

Aplicações da nanotecnologia na ciência da saúde cosmecêutica

DOI: 10.5281/zenodo.14013233

Bárbara Emília Ribeiro Alcântara ^{a*}

In recent years, nanotechnology has emerged as a game-changing innovation in the cosmeceutical industry, significantly improving the formulation and performance of personal care products. The article highlights ongoing efforts to develop biocompatible and environmentally friendly formulations using natural polyphenols, with the aim of balancing efficacy and safety. The potential of these innovations to shape the future of cosmetics, especially in photoprotection, is discussed, along with the challenges of ensuring the sustainable and safe use of nanotechnology in this area.

Nos últimos anos, a nanotecnologia emergiu como uma inovação revolucionária na indústria cosmeceutica, aprimorando significativamente a formulação e o desempenho dos produtos de cuidados pessoais. O artigo destaca os esforços contínuos para desenvolver formulações biocompatíveis e ecologicamente corretas, utilizando polifenóis naturais, com o objetivo de equilibrar eficácia e segurança. O potencial dessas inovações para moldar o futuro dos cosméticos, especialmente na fotoproteção, é discutido, acompanhado dos desafios de garantir o uso sustentável e seguro da nanotecnologia nessa área.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: barbaraemiliaalcantara@gmail.com

Palavras-chave: nanopartículas; cosméticos; protetor solar; saúde.

Recebido em 09 de setembro de 2024,

Aprovado em 15 de outubro de 2024,

Publicado em 31 de outubro de 2024.

Introdução

Nos últimos anos, a nanotecnologia tem se destacado como uma das áreas mais inovadoras e promissoras da ciência cosmeceutica, transformando profundamente a maneira como os produtos de cuidados pessoais são formulados e aplicados. Com a capacidade de manipular materiais em escala nanométrica (entre 1 e 100 nanômetros), essa tecnologia permite que ingredientes ativos sejam entregues de maneira mais eficiente e direcionada nas camadas mais profundas da pele. Essa precisão resulta em uma eficácia superior, com benefícios que incluem maior absorção, proteção prolongada e uma melhor interação com os componentes biológicos da pele.¹

Os produtos cosmeceuticos, que combinam os benefícios cosméticos com ingredientes biologicamente ativos, têm sido beneficiados pelas propriedades únicas das nanopartículas. Sistemas como lipossomas, nanoemulsões, niosomas e nanopartículas poliméricas são exemplos de tecnologias amplamente empregadas para otimizar a entrega de substâncias ativas, como vitaminas, antioxidantes e protetores solares, além de facilitar a penetração de ativos anti-idade e antiacne. Ademais, estudos recentes mostram que a aplicação de nanopartículas também pode aumentar a estabilidade dos compostos, permitindo uma formulação mais

segura e de longa duração. Devido a tais propriedades, grandes marcas desse ramo industrial, como *L'Oréal*, *Dior* e *Avon*, já adotaram amplamente o uso de nanomateriais para melhorar a estabilidade das formulações e aumentar a absorção de ativos pela pele.^{2,3}

Contudo, a adoção crescente da nanociência nos cosméticos também levanta questões sobre a segurança de sua utilização, especialmente em relação à penetração cutânea e os possíveis efeitos colaterais a longo prazo. Portanto, além dos avanços promissores, há um esforço contínuo para garantir que essas inovações sejam seguras para o consumidor final, por meio de regulamentações mais robustas e investigações científicas rigorosas.⁴

Nesse sentido, dentre os principais produtos comercializados, destaca-se a evolução dos protetores solares com o avanço dessa tecnologia abordada. Os protetores solares desempenham um papel fundamental na proteção da pele contra os efeitos nocivos da radiação ultravioleta (UV), que pode causar queimaduras, envelhecimento precoce e aumentar o risco de câncer de pele. Logo, a eficácia desses produtos depende de sua capacidade de formar uma barreira eficiente sobre a pele, absorvendo ou refletindo os raios UV.⁵

