

**COSMETOLOGIA PERSONALIZADA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**  
**PERSONALIZED COSMETOLOGY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**  
**COSMETOLOGÍA PERSONALIZADA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

 10.56238/sevened2026.015-014

**Stephanye Samara Venicius Santos**  
Graduanda em Engenharia Química  
Instituição: Universidade Federal de Sergipe  
E-mail: falecomstephanye@gmail.com

**Jocsa Hémany Cândido-Santos**  
Mestrando em Ciências da Saúde  
Instituição: Universidade Federal de Sergipe  
E-mail: hemanyjocsa@gmail.com

**Cauã Torres Trancoso**  
Mestrando em Ciências Farmacêuticas  
Instituição: Universidade Federal de Sergipe  
E-mail: cauantrrs@gmail.com

**Ana Amélia Moreira Lira**  
Professora efetiva  
Instituição: Universidade Federal de Sergipe  
E-mail: ana\_lira2@hotmail.com

---

**RESUMO**

A convergência entre dermatologia, biotecnologia e Inteligência Artificial tem transformado a cosmetologia personalizada, viabilizando o desenvolvimento de formulações mais precisas e direcionadas a partir da análise integrada de dados individuais, incluindo características cutâneas, exposições ambientais e predisposições genéticas. Este capítulo aborda os fundamentos científicos dessa abordagem, suas aplicações tecnológicas na avaliação, desenvolvimento e recomendação de produtos, e os impactos econômicos e mercadológicos associados à personalização em larga escala. Também são discutidos os principais desafios éticos, regulatórios e metodológicos relacionados ao tratamento de dados biométricos, ao uso de testes genéticos e às estratégias de toxicologia preditiva, destacando perspectivas futuras para a inovação segura e sustentável no setor cosmético.

**Palavras-chave:** Cosmetologia Personalizada. Inteligência Artificial. Genômica Cosmética. Análise da Pele.

## ABSTRACT

The convergence of dermatology, biotechnology, and Artificial Intelligence has transformed personalized cosmetology, enabling the development of more precise and targeted formulations based on the integrated analysis of individual data, including skin characteristics, environmental exposures, and genetic predispositions. This chapter addresses the scientific foundations of this approach, its technological applications in the evaluation, development, and recommendation of products, and the economic and market impacts associated with large-scale personalization. The main ethical, regulatory, and methodological challenges related to the treatment of biometric data, the use of genetic testing, and predictive toxicology strategies are also discussed, highlighting future perspectives for safe and sustainable innovation in the cosmetic sector.

**Keywords:** Personalized Cosmetology. Artificial Intelligence. Cosmetic Genomics. Skin Analysis.

## RESUMEN

La convergencia de la dermatología, la biotecnología y la inteligencia artificial ha transformado la cosmetología personalizada, permitiendo el desarrollo de formulaciones más precisas y específicas basadas en el análisis integrado de datos individuales, incluyendo características de la piel, exposiciones ambientales y predisposiciones genéticas. Este capítulo aborda los fundamentos científicos de este enfoque, sus aplicaciones tecnológicas en la evaluación, el desarrollo y la recomendación de productos, y los impactos económicos y de mercado asociados a la personalización a gran escala. También se analizan los principales desafíos éticos, regulatorios y metodológicos relacionados con el tratamiento de datos biométricos, el uso de pruebas genéticas y las estrategias de toxicología predictiva, destacando las perspectivas futuras para una innovación segura y sostenible en el sector cosmético.

**Palabras clave:** Cosmetología Personalizada. Inteligencia Artificial. Genómica Cosmética. Análisis de la Piel.

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da cosmetologia nos últimos anos tem sido marcada pela integração entre ciência, tecnologia e inovação digital. A pesquisa, desenvolvimento e produção dos cosméticos atrelado a seleção de ativos mais específicos, além de formulações frequentemente mais direcionadas às necessidades individuais do consumidor, vem exigindo não apenas conhecimentos teóricos em química e biologia, mas também a capacidade de discernir e interpretar dados de maneira estratégica para o público-alvo em questão. Nesse contexto e, vinculado ao desenvolvimento tecnológico computacional, as ferramentas digitais passaram a desempenhar papel significativo na personalização de produtos cosméticos, além de apresentarem fortes impactos na tomada de decisões embasadas na coleta de dados relativos a tendências de mercado (Solarte *et al.*, 2025).

À medida que o mercado consumidor reconhece que produtos desenvolvidos para uso individualizado são capazes de atender necessidades específicas dos usuários, observa-se um crescimento exponencial na adoção da inteligência artificial, sendo uma área da computação dedicada ao desenvolvimento de modelos matemáticos capazes de simular processos cognitivos humanos, como raciocínio, percepção e aprendizado. Tal conceito está alinhado à tendência de “*precision medicine*”, aplicada ao contexto dermocosmético, cujo objetivo não é apenas tratar, mas prevenir alterações cutâneas de maneira direcionada (Papakonstantinou; Roth; Karakiulakis, 2012).

A combinação entre ciência dermatológica, análise de dados e tecnologias emergentes como a Inteligência Artificial (IA) fortalece a inovação no setor, impulsionando um modelo mais seguro e eficiente, com formulações mais assertivas baseadas em evidências vide o fato das IA's possuírem extensos bancos de dados que podem cruzar informações entre os indivíduos de modo a prover a melhor experiência possível para o usuário. Esse modo de trabalho comparativo considera variáveis como: fototipo cutâneo, produção sebácea, níveis de hidratação, sensibilidade, exposição solar, poluição e demais fatores ambientais que influenciam a saúde da pele e que são bases para iniciar as formulações individualizadas (Haykal *et al.*, 2025).

