

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE FARMÁCIA**

FABRINE ELLEN MENDONÇA DE ALMEIDA

**Utilização da avobenzona como fotoprotetor químico: uma análise de risco
toxicológico e ambiental**

**GOIÂNIA/GO
2026**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE FARMÁCIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Fabrine Ellen Mendonça de Almeida

Título do trabalho: "Utilização da avobenzona como fotoprotetor químico: uma análise de risco toxicológico e ambiental"

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(a)(s) autor(a)(es)(as) e ao(a) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo: Não se aplica

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Danielle Guimaraes Almeida Diniz, Professor do Magistério Superior**, em 12/06/2026, às 11:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabrine Ellen Mendonça De Almeida, Discente**, em 24/06/2026, às 14:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6251127** e o código CRC **06837357**.

FABRINE ELLEN MENDONÇA DE ALMEIDA

**Utilização da avobenzona como fotoprotetor químico: uma análise de risco
toxicológico e ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Farmácia da
Universidade Federal de Goiás, como
requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Farmácia.

Orientador(a): Prof. Dr. Danielle
Guimarães Almeida Diniz

**GOIÂNIA/GO
2026**

Rua 240, esquina com 5ª Avenida,
s/nº - Setor Leste Universitário
CEP 74605-170 - Goiânia - Goiás - Brasil.

Fone: (62) 3209-6044
Site: <http://farmacia.ufg.br>

Almeida, Fabrine Ellen Mendonça de

Utilização da avobenzona como fotoprotetor químico: uma análise de risco toxicológico e ambiental [Documento word] / Fabrine Ellen Mendonça de Almeida. - 2026.

XXVII, 27 f.: 2026

Orientadora: Prof(a). Dra. Danielle Guimarães Almeida Diniz

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade Farmácia (FF), Farmácia, Goiânia, 2026.

Inclui: lista de figuras.

1. Butil Metoxidibenzoilmetano. 2. Fotoproteção. 3. Permeabilidade. 4. Ecotoxicologia.. 5. Segurança.

I. Diniz, Danielle Guimarães Almeida, orient. II. Título.

CDU 615



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE FARMÁCIA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos doze dias do mês de junho do ano de 2026 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Utilização da avobenzona como fotoprotetor químico: uma análise de risco toxicológico e ambiental”, de autoria de Fabrine Ellen Mendonça de Almeida, do curso de Farmácia, da Faculdade de Farmácia da UFG. Os trabalhos foram instalados pela Professora Dra. Danielle Guimarães Almeida Diniz - FF/UFG com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Dr. Jader Pires - FF/FARMATEC/UFG e Professor Dr. Luis Antônio Dantas Silva - FF/UFG. Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 7,0 , tendo sido o TCC considerado aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Danielle Guimaraes Almeida Diniz, Professor do Magistério Superior**, em 12/06/2026, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Dantas Silva, Professor do Magistério Superior**, em 12/06/2026, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jader Pires, Usuário Externo**, em 12/06/2026, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6251112** e o código CRC **323F68C2**.

RESUMO

A avobenzona é um dos filtros solares orgânicos mais utilizados em formulações fotoprotetoras devido à sua elevada capacidade de absorção da radiação ultravioleta do tipo A (UVA). Entretanto, aspectos relacionados à sua estabilidade fotoquímica, absorção cutânea e impactos ambientais têm despertado interesse científico e regulatório. O presente estudo teve como objetivo analisar as evidências disponíveis na literatura acerca do perfil toxicológico humano e ambiental da avobenzona, bem como discutir suas limitações e desafios de segurança. Trata-se de uma revisão de literatura de abordagem qualitativa, realizada por meio de buscas nas bases de dados PubMed, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), contemplando publicações dos últimos dez anos. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 26 estudos para análise. Os resultados demonstraram que a avobenzona apresenta permeabilidade cutânea e absorção sistêmica detectável, porém sem evidências consistentes de toxicidade humana relevante nas condições aprovadas de uso tópico. Alguns estudos indicaram possíveis alterações celulares, imunológicas e reprodutivas em modelos experimentais, embora sem comprovação de efeitos carcinogênicos ou mutagênicos significativos. Em relação ao meio ambiente, foram observadas evidências de contaminação de ecossistemas aquáticos e potenciais efeitos ecotoxicológicos sobre diferentes organismos, incluindo alterações no desenvolvimento embrionário, atividade neurocomportamental e processos reprodutivos. Conclui-se que a avobenzona permanece como importante agente fotoprotetor para prevenção dos danos causados pela radiação UVA, porém são necessárias investigações adicionais sobre seus efeitos crônicos e impactos ambientais, visando o aprimoramento de sua segurança e sustentabilidade.

Palavras-chave: Butil Metoxidibenzoilmetano; fotoproteção; câncer de pele; permeabilidade; segurança; Ecotoxicologia.

ABSTRACT

Avobenzone is one of the most widely used organic ultraviolet (UV) filters in sunscreen formulations due to its high capacity to absorb ultraviolet A (UVA) radiation. However, issues related to its photochemical stability, dermal absorption, and environmental impacts have attracted increasing scientific and regulatory attention. This study aimed to analyze the available evidence regarding the human toxicological and environmental profile of avobenzone, as well as to discuss its limitations and safety challenges. A qualitative literature review was conducted through searches in the PubMed, Scientific Electronic Library Online (SciELO), and Virtual Health Library (VHL) databases, covering publications from the last ten years. Following the application of inclusion and exclusion criteria, 26 studies were selected for analysis. The findings demonstrated that avobenzone exhibits dermal permeability and detectable systemic absorption; however, no consistent evidence of significant human toxicity under approved topical use conditions was identified. Some studies reported potential cellular, immunological, and reproductive alterations in experimental models, although no significant carcinogenic or mutagenic effects were confirmed. From an environmental perspective, evidence of contamination of aquatic ecosystems and potential ecotoxicological effects on various organisms was observed, including alterations in embryonic development, neurobehavioral activity, and reproductive processes. In conclusion, avobenzone remains an important photoprotective agent for preventing UVA-induced skin damage. Nevertheless, further investigations are required to clarify its long-term effects and environmental impacts, with the aim of improving its safety profile and sustainability.

Keywords: Butyl Methoxydibenzoylmethane; photoprotection; skin cancer; permeability; safety; ecotoxicology.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.....	8
2.2 FOTOPROTETORES.....	9
2.2.1 Toxicidade de Fotoprotetores.....	12
2.2.1.1 Toxicidade a saúde humana.....	12
2.2.1.2 Toxicidade ambiental.....	13
2.3 AVOBENZONA.....	14
3 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. METODOLOGIA DE REVISÃO	16
4.1 DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	18
5 DISCUSSÃO	18
6 CONCLUSÃO	22
7 REFERÊNCIAS.....	23

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1-Efeitos dos raios ultravioletas na pele humana.....	9
Figura 2-Transição enólica/cetônica da avobenzona.....	15
Figura 3 -Diagrama em pirâmide da metodologia de revisão.....	17

QUADROS

Quadro 1- Faixa de proteção UV de filtros orgânicos.....	10
Quadro 2- Classificados do fotoprotetores segundo FDA.....	11
Quadro 3- Relação de fotoprotetores orgânicos regulamentados pela ANVISA....	11
Quadro 4 -Resumo gráfico dos resultados.....	18

1 INTRODUÇÃO

Os protetores solares são formulações farmacêuticas compostas por moléculas orgânicas e/ou inorgânicas capazes de absorver, refletir ou dispersar a radiação UV (Balogh et al., 2011). A complexidade estrutural dessas moléculas demanda contínuo investimento em pesquisa e desenvolvimento, tanto para a descoberta de novos compostos quanto para o aprimoramento daqueles já utilizados. São poucos os filtros UVs apontados como seguros e eficazes pela FDA, Foods and Drugs Administration (Fonseca et al., 2023).