Nas últimas décadas, houve um avanço significativo na aplicação de filtros solares como agentes fotoprotetores para mitigar a suscetibilidade da pele à radiação UV prejudicial emitida pelo sol. Nessa ótica, a nanotecnologia desempenha um papel significativo na evolução desses, especialmente com a incorporação de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO), representadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Essas partículas oferecem uma proteção mais eficiente contra os raios ultravioleta, devido à sua capacidade de absorver e dispersar a radiação UV. Outro ponto positivo é o fato que, ao contrário das partículas tradicionais, as nanopartículas são suficientemente pequenas para evitar o aspecto esbranquiçado comum nos protetores solares convencionais, proporcionando uma melhor estética e aderência à pele.⁶

Figura 1. Dióxido de titânio. Extraído da referência 15.



Figura 2. Óxido de zinco. Extraído da referência 16.



Nesse sentido, os protetores solares convencionais, embora eficazes na proteção contra a radiação ultravioleta (UV), apresentam alguns riscos tanto para a pele quanto para o meio ambiente, devido aos ingredientes ativos usados em suas formulações. Esses transtornos podem ocorrer pois ingredientes como filtros orgânicos (absorvedores de UV) e filtros inorgânicos (como dióxido de titânio e óxido de zinco) podem penetrar nas camadas mais profundas da pele. Assim, em altas doses ou com aplicação repetidamente, esses

compostos podem entrar na circulação sanguínea, potencialmente causando reações adversas.⁶

Outra problemática é o fato que esses filtros inorgânicos apresentam propriedades photocatalíticas, ou seja, quando expostos à luz UV, eles podem gerar espécies reativas de oxigênio (ROS), o que pode levar a danos celulares, envelhecimento precoce e aumentar o risco de mutações genéticas. Por fim, observou-se que alguns ingredientes ativos, especialmente os filtros UV orgânicos, podem causar alergias e irritações cutâneas em usuários com pele sensível.⁵

Em relação à fauna e à flora, quando protetores solares são lavados no mar, lagos e rios, os ingredientes ativos podem causar danos à vida marinha. Filtros UV, como oxibenzona e octinoxato, são conhecidos por causar o branqueamento de corais, afetar a reprodução de organismos marinhos e desestabilizar os ecossistemas aquáticos. Além disso, certos filtros solares não se degradam facilmente no ambiente e podem se acumular na cadeia alimentar, representando riscos para os animais e, indiretamente, para os seres humanos.⁶

Portanto, as respectivas inovações estão transformando a indústria de fotoproteção, oferecendo produtos mais eficazes e esteticamente agradáveis, ao mesmo tempo em que pesquisadores buscam equilibrar a segurança e a eficiência desses sistemas. Neste artigo, serão discutidas as principais aplicações da nanotecnologia na ciência cosmeceutica, destacando os avanços mais recentes, os desafios associados ao seu uso e as perspectivas futuras para essa área em rápida evolução, com foco na indústria de fotoprotetores.

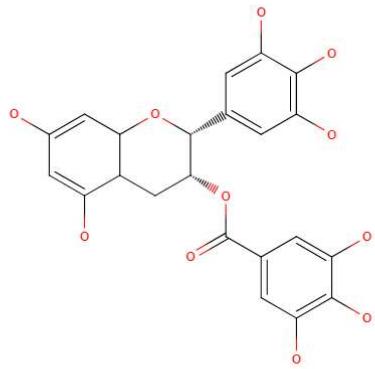
Metodologia

Haja vista as adversidades deste cosmético, muitos estudos estão sendo produzidos com foco na aplicação da nanotecnologia a fim de combinar absorvedores de UV convencionais com produtos naturais biocompatíveis. Dessa forma, os polifenóis vegetais adquiriram bastante destaque nas pesquisas da área cosmeceutica. Os polifenóis vegetais são compostos orgânicos naturais encontrados em uma ampla variedade de plantas. Eles fazem parte de um grande grupo de substâncias químicas conhecidas como fitoquímicos e desempenham um papel importante no crescimento, na defesa contra radicais livres e na proteção contra predadores e patógenos das plantas. Para os seres humanos, os polifenóis são conhecidos por suas propriedades antioxidantes e por oferecer diversos benefícios à saúde.⁷