## 2 APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS: ALGORITMOS, MACHINE LEARNING E REDES NEURAS

Exemplos da aplicação dessas tecnologias são algoritmos, sistemas baseados em IA que utilizam aprendizado de máquina (*machine learning*) para analisar dados biométricos e imagens faciais associados a questionários de modo a fornecer recomendações personalizadas de produtos cosméticos. O uso de redes neurais convolucionais, modelos de inteligência artificial especializados na análise de imagens e capazes de identificar automaticamente padrões como formas, cores, texturas e outros detalhes visuais, têm demonstrado elevada precisão na detecção e caracterização de características dermatológicas (Esteva *et al.*, 2017). Além disso, modelos de IA têm sido aplicados para acelerar o

desenvolvimento de novas formulações e prever interações entre ingredientes. Exemplos incluem a plataforma IBM RXN for Chemistry, um sistema que utiliza redes neurais para prever produtos de reações químicas e auxiliar no planejamento sintético, bem como o aplicativo ChemAI, que atua na otimização de formulações e na aceleração da inovação no setor por meio de modelagem e simulações químicas baseadas em grandes bancos de dados.

### **3 ASPECTOS ÉTICOS, PRIVACIDADE E PROTEÇÃO DE DADOS NA COSMETOLOGIA DIGITAL**

Paralelamente, o uso intensivo de dados faciais, biométricos e genéticos na personalização cosmética intensifica as preocupações relacionadas à privacidade, à segurança da informação e à transparência no tratamento de dados. Esse cenário torna-se ainda mais crítico pelo fato de tais informações serem classificadas pela legislação brasileira como dados pessoais sensíveis (Brasil, 2018). A coleta, o armazenamento e o processamento dessas informações exigem consentimento claro de seus detentores, objetivo explícito e adoção de medidas técnicas e administrativas capazes de proteger os titulares contra acessos não autorizados. Agravantes como vazamentos ou usos indiscriminados de tais informações, também são tratados conforme estabelecido pela Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) (Brasil, 2018). Além disso, a utilização de algoritmos para sugerir ativos ou rotinas personalizadas necessita de cuidados quanto à aplicabilidade dos modelos, uma vez que decisões automatizadas podem impactar diretamente a experiência e a confiança do consumidor (Gerke; Minssen; Cohen, 2020). Soma-se a isso a necessidade de validação científica rígida dos *claims*, sendo estas alegações ou promessas feitas sobre um produto, comumente utilizadas em marketing e rotulagens que, associados com a personalização genética e recomendações alicerçadas em IA's, garantam que as promessas de eficiência e eficácia estejam fundamentadas em evidências mercadológicas consistentes evitando, assim, extrapolações sem respaldo técnico.

Porém, apesar da problemática relacionada ao uso indiscriminado de informações pessoais, seja em dispositivos móveis ou em computadores avançados tecnologicamente, aplicativos e dispositivos inteligentes diariamente utilizam câmeras de alta resolução combinadas com IA para fazer o mapeamento da pele do usuário em tempo real. Estudos demonstram que ferramentas digitais podem apresentar desempenho comparável ao de especialistas em determinadas classificações dermatológicas (Esteve *et al.*, 2017).

### **4 TECNOLOGIA E PROFISSIONAL: COMPLEMENTARIDADE DAS IAS COMERCIAIS**

Entre as tecnologias já consolidadas no mercado, a ModiFace, do grupo L'Oréal apresenta uma plataforma baseada em IA atrelada à realidade aumentada de modo a permitir a simulação de produtos cosméticos e análise facial criteriosa. Segundo o próprio grupo L'Oréal, a tecnologia utiliza algoritmos

avançados para avaliar características da pele e recomendar produtos personalizados, sendo amplamente integrada a marcas globais do grupo (L'Oréal, 2023). O grupo detém também outra ferramenta digital com respaldo dermatológico intitulada Skin Genius, que realiza a análise da pele através de uma *selfie* do paciente de modo a avaliar sinais de envelhecimento, textura e uniformidade da pele para sugerir rotinas de cuidado personalizadas. A empresa descreve a tecnologia como baseada em banco de dados clínico e IA treinada com milhares de imagens faciais.

A viabilidade de mercado dessas tecnologias relacionadas ao mercado atual cosmético retrata como, em meio a globalização que vivemos diariamente, os seres humanos transferem sua crença do profissional que estudou anos para a execução e aplicação de tal ciência, para a tecnologia recém criada. Esta aglutina informações as quais podem até, a depender da base de dados que é utilizada, servir de guia errôneo para a personalização do produto em questão. Diante disso, o questionamento que nos resta fazer é: será que, devido a essa transposição de responsabilidades desenfreada e inconsequente, a tecnologia irá substituir completamente o papel dos formuladores cosméticos?

Grupos como a L'Oréal Paris afirmam que, durante o desenvolvimento de suas plataformas associadas a algoritmos avançados, contaram com o acompanhamento de profissionais qualificados da área cosmética para validar as conclusões geradas pelos códigos de programação na análise da pele dos indivíduos submetidos aos testes. No entanto, diante de um cenário ainda pouco regulamentado, como o ambiente digital atualmente se apresenta, surge o questionamento: será que todas as empresas que desenvolvem essas tecnologias adotam o mesmo cuidado ao estruturar aplicativos voltados ao diagnóstico cutâneo?

