

Luz azul e pele: entre os riscos do envelhecimento digital e os benefícios da fototerapia

Blue light and skin: between the risks of digital aging and the benefits of phototherapy

Andréia Neves Salvado Pessoa¹

Resumo

O avanço da era digital intensificou a exposição da pele à luz azul (High Energy Visible Light – HEV), proveniente de dispositivos eletrônicos como celulares e computadores, cuja alta energia pode penetrar profundamente nos tecidos cutâneos, desencadeando estresse oxidativo, degradação do colágeno, inflamações e hiperpigmentações. Esta revisão bibliográfica, de abordagem qualitativa e descritiva, discute o duplo papel da radiação HEV: de um lado, seus efeitos deletérios relacionados ao envelhecimento digital, incluindo rugas, flacidez, manchas e alterações no ritmo circadiano; de outro, suas aplicações terapêuticas na estética por meio da fototerapia, na qual diferentes comprimentos de onda (azul, vermelha, âmbar e infravermelha) promovem ação anti-inflamatória, cicatrizante e bactericida, além de estimular a síntese de colágeno e elastina, favorecer a microcirculação e contribuir para tratamentos de rejuvenescimento, clareamento, acne e revitalização cutânea. Nesse contexto, o estudo reforça a importância de estratégias preventivas, como fotoprotetores físicos com pigmentos minerais, antioxidantes tópicos e cosméticos anti poluição, ao mesmo tempo em que evidencia os

¹Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Senac - Santo Amaro, São Paulo – SP – Brasil. Orientado pela Professora Silvia Cristina Fernandes Olegário e Professora Dra Márcia Freire dos Reis Gorny Email: andreia.nspessoa@senacsp.edu.br – ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8109-8472>

benefícios da luz azul aplicada de forma controlada, consolidando conhecimentos científicos que sustentam práticas estéticas baseadas em evidências.

Palavras-chave: Luz azul; Envelhecimento digital; Radiação HEV; Estresse oxidativo; Cosméticos; Fotoproteção; Cosméticos antipoluição; Fototerapia.

Abstract

The advancement of the digital era has intensified skin exposure to blue light (High Energy Visible Light – HEV), emitted by electronic devices such as smartphones and computers. Due to its high energy, this radiation can penetrate deeply into skin tissues, triggering oxidative stress, collagen degradation, inflammation, and hyperpigmentation. This bibliographic review, with a qualitative and descriptive approach, discusses the dual role of HEV radiation: on one hand, its deleterious effects related to digital aging, including wrinkles, skin laxity, dark spots, and alterations in circadian rhythm; on the other hand, its therapeutic applications in aesthetics through phototherapy, in which different wavelengths (blue, red, amber, and infrared) promote anti-inflammatory, healing, and bactericidal actions, in addition to stimulating collagen and elastin synthesis, improving microcirculation, and contributing to treatments for rejuvenation, skin brightening, acne, and cutaneous revitalization. In this context, the study reinforces the importance of preventive strategies, such as physical sunscreens with mineral pigments, topical antioxidants, and anti-pollution cosmetics, while also highlighting the benefits of blue light when applied in a controlled manner. This consolidates scientific knowledge that supports evidence-based aesthetic practices.

Keywords: Blue light; Digital aging; HEV radiation; Oxidative stress; Dermocosmetics; Photoprotection; Anti-pollution cosmetics, Phototherapy.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço tecnológico e a digitalização das atividades cotidianas transformaram profundamente os hábitos da sociedade. Atualmente, é praticamente inevitável a exposição prolongada à luz proveniente de dispositivos eletrônicos como smartphones, computadores, tablets e televisores. Essa realidade afeta diretamente a saúde da pele, especialmente pela emissão contínua da luz azul, também chamada de High Energy Visible Light (HEV), um tipo de radiação visível de alto poder energético que penetra profundamente nas camadas cutâneas e pode causar danos cumulativos.

Diferente da radiação ultravioleta, a luz azul está presente não apenas na luz solar, mas também em fontes artificiais amplamente utilizadas em ambientes internos, o que significa que a exposição não se restringe mais ao período diurno ou a espaços abertos. Nesse cenário, surgem novos desafios para profissionais da área estética, que precisam compreender tanto os impactos deletérios dessa radiação na saúde cutânea quanto seu potencial terapêutico, uma vez que a luz também pode ser utilizada de forma controlada em protocolos estéticos de fototerapia.