Um exemplo histórico relevante é o ácido para-aminobenzoico (PABA), amplamente utilizado após a Segunda Guerra Mundial. Conforme relatado por Mackie e Mackie (2002), seu uso foi progressivamente reduzido devido à associação com reações adversas e potenciais efeitos imunológicos. Apesar de ser considerado o agente mais potente contra os raios UVB, foi considerado não seguro e proibido de estar presente em formulações fotoprotetoras aprovadas pela FDA (Safian et al., 2025). De modo similar, a avobenzona emergiu como potente filtro UVA empregada em formulações modernas e apresenta dificuldades de estabilidade (Safian et al., 2025). Contudo, mesmo com avanços em métodos de estabilização e encapsulamento, a FDA continua monitorando os potenciais riscos da substância à saúde humana por insuficiência de evidências que a tornam segura ao uso (FDA, 2019; Chatelain e Gabard, 2001).

Segundo Ma e Yoo (2021), estima-se que o mercado mundial de protetores solares poderá atingir aproximadamente US\$24,4 bilhões até 2029, refletindo tanto o aumento da conscientização populacional quanto o desenvolvimento de novas tecnologias cosméticas. A expansão do mercado global de fotoprotetores corrobora com a crescente preocupação com a saúde cutânea e ambiental.

Este estudo objetiva analisar e discutir sobre as limitações e desafios de segurança da avobenzona, especialmente em relação ao contato direto com a pele humana e seus danos sistêmicos. Isto posto, poderia a avobenzona apresentar risco de contaminação ambiental, bem como apresentar risco de contaminação ambiental como potencial contaminante.

2 REVISÃO DA LITERATURA

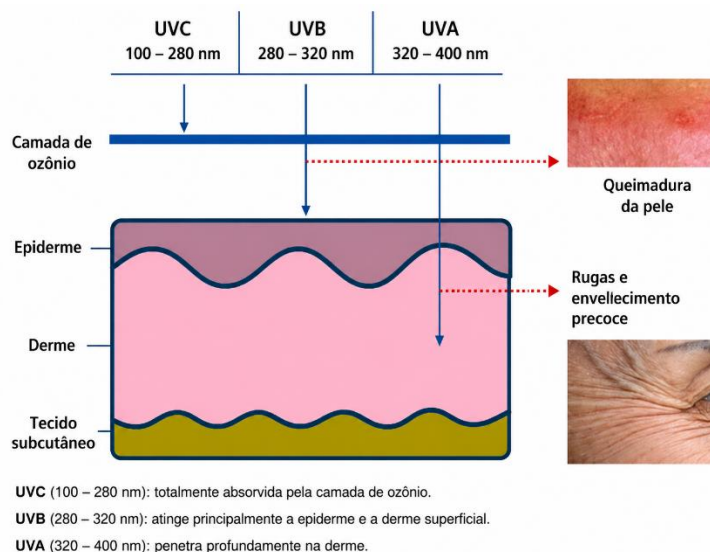
2.1 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Segundo Maverakis et al. (2010) a radiação ultravioleta (UV) compreende um conjunto de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol, cujos comprimentos de onda estão situados entre a luz visível e os raios-X. Essas radiações, em sua maioria, atravessam a atmosfera terrestre e entram em contato diretamente com a pele humana. São classificadas por comprimento de onda em duas faixas principais: UVA (320–400 nm) e UVB (290–320 nm).

Segundo Srinivas, Sekar e Jayashree, (2012) e Maverakis et al. (2010), a radiação UVA representa a maior parcela do espectro ultravioleta que atinge a superfície terrestre. A radiação UVC (320-100 nm) é quase totalmente absorvida pela camada de ozônio, não impactando diretamente a superfície terrestre, enquanto a UVB é parcialmente filtrada. Em contrapartida, a radiação UVA penetra mais profundamente na atmosfera, chegando à superfície do planeta em maior quantidade (Schalka, 2014).

Do ponto de vista biológico, a radiação ultravioleta exerce diferentes efeitos sobre os organismos vivos, como mostra a Figura 1. A radiação UVB está diretamente associada a alterações no DNA celular e ao desenvolvimento de eritemas solares. Por outro lado, a radiação UVA relaciona-se principalmente ao fotoenvelhecimento cutâneo e à formação de espécies reativas de oxigênio, conforme destacado pelo ICNIRP (2004). Embora a radiação UVC apresente elevado potencial germicida, a Organização Mundial de Saúde (OMS) determina sua incidência natural na superfície terrestre insignificante devido à absorção atmosférica (OMS, 2017).

Figura 1- Efeitos dos raios ultravioletas na pele humana.



Fonte: Adaptado de Safian et al., 2025 (Elaborado pelo autor com auxílio do software Chatgpt , acesso em junho de 2026).

Portanto, a radiação ultravioleta desempenha um papel fundamental tanto em processos fisiológicos benéficos, como a síntese cutânea de vitamina D, quanto em efeitos adversos à saúde humana, principalmente quando há exposição excessiva e desprotegida (OMS, 2017). Visando minimizar os efeitos deletérios da radiação solar, os fotoprotetores são considerados os principais agentes modernos principalmente no quesito conforto e versatilidade. As considerações de Cabral, Prereira e Partata (2013) ressaltam a aceitabilidade de mercado diante da incorporação de substâncias fotoprotetoras em formulações multifuncionais em relação a medidas protetivas convencionas de vestuário.

2.2 FOTOPROTETORES

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os protetores solares são formulações cosméticas destinadas à proteção da pele contra os efeitos nocivos da radiação ultravioleta. Tais composições geralmente apresentam emulsões do tipo água em óleo (A/O) ou óleo em água (O/A), com compostos fotoprotetores dispersos em um veículo apropriado, cujo objetivo principal é reduzir a quantidade de radiação que atinge as camadas vivas da pele (ANVISA, 2012).

Há diferentes moléculas com capacidade fotoprotetora, que podem ser

classificadas conforme seu mecanismo de ação. Os filtros orgânicos, também chamados de filtros químicos, consistem em moléculas complexas que possuem em sua estrutura anéis aromáticos conjugados. Esses anéis têm a capacidade de absorver a radiação ultravioleta e transformá-la em energia menos prejudicial, como calor, por meio de processos de excitação e relaxamento molecular (Maverakis et al., 2010). Esses filtros atuam principalmente na absorção específica e seletiva das radiações UVA e/ou UVB (Quadro 1), dependendo de sua estrutura química. Dentre os exemplos mais utilizados, destacam-se o octinoxato, homosalato, avobenzona e oxibenzona.