## **5 PERSONALIZAÇÃO GENÉTICA E OS LIMITES CIENTÍFICOS DA IA**

Sob tal perspectiva, o debate ocorre de maneira mais sensível quando a personalização cosmética ultrapassa a análise superficial da pele por imagens e passa a incorporar dados biológicos profundos, como informações genéticas. Se os algoritmos computacionais já refletem desafios quanto à validação científica em diagnósticos cutâneos baseados apenas em fotografias e padrões visuais, inserir análises genômicas sob a ótica de cosméticos escala abruptamente a responsabilidade técnica e ética vinculada a este parâmetro. Pesquisas acerca dos polimorfismos vinculados a produção de colágeno, respostas inflamatórias, envelhecimento precoce e pigmentação cutânea exigem rigor científico e interpretação especializada, não apenas tecnologias avançadas de processamento de dados que, de modo criterioso, fundamentam a famigerada cosmetologia personalizada por IA (Papakonstantinou; Roth; Karakiulakis, 2012).

## 6 TESTES GENÉTICOS APLICADOS À BELEZA

### 6.1 GENÔMICA COSMÉTICA

A genômica cosmética, ou cosmetogenômica, emerge como um campo interdisciplinar na interface entre genética molecular, dermatologia e inovação tecnológica, buscando compreender como variações individuais no DNA podem influenciar características e respostas cutâneas. A análise de polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs) tem sido investigada como ferramenta para identificar diferenças interindividuais em processos biológicos relacionados à inflamação, ao estresse oxidativo, à dinâmica do colágeno e à pigmentação, fatores diretamente implicados no envelhecimento da pele e na resposta a intervenções estéticas. Embora ainda em consolidação científica, essa abordagem integra o movimento mais amplo da dermatologia de precisão, no qual dados genômicos e tecnologias emergentes vêm sendo explorados para orientar estratégias progressivamente mais individualizadas no cuidado cutâneo (Haykal *et al.*, 2025).

### 6.2 POLIMORFISMOS E PRODUÇÃO DE COLÁGENO

Estudos de associação genômica ampla (GWAS) indicam que o envelhecimento cutâneo apresenta componente genético mensurável, sobretudo quando avaliado por fenótipos quantitativos, como microtopografia da pele, profundidade de rugas e textura superficial. A meta-análise conduzida por Law *et al.* (2017) identificou associação significativa entre variações na microtopografia cutânea e loci previamente relacionados à pigmentação, incluindo variantes em *SLC45A2*, *IRF4* e *MC1R*. Embora esses genes estejam classicamente envolvidos na determinação da cor da pele, seus efeitos sobre fenótipos de envelhecimento sugerem que diferenças genéticas na resposta à radiação ultravioleta podem modular indiretamente a integridade da matriz dérmica, influenciando a degradação de colágeno e o remodelamento tecidual ao longo do tempo.

Além dos loci associados à pigmentação, análises integrativas de GWAS e estudos de genes candidatos apontam para a participação de variantes em genes ligados à homeostase da matriz extracelular, incluindo aqueles envolvidos na síntese, organização e degradação de colágeno. Polimorfismos que afetam a regulação de metaloproteinases da matriz (MMPs), proteínas estruturais dérmicas e vias de sinalização relacionadas ao estresse oxidativo podem alterar o equilíbrio entre síntese e degradação de colágeno, contribuindo para perda de firmeza, flacidez e formação de rugas. Revisões sistemáticas recentes reforçam que o envelhecimento cutâneo é um fenótipo poligênico, no qual múltiplos loci distribuídos ao longo do genoma exercem efeitos cumulativos e, por vezes, pleiotrópicos sobre pigmentação, elasticidade e arquitetura dérmica (Wong *et al.*, 2025).

### 6.3 POLIMORFISMOS E RESPOSTA INFLAMATÓRIA

A inflamação crônica de baixo grau, descrita como *inflammaging*, é reconhecida como um mecanismo central do envelhecimento cutâneo, sendo caracterizada pela presença persistente de citocinas pró-inflamatórias e mediadores derivados do fenótipo secretor associado à senescência (SASP) em células da pele. Esse perfil inflamatório favorece a expressão de MMPs, contribuindo para a degradação do colágeno e de outros componentes da matriz extracelular, com repercussões estruturais progressivas na derme ao longo do envelhecimento (Pilkington *et al.*, 2021). Paralelamente, evidências recentes de SNPs em genes relacionados à inflamação, remodelação da matriz e defesa antioxidante incluindo variantes em genes como *MMP1*, *IL6* e *SOD2* podem modular diferenças interindividuais na resposta inflamatória e na susceptibilidade ao estresse oxidativo cutâneo, influenciando a forma como a pele responde a fatores ambientais, como radiação ultravioleta (Haykal *et al.*, 2025).

Com base nesse entendimento molecular, plataformas atuais de genotipagem aplicadas ao *skincare* empregam painéis estruturados de SNPs associados a vias biológicas relevantes à fisiologia cutânea, como inflamação, estresse oxidativo, degradação de colágeno, glicação e pigmentação. Esses sistemas integram variantes genéticas previamente descritas na literatura e as organizam em eixos funcionais interpretativos, que refletem tendências biológicas relativas, por exemplo, maior ou menor eficiência antioxidante, propensão a respostas inflamatórias exacerbadas ou maior susceptibilidade à degradação da matriz extracelular. A partir dessa estratificação, relatórios genéticos traduzem os achados moleculares em recomendações direcionadas, sugerindo ativos cosméticos com propriedades antioxidantes, calmantes ou moduladoras de matriz, além de orientações complementares relacionadas à fotoproteção, hábitos de vida e estratégias preventivas. Dessa forma, o perfil genético individual é utilizado como ferramenta para personalização de cuidados cutâneos, integrando conhecimento molecular à prática dermocosmética (Yang, 2025).