Do ponto de vista prejudicial, diversos estudos apontam que a exposição excessiva à luz azul induz a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que desencadeiam estresse oxidativo, degradação do colágeno e alterações celulares. (Liebel et al., 2018) demonstraram que a luz azul atua induzindo a expressão de MMP-1 e da quimiocina pró-inflamatória IL-8, favorecendo o fotoenvelhecimento e a inflamação. Sua ação também pode estar relacionada à apoptose de queratinócitos, o que compromete a proliferação celular e reduz a migração de fibroblastos, além de intensificar a melanogênese pela indução da tirosinase, resultando em hiperpigmentação (MENDROK-EDINGER et al., 2018). Assim, a exposição contínua a fontes artificiais de luz azul pode contribuir para o processo de envelhecimento digital, marcado por rugas, manchas e perda de elasticidade dérmica.

Em contrapartida, quando aplicada de maneira controlada na fototerapia, a luz em diferentes comprimentos de onda (azul, vermelha, âmbar e infravermelha) estimula

processos biológicos benéficos. Entre os efeitos positivos destacam-se a ação anti-inflamatória, cicatrizante e bactericida, a melhora da oxigenação e da microcirculação tecidual, o estímulo à síntese de colágeno e elastina, a aceleração da regeneração celular e a regulação da oleosidade. Esses benefícios tornam a fototerapia uma estratégia eficaz em protocolos de rejuvenescimento, tratamento da acne, clareamento e revitalização cutânea (SOWER SOUZA; CATÃO, 2021; HAMBLIN, 2021).

O crescente aumento da exposição às telas eletrônicas tem despertado preocupações quanto aos efeitos da luz azul no envelhecimento cutâneo, uma vez que estudos apontam sua relação com processos de degradação do colágeno e estresse oxidativo.

Apesar disso, a literatura ainda é limitada e pouco consolidada, especialmente no que se refere à comparação com outras radiações e às implicações clínicas para a estética.

Paralelamente, a mesma radiação apresenta aplicações terapêuticas relevantes, como a utilização da fototerapia com luz azul em tratamentos estéticos, que demonstram efeitos anti-inflamatórios, bactericidas e moduladores da função cutânea. Assim, torna-se essencial aprofundar o estudo sobre o impacto dessa radiação, destacando tanto seus efeitos prejudiciais quanto seus potenciais benefícios para a saúde e o cuidado da pele.

Este estudo tem como objetivo analisar o duplo papel da luz azul na pele, investigando, de um lado, os mecanismos relacionados ao envelhecimento cutâneo decorrente da exposição a dispositivos eletrônicos, com destaque para a degradação do colágeno e o estresse oxidativo, e, de outro, os potenciais benefícios da fototerapia com luz azul em tratamentos estéticos, ressaltando seus efeitos anti-inflamatórios, bactericidas e moduladores da função cutânea, de modo a evidenciar sua relevância para o cuidado e a manutenção da saúde da pele.

2 Referencial Teórico

2.1 Estrutura da Pele: Epiderme, Derme e Hipoderme

A pele, maior órgão do corpo humano, desempenha funções essenciais como proteção contra agentes externos, regulação térmica, resposta imunológica, produção de

vitamina D e percepção sensorial. Estruturalmente, é formada por três camadas: epiderme (superficial), derme (intermediária) e hipoderme (profunda), além de apresentar anexos cutâneos como pelos, glândulas sebáceas e sudoríparas e unhas. Sua composição celular é complexa, incluindo queratinócitos (responsáveis pela formação da queratina e pela barreira protetora), melanócitos (produtores de melanina e responsáveis pela pigmentação), células de Langerhans (atuam na defesa imunológica), células de Merkel (relacionadas à sensibilidade tátil) e fibroblastos (sintetizam colágeno, elastina e substância fundamental da derme). Além disso, macrófagos dérmicos e mastócitos participam das respostas inflamatórias e imunológicas locais, enquanto adipócitos, presentes na hipoderme, exercem funções de reserva energética, isolamento térmico e amortecimento mecânico. Essas células atuam de forma integrada, garantindo a manutenção, regeneração e funcionalidade do tecido cutâneo (CIOL; CASTRO, 2019; VIEIRA; BENTO, 2015; AZULAY, 2022; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2017).

A epiderme, camada mais externa da pele, é formada por um epitélio escamoso estratificado queratinizado, cuja composição é predominantemente de queratinócitos. Sua principal função é proteger o organismo contra agentes externos, atuando como uma barreira física e funcional. Essa camada é subdividida em cinco estratos: córneo, lúcido, granuloso, espinhoso e basal, organizados de forma sequencial da superfície para as camadas mais profundas. O estrato lúcido localiza-se entre o córneo e o granuloso, sendo observado apenas nas regiões de pele espessa, como palmas das mãos e plantas dos pés, onde confere maior resistência e proteção (YOUSEF; ALHAJJ; SHARMA, 2022).

Na sequência, a camada granulosa apresenta de três a cinco fileiras de células com grânulos de querato-hialina, os quais contêm glicolipídios que contribuem para a adesão entre as células e para a formação de uma barreira contra a perda de água, desempenhando papel crucial na manutenção da hidratação da pele (YOUSEF; ALHAJJ; SHARMA, 2022).