Os polifenóis são caracterizados pela presença de vários grupos fenólicos, que são estruturas químicas compostas por um ou mais anéis de benzeno com grupos hidroxila. Esses compostos estão presentes em uma ampla gama de alimentos vegetais, como frutas (especialmente frutas vermelhas), vegetais, chá (verde e preto), café, vinho tinto, cacau, azeite de oliva e grãos integrais. Além disso, muitas ervas e especiarias, como cúrcuma e canela, também são ricas em polifenóis.^{5,7}

Para o desenvolvimento do trabalho que culminou no artigo de referência,⁵ foi empregado o galato de epigalocatequina (EGCG), que é o principal polifenol do chá verde. O EGCG é amplamente reconhecido por seus diversos benefícios tanto para a saúde quanto para a pele. Uma de suas principais características é sua poderosa ação antioxidante, que neutraliza os radicais livres, além de suas propriedades anti-inflamatórias e hidratantes, promovendo a regeneração celular. Outrossim, outro benefício importante do EGCG é sua capacidade de proteção contra os raios ultravioleta (UV). Estudos mostram que ele pode prevenir os danos causados pela exposição aos raios UV, como queimaduras solares, danos no DNA, imunossupressão induzida pelo sol e até mesmo câncer de pele. Isso faz do EGCG um componente ideal para a formulação de filtros solares, atuando como um ingrediente natural com propriedades fotoprotetoras.^{8,9}

Figura 3. Estrutura Química do EGCG. Feita pela autora com uso do software *MolView*.



A preparação do protetor solar de banda larga foi feita através da combinação deste polifenol extraído do chá verde com o ácido aminobenzóico (ABA), um absorvedor de UV tradicional. Protetores solares comerciais como Innisfree e Olay foram usados como controle nos testes de eficácia. Desse modo, foram sintetizadas nanopartículas de EGCG/ABA esféricas e negativamente carregadas chamadas

de EA NPs com uma variação de tamanho de 54,6 a 715,1 nm. Para formulação das nanopartículas de EA, foram dissolvidas diferentes quantidades de EGCG em água ultrapura e misturadas com soluções de ABA em água quente na presença de formaldeído. A mistura foi agitada por duas horas e, em seguida, centrifugada para obtenção das nanopartículas.⁵

Resultados e discussão

O principal objetivo do estudo⁵ era analisar a compatibilidade entre absorvedores de UV convencionais com produtos naturais biocompatíveis, nesse caso com o galato de epigalocatequina. Com isso, os resultados destes experimentos demonstram a eficácia da síntese de nanopartículas (NPs) de EGCG-ABA (EA) por meio da reação de condensação de Mannich, com foco nas propriedades físico-químicas, antioxidantes, citocompatibilidade e capacidade anti-UV das NPs.

As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (SEM) mostraram que a morfologia e o tamanho das NPs variaram de acordo com a razão molar EGCG/ABA. À medida que a razão molar diminuiu, o tamanho médio das NPs aumentou, indicando uma automontagem mais eficiente das partículas com menor quantidade de EGCG. Além disso, o valor da concentração crítica de agregação também apresentou uma correlação positiva com a razão molar, sugerindo que a concentração de ABA influencia a formação das partículas. Essas partículas, hidrodinamicamente estáveis, apresentaram alta uniformidade em diferentes meios dispersivos, como água e soluções salinas, mostrando que a estabilidade coloidal foi preservada.^{5,9}

Outro fator analisado foi a capacidade antioxidante das NPs, que foi testada usando os métodos ABTS, DPPH e radicais livres de hidroxila. Assim, as nanopartículas de EA demonstraram forte atividade de eliminação de radicais livres, comparável ao galato de epigalocatequina puro e superior a outros antioxidantes como as vitaminas C e E. Mesmo em concentrações mais altas elas mantiveram uma taxa de eliminação superior a 90%. Além disso, foi confirmado que essas moléculas apresentavam atividade antioxidante superior à da vitamina E, sendo comparáveis ao EGCG.⁵