### 6.4 POLIMORFISMOS E PIGMENTAÇÃO

A pigmentação cutânea é regulada por um conjunto de genes envolvidos na melanogênese, entre os quais se destacam *MC1R*, *TYR* e *OCA2*, cujas variantes genéticas contribuem para diferenças interindividuais na cor da pele e na resposta à radiação ultravioleta. O gene *MC1R* codifica um receptor expresso em melanócitos que, quando ativado pela  $\alpha$ -MSH, estimula a via da adenosina monofosfato cíclico (AMPC) e promove a síntese de eumelanina, pigmento escuro com maior capacidade fotoprotetora. Polimorfismos funcionais nesse gene podem reduzir essa sinalização, favorecendo a produção de feomelanina, que oferece menor proteção contra a radiação UV, resultando em maior sensibilidade solar e maior susceptibilidade ao dano actínico (Sturm, 2009). Já o gene *TYR* codifica a enzima tirosinase, responsável pela etapa limitante da síntese de melanina, assim, variantes que alteram sua atividade influenciam diretamente a quantidade total de pigmento produzido. O *OCA2*, por sua

vez, participa da regulação do pH e da maturação do melanossoma, afetando a eficiência da deposição e distribuição da melanina, o que repercute na tonalidade cutânea (Yang, 2025).

A interação entre variantes em genes envolvidos na melanogênese não determina apenas diferenças fenotípicas de coloração cutânea, mas também influencia a fotoproteção intrínseca da pele, uma vez que a proporção entre eumelanina e feomelanina modula a capacidade de absorção e dissipação da radiação ultravioleta (Sturm, 2009). Polimorfismos em genes-chave da pigmentação, como *MC1R*, *OCA2*, *SLC24A5* e *TYR*, podem alterar tanto a quantidade quanto a qualidade da melanina produzida, repercutindo no tom basal da pele, na capacidade de bronzeamento e na suscetibilidade ao fotodano e ao câncer cutâneo (Nan *et al.*, 2009).

Com o avanço da genômica aplicada, variantes associadas à pigmentação passaram a integrar painéis de SNPs utilizados em pesquisas aplicadas e em abordagens de dermatologia personalizada, com o objetivo de estimar tendências individuais de resposta à radiação UV e risco de alterações pigmentares (Markiewicz; Idowu, 2022; Ng; Chew, 2022). Ainda assim, tais abordagens permanecem em processo de consolidação científica e devem ser compreendidas como ferramentas complementares à prática clínica, sem substituir a anamnese, o exame físico e o julgamento dermatológico especializado.

## 6.5 POLIMORFISMOS E ENVELHECIMENTO PRECOCE

Estudos de associação GWAS têm demonstrado que o envelhecimento cutâneo é um fenótipo biologicamente complexo, resultante da interação entre múltiplos loci com efeitos de pequena magnitude, distribuídos em vias relacionadas à homeostase da matriz extracelular, regulação da melanogênese, resposta ao estresse oxidativo, inflamação e organização estrutural da epiderme e derme. Revisões sistemáticas de GWAS indicam que diversos genes inicialmente descritos no contexto de pigmentação apresentam também associações com fenótipos clássicos de envelhecimento, evidenciando efeitos pleiotrópicos. Loci como *IRF4* e *TYR*, além da região cromossômica 16q24.3, figuram entre aqueles relacionados simultaneamente a variações de cor da pele, formação de rugas e alterações pigmentares, sugerindo que vias regulatórias compartilhadas podem influenciar tanto características constitutivas quanto processos de envelhecimento (Ng; Chew, 2022). Esses achados reforçam a noção de que o envelhecimento não se restringe a um declínio estrutural passivo, mas envolve modulação genética ativa de processos celulares como diferenciação queratinocitária, síntese de melanina e remodelamento da matriz dérmica.

No que se refere à herdabilidade, análises baseadas em coortes populacionais sugerem que uma fração relevante da variabilidade interindividual nos sinais clínicos de envelhecimento pode ser atribuída a fatores genéticos. Entretanto, tais estimativas devem ser interpretadas de forma contextualizada, uma vez que o fenótipo cutâneo resulta da interação dinâmica entre genótipo e

expossoma. A radiação ultravioleta, a poluição atmosférica, hábitos de vida e o estado redox sistêmico modulam vias moleculares relacionadas à inflamação crônica de baixo grau, dano oxidativo, encurtamento telomérico e degradação de colágeno, influenciando de maneira substancial a expressão fenotípica do envelhecimento (Khmaladze *et al.*, 2020). Assim, a contribuição genética não atua de forma isolada, mas em constante interação com estímulos ambientais cumulativos ao longo da vida.

## **7 LIMITAÇÕES CIENTÍFICAS DA PERSONALIZAÇÃO GENÉTICA NA COSMETOLOGIA**

Mesmo que exista um potencial promissor, a aplicação de testes genéticos na cosmetologia apresenta limitações importantes. O envelhecimento cutâneo, a exemplo é um processo que ocorre de maneira multifatorial resultante de fatores como predisposição genética, metabolismo celular e variações hormonais além de ciclos como a melanogênese causada pela exposição gradativa ao longo da vida a radiação UV e outros fatores extrínsecos como tabagismo e alimentação. Embora alguns polimorfismos genéticos estejam ligados à degradação do colágeno, à resposta antioxidante ou a processos inflamatórios, eles não determinam isoladamente o fenótipo cutâneo. Isso ocorre porque a expressão dos genes é influenciada por fatores ambientais e epigenéticos ao longo do tempo. É demonstrado na literatura que a correlação entre genética e ambiente é decisiva na manifestação fenotípica da pele, especialmente nos processos de fotoenvelhecimento e estresse oxidativo (Papakonstantinou; Roth; Karakiulakis, 2012).