As camadas espinhosa e basal, situadas mais internamente, são responsáveis pela renovação contínua da epiderme. A camada espinhosa abriga células maiores que participam de divisões celulares e auxiliam na produção de novos queratinócitos. Já o estrato basal, também conhecido como germinativo, é o principal responsável pela

regeneração celular da epiderme, fornecendo queratinócitos recém-formados que ascendem para as camadas superiores ao longo do processo de diferenciação (KAMIBEPPU; VALENTE; SOTTO, 2023).

Os melanócitos, também de natureza dendrítica, estão localizados abaixo da camada basal da epiderme, em uma proporção aproximada de um para cada trinta e seis queratinócitos. Sua função principal é a produção de melanina — pigmento de coloração castanha — que é transferido para os queratinócitos. O processo de síntese da melanina, denominado melanogênese, ocorre nos melanossomos e depende da ação da enzima tirosinase, que transforma o aminoácido tirosina em L-DOPA e, posteriormente, em dopaquinona. Esta, por sua vez, sofre reações bioquímicas que resultam na formação da melanina, cuja principal função é proteger o DNA celular da radiação ultravioleta ao absorver e difundir os raios solares (SOUZA; VARGAS, 2021).

Dois tipos principais de melanina podem ser sintetizados: a eumelanina, de coloração marrom-escuro a negra, e a feomelanina, de tons que variam entre o amarelo e o marrom-avermelhado. Ambos os pigmentos têm origem na dopaquinona, formada a partir da oxidação da L-tirosina pela tirosinase (KAMIBEPPU; VALENTE; SOTTO, 2023).

Na derme, os fibroblastos se destacam como as principais células responsáveis pela produção de colágeno e fibras elásticas. O colágeno, que representa cerca de 95% da composição dérmica, possui diferentes subtipos e é o principal componente estrutural da pele, conferindo-lhe resistência, elasticidade e sustentação (AZULAY, 2022). A derme é formada por tecido conjuntivo denso não modelado, localizado entre a epiderme e a hipoderme, e tem como função estruturar e proteger as camadas mais superficiais. (BERNARDO; SANTOS; SILVA, 2019).

O tecido subcutâneo, também chamado de hipoderme, tem origem mesodérmica e apresenta uma rica composição de tecido adiposo. Esse tecido exerce funções importantes, como reserva energética, isolamento térmico e proteção contra choques mecânicos e pode ser considerada um órgão de função endócrina. Estruturalmente, divide-se em dois estratos: o lamelar e o areolar. Os lóbulos de gordura localizados nesses estratos apresentam formas achatadas, pequenas e fusiformes, organizando-se de maneira sobreposta para permitir maior armazenamento lipídico em arranjos horizontais e

perpendiculares. As células adiposas se mostram inchadas e superpostas, refletindo essa organização tridimensional especializada (SOAIGHER; BLANCO, 2016).

2.2 Envelhecimento Intrínseco e Extrínseco

O envelhecimento da pele é influenciado por diversos fatores, podendo ser de origem intrínseca — relacionado à genética e ao processo natural de envelhecimento celular — ou extrínseca, decorrente da exposição ao ambiente e aos hábitos de vida. Além da predisposição genética, aspectos como radiação solar, tabagismo, consumo excessivo de álcool, estresse crônico, alterações hormonais e doenças sistêmicas contribuem para acelerar esse processo (NASCIMENTO, 2019).

Com o aumento da expectativa de vida, tornou-se cada vez mais comum o desejo de manter uma aparência jovem por mais tempo, o que impulsionou o interesse por métodos que retardam as manifestações visíveis do envelhecimento, sobretudo na pele, que é o órgão mais exposto aos fatores ambientais (RIBEIRO, 2019).

Devido à sua exposição constante, a pele torna-se um marcador visual eficaz da idade cronológica e do impacto ambiental ao longo da vida. Nesse contexto, o envelhecimento cutâneo é geralmente classificado em dois tipos: o intrínseco, também conhecido como cronológico, e o extrínseco por fatores ambientais. O primeiro decorre do envelhecimento biológico natural, influenciado pela genética e pela redução progressiva da atividade celular. Já o segundo é resultado direto da ação de agentes externos, com destaque para a radiação ultravioleta (UV), embora outros fatores como má alimentação, fumo e álcool também exerçam influência significativa (ORTOLAN et al., 2013; FONSECA; PAULA; TAQUETTO, 2021).

Inicialmente, o envelhecimento extrínseco foi identificado apenas como fotoenvelhecimento, em razão da predominância da radiação UV como fator desencadeante. No entanto, estudos atuais consideram também a radiação infravermelha (IV), a poluição ambiental e hábitos de vida inadequados como contribuintes importantes para o processo (CASCAES, 2018).