Quadro 1- Faixa de proteção UV de filtros orgânicos.

Classe	Ingrediente	Faixa de proteção UV
PABA e seus ésteres	Etilhexil dimetil PABA	UVB
Salicilatos	Etilhexil salicilato	UVB
	Etil triazona	UVB
	Homosalato	UVB
Cinamatos	Etilhexil metoxicinamato	UVB
	Octocrileno	UVB
Benzofenonas	Benzofenona-3 (BZ-3)	UVB/UVA
Dibenzoilmetanos	Butil metoxidibenzoilmetano	UVA
Derivados da cânfora	3-benzilideno cânfora	UVB
	4-metilbenzilideno cânfora	UVB
	Bis-etilhexiloxifenol metoxi-fenil triazole	UVB/UVA
	Drometrizole trisiloxano	UVA
Óxido metálico microfinos	Dióxido de titânio	UVB

Fonte: Adaptado de Lopes, da Cruz e Batista (2012) apud. Maier; Korting, 2005.

Por outro lado, os filtros inorgânicos, também denominados filtros físicos ou minerais, consistem em partículas sólidas como dióxido de titânio e óxido de zinco. Esses compostos atuam predominantemente por meio da reflexão e dispersão da radiação ultravioleta, embora também apresentem capacidade de absorção parcial dessa radiação (Draelos, 2022). Em formulações tradicionais, esses filtros podem conferir ao produto um aspecto esbranquiçado, decorrente de suas propriedades ópticas.

De acordo com a Food and Drug Administration (2019), os filtros solares são classificados como GRASE (Quadro 2). A disposição funciona em três

categorias, principais: categoria I grase (dados suficientes para caracterizar segurança e eficácia), categoria II não-grase (não possuem liberação para uso, considerados inseguros ou ineficientes) e classe III não-grase (dados insuficientes para concluir segurança e eficácia). Os filtros inorgânicos estão dispostos na categoria GRASE I, considerados seguros ao uso e com eficácia comprovada. Já as substâncias que apresentam algum risco comprovado ou ineficazes na fotoproteção, como o ácido para-aminobenzoico, e são proibidos de comercialização pela FDA são chamados não-GRASE de classe II. Em paralelo, os fotoprotetores sem estudos significativos para definir eficácia e segurança e com comercialização permitida pelo órgão regulador, são considerados não-GRASE de classe III como: avobenzona, otocileno e oxibenzona (Safian et al., 2025).

Quadro 2- Classificados do fotoprotetores segundo Food and Drug Administration.

GRASE* para uso em protetores solares	Não GRASE** para uso em protetores solares	***Dados insuficientes para uso em protetores solares
Óxido de zinco e dióxido de titânio	Ácido para-aminobenzoico (PABA) e salicilato de trolamina	Cinoxato, dioxibenzona, ensulizol, homosalato, meradimato, octinoxato, octisalato, octocrileno, padimato O, sulisobenzona, oxibenzona e avobenzona

Fonte: Adaptado de FDA, 2019.

No Brasil, os fotoprotetores são considerados formulações cosméticas de finalidade de proteção contra a radiação ultravioleta (ANVISA, 2012). Diferente da FDA, as formulações fotoprotetoras são consideradas como medicamentos de venda livres (Safian et al., 2025). A normativa brasileira considera a formulação como elemento a ser regulamentado e não considera os filtros UV como elementos isolados de potencial farmacológico. Apesar da classificação de venda livres, ainda são exigidos testes para comprovação da eficácia do produto e definidos padrões de concentração máximas para essas moléculas (Schalka et al., 2014). Dessa forma, muitos dos compostos aprovados no Brasil (Quadro 3) e na Europa ainda não foram inseridos no mercado americano.

Quadro 3. Relação de fotoprotetores orgânicos regulamentados pela ANVISA.

FILTRO (NOME COMUM OU COMERCIAL)	OUTROS NOMES/INCI*	COBERTURA	ANVISA*
PABA	4-Aminobenzoic acid	UVB	15
Padimate O	Ethylhexyl dimethyl PABA (EHDP)	UVB	8
Ethoxylated Ethyl-4-Aminobenzoate	PEG-25 PABA	UVB	10
Mexoryl SO methosulfate	Camphor benzalkonium	UVB	6
Mexoryl SD	3-Benzylidene camphor	UVB	2
Eusolex 6300	4-methylbenzylidene camphor (MBC)	UVB	4
Mexoryl SW	Polyacryamidomethyl benzylidene camphor	UVB	6
Mexoryl SL	Benzylidene Camphor Sulfonic Acid	UVB	6% (expresso como ácido)
Cinoxate	Cinoxate	UVB	3
Neoheliopan E1000	Isoamyl p-methoxycinnamate	UVB	10
Parsol MCX	Ethylhexyl methoxycinnamate (OMC ou EHMC)	UVB	10
Neo heliopan OS	Ethylhexyl salicylate (EHS)	UVB	5
Eusolex HMS	Homosalate	UVB	15
Neo Heliopan TES	Triethanolamine salicylate TEA salicilato	UVB	12
Parsol SLX	Polysilicone-15	UVB	10
Eusolex OCR	Octocrylene (OCR)	UVB	10 (de ácido)
Neo Heliopan Hydro Eusolex 232	Phenylbenzimidazole Sulfonic acid (PBSA)	UVB	8 (como ácido)
Uvasorb HEB	Diethylhexyl butamido triazone (DBT)	UVB	10
Uvinul T150	Ethylhexyl Triazone (EHT)	UVB	5
Benzofenona-3 (Oxibenzona)	Benzophenone-3 (BP-3)	UVA/B	10
Benzofenona-4	Benzophenone-4 (acid) (BP-4)	UVA/B	10 (expresso como ácido)
Benzofenona - 5	Benzophenone-5 (Na)	UVA/B	5% (expresso como ácido)
Benzofenona-8	Benzophenone-8	UVA/B	3
Meredimate	Menthyl anthranilate (MA)	UVA	5
Avobenzona / Parsol 1789	Butylmethoxy dibenzoyl methane (BMBM)	UVA	5
Neoheliopan AP	Disodium phenyl dibenzimidazole tetrasulfonate (DPDT)	UVA	10% (expresso como ácido)
Mexoryl SX	Terephthalidene dicamphor sulfonic Acid (TDSA)	UVA	10 (expresso como ácido)
Uvinul A Plus	Diethylamino hydroxybenzoyl hexil benzoate (DHHB)	UVA	10
Mexoryl XL	Drometrizole trisiloxane (DTS)	UVA/B	15
Tinosorb S	Bis-ethylhexyloxyphenol methoxyphenyl triazine (BEMT)	UVA/B	10
Tinosorb M	Methylene bis-benzotriazolyl tetramethylbutylphenol	UVA/B	10
Dióxido de Titânio	Titanium Dioxide	UVA/B	25
Óxido de Zinco	Zinc Oxide	UVA/B	25