Nessa perspectiva, a análise individual de parâmetros genéticos pode inviabilizar a formulação desenvolvida devido a simplificações excessivas da biologia cutânea, especialmente via aplicativos e tecnologias que não possuem respaldo científico e acompanhamento em sua tomada de decisão, além de atualizações constantes. Isso reforça a necessidade de uma robusta validação acadêmica com metodologia padronizada, amostragens representativas e uma correlação estatisticamente significativa entre variantes genéticas e desfechos cosméticos mensuráveis.

## **8 MICROBIOMA CUTÂNEO E PERSONALIZAÇÃO**

O microbioma cutâneo constitui um ecossistema complexo formado por bactérias, fungos, vírus e outros microrganismos que coexistem em equilíbrio dinâmico com a barreira da pele, desempenhando papel essencial na manutenção da homeostase cutânea. Esse sistema microbiano participa de funções como modulação da resposta imune, proteção contra patógenos, manutenção do pH e contribuição para a integridade da barreira epidérmica. Alterações na diversidade, abundância relativa ou estabilidade dessas comunidades que é uma condição frequentemente denominada disbiose têm sido associadas ao desenvolvimento ou agravamento de diversas dermatoses, incluindo acne, dermatite atópica e outras condições inflamatórias da pele (Byrd; Belkaid; Segre, 2018).

Nesse contexto, a caracterização do microbioma surge como um dos pilares da cosmetologia personalizada. A identificação de perfis microbianos individuais, obtida por técnicas de sequenciamento e análise bioinformática, permite compreender padrões específicos de colonização e susceptibilidade cutânea. A partir dessas informações, torna-se possível direcionar intervenções cosméticas mais precisas, alinhadas ao ecossistema biológico de cada indivíduo (Byrd; Belkaid; Segre, 2018; Chen; Fischbach; Belkaid, 2018).

Entre as estratégias aplicadas, destaca-se o uso de prebióticos, que atuam como substratos seletivos capazes de favorecer o crescimento de microrganismos benéficos, contribuindo para a restauração do equilíbrio microbiano. De forma complementar, probióticos e lisados bacterianos vêm sendo incorporados a formulações cosméticas com o objetivo de modular a microbiota residente, fortalecer mecanismos de defesa cutânea e reduzir processos inflamatórios associados à disbiose (Knackstedt; Knackstedt; Gatherwright, 2020).

A personalização também envolve o ajuste das formulações conforme o perfil ecológico da pele, considerando fatores como predominância de determinados gêneros bacterianos, nível de sensibilidade cutânea, produção sebácea e condições ambientais de exposição. Essa abordagem permite não apenas otimizar a eficácia dos produtos, mas também reduzir o risco de desequilíbrios microbiológicos induzidos por cosméticos inadequados, reforçando a tendência de desenvolvimento de soluções dermocosméticas baseadas em dados biológicos individualizados (Byrd; Belkaid; Segre, 2018).

## **9 PERSONALIZAÇÃO COSMÉTICA COMO ESTRATÉGIA COMPETITIVA E REESTRUTURAÇÃO DO SETOR**

O fortalecimento da personalização de cosméticos atualmente deve ser tratado não apenas como um avanço tecnológico, mas como uma reestruturação estratégica no setor cosmético em escala mundial. No Brasil, à luz dos dados da Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC, 2023), o país encontra-se entre os maiores consumidores de produtos de beleza do mundo, ocupando uma posição de destaque no ranking internacional do setor. Nesse panorama evidencia-se a relevância econômica da implementação de tecnologias como a IA, biotecnologia e análise de dados para a formulação de produtos mais direcionados e eficazes.

A maior assertividade nos resultados representa um dos maiores benefícios dessa abordagem, sobretudo quando se considera a complexidade biológica da pele humana e sua diversidade. A análise de dados baseada em aprendizado de máquina permite a redução de tentativas e erros para a utilização de formulações que exponham desnecessariamente o indivíduo a substâncias potencialmente irritantes ou ineficazes que apenas agravam a problemática a ser sanada pelo consumidor. Conforme Draelos (2018), a compreensão aprofundada da fisiologia cutânea e das interações bioquímicas entre ativos é

fundamental para minimizar processos irritativos e inflamatórios, especialmente em indivíduos com predisposição genética ou sensibilidade aumentada.

Além disso, a simulação do desempenho de formulações na penetração cutânea de ativos cosméticos ainda necessita de investigações mais aprofundadas, principalmente no que se refere à capacidade preditiva de modelos computacionais em relação a comportamento *in vivo*. Sob essa perspectiva, houve uma ascensão de técnicas de permeação *in vitro* como ferramentas fundamentais para avaliar a difusão de ativos na pele. Dentre essas técnicas, destaca-se o uso cada vez mais recorrente das células de difusão de Franz, que permitem a aplicação do ativo sobre uma membrana biológica ou sintética, como pele humana, animal ou membranas artificiais tal como a de celulose, a exemplo), possibilitando o monitoramento da quantidade de ativo permeada ao longo do tempo (Liang *et al.*, 2024).