Com o avanço da idade, observa-se uma atrofia progressiva dos melanócitos funcionalmente ativos, o que resulta em redução da produção de melanina em determinadas regiões da pele. Estima-se que essa diminuição possa variar entre 10% e 20% por década, especialmente em decorrência da exposição solar cumulativa ao longo dos anos. Paralelamente, ocorre uma redução significativa — de até 40% — no número de células de Langerhans, o que compromete a eficácia das respostas imunológicas, em especial nas reações de hipersensibilidade (DECCACHE, 2006; OLIVEIRA, 2018).

2.3 Radiação UV e Seus Efeitos Sobre a Pele

Os radicais livres são espécies químicas altamente reativas, caracterizadas pela presença de um ou mais elétrons desemparelhados. Essas moléculas instáveis podem ser geradas por reações químicas em que o oxigênio se associa a outras substâncias, formando espécies com excesso de elétrons. Quando envolvidos em processos de oxidação enzimática, esses radicais desencadeiam danos celulares significativos, acelerando o processo de envelhecimento cutâneo. Tais danos ocorrem principalmente pela modificação de estruturas celulares como o DNA e proteínas estruturais — incluindo colágeno e proteoglicanos —, afetando diretamente a integridade da membrana celular e contribuindo para a perda de firmeza e elasticidade da pele (VALLE; BETONIA; COSTA, 2015).

A principal fonte endógena de radicais livres decorre do metabolismo celular, especialmente durante o transporte de elétrons na cadeia respiratória mitocondrial. Nessa via, o oxigênio molecular é reduzido pela enzima citocromo C oxidase, resultando na formação de moléculas de água e promovendo a oxidação do NADH em NAD para produção de ATP. Contudo, estima-se que de 1% a 2% dos elétrons escapem do processo e reajam com o oxigênio molecular não reduzido, formando espécies reativas de oxigênio (EROs), como o ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila ($OH^{\bullet}$), todos com alto potencial tóxico (FARINATTI, 2014; HIRATA; SATO; SANTOS, 2015).

Entre as fontes exógenas de EROs, o fotoenvelhecimento se destaca como uma das principais causas do envelhecimento cutâneo. A radiação ultravioleta (UV), ao interagir

com cromóforos intracelulares e fotossensibilizadores, gera o oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), que danifica o DNA — causando lesões tanto transitórias quanto permanentes — e ativa vias intracelulares relacionadas à proliferação celular, diferenciação, senescência e degradação da matriz extracelular. Além disso, neutrófilos presentes em maior número na pele danificada pela radiação também contribuem para o aumento do estresse oxidativo.

As membranas celulares tornam-se alvos preferenciais, sofrendo peroxidação lipídica, o que compromete sua fluidez e elasticidade, podendo levar à ruptura celular (SOUZA et al., 2018).

Esse processo de peroxidação, além de afetar enzimas mitocondriais e a membrana plasmática, favorece a formação de subprodutos tóxicos como os malonadeídos. Essas substâncias participam diretamente da formação de ligações cruzadas em componentes essenciais como o colágeno, a elastina e o DNA, comprometendo a estrutura e função dos tecidos (FARINATTI, 2022).

Os efeitos dos radicais livres não se limitam ao meio intracelular. Diversas estruturas extracelulares também são vulneráveis, especialmente proteínas estruturais como o colágeno e o ácido hialurônico. Lipídios de membrana, carboidratos, ácidos nucleicos e vitaminas também são alvos frequentes da ação oxidativa. Estudos vêm demonstrando que dietas ricas em antioxidantes estão associadas à redução do risco de doenças crônicas e à proteção contra os efeitos prejudiciais dos radicais livres (BIANCHI; ANTUNES, 1999; GUIRRO; GUIRRO, 2018).

2.4 Manchas, Rugas e Flacidez

O surgimento das rugas está intimamente relacionado à perda de elasticidade natural da pele, provocada por fatores como diminuição das fibras elásticas, rigidez do colágeno, queda na funcionalidade do tecido conjuntivo e redução da oxigenação tecidual, o que favorece a desidratação da pele. Esse conjunto de alterações compromete a integridade estrutural cutânea e leva ao aparecimento das rugas (GUIRRO; GUIRRO, 2015).

Clinicamente, as rugas podem ser classificadas em diferentes tipos: rugas dinâmicas, que surgem devido à contração repetitiva dos músculos da expressão facial; rugas estáticas, que se manifestam independentemente do movimento e indicam fadiga das estruturas cutâneas; rugas profundas, geralmente associadas à exposição solar intensa e restritas às regiões afetadas, sem alteração ao estiramento da pele; e rugas superficiais, caracterizadas pela perda ou redução das fibras elásticas na derme papilar, sendo observadas em pele envelhecida de forma crônica e modificáveis com o estiramento da pele (GUIRRO; GUIRRO, 2015).