Fonte: Adaptado de Schalka et al., 2014 com o auxílio de Openl Gemini

2.2.1 Toxicidade de Fotoprotetores

2.2.1.1 Toxicidade a saúde humana

A pele é considerada o maior órgão do corpo humano sendo, em sua forma íntegra, uma barreira multifuncional sendo esta, a principal via de aplicação de produtos cosméticos e fotoprotetores (Monteiro-Rivieri, 2010). A permeabilidade dos componentes químicos, quando aplicados sob a pele, podem produzir efeitos locais ou sistêmicos a depender da concentração, potencial de permeabilidade da molécula e da integridade da barreira (Monteiro-Riviere, 2010; FDA, 2019). Ruszkiewicz et al. (2017), estima uma absorção média de 2,65 mg de filtros orgânicos por 1 Kg de peso corporal, quando considerado uma única aplicação de 2 mg de produto (concentração de 10% de ativo UV) por centímetro quadrado de superfície. Tal hipótese é realizada considerando um homem de estatura mediana com 78kg, também adotando uma estimativa de 5% de absorção para os filtros orgânicos. Portanto a integridade da barreira cutânea pode ser atenuada, facilitando a difusão dos compostos e facilitando a absorção.

Segundo Balogh et al. (2011), os fotoprotetores e os compostos de uma formulação fotoprotetora podem causar efeitos alérgenos ou sensibilizantes em algumas peles. Em consenso, Romero et al. (2017) relatam as principais reações adversas ao uso de fotoprotetores orgânicos em adultos: eritema, descamação e pápulas eritematosas. Também foram relatados efeitos adversos em crianças, como eritema, edema e lesão vesiculosas.

Flor, Davlos e Correa (2007), citam o potencial disruptivo dos filtros orgânicos no organismo humano, como modulador hormonal em homens e mulheres. Como exemplo, Nogueira et al. (2025) em sua revisão, cita os efeitos disruptivos do sistema endócrino ocasionados pela exposição ao 4-Mthylbenzylidene camphor (4MBC). Principalmente desregulação hipofisárias, tireoidianas e nos órgãos reprodutores femininos e masculinos, as quais, podem ocasionar no desenvolvimento de neoplasias malignas.

2.2.1.2 Toxicidade ambiental

Os estudos de Medici et al. (2022) apontam a incidência de compostos fotoprotetores em água de banho, sendo constatada a formação de subprodutos potencialmente tóxicos ao meio ambiente. Já Díaz-Cruz e Barcelo, em 2009, demonstra as principais vias de exposição desses produtos à ambientes aquáticos.

Sendo elas diretas, por meio atividades aquáticas recreativas e esportivas, e indiretas, através de estações de tratamento de águas residuais (por acúmulo de resíduos de banhos, lavagens, excreções após aplicação dérmicas).

Santos, Miranda e Da Silva (2012) aponta a presença de fotoprotetores orgânicos e seus subprodutos em ambientes aquáticos, destacando que por influência da exposição solar e da presença de elementos clorados, os fotoprotetores podem sofrer degradação e gerar subprodutos potencialmente tóxicos. As considerações de Dinardo e Downs (2018), indicam a limitação e banimento da utilização de fotoprotetores em algumas áreas devido aos impactos negativos relacionados a corais. Downs et al. (2016), demonstra o efeito de fotoprotetores no ciclo reprodutivo de cnidários onde ocorre a modificação de plântulas do estado móvel para o estado sésil, além de alterações ao material genético e consequente branqueamento dos corais.

Safian et al. (2025), demonstra o perfil histórico dos fotoprotetores e suas relações de toxicidade, observadas e regulamentadas pela Food and Drug Administration. No cenário brasileiro, Schalka et al. (2014), destaca a ampla adoção de medidas de fotoproteção em virtude da maior exposição solar em todo território do país. Dessa forma, a investigação do efeito destes compostos se torna essencial para garantir a biossegurança da população.

2.3 AVOBENZONA

A avobenzona é considerada uma das substâncias fotoprotetoras orgânicas mais utilizadas atualmente em formulações de protetores solares. Esse composto químico apresenta alta eficiência na absorção da radiação ultravioleta do tipo A (UVA), especialmente na faixa de 320 a 400 nm, tornando-se extremamente relevante para a proteção da pele contra os efeitos nocivos da exposição solar, como o fotoenvelhecimento e o aumento do risco de câncer de pele (Flor; Davolos; Correa, 2007).

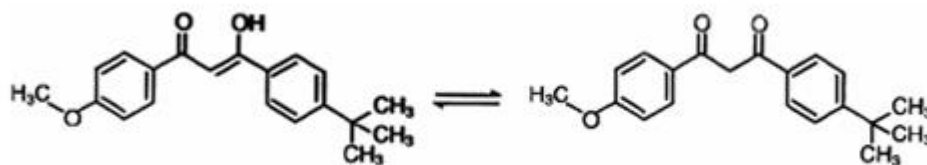
O desenvolvimento da avobenzona ocorreu na década de 1970 pela empresa farmacêutica Hoffmann-La Roche, que introduziu a substância no mercado sob o nome comercial Parsol 1789, em 1973. Em sua revisão, Shaath em 2007 aponta a ampla incorporação da avobenzona em formulações cosméticas, desde sua comercialização. Isso se deve à sua capacidade de absorver

eficientemente a radiação UVA, responsável por danos profundos à pele, incluindo a degradação de fibras de colágeno e elastina (Shaath, 2007).

Posteriormente, em 1988, a substância foi aprovada diante do órgão regulador dos Estados Unidos, FDA, responsável pela avaliação da segurança e eficácia de medicamentos, alimentos e cosméticos. Essa aprovação possibilitou sua ampla utilização em produtos fotoprotetores comercializados em diversos países (FDA, 2011).

Entretanto, estudos posteriores identificaram algumas limitações importantes associadas ao uso desse filtro solar. Entre os principais desafios, encontra-se a foto instabilidade, característica que leva à degradação da molécula quando exposta à radiação solar por períodos prolongados, reduzindo gradualmente sua eficácia fotoprotetora. Segundo Lopes, da Cruz e Batista (2012) apud. Kullavanijaya e Lim (2005), a principal causa da fotoinstabilidade da avobenzona é relacionada a indução de catalização da molécula no metano central e pela indução da conversão para forma cetônica da molécula (figura 2). Além disso, pesquisas apontam a possibilidade de penetração cutânea, o que levanta discussões acerca de potenciais efeitos sistêmicos e da necessidade de formulações mais estáveis e seguras (Serpone; Dondi; Albini, 2007).

Figura 2- Transição enólica/cetônica da avobenzona.



Fonte: Adaptado de Lopes; da Cruz; Batista, 2012.