As Nanopartículas de EA também mostraram forte absorção de radiação UVB e UVA. Os espectros de absorção indicaram que o aumento da proporção de ABA nas NPs ampliou a absorção de UV na faixa Ultravioleta A. As

formulações exibiram uma excelente capacidade de proteção UV, semelhante ou superior a protetores solares comerciais, especialmente na proteção contra UVA. Além disso, as formulações de 10% em peso de NPs EA-0,25 atingiram uma transmitância mínima de cerca de 5% na faixa UVA, o que demonstra sua alta eficácia como ingrediente em filtros solares de amplo espectro.^{5, 10}

Em suma, os NPs de EA sintetizados mostraram-se estáveis, com propriedades antioxidantes e anti-UV destacáveis, sendo promissores para aplicações cosméticas, especialmente em formulações de proteção solar.

Conclusões

A nanotecnologia aplicada à ciência cosmecêutica tem se mostrado uma das inovações mais significativas da última década, transformando radicalmente o desenvolvimento e a eficácia de produtos cosméticos, especialmente na área de fotoproteção. A capacidade de manipular materiais em escala nanométrica, como demonstrado no estudo com nanopartículas de galato de epigalocatequina (EGCG) e ácido aminobenzóico (ABA), possibilitou a criação de formulações altamente eficientes no bloqueio dos raios ultravioleta (UV).⁵ Essas novas formulações não apenas apresentam maior eficácia na proteção contra os danos solares, mas também resolvem questões estéticas dos protetores solares convencionais, como a aparência esbranquiçada na pele, tornando os produtos mais atraentes para os consumidores.

Além dos benefícios em termos de estética e eficácia, a nanotecnologia tem permitido o desenvolvimento de produtos com melhor estabilidade coloidal e maior durabilidade, o que prolonga a proteção contra os raios UV ao longo do dia.⁶ No estudo discutido, as nanopartículas (NPs) de EGCG e ABA demonstraram estabilidade e uniformidade em diferentes meios dispersivos, o que é crucial para garantir a segurança e eficácia do produto em condições de uso real. Ademais, a forte capacidade antioxidantas das NPs testadas, que superou antioxidantes tradicionais como as vitaminas C e E, reforça o valor dessas formulações para a proteção global da pele, combatendo os radicais livres gerados pela exposição solar.

No entanto, apesar dos avanços promissores, o uso de nanomateriais em cosméticos levanta importantes questões de segurança, tanto para os consumidores quanto para o meio ambiente. A potencial penetração de nanopartículas nas camadas mais profundas da pele e sua entrada na circulação

sanguínea ainda requer estudos mais aprofundados, uma vez que seus efeitos a longo prazo são pouco conhecidos.

Espera-se que, no futuro, os avanços da nanotecnologia continuem a proporcionar melhorias significativas nos cosméticos, com a introdução de novos ingredientes naturais, como os polifenóis vegetais, em combinação com sistemas de liberação de nanopartículas. Esses esforços têm o potencial de equilibrar a eficácia e a segurança dos produtos, minimizando os riscos tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente. Para que essas inovações tenham sucesso a longo prazo, é fundamental que a indústria cosmética continue a investir em pesquisas rigorosas e se alinhe com regulamentações cada vez mais robustas, garantindo que os benefícios da nanotecnologia possam ser aproveitados de maneira responsável e segura. Assim, a essa tecnologia em escala nanométrica não só tem o potencial de transformar os cuidados com a pele, como também poderá definir os padrões da indústria cosmecêutica para as próximas gerações.

Contribuições por Autor

O artigo e a inclusão de algumas observações são de Bárbara Emilia Ribeiro Alcântara.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Agradeço ao PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) por todo o apoio concedido através do Programa de Educação Tutorial. Agradeço também ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 G. Fytianos, A. Rahdar and G. Z. Kyzas, Nanomaterials in Cosmetics: Recent Updates, *Nanomaterials*, 2020, **10**, 979.
- 2 Manikanika, J. Kumar and S. Jaswal, Role of nanotechnology in the world of cosmetology: A review, *Materials Today: Proceedings*, 2021, **45**, 3302–3306.