Essas análises possibilitam a determinação de parâmetros importantes, como fluxo em estado estacionário, coeficiente de permeabilidade, coeficiente de difusão e tempo de latência (lag time), contribuindo para a compreensão mais detalhada da cinética de liberação, difusão e penetração dos compostos através da pele (Adamiak-giera *et al.*, 2023; Kumar *et al.*, 2023). Adicionalmente, modelos mais recentes utilizam pele reconstruída tridimensional (*in vitro*), que mimetiza de forma mais fiel a estrutura e a função da pele humana, permitindo avaliações não apenas de permeação, mas também de irritação, toxicidade e interação com diferentes camadas cutâneas. Apesar disso, limitações ainda existem, como a variabilidade entre amostras biológicas, a ausência de circulação sanguínea e de respostas imunológicas, fatores que impactam diretamente a extrapolação dos resultados para condições reais (Lu *et al.*, 2024).

Paralelamente, o avanço das ferramentas computacionais tem impulsionado o desenvolvimento de softwares capazes de simular a penetração cutânea de ativos com base em parâmetros físico-químicos, como massa molecular, lipofilicidade (log P), solubilidade e coeficiente de difusão. Modelos *in silico*, incluindo abordagens baseadas em QSAR (*Quantitative Structure-Activity Relationship*) e simulações matemáticas de difusão, permitem prever o comportamento de moléculas na pele, reduzindo custos, tempo experimental e a necessidade de testes laboratoriais extensivos. Além disso, plataformas mais avançadas vêm integrando inteligência artificial e aprendizado de máquina para correlacionar grandes volumes de dados experimentais e otimizar formulações cosméticas de forma mais rápida e precisa (Wu *et al.*, 2022; Ita; Roshanaei, 2024).

Entretanto, apesar dos avanços, esses softwares ainda apresentam limitações significativas, principalmente na representação da complexidade da barreira cutânea, que envolve múltiplas camadas, composição lipídica heterogênea, variações fisiológicas entre indivíduos e influência de fatores externos, como temperatura e hidratação da pele. Dessa forma, torna-se evidente que a abordagem mais robusta para avaliação da permeação cutânea reside na integração entre métodos *in vitro* e *in vivo*.

silico, permitindo a validação cruzada dos resultados e o desenvolvimento de modelos preditivos mais confiáveis. Assim, o aprimoramento contínuo dessas técnicas e ferramentas é essencial para impulsionar a inovação na área cosmética, garantindo maior segurança, eficácia e assertividade no desenvolvimento de novas formulações, ao mesmo tempo em que atende às demandas regulatórias e éticas atuais, especialmente no contexto da substituição de testes em animais (Vasiljev *et al.*, 2025).

## **10 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, BIOTECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE NA FORMULAÇÃO**

No que concerne à otimização da inserção de ingredientes ativos, a personalização cosmética reduz formulações excessivamente complexas e custosas de modo a promover a escolha estratégica de ingredientes com maior probabilidade de eficácia. A biotecnologia cosmética tem possibilitado o desenvolvimento de peptídeos biomiméticos, antioxidantes estabilizados e sistemas de entrega inteligentes, ampliando a biodisponibilidade e o desempenho clínico dos produtos (Baumann, 2009). De modo a priorizar a sustentabilidade produtiva e uma redução no desperdício de insumos para as formulações.

## **11 PSICOLOGIA DO CONSUMO, MARKETING DIGITAL E TENDÊNCIAS DE MERCADO**

Sob a ótica mercadológica, a personalização ultrapassa a dimensão técnica e alcança fundamentos da psicologia do consumo. Os seres humanos tendem a atribuir maior valor percebido a produtos que refletem sua singularidade, fenômeno este associado ao intitulado “efeito de auto-referência” e à necessidade humana de diferenciação individual (Solomon, 2016). Atualmente, a busca incessante por experiências exclusivas torna a percepção de que um produto feito “sob medida” desperte mecanismos cognitivos e emocionais que reforcem as ideias de cuidado, reconhecimento pessoal e pertencimento.

Sob tal perspectiva, a fidelização do consumidor é retratada como consequência direta dessa abordagem pois, de acordo com relatórios internacionais, os consumidores demonstram maiores engajamentos em marcas que oferecem experiências personalizadas de modo a elevar os índices de retenção e recompra (Mckinsey & company, 2021). Já no Brasil a ABIHPEC destaca que a inovação tecnológica e diferenciação são os principais fatores determinantes para competitividade no setor cosmetológico, especialmente na presença de um mercado altamente dinâmico e digitalizado onde tendências de mercado e consumo tanto individual quanto grupal são alteradas quase que instantaneamente.

Nesse contexto, observa-se uma crescente oferta de produtos contendo ativos como o ácido hialurônico em sua formulação, impulsionado não apenas pelas evidências científicas atreladas a sua

capacidade higroscópica e a melhora na hidratação cutânea, mas também devido às estratégias de marketing digital utilizadas por influenciadoras digitais (popularmente denominadas blogueiras). A diária divulgação de rotinas de *skincare* nas redes sociais fortaleceram narrativas focadas em resultados imediatos, relacionando o ácido hialurônico à ideia de rejuvenescimento e pele perfeita. Fato este que dialoga diretamente com a psicologia do consumo onde o efeito da autorreferência onde o indivíduo projeta o benefício de terceiros em si próprio ocorre tal qual o “efeito manada”, sendo este caracterizado pela tendência de replicar os comportamentos amplamente utilizados por uma porção social em si mesmo. Dados de mercado assinalam o crescimento expressivo na demanda global de produtos com o ácido hialurônico incorporado em suas formulações na última década, especialmente após a influência do marketing digital provido pelas redes sociais (Grand view research, 2022). A promessa de produtos “sob medida” tornou-se um poderoso diferencial competitivo, especialmente entre consumidores que associam personalização à maior eficácia e exclusividade (Mckinsey & company, 2021).

