mar. 2022.
- COSMETICS EUROPE – The Personal Care Association. **Guideline: In-vitro method for the determination of the UVA protection factor and “critical wavelength” values of sunscreen products**. Bruxelles: Cosmetics Europe, June 2009.
- CORREA, Marcos Antônio. **Cosmetologia, ciência e técnica**. 1ª ed. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2012.
- COSTA, M. M.; FARIAS, A. P. A.; OLIVEIRA, C. A. B. **A importância dos fotoprotetores na minimização de danos a pele causados pela radiação solar**. BJDV. 2021.
- DUTRA, E. A.; COSTA E OLIVEIRA, D. A. G.; KEDOR-HACKMANN, E. R. M.; SANTORO, M. I. R. M. **Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 381–385, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-9332200400030001>. Acesso em: 30 abr. 2025.
- DSYS LAB. **Espectrofotômetro digital de luz UV-visível de 190 a 1100 nm, automático, banda 2 nm, precisão 1 nm, modelo Kasuaki**. Disponível em: <https://www.dsylab.com.br/equipamentos/espectrofotometros/espectrofotometro-digital-luz-uv-visivel-de-190-a-1100nm-automatico-banda-2-nm-precisao-1nm-kasuaki->. Acesso em: 19 jun. 2025.
- Eucerin Brasil. **pH da pele**. Disponível em: [https://www.eucerin.com.br/problemas-de-pele/pele-sensivel/ph-da-pele#:~:text=proteger%20o%20corpo,-O%20que%20%C3%A9%20pH%3F,%C3%A1gua%20pura\)%%20%C3%A9%20considerado%20neutro](https://www.eucerin.com.br/problemas-de-pele/pele-sensivel/ph-da-pele#:~:text=proteger%20o%20corpo,-O%20que%20%C3%A9%20pH%3F,%C3%A1gua%20pura)%%20%C3%A9%20considerado%20neutro). Acesso em: 24 jul. 2024.
- FDA. **Over-the-Counter Monograph M016 – Skin Protectant Drug Products for Over-the-Counter Human Use**. U.S. Food and Drug Administration, 2024. Disponível em: https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda_docs/omuf/OTCMonograph_M016SkinProtectantDrugProductsforOTCHumanUse09242021.pdf. Acesso em: 19 jun. 2025.

HÜBNER, Alexandra de Almeida. **Caracterização fitoquímica e eficácia fotoprotetora clínica de formulações cosméticas contendo extrato do bagaço de uva Cabernet sauvignon**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

INFINITY PHARMA. **Dióxido de Titânio T**. São Paulo: Infinity Pharma, jun. 2023.

Disponível em:

<https://www.infinitypharma.com.br/wp-content/uploads/2023/06/Dioxido-de-Titanio-T.pdf>.

Acesso em: 19 jun. 2025.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4ª

edição, 1ª edição digital. São Paulo, 2008. Disponível em:

[http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.p](http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf)

df. Acesso em: 08 de dez. 2024.

INSTITUTO BUTANTAN. **Guia prático de descarte de resíduos**. 1ª edição. São Paulo, 2014. Disponível em:

https://gestaoderesiduos.ufsc.br/files/2016/02/Butantan_guia_pratico.pdf. Acesso em: 17 de dez. 2024.

JESUS, A. *et al.* **Antioxidants in sunscreens: Which and what for?** Antioxidants (Basel), v. 12, n. 1, p. 138, 2023. DOI: 10.3390/antiox12010138. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9854756/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MANSUR JS; BREDER MNR; MANSUR MCA; Azulay RD. **Determinação do Fator de Proteção Solar por espectrofotometria**. An. Bras. Dermatol. 1986; 61(3):121-124.

MARTINS, Camila Jandira. **Validação de metodologia analítica para quantificação de nicotinamida e ácido ascórbico em emulsão**. São Paulo, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/58825435-eb46-4c77-aef9-a2c3d6daa1b4/content>. Acesso em: 15 dez. 2024.

MARTINS, S. P.. **Estudo das etapas e equipamentos da produção de um filtro solar e seu lançamento de mercado**. 2019. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

MORAN LIGHTING CO. **Black Light**. Disponível em: <https://www.moranlight.com/bl>. Acesso em: 12 jun. 2025.