- 3 S. K. Dubey, A. Dey, G. Singhvi, M. M. Pandey, V. Singh and P. Kesharwani, Emerging trends of nanotechnology in advanced cosmetics, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2022, **214**, 112440.
- 4 V. Gupta, S. Mohapatra, H. Mishra, U. Farooq, K. Kumar, M. J. Ansari, M. F. Aldawsari, A. S. Alalaiwe, M. A. Mirza and Z. Iqbal, Nanotechnology in Cosmetics and Cosmeceuticals —A Review of Latest Advancements, *Gels*, 2022, **8**, 173.
- 5 X. Chen, Z. Yi, G. Chen, X. Ma, Q. Tong, L. Tang and X. Li, Engineered fabrication of EGCG-UV absorber conjugated nano-assemblies for antioxidative sunscreens with broad-band absorption, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2022, **220**, 112912.
- 6 R. Mishra, P. Kaur, R. Soni, A. Madan, P. Agarwal and G. Singh, Decoding the photoprotection strategies and manipulating cyanobacterial photoprotective metabolites, mycosporine-like amino acids, for next-generation sunscreens, *Plant Physiology and Biochemistry*, 2024, **212**, 108744.
- 7 T. Khezeli, A. Daneshfar and F. Kardani, In-situ functionalization of MnO₂ nanoparticles by natural tea polyphenols: A greener sorbent for dispersive solid-phase extraction of parabens from wastewater and cosmetics, *Microchemical Journal*, 2023, **190**, 108751.
- 8 M. Feng, X. Zheng, J. Wan, W. Pan, X. Xie, B. Hu, Y. Wang, H. Wen and S. Cai, Research progress on the potential delaying skin aging effect and mechanism of tea for oral and external use, *Food Funct.*, 2021, **12**, 2814–2828.
- 9 E. Roh, J.-E. Kim, J. Y. Kwon, J. S. Park, A. M. Bode, Z. Dong and K. W. Lee, Molecular mechanisms of green tea polyphenols with protective effects against skin photoaging, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, **57**, 1631–1637.
- 10 S. Siqueira Andrade, A. V. de S. Faria, A. Augusto Sousa, R. da Silva Ferreira, N. S. Camargo, M. Corrêa Rodrigues and J. P. F. Longo, Hurdles in translating science from lab to market in delivery systems for Cosmetics: An industrial perspective, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2024, **205**, 115156.
- 11 C. Cardoza, V. Nagtode, A. Pratap and S. N. Mali, Emerging applications of nanotechnology in cosmeceutical health science: Latest updates, *Health Sciences Review*, 2022, **4**, 100051.
- 12 A. Mihranyan, N. Ferraz and M. Strømme, Current status and future prospects of nanotechnology in cosmetics, *Progress in Materials Science*, 2012, **57**, 875–910.
- 13 M. Abedi, Y. Ghasemi and M. M. Nemati, Nanotechnology in toothpaste: Fundamentals, trends, and safety, *Heliyon*, 2024, **10**, e24949.
- 14 J. A. C. Nascimento Júnior, A. M. Santos, A. M. S. Oliveira, A. B. Santos, A. A. de S. Araújo, L. A. Frank and M. R. Serafini, Use of nanotechnology applied to sunscreens: Technological prospection based on patents, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2024, **91**, 105245.
- 15 Dióxido de titânio: função, principais usos e vantagens, <https://sqquimica.com/dioxido-de-titanio-estabilidade-dispersoes/> (acessado em 27 de outubro de 2024.)
- 16 Proibido na Europa, óxido de zinco caminha para restrição no Brasil, <https://opresenterural.com.br/proibido-na-europa-oxido-de-zinco-caminha-para-restricao-no-brasil/>, (acessado em 28 de outubro 2024).