Diante dessas limitações, a indústria cosmética tem desenvolvido diferentes estratégias para melhorar a estabilidade da avobenzona, incluindo sua associação com outros filtros solares e a utilização de agentes estabilizantes ou sistemas de encapsulamento (Daneluti et al., 2021). Essas abordagens visam prolongar sua eficácia e garantir maior segurança nas formulações fotoprotetoras modernas, mantendo sua importância como um dos principais filtros utilizados para proteção contra radiação UVA.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Reunir informações baseadas na literatura nacional e internacional, sobre a utilização da avobenzona na produção de formulações fotoprotetoras. Bem como caracterizar um perfil toxicológico humano e ambiental

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar o perfil toxicológico da avobenzona na aplicação cutânea;
- Analisar a influência da radiação na estabilidade da molécula
- seu comportamento ambiental.

4 METODOLOGIA DE REVISÃO

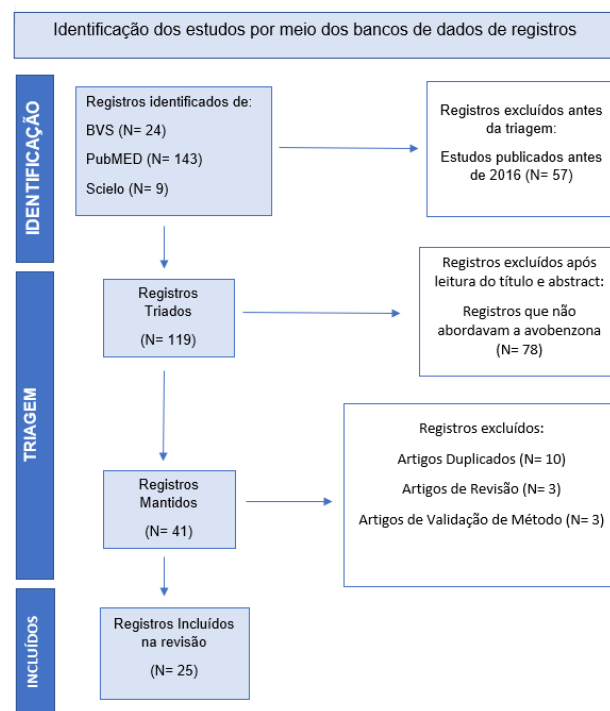
O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura de abordagem qualitativa, baseada na análise de publicações científicas relacionadas ao tema proposto. A coleta de dados foi realizada entre dezembro de 2025 e maio de 2026, por meio de buscas em bases de dados eletrônicas amplamente utilizadas na área da saúde: PubMed, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e a Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). Em relação ao uso de ferramentas de inteligência artificial, como ChatGPT, foi utilizado apenas como ferramenta auxiliar para organização e localização de referências, sem participação na análise crítica dos resultados.

Para a realização da busca bibliográfica, foram utilizados descritores em inglês, combinados por meio de operadores booleanos. A combinação desses descritores teve como objetivo ampliar o alcance das buscas e garantir maior abrangência na identificação de estudos relevantes sobre a temática. Os principais termos empregados foram: *avobenzone* e *butyl methoxydibenzoylmethane* com o booleano AND. Sendo, os termos *toxicology*, *aquatic environment*, *percutaneous absorption* e *cytotoxicity* alternados com o operador booleano OR, para melhor direcionamento de busca.

A pesquisa resultou, inicialmente, em um total de 176 artigos científicos publicados em período não definido. Como primeira etapa, foram excluídos 57 artigos publicados anteriormente ao período de dez anos antes da busca (2026), restando 119 artigos. Destes, realizou-se o processo de triagem dos estudos, com leitura dos títulos e resumos, procedimento que permitiu excluir 78 artigos duplicados e irrelevantes para temática proposta. Em seguida, os 41 artigos restantes foram analisados por meio da leitura completa do texto, a fim de verificar sua adequação aos objetivos da pesquisa. O processo de triagem, bem como os critérios de exclusão foram descritos no diagrama de pirâmide da Figura 3.

Após a aplicação desses critérios metodológicos, foram incluídos 26 artigos que apresentaram relação direta com o objetivo do estudo, enquanto 15 artigos foram excluídos por não atenderem aos critérios estabelecidos ou por apresentarem conteúdo não pertinente à proposta da investigação.

Figura 3. Diagrama em pirâmide da metodologia de revisão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

4.1 DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Formatação de algumas figuras ilustrativas e quadros deste texto foi realizada com o auxílio do Chatgpt e Gemini (acessado em junho de 2026). A ferramenta foi utilizada exclusivamente para tradução e diagramação. Todas as sugestões foram avaliadas, revisadas e aceitas ou rejeitadas pelo autor. O conteúdo, a argumentação e as conclusões são de responsabilidade exclusiva da estudante.

5 DISCUSSÃO

A análise dos estudos selecionados permitiu identificar diferentes aspectos relacionados à segurança, aos efeitos biológicos e aos impactos ambientais da avobenzona (*butyl methoxydibenzoylmethane*), um dos filtros solares orgânicos mais utilizados em formulações fotoprotetoras. Os resultados foram organizados em de modo a classificar e ilustrar os achados (Quadro 4).

Quadro 4- Resumo gráfico dos resultados

ARTIGOS	ACHADOS	AGRUPAMENTO
Matta et al. (2019) Matta et al. (2020) Hiller et al. (2019) Yang et al. (2018) Ichikawa et al. (2025) Norman et al. (2025) Ao et al. (2018) Weis, Gobec e Jakipin (2023)	- Absorção sistêmica da AVO. - Presença de Avo no plasma em concentração máxima. - Ausência da AVO na urina, possível acúmulo cutâneo ou subcutâneo . - Apoptose por disfunção mitocondrial. - Estresse oxidativo e ausência de genotoxicidade. - Toxicidade aguda mínima e ausência de efeitos em fatores carcinogênicos. - Modulação da resposta inflamatória por influência na produção de citocinas.	Permeabilidade cutânea e danos celulares.
Bordalo et al. (2022) Bordalo et al. (2023) Lee et al. (2024)	- Danos ao material genético. - Diminuição da motilidade de espermatozoides. - O aquecimento da AVO melhorou a taxa metabólica dos organismos adultos.	Danos celulares em células reprodutivas.
Fenni et al. (2022) O'Maley et al. (2021) Stolecka et al. (2025) Kwon et al. (2024) Park et al. (2017) Boyd et al. (2023) Kim, Kim e An (2023) Nemeth et al. (2024) Ma et al. (2017) Bruhns et al. (2024) Lebedev et al. (2020) Trebse et al. (2022) Li et al. (2022)	- Presença da AVO em amostras de água e sedimentos na Tunísia, Austrália e Europa Central. - Alteração do desenvolvimento do sistema nervoso de embriões zebra fish. - Alteração do desenvolvimento do sistema renal de embriões zebra fish. - Atenuação dos efeitos tóxicos mediante mistura de etilhexila metoxicinamato, octocrileno e avobenzona. - Diminuição momentânea na fertilidade e composição corporal de D. magna. - Crescimento de D. magna foi atenuado com mistura de AVO e microplásticos. - Presença de AVO no fígado, brânquias e sistema nervoso de C. auratus, além de estresse oxidativo. - Em A. marina a exposição isolada não demonstra estresse oxidativo, a medida que a associação com nano óxido de zinco mostra efeitos tóxicos elevados. - Estabilidade na fotodegradação da AVO em formulação em relação ao composto isolado. - Cloração da AVO gera subprodutos de possível perfil tóxico.	Presença em ambientes aquático e danos
Santo et al. (2026)	Fitotoxicidade da AVO e mistura em todas as concentrações.	Danos ambientais em solo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Estudos clínicos, de Matta et al. (2019), demonstraram que determinados filtros solares, incluindo a avobenzona (AVO), podem apresentar absorção sistêmica após aplicação tópica repetida, excedendo os limites estipulados pela