NASCIMENTO, Luciano. F; SANTOS, Elisabete. P.; AGUIAR, Alcino. P. **Fotoprotetores Orgânicos: Pesquisa, Inovação e a Importância da Síntese Orgânica**. Rio de Janeiro: Revista Virtual de Química, 2013. Disponível em:

<https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/352/411>

RX Suporte. **Correção de pH em filtro solar**. Disponível em:

[https://www.rxsuporte.com.br/correcao-de-ph-em-filtro-solar/#:~:text=Em%20geral%2C%20as%20formula%C3%A7%C3%B5es%20contendo,AMP\)%20ou%20hidr%C3%B3xido%20de%20pot%C3%A1ssio](https://www.rxsuporte.com.br/correcao-de-ph-em-filtro-solar/#:~:text=Em%20geral%2C%20as%20formula%C3%A7%C3%B5es%20contendo,AMP)%20ou%20hidr%C3%B3xido%20de%20pot%C3%A1ssio). Acesso em: 24 de jul. 2024.

SIMÕES, Cláudia Maria de Oliveira; SCHENKEL, Eloir Paulo; GOSMANN, Grace; MELLO, João Carlos Palazzo de; MENTZ, Lilian Auler; PETROVICK, Pedro Ros (orgs.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 3. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da Universidade UFRGS/Editora da UFSC, 2001.

SOUZA, Maria Luiza Paulista de; BRANDÃO, Byron José Figueiredo. **Recomendações do uso de protetor solar: revisão da literatura**. BWS Journal, São Paulo, v. 2, p. 1–9, ago. 2019. Disponível em: <https://www.bwsjournal.com.br>. Acesso em: 13 jun. 2025.

SUNSCREEN OPTIMIZER™. **Glossary**. 2023a. Disponível em: <https://www.sunscreen-optimizer.com/glossary.html>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SUNSCREEN OPTIMIZER™. **Homepage**. 2023b. Disponível em: <https://www.sunscreen-optimizer.com/index.html>. Acesso em: 20 jun. 2025.

THY, Lu Thi Mong; THANH, Le Ngoc Phuong; DAT, Nguyen Tri; DAT, Nguyen Minh. **Review on the application of inorganic UV filters in sunscreens: mechanisms, evaluation methods, toxicity, and safety enhancements**. Results in Surfaces and Interfaces, [S. l.], 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsufi.2025.100580>. Acesso em: 16 jun. 2025.

TORRES, Ana Carolina Gomes. **Pertinência da normativa estadual e distrital sobre logística reversa aplicada ao setor de medicamentos no Brasil**. Revista Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário. 2016, jan./mar, 5(1):41-59. Disponível em: <https://www.cadernos.prodisa.fiocruz.br/index.php/cadernos/article/view/238/342>.

VERGILIO, Mariane Massufero. **Caracterização, avaliação sensorial e físico-química de protetores solares de alta venda e a correlação entre suas propriedades**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VILELA, Fernanda Maria Pinto. **Avaliação da segurança *in vivo* de filtros solares em formulação fotoprotetora**. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/60/60137/tde-29032012-084417/publico/Dissertacao_simplificada.pdf

ZERAIK, M. L.; YARIWAKE, J. H. **Extração de β -caroteno de cenouras: uma proposta para disciplinas experimentais de química**. *Química Nova*, [S.l.], v. 31, n. 5, p. 1259-1262, abr. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/RXnW44W6BfQtKcQFdyY9vmXN/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

APÊNDICE A – NOSSA CAMPANHA AJUDE UM CS

CampA#HA
Ajude um CS

NOSSA PESQUISA REAPROVEITARÁ RESTOS DE PROTETORES SOLARES E POMADAS DE ASSADURAS QUE CONTENHAM ÓXIDO DE ZINCO PARA FAZER UM FOTOPROTETOR DO ZERO!

AJUDE TRAZENDO ESSES PRODUTOS CASO TENHA ALGUM RESTINHO, OU QUE JÁ PASSARAM DA VALIDADE. PODERÃO SER DEIXADOS NA GUARITA, POIS ESTAMOS EM PERÍODO DE GREVE.



AJUDE-NOS COM NOSSO PROJETO!

POR 4ª QUÍMICA
ALEX, JÚLIA H, KAUANA, LETÍCIA F, NELSON E SARA.
ORIENTADORA PATRICIA (JAPA).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.