## **12 REGULAÇÃO E TRANSFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS NA INDÚSTRIA COSMÉTICA**

Paralelamente a isso, apesar do aumento significativo do consumo de produtos cosméticos e o crescente estímulo capitalista das tendências de mercado, observou-se que a questão ética relacionada aos testes em animais foi enfatizada mesmo com todo esse processo ocorrendo de maneira rápida e abrupta. A União Europeia proibiu, em 2013, a comercialização de cosméticos que eram até então testados em animais de modo a fomentar o desenvolvimento de métodos alternativos como modelos tridimensionais de pele humana utilizando testes *in vitro* previamente validados (European commission, 2013). Esse acontecimento impulsionou investimentos na área de toxicologia preditiva, que utiliza modelos computacionais, métodos alternativos e dados biológicos para prever o potencial tóxico de substâncias antes que sejam aplicadas em humanos ou animais. Além disso, a inteligência artificial passou a ser empregada na avaliação da segurança dos ingredientes usados nas formulações, contribuindo para aprimorar os resultados dos testes realizados.

No contexto brasileiro, houve avanços regulatórios significativos, com a proibição de testes em animais para cosméticos em todo o território nacional, além do reconhecimento, pela ANVISA, de métodos alternativos validados, alinhando-se às diretrizes internacionais (ANVISA, 2022). Apesar desses avanços, ainda persistem desafios regulatórios relacionados à implementação e padronização desses métodos. Ainda assim, observa-se uma redução progressiva no uso de modelos animais na indústria cosmética, refletindo pressões sociais, éticas e de mercado, bem como a crescente valorização de práticas mais sustentáveis e inovadoras.

Diversas empresas globais redirecionaram parte dos seus investimentos para plataformas digitais que utilizam reconhecimento facial, cruzamento de dados e questionários inteligentes de modo a recomendar rotinas de cuidados individualizadas. Esse movimento fortalece não só o vínculo entre as marcas e os consumidores, mas também consolida a ideia de respaldo científico nas recomendações de produtos que são oferecidos pelas marcas. No Brasil, a adoção dessas estratégias cresce concomitantemente com o comércio eletrônico e a digitalização do consumo, fatores estes amplamente destacados pela ABIHPEC.

### 13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, torna-se evidente que a personalização cosmética não configura apenas uma tendência transitória, mas um movimento estruturante que reposiciona ciência, tecnologia e mercado em um mesmo eixo estratégico. A convergência entre IA, biotecnologia e conhecimento dermatológico inaugura uma fase em que inovação e responsabilidade caminham lado a lado, exigindo maturidade científica proporcional ao avanço tecnológico alcançado.

Mais do que reformular produtos, o setor passa a reformular paradigmas. A lógica da padronização cede espaço à valorização da singularidade; a experimentação empírica é progressivamente substituída por decisões orientadas por dados; e o consumidor deixa de ser apenas destinatário para tornar-se parte integrante de um ecossistema informacional que retroalimenta a própria inovação. Esse cenário projeta uma indústria mais precisa, mais estratégica e, potencialmente, mais sustentável.

Contudo, o verdadeiro diferencial competitivo não residirá exclusivamente na sofisticação dos algoritmos ou na amplitude dos bancos de dados, mas na capacidade do setor de integrar tais ferramentas a princípios sólidos de ética, validação científica e responsabilidade regulatória que vem sendo debatidos e solidificados gradualmente. O futuro da cosmetologia personalizada dependerá, sobretudo, da boa convivência entre avanço tecnológico, prudência metodológica e o entusiasmo advindo da inovação envolto no rigor da ciência.

À medida que novas descobertas sobre genética, microbioma cutâneo e modelagens preditivas emergem, amplia-se também o horizonte de possibilidades para formulações cada vez mais assertivas e individualizadas. Ainda há vastos territórios científicos a serem explorados, e é precisamente nessa interseção entre o que já se conhece e o que ainda está por ser descoberto que reside o potencial transformador do setor.

Assim, ainda distante de encerrar o debate, estas reflexões pretendem evidenciar que estamos apenas no limiar de uma nova era na cosmetologia. Uma era em que tecnologia e humanidade não se antagonizam, mas se complementam; em que inovação não substitui o conhecimento, mas que o potencializa; e em que a busca por eficácia se alinha à responsabilidade social e científica.

Por fim, se conduzida com discernimento, a personalização cosmética poderá não apenas redefinir a forma como produtos são desenvolvidos, mas também a maneira como ciência, indústria e consumidor se interrelacionam. E é justamente essa perspectiva, de evolução contínua, crítica e fundamentada, que confere sentido ao percurso apresentado e reafirma que o futuro da cosmetologia não é um destino previamente traçado de maneira ordenada, mas sim uma construção dinâmica constantemente pautada entre a inegociável observância dos princípios éticos que regem a ciência e sua aplicação social.

## REFERÊNCIAS

ADAMIAK-GIERA, U. et al. Evaluation of the in vitro permeation parameters of topical ketoprofen and lidocaine hydrochloride from transdermal Pentravan® products through human skin. **Frontiers in Pharmacology**, v. 14, p. 1157977, 2023.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Métodos alternativos ao uso de animais em cosméticos**. Brasília: Anvisa, 2022.

Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC). **Panorama do setor 2023**. São Paulo: ABIHPEC, 2023.