FDA de 0,5ng/ml. Outra pesquisa conduzida por Matta et al. (2020) manteve os resultados anteriores, porém o aumento da população amostral evidenciou relação direta com o aparecimento de efeitos adversos. Em 2019, foram relatados 4 casos de erupções cutâneas, já em 2020 o indicativo subiu para 14 pacientes. Apesar disso, os autores ressaltam que a presença plasmática não implica necessariamente risco toxicológico imediato, mas indica a necessidade de investigações adicionais sobre segurança a longo prazo.

Resultados semelhantes foram observados em estudo de permeabilidade cutânea, conduzido por Hiller et al. (2019), o qual demonstrou a presença da avobenzona no plasma e na urina, coletados em uma população amostral. Apesar da alta concentração plasmática, os níveis do composto na urina não se mostraram significativos. Os resultados sugerem um perfil de liberação prolongada e possível formação de depósito subcutâneo, o que viabiliza um panorama de investigação relacionado à exposição prolongada ao composto. De modo semelhante, o trabalho de Yang e colaboradores (2018), sugere a indução de processos de apoptose celular associados à disfunção mitocondrial, após exposição a AVO (avobenzona), com possível efeito no desenvolvimento embrionário.

Por outro lado, Norman et al. (2025), em estudos toxicológicos recentes, refuta a existência de evidências consistentes indicadoras de potencial carcinogênico da AVO (avobenzona) em modelos experimentais *in vitro* e *in vivo*. Os dados, sugerem um perfil de segurança aceitável da substância, sem efeitos hormonais e com perfil de toxicidade aguda mínima. Em concordância, Ichikawa et al. (2025) documenta o efeito da exposição de células A549 aos filtros UV e seus subprodutos clorados, entre eles a avobenzona. Em resultado, registra-se a diminuição da viabilidade celular e modificação da enzima glutathione S-transferase (GST), porém com ausência de danos ao DNA, sugestivo de desintoxicação celular e refutando uma possível mutagenicidade.

Além dos efeitos celulares, alguns estudos demonstraram que o butyl methoxydibenzoylmethane pode influenciar respostas imunológicas. Pesquisas de AO et al. (2018) e Weis, Gobec e Jakopin (2023), envolvendo macrófagos, indicaram alterações na atividade inflamatória após exposição à substância. A modulação na produção de interleucinas sugere possíveis interações com mecanismos de resposta imune e diferenciação celular.

Entretanto, alguns estudos experimentais apontaram possíveis efeitos em gametas relacionados à exposição à avobenzona. Bordalo et al. (2022) e Lee e colaboradores (2024), demonstraram em pesquisas na área de toxicologia reprodutiva, alterações na motilidade espermática e possíveis efeitos espermotóxicos em diferentes modelos experimentais. Adicionalmente, Bordalo et al. (2023) demonstra que a exposição da avobenzona sob condições de aumento de temperatura produz efeito proeminente nos gametas masculinos de uma espécie de mexilhão-do-mediterrâneo, *Mytilus galloprovincialis*. Os estudos realizados em organismos bivalves são essenciais para determinação de toxicidade aquática, visando a capacidade de reprodução e filtração de águas destes organismos (Santos, 2025).

No âmbito ambiental, Fenni et al. (2022), O'Malley et al. (2021) e Stolecka et al. (2025) evidenciaram a presença de avobenzona em ambientes aquáticos, principalmente na sazonalidade correspondente ao período de fluxo turístico. Tais estudos referem-se aos impactos ambientais decorrentes da presença da substância em ambientes aquáticos, onde pode atuar como contaminante emergente e afetar organismos aquáticos. Em convergência, os experimentos realizados por Liu et al. (2022) e Kwon et al. (2024), com organismos aquáticos como o peixe-zebra (*Danio rerio*), demonstraram atividade antiandrogênica e alterações no desenvolvimento embrionário após exposição ao composto. Moura e Oliveira (2014) apontam o peixe zebra como excelente marcador de ecotoxicidade, destacando a representatividade da espécie aos danos a demais espécies, incluindo humanos. Além disso, a alta sensibilidade, alta taxa de reprodução e baixo custo e manutenção contribuem para ampla utilização laboratorial.

Em 2017, Park e colaboradores realizaram um estudo em organismo de água doce, *Daphnia magna*, para avaliar a toxicidade da mistura de avobenzona e outros dois filtros UV. Como resultado, a toxicidade da mistura foi menor em relação às substâncias individualmente. O uso de dafinídeos como bioindicador de toxicidade é bastante difundido em virtude da distribuição geográfica abarangentes destes organismos, além da reprodução partenogenica em larga escala e curto ciclo de vida (Granados et al., 2004).

De modo complementar, Boyd et al. (2023) avaliou o efeito individual de três compostos no mesmo organismo, de modo a demonstrar baixa toxicidade da

avobenzona nas 5 gerações expostas. De modo divergente, a pesquisa de Kim, Kim e An (2023) mostraram que a exposição do organismo a avobenzona associada ao microplásticos e irradiação UV, simulando condições naturais, pode ter toxicidade aumentada.

Ma et al. (2017) e Németh et al. (2024), também relataram alterações bioquímicas em organismos aquáticos expostos a avobenzona, incluindo redução da atividade da enzima acetilcolinesterase em peixes, o que pode indicar potenciais efeitos neurotóxicos. Em organismos bentônicos, como os lungworms, foram identificados marcadores de estresse oxidativo associados à exposição à avobenzona de acordo com o estudo de Bruhns e colaboradores em (2024).

Adicionalmente, o ensaio de Santo et al. (2026) relata alta fitotoxicidade em concentrações altas da avobenzona, assim como da sua combinação com octocrileno e oxibenzona, em raízes de *Daucus carota* e *Solanum lycopersicum*. Demonstrando, assim, que a interação entre diferentes substâncias em altas dosagem pode modificar o perfil toxicológico do composto, quando presentes no solo.

Li et al. (2022), em seu estudo, observou a formação de subprodutos da degradação do butil metoxidibenzoilmetano por fotólise em meio aquoso. A avaliação geral dos subprodutos demonstrou, majoritariamente, um perfil menos ecotóxico em relação ao composto não degradado, com exceção de alguns subprodutos contendo anel difenila cujo potencial ecotóxico poderiam ser maiores. Analogamente, Trebse et al. (2016) demonstra subprodutos de cloração e fotólise da avobenzona, com potencial ecotóxico desconhecido. Com um diferencial relevante, o estudo de Lebedev et al. (2020) avalia a cloração da avobenzona como composto isolado e outras três formulações comerciais contendo o filtro UV. Os dados demonstram distinção no comportamento da substância quando em meio a formulação, sendo a substância isolada mais suscetível a reação de cloração.