Essas rugas podem ser identificadas em diferentes regiões da superfície cutânea, mas são mais evidentes nas chamadas áreas expostas — como a região periorbital, testa, nariz e região perioral — justamente por serem mais expostas à radiação solar, ao vento e ao frio. Além da exposição ambiental, outros fatores como predisposição genética, alterações hormonais, deficiências nutricionais, condições vasculares, clima, processos de intoxicação e respectivas terapias diversas também influenciam a qualidade da pele e a velocidade do envelhecimento (GUIRRO; GUIRRO, 2015; KEDE; SABATOVICH, 2024).

No envelhecimento cutâneo, outras alterações estruturais também são observadas além das rugas, incluindo alterações como discromias senis e lesões actínicas e mudanças na textura e elasticidade da pele. Os três principais componentes da derme — a substância fundamental amorfa, as fibras elásticas e as fibras colágenas — demonstram sinais de deterioração progressiva com o passar dos anos. A redução gradual das fibras elásticas compromete a capacidade da pele de retornar à sua forma original após ser esticada, resultando na perda de força estrutural e contribuindo para o aspecto flácido característico da pele envelhecida (OLIVEIRA, 2018).

2.5 Luz Azul (High Energy Visible Light – HEV)

Com o avanço da era digital, o uso de dispositivos eletrônicos como smartphones, tablets, televisores e laptops tornou-se onipresente desde a infância, intensificando a exposição da população à luz azul (TAHERI et al., 2017). Vilar (2016) destaca que esse

uso se dá tanto em contextos de estudo e trabalho quanto em atividades de lazer, contribuindo para uma exposição cumulativa à luz artificial, além daquela proveniente da radiação solar. As telas desses dispositivos emitem quantidades significativas de luz visível, especialmente na faixa azul do espectro, o que pode acarretar diversos efeitos adversos, incluindo distúrbios visuais, desequilíbrios na microbiota cutânea e alterações no ciclo circadiano, com impacto potencial sobre os níveis hormonais, como o cortisol (TAHERI et al., 2017). Além da exposição digital, a luz azul também está presente na iluminação por LEDs e na radiação solar natural (PORTILHO, 2018).

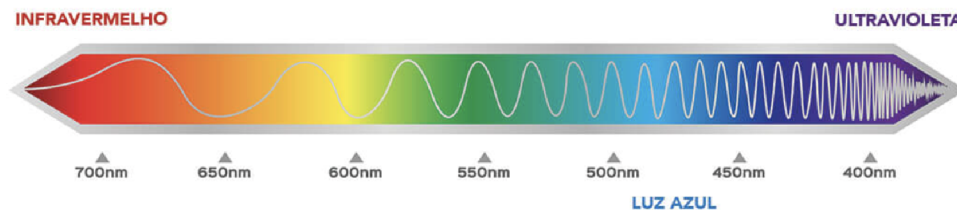
A luz visível, percebida como uma faixa de cores que vai do violeta ao vermelho, é composta por ondas classificadas de acordo com seu comprimento: ondas curtas (azul), médias (verde) e longas (vermelho). Devido ao seu menor comprimento de onda — entre 400 e 500 nanômetros —, a luz azul apresenta o maior potencial energético dentro do espectro visível, sendo considerada uma das mais danosas à pele (ZHAO et al., 2018; SCHALKA et al., 2015).

A radiação no espectro da luz azul exerce influência sobre a fisiologia celular, desencadeando diferentes níveis de estresse oxidativo intracelular. Na pele, essa ação pode contribuir para o surgimento precoce do fotoenvelhecimento, caracterizado pela redução da hidratação e da elasticidade, além de favorecer alterações pigmentares, formação de rugas e processos inflamatórios. Por outro lado, esse mesmo espectro também tem aplicações terapêuticas, sendo utilizado no manejo de queloides, cicatrizes hipertróficas e outras condições cutâneas de caráter hiperproliferativo (OPLANDER et al., 2011; KEMIN, 2017).

Conforme Menezes (2017), a luz é formada por radiações e ondas eletromagnéticas, classificadas de acordo com suas propriedades físicas. Essas emissões abrangem as faixas infravermelha, visível, ultravioleta e ionizante, cada uma caracterizada por comprimentos de onda específicos, como apresentado na Figura 1. Duarte, Buense e Kobata (2018) destacam que a radiação infravermelha pode ser aplicada no tratamento de diferentes dermatoses.