BAUMANN, L. **Skin type solutions**. New York: Bantam Dell, 2009.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)**. Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BYRD, Allyson L.; BELKAID, Yasmine; SEGRE, Julia A. The human skin microbiome. **Nature Reviews Microbiology**, v. 16, n. 3, p. 143–155, 15 mar. 2018.

CHEN, Y. Erin; FISCHBACH, Michael A.; BELKAID, Yasmine. Skin microbiota–host interactions. **Nature**, v. 553, n. 7689, p. 427–436, 25 jan. 2018.

DRAELOS, Z. D. **Cosmetics and dermatologic problems and solutions**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.

ESTEVA, Andre *et al.* Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. **Nature**, v. 542, n. 7639, p. 115–118, 2 fev. 2017.

European Commission. **Ban on animal testing**. Brussels: European Commission, 2013.

GERKE, Sara; MINSEN, Timo; COHEN, Glenn. Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. *In: Artificial Intelligence in Healthcare*. Elsevier, 2020. p. 295–336.

HAYKAL, Diala *et al.* Cosmetogenomics unveiled: a systematic review of AI, genomics, and the future of personalized skincare. **Frontiers in Artificial Intelligence**, v. 8, 10 nov. 2025.

HAYKAL, Diala. Leveraging Single Nucleotide Polymorphism Profiling for Precision Skin Care: How SNPs Shape Individual Responses in Cosmetic Dermatology. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 24, n. 1, 31 jan. 2025.

ITA, K.; ROSHANAIEI, S. Artificial intelligence for skin permeability prediction: deep learning. **Journal of Drug Targeting**, v. 32, n. 3, p. 334–346, 2024.

KHMALADZE, Ia *et al.* The Skin Interactome: A Holistic “Genome-Microbiome-Exposome” Approach to Understand and Modulate Skin Health and Aging. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, v. Volume 13, p. 1021–1040, dez. 2020.

KNACKSTEDT, Rebecca; KNACKSTEDT, Thomas; GATHERWRIGHT, James. The role of topical probiotics in skin conditions: A systematic review of animal and human studies and implications for future therapies. **Experimental Dermatology**, v. 29, n. 1, p. 15–21, 18 jan. 2020.

KUMAR, M. et al. Franz diffusion cell and its implication in skin permeation studies. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 45, n. 5, p. 943-956, 2024.

LAW, Matthew H. *et al.* Genome-Wide Association Shows that Pigmentation Genes Play a Role in Skin Aging. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 137, n. 9, p. 1887–1894, set. 2017.

LIANG, B.; SHU, P.; LI, Z. et al. Expert consensus on the technical specifications of the in vitro skin penetration test of cosmetic product by Franz diffusion cell. **Journal of Dermatologic Science and Cosmetic Technology**, v. 1, p. 100040, 2024.

LU, H.; ZUO, X.; YUAN, J.; XIE, Z.; YIN, L.; PU, Y.; CHEN, Z.; ZHANG, J. Research progress in the development of 3D skin models and their application to in vitro skin irritation testing. **Journal of Applied Toxicology**, v. 44, n. 9, p. 1302-1316, 2024.

MAKRANTONAKI, Evgenia; BEKOU, Vassiliki; ZOUBOULIS, Christos C. Genetics and skin aging. **Dermato-Endocrinology**, v. 4, n. 3, p. 280–284, jul. 2012.

MARKIEWICZ, Ewa; IDOWU, Olusola C. Evaluation of Personalized Skincare Through in-silico Gene Interactive Networks and Cellular Responses to UVR and Oxidative Stress. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, v. Volume 15, p. 2221–2243, out. 2022.

McKinsey & Company. **The future of personalization in beauty**. New York: McKinsey & Company, 2021.

NAN, Hongmei *et al.* Genetic variants in pigmentation genes, pigmentary phenotypes, and risk of skin cancer in Caucasians. **International Journal of Cancer**, v. 125, n. 4, p. 909–917, 15 ago. 2009.

NG, Jun Yan; CHEW, Fook Tim. A systematic review of skin ageing genes: gene pleiotropy and genes on the chromosomal band 16q24.3 may drive skin ageing. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 13099, 30 jul. 2022.

PAPAKONSTANTINO, Eleni; ROTH, Michael; KARAKIULAKIS, George. Hyaluronic acid: A key molecule in skin aging. **Dermato-Endocrinology**, v. 4, n. 3, p. 253–258, jul. 2012.

PILKINGTON, Suzanne M. *et al.* Inflammaging and the Skin. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 141, n. 4, p. 1087–1095, abr. 2021.

SOLARTE, Sebastian *et al.* Current Perspectives on Emulsified Cosmetics: Integration of Artificial Intelligence into Product Design. **ACS Omega**, v. 10, n. 33, p. 36788–36803, 26 ago. 2025.

STURM, R. A. Molecular genetics of human pigmentation diversity. **Human Molecular Genetics**, v. 18, n. R1, p. R9–R17, 15 abr. 2009.

VASILJEV, T. G. et al. From animal testing to in silico models: a systematic review and practical guide to cosmetic assessment. **Statistical Methods & Applications**, v. 34, p. 895–937, 2025.

WONG, Chloe *et al.* Genetic determinants of skin ageing: a systematic review and meta-analysis of genome-wide association studies and candidate genes. **Journal of Physiological Anthropology**, v. 44, n. 1, p. 4, 8 fev. 2025.

WU, Y.-W.; TA, G. H.; LUNG, Y.-C.; WENG, C.-F.; LEONG, M. K. In silico prediction of skin permeability using a two-QSAR approach. **Pharmaceutics**, v. 14, n. 5, p. 961, 2022.