Observa-se, diante das literaturas referidas, a necessidade de continuidade das investigações relacionadas à segurança ambiental da avobenzona, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de melhorar sua estabilidade fotoquímica e reduzir possíveis efeitos adversos. Estratégias como encapsulação em sistemas nanoestruturados, associação com antioxidantes e otimização das formulações cosméticas têm se mostrado alternativas promissoras para aumentar

a segurança e a eficácia desse filtro solar (Flor, Davolos e Correa, 2007).

6 CONCLUSÃO

A presente revisão de literatura teve como objetivo analisar os desafios de segurança associados ao contato direto com a pele humana e aos possíveis efeitos sistêmicos decorrentes da utilização da avobenzona em formulações fotoprotetoras. Foram encontrados desafios para conclusão da hipótese inicial, devido a aplicação da metodologia de revisão em relação ao escopo sugerido no presente trabalho. A falta de captação de dados e informações sobre o perfil da avobenzona, e seus subprodutos, não permite concluir evidências consistentes de toxicidade humana relevante nas condições de uso aprovadas.

Os estudos analisados demonstram que a avobenzona permanece como um dos filtros solares orgânicos mais importantes para a proteção contra a radiação ultravioleta do tipo A (UVA), desempenhando papel fundamental na prevenção dos danos cutâneos associados à exposição solar, incluindo o fotoenvelhecimento e o desenvolvimento de neoplasias cutâneas. Porém, predizem um potencial estresse oxidativo celular e redução da viabilidade de gametas. Tais achados, não implicam na descontinuação do uso desta substância em formulações fotoprotetoras.

No quesito ambiental, os dados sugerem alterações no desenvolvimento neurológico e motor de biomarcadores, em condições climáticas típicas de países europeus. Tais dados, apontam necessidade de continuidade nas investigações da exposição a longo prazo e em condições reais associadas ao cenário brasileiro.

Assim, embora a avobenzona continue sendo considerada um dos filtros solares mais importantes para proteção contra radiação UVA, os resultados da literatura indicam a necessidade de abordagens integradas que considerem sua aplicação e regulamentação específica nas condições de uso e comportamento no Brasil.

O presente estudo apresenta limitações, como consequência da abrangência do escopo sugerido em relação a metodologia de revisão utilizada e à quantidade de estudos adotados para realização da revisão. Com a ampla abrangência do tema, os descritores de pesquisa não foram suficientes para alcançar dados decisivos para afirmar a hipótese proposta. Desta forma, os dados analisados predizem a necessidade da continuidade de investigação direcionada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC nº 30, de 1º de junho de 2012. Aprova o Regulamento Técnico Mercosul sobre Protetores Solares em Cosméticos e dá outras providências. Brasília, DF: ANVISA, 2012. Disponível em: Portal da Biblioteca Virtual em Saúde – RDC nº 30/2012. Acesso em: 19 maio 2026.
- AO, J. et al. Organic UV filters exposure induces the production of inflammatory cytokines in human macrophages. **Science of The Total Environment**, v. 635, p. 926-935, 2018.
- BALOGH, T. S. et al. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **Anais brasileiros de Dermatologia**, v. 86, n. 4, p. 732-742, 2011.
- BORDALO, D. et al. In vitro spermiotoxicity and in vivo adults' biochemical pattern after exposure of the Mediterranean mussel to the sunscreen avobenzone. **Environmental Pollution**, v. 312, p. 119987, 2022.
- BORDALO, D. et al. Will warmer summers increase the impact of UV filters on marine bivalves?. **Science of The Total Environment**, v. 872, p. 162108, 2023.
- BOYD, A. et al. Can short-term data accurately model long-term environmental exposures? Investigating the multigenerational adaptation potential of *Daphnia magna* to environmental concentrations of organic ultraviolet filters. **Journal of Hazardous Materials**, v. 445, p. 130598, 2023.
- BRUHNS, T. et al. Combined effects of organic and mineral UV-filters on the lugworm *Arenicola marina*. **Chemosphere**, v. 358, p. 142184, 2024.
- CABRAL, L. D. S.; PEREIRA, S. O.; PARTATA, A. K. Filtros solares e fotoprotetores—uma revisão. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 25, n. 2, p. 107-110, 2013.
- CHATELAIN, E.; GABARD, B. Fotoestabilização de metaxidibenzoilmetano (Avobenzone) e metoxicinamato de etilhexila por Bis-etilhexixifenol metoxifenil triazina (Tinosorb S), um novo filtro de banda larga UV. **Fotoquímica e fotobiologia**, v. 74, n. 3, p. 401-406, 2001.
- DANELUTI, A. L. M. et al. Preclinical and clinical studies to evaluate cutaneous biodistribution, safety and efficacy of UV filters encapsulated in mesoporous silica SBA-15. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 169, p. 113-124, 2021.
- DÍAZ-CRUZ, M. S.; BARCELÓ, D. Análise química e efeitos ecotoxicológicos de compostos orgânicos absorventes de UV em ecossistemas aquáticos. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 708-717, 2009.
- DINARDO, J. C.; DOWNS, C. A. Dermatological and environmental toxicological

impact of the sunscreen ingredient oxybenzone/benzophenone-3. **Journal of cosmetic dermatology**, v. 17, n. 1, p. 15-19, 2018.

DRAELOS, Z. D. (Ed.). **Cosmetic dermatology: products and procedures**. John Wiley & Sons, 2022.

DOWNS, C. A et al. Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone-3), on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 70, n. 2, p. 265-288, 2016.

FDA- Food and Drug Administration. FDA fact sheet: FDA proposed rule: sunscreen drug products for over-the-counter-human use; proposal to amend and lift stay on monograph. **U.S. Food & Drug Administration**, Silver Spring, 2019. Disponível: <https://www.fda.gov/media/124655/download>. Acesso em : 19 mai. 2026.

FENNI, F. et al. Contaminants of emerging concern in marine areas: first evidence of UV filters and paraben preservatives in seawater and sediment on the eastern coast of Tunisia. **Environmental Pollution**, v. 309, p. 119749, 2022.

FLOR, J. ; DAVOLOS, M. R. ; CORREA, M. A. Protetores solares. **Química nova**, v. 30, n. 1, p. 153-158, 2007.

FONSECA, M. et al. The impact of flavonoid-loaded nanoparticles in the UV protection and safety profile of topical sunscreens. **Biomolecules**, v. 13, n. 3, p. 493, 2023.

GRANADOS, Y. P. et al. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas: Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. México. Editora Gabriela Castillo Morales. 2004. 189 p. ISBN 968- 5536-33-3.

HILLER, J. et al. Systemic availability of lipophilic organic UV filters through dermal sunscreen exposure. **Environment international**, v. 132, p. 105068, 2019.

ICHIKAWA, M. et al. Cytotoxicity, genotoxicity, and enzyme activity effects of UV filters and their chlorinated by-products in human lung epithelial cells (A549). **Science of the total environment**, v. 1002, p. 180516, 2025.