Figura 01 - Espectro da Luz Visível e Regiões Adjacentes

ESPECTRO DA LUZ



Fonte: Blog Lumiê

Já de acordo com Shanahan e Czeisler (2015 apud SCHALKA et al., 2016), os comprimentos de onda mais curtos, como os da luz violeta e azul, possuem energia suficiente para gerar alterações cutâneas relevantes. Essas ondas podem penetrar na epiderme e promover estresse oxidativo, sendo sua ação mais prejudicial quando comparada à de comprimentos mais longos, como os da luz infravermelha.

A luz azul, além de seu potencial fototóxico, é capaz de induzir hiperpigmentação cutânea mais intensa e persistente que a provocada por UVB, mesmo em curtos períodos de exposição. Estudos demonstram que, em menos de duas horas de exposição solar, a luz azul-violeta é suficiente para estimular a pigmentação, mesmo diante do uso de filtros solares com proteção UVA e UVB (DUTEIL et al., 2015; MAHMOUD et al., 2015).

Além disso, o espectro azul influencia diretamente a fisiologia celular, promovendo estresse oxidativo nos fibroblastos, alteração na produção de colágeno, modificação dos melanócitos e danos à integridade da pele. Esses processos estão associados ao fotoenvelhecimento precoce, alterações pigmentares, perda de elasticidade, surgimento de rugas e inflamações (KEMIN, 2017, 2023).

Em estudo experimental, Austine et al. (2018) observaram que, após uma hora de exposição à irradiância de dispositivos como iPhone e iPad, houve um aumento de mais de 80% na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) em fibroblastos humanos.

Em alguns casos, como com o iPad de primeira geração, o aumento chegou a 92,98%. Foram observadas alterações como necrose cutânea e início de morte celular, embora não tenha sido identificado aumento significativo na apoptose nesse intervalo de Exposição.

Esses resultados indicam que a exposição repetitiva e prolongada à luz azul artificial — oriunda de dispositivos eletrônicos — pode gerar danos ao DNA, intensificar o estresse oxidativo e comprometer a função da barreira cutânea. Tal processo culmina na perda da elasticidade e da capacidade regenerativa da pele, promovendo envelhecimento precoce (COATS et al., 2020).

Outros estudos apontam ainda que o uso de flashes em selfies, por meio da emissão intensa de luz visível azul, também pode estar associado a efeitos degenerativos na pele, acelerando o processo de envelhecimento cutâneo (ARJMANDI et al., 2018).

Em contrapartida alguns estudos de dosimetria em dispositivos eletrônicos, como smartphones, tablets e laptops, confirmam que a irradiância aumenta proporcionalmente ao brilho da tela e diminui com a distância, enquanto o uso de modos noturnos e filtros de luz azul reduz significativamente o pico de emissão nessa faixa espectral. Pesquisas que mediram a irradiância integrada em mW/cm^2 (ou $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ convertidos) demonstram que a exposição cotidiana, com o uso de telas a cerca de 25–30 cm de distância, gera doses por hora relativamente baixas e, isoladamente, não atingem os níveis fotobiológicos observados em ensaios que demonstram dano cutâneo (OHLIGSCHLÄGER et al., 2022; JUNG et al., 2021; YOUNG et al., 2020).

Estudos que medem o espectro e a irradiância espectral de dispositivos eletrônicos evidenciam picos de emissão no intervalo de aproximadamente 445–455 nm, correspondentes à faixa de luz azul de alta energia (HEV). Os valores de irradiância espectral observados situam-se geralmente na ordem de $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ e, após integração sobre a banda azul, as irradiâncias totais permanecem muito abaixo tanto das irradiâncias solares quanto das exposições experimentais utilizadas em estudos *in vitro* para induzir efeitos biológicos na pele. Em outras palavras, a potência emitida por telas de dispositivos digitais é consideravelmente menor em comparação ao sol e a fontes laboratoriais de luz azul (OH; LEE; CHOI, 2023; OHLIGSCHLÄGER et al., 2022; JUNG et al., 2021).

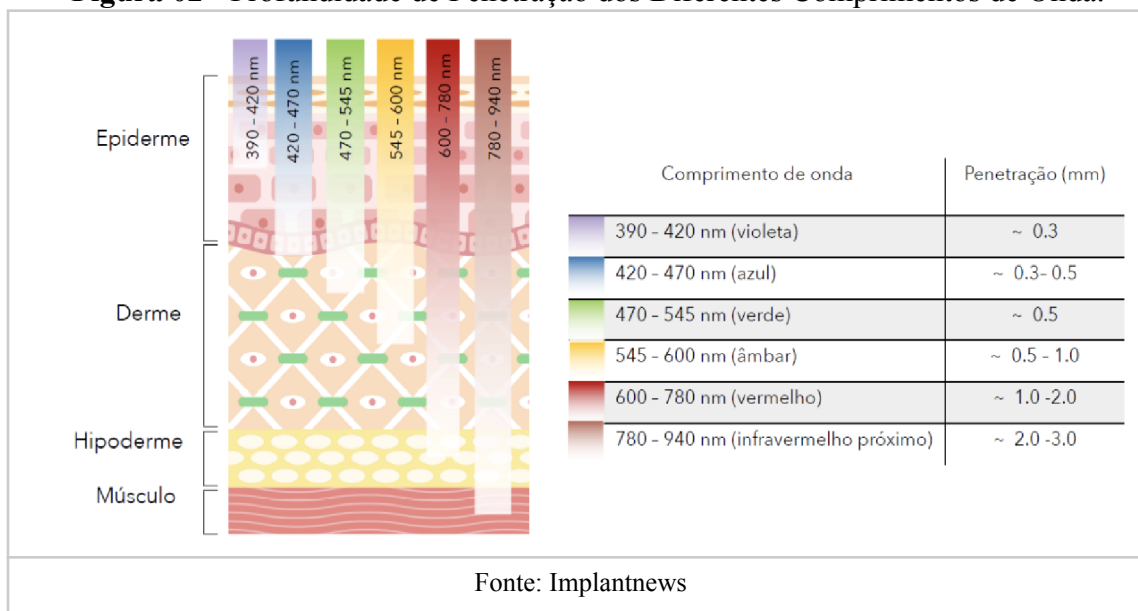
Pesquisas recentes evidenciam que a luz visível de alta energia (HEV) pode induzir estresse oxidativo em queratinócitos e fibroblastos, promovendo aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e alterações na matriz extracelular em condições laboratoriais controladas. Autores destacam, entretanto, que a radiação solar permanece como a principal fonte de risco fotobiológico cutâneo, recomendando a realização de estudos longitudinais que avaliem os efeitos cumulativos da exposição crônica à luz azul proveniente de dispositivos digitais (KUMARI et al., 2023; BRANCALIONI et al., 2024; HERRLING; TAINER; MEYER, 2024).

A fotobiomodulação vem sendo utilizada em tratamentos para reparo tecidual e cicatrização (Tatmatsu-Rocha et al., 2018). Essa técnica baseia-se no uso de um dispositivo emissor de luz, no qual os fótons emitidos pelo equipamento luminoso são absorvidos pelos tecidos biológicos, promovendo ações fotoquímicas, fotofísicas e fotobiológicas. Quando ocorre a interação da luz com os tecidos em parâmetros adequados, diferentes funções celulares podem ser estimuladas, como o aumento da produção de ATP mitocondrial, a proliferação celular, o efeito anti-inflamatório e a liberação de mastócitos e linfócitos (Fontes de luz de baixa intensidade na estética facial, 2023). Essa terapia não é ablativa e não produz efeitos térmicos significativos, pois os dispositivos utilizados nos tratamentos de fototerapia são lasers de baixa intensidade e diodos emissores de luz, conhecidos como LEDs (light emitting diodes) (Leal Junior et al., 2009).

Na estética, a fototerapia é realizada com o uso de equipamentos emissores de luz, como LEDs e lasers, disponíveis em diferentes formatos, incluindo clusters (conjuntos diodos) e máscaras faciais. Esses dispositivos irradiam comprimentos de onda específicos — como azul, vermelho, âmbar, verde e infravermelho — que interagem com cromóforos cutâneos e desencadeiam processos de fotobiomodulação. Entre os principais efeitos relatados encontram-se a estimulação da síntese de colágeno, a aceleração da regeneração tecidual, a modulação da resposta inflamatória e a contribuição no tratamento de diversas condições dermatológicas (BÁEZ; REILLY, 2007; OPLANDER et al., 2011; KEMIN, 2017).

A fototerapia com luz é reconhecida como um recurso de fotobioestimulação capaz de favorecer o reparo tecidual, estimulando a circulação sanguínea, a multiplicação celular e a produção de colágeno. Além disso, dependendo do comprimento de onda utilizado, pode apresentar efeitos antimicrobianos e anti-inflamatórios (SANTOS et al., 2011).

Figura 02 - Profundidade de Penetração dos Diferentes Comprimentos de Onda.



2.6 Degradação do Colágeno e da Elastina

As fibras colágenas e elásticas desempenham funções fundamentais na manutenção da integridade estrutural da pele, atuando como barreiras mecânicas e proporcionando sustentação, elasticidade e firmeza à epiderme (ANDRADE, 2023).

O colágeno é amplamente reconhecido por sua importância na saúde da pele, unhas e cabelos. Sua estrutura molecular é composta por três cadeias polipeptídicas organizadas em formato helicoidal, ricas em aminoácidos como glicina, prolina e hidroxiprolina. Essas cadeias são sintetizadas inicialmente como moléculas de pró-colágeno, que passam por hidroxilação de lisina e prolina — um processo dependente da presença de vitamina C. Em seguida, ocorre a clivagem e polimerização dessas moléculas em fibrilas que, ao se organizarem, formam as fibras colágenas (AZULAY, 2022).