ICNIRP – International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). **Health Physics**, v. 87, n. 2, p. 171–186, 2004.

KIM, H.; KIM, D.; AN, Y. Microplastics enhance the toxicity and phototoxicity of UV filter avobenzone on *Daphnia magna*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 445, p. 130627, 2023.

KWON, B. R. et al. Thyroid, neurodevelopmental, and kidney toxicities of common

organic UV filters in embryo-larval zebrafish (*Danio rerio*), and their potential links. **Environment International**, v. 192, p. 109030, 2024.

LEBEDEV, A. T. et al. Identification of avobenzene by-products formed by various disinfectants in different types of swimming pool waters. **Environment international**, v. 137, p. 105495, 2020.

LEE, W. et al. Adverse Effects of Avobenzene on Boar Sperm Function: Disruption of Protein Kinase A Activity and Tyrosine Phosphorylation. **Reproductive Toxicology**, v. 125, p. 108559, 2024.

LI, Y. et al. Environmental photochemistry of organic UV filter butyl methoxydibenzoylmethane: Implications for photochemical fate in surface waters. **Science of the Total Environment**, v. 839, p. 156145, 2022.

LIU, Y. et al. Avobenzene and nanoplastics affect the development of zebrafish nervous system and retinal system and inhibit their locomotor behavior. **Science of The Total Environment**, v. 806, p. 150681, 2022.

LOPES, F. M.; DA CRUZ, R. D; BATISTA, K. A. Radiação ultravioleta e ativos utilizados nas formulações de protetores solares. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas**, Agrárias e da Saúde. 2012;16(4):183-99.

MA, B. et al. Bioconcentration and multi-biomarkers of organic UV filters (BM-DBM and OD-PABA) in crucian carp. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 141, p. 178-187, 2017.

MA, Y.; YOO, J. History of sunscreen: An updated view. **Journal of cosmetic dermatology**, v. 20, n. 4, p. 1044-1049, 2021.

MACKIE, B. S.; MACKIE, L. E. The PABA story. **Australasian journal of dermatology**, v. 40, n. 1, p. 51-53, 1999.

MATTA, M. K. et al. Effect of sunscreen application under maximal use conditions on plasma concentration of sunscreen active ingredients: a randomized clinical trial. **Jama**, v. 321, n. 21, p. 2082-2091, 2019.

MATTA, M. K. et al. Effect of sunscreen application on plasma concentration of sunscreen active ingredients: a randomized clinical trial. **Jama**, v. 323, n. 3, p. 256-267, 2020.

MAVERAKIS, E. et al. Light, including ultraviolet. **Journal of autoimmunity**, v. 34, n. 3, p. J247-J257, 2010.

MONTEIRO-RIVIERE, N. A. Toxicology of the Skin. **CRC Press**, New York, cap 1-5, p. 3-26, 2010.

MOURA, M. A. M.; OLIVEIRA, R. Uso de embriões de peixe-zebra em ecotoxicologia. São Paulo: Instituto Biológico, 2014. (Comunicado técnico, 201). Disponível em: <http://repositoriobiologico.com.br/jspui/handle/123456789/231>.

Acesso em: 12 jun 2026.

NÉMETH, Z. et al. Developmental, behavioral, and biochemical effects of chronic exposure to sublethal concentrations of organic UV-filter compounds on a freshwater model species. **Aquatic Toxicology**, v. 277, p. 107134, 2024.

NOGUEIRA, R. F. M. G. et al. Implicações à saúde humana do fotoprotetor 4-methylbenzylidene camphor (4MBC): uma revisão sistemática dos efeitos endócrinos. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 8, n. 18, p. e082018-e082018, 2025.

NORMAN, K. G. et al. Comprehensive review of avobenzone (butyl methoxydibenzoylmethane) toxicology data and human exposure assessment for personal care products. **Critical Reviews in Toxicology**, v. 55, n. 6, p. 662-692, 2025.

O'MALLEY, E. et al. The presence of selected UV filters in a freshwater recreational reservoir and fate in controlled experiments. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142373, 2021.

PARK, C. B. et al. Single-and mixture toxicity of three organic UV-filters, ethylhexyl methoxycinnamate, octocrylene, and avobenzone on *Daphnia magna*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 137, p. 57-63, 2017.

ROMERO, V. et al. Reações adversas ocasionadas por uso de protetores solares. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v. 9, n. 1, p. 41-45, 2017

RUSZKIEWICZ, J. A. et al. Neurotoxic effect of active ingredients in sunscreen products, a contemporary review. **Toxicology reports**, v. 4, p. 245-259, 2017.

SAFIAN, M. T. et al. The dual challenge of FDA-evaluated non-GRASE UV filters: Photostability and systemic absorption– A path toward safer and more effective sunscreens. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 680, p. 125790, 2025.

SANTO, D. E. et al. Ecotoxicological Evaluation of Organic Sunscreens Used Worldwide, Alone and in Mixture, on Terrestrial Plants. **Environmental Toxicology**, v. 41, n. 5, p. 257-269, 2026.

SANTOS, F. O. ORGANISMOS BIVALVES COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA. 2025. 29 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, Maranhão, 2025.

SANTOS, A. J. M.; MIRANDA, M. S.; DA SILVA, J. C. G. E. The degradation products of UV filters in aqueous and chlorinated aqueous solutions. **Water research**, v. 46, n. 10, p. 3167-3176, 2012.

SCHALKA, S. et al. Consenso brasileiro de fotoproteção. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 89, n. 6, p. 75, 2014.

SERPONE, N.; DONDI, D.; ALBINI, A. Inorganic and organic UV filters: Their role and efficacy in sunscreens and suncare products. **Inorganica chimica acta**, v. 360, n. 3, p. 794-802, 2007.

SHAATH, N. A. **The encyclopedia of ultraviolet filters**. 1 ed. Allured Business Media, 2007. 222 p.

SRINIVAS, C. R.; SEKAR, C. S.; JAYASHREE, R. Photodermatoses in India. **Indian Journal of Dermatology, Venereology and Leprology**, v. 78, p. 1, 2012.

STOLECKA, A. et al. Organic ultraviolet filters (OUVF) in freshwater bathing areas: Necessary sunscreen protection versus environmental threat. **Water Research**, v. 279, p. 123423, 2025.

TREBSE, P. et al. Transformation of avobenzone in conditions of aquatic chlorination and UV-irradiation. **Water Research**, v. 101, p. 95-102, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Artificial tanning devices: public health interventions to manage sunbeds. Geneva: World Health Organization, 2017. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/255695>. Acesso em: 19 mai. 2026.

WEISS, V.; GOBEC, M.; JAKOPIN, Z. In vitro investigation of immunomodulatory activities of selected UV-filters. **Food and Chemical Toxicology**, v. 174, p. 113684, 2023.

YANG, C. et al. Avobenzone suppresses proliferative activity of human trophoblast cells and induces apoptosis mediated by mitochondrial disruption. **Reproductive Toxicology**, v. 81, p. 50-57, 2018.