Com mais de vinte isoformas identificadas, o colágeno tipo I é o mais abundante no organismo humano. A proteína apresenta-se sob a forma de tropocolágeno, cujas unidades se entrelaçam por meio de ligações covalentes cruzadas, resultando em fibras altamente resistentes (ALVES et al., 2005; LEHNINGER, 2002; NETTO, 2018).

No entanto, com o envelhecimento, a síntese de colágeno diminui progressivamente, refletindo-se em alterações visíveis na pele. Entre os efeitos mais comuns estão o surgimento de rugas e linhas finas, associadas à perda de elasticidade e tônus cutâneo (LOPES, 2023).

A redução na produção de colágeno e elastina também está diretamente relacionada ao processo de fotoenvelhecimento. A exposição excessiva à radiação ultravioleta (UV) promove a degradação dessas fibras estruturais nas camadas profundas da pele, favorecendo o aparecimento de sinais precoces de envelhecimento como flacidez, rugas e alterações na textura da pele. O uso regular de protetor solar é apontado como uma estratégia eficaz para retardar tais efeitos, contribuindo para a preservação da aparência jovem e saudável da pele (TOFETTI, 2018).

Os efeitos da exposição à luz azul sobre o fotoenvelhecimento apresentam semelhanças com aqueles provocados pela luz visível de alta energia e pela radiação ultravioleta.

Estudos experimentais demonstram que determinados comprimentos de onda da luz azul podem induzir alterações celulares relevantes na pele. De acordo com Avola, queratinócitos epidérmicos humanos e fibroblastos dérmicos humanos foram irradiados com LED de luz azul (450 nm) em diferentes doses (5–45 J/cm²). Os resultados mostraram que queratinócitos expostos a 45 J/cm² e fibroblastos submetidos a 15 J/cm² apresentaram redução na viabilidade celular, aumento da expressão de mRNA da metaloproteinase da matriz (MMP-1), diminuição da expressão de colágeno tipo I e aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). Além disso, observou-se redução da expressão de mRNA de MMP-12 e da elastase nos queratinócitos. Em outro experimento, fibroblastos irradiados com LED-BL (415 nm; 5–80 J/cm²) apresentaram aumento dependente da dose na produção de ROS, acompanhado por diminuição significativa da proliferação celular e da velocidade de migração dos fibroblastos. Apesar dessas alterações, a viabilidade celular

não apresentou mudanças expressivas após a irradiação com luz azul, o que sugere possíveis aplicações terapêuticas, como no manejo de queloides e outras doenças fibróticas da pele. De forma semelhante, Lorrio et al. expuseram fibroblastos dérmicos humanos e melanócitos a uma lâmpada LED de banda estreita (450–465 nm; 38 e 76 J/cm²), correspondendo aproximadamente ao tempo de exposição acumulada de 290 horas, ou cerca de 6 horas diárias durante sete semanas diante de dispositivos digitais. Os resultados demonstraram redução da viabilidade celular conforme o aumento da dose de luz azul, com efeito mais pronunciado nos melanócitos (LIEBEL, 2017).

2.7 Efeito Biológico e Celular

O envelhecimento cutâneo induzido por radiação ultravioleta (UV) é um fenômeno complexo, resultante da ativação de múltiplas vias biológicas que envolvem lesões mitocondriais, oxidação de proteínas, alterações nos níveis intracelulares de cálcio (Ca²⁺), encurtamento dos telômeros e ativação de receptores do tipo AhR (aryl hydrocarbon receptor) (PURI et al., 2017). Embora os danos causados por espécies reativas de oxigênio (EROs) tenham sido historicamente associados à radiação UV, evidências mais recentes indicam que a luz azul também exerce papel relevante nesse contexto, sendo apontada como um agente significativo no processo de degradação cutânea. Esse fenômeno tem sido denominado envelhecimento digital, e refere-se ao envelhecimento prematuro da pele causado pela exposição à luz azul, seja proveniente do sol ou, mais comumente na vida moderna, de dispositivos eletrônicos como smartphones, laptops e monitores. O impacto desse tipo de radiação é agravado pela frequência de uso desses aparelhos, já que milhares de pessoas permanecem expostas por períodos médios de quatro a cinco horas diárias (PANDA et al., 2021). Na estética, a fototerapia é realizada com o uso de equipamentos emissores de luz, como LEDs e lasers, disponíveis em diferentes formatos, incluindo clusters (conjuntos de diodos) e máscaras faciais. Esses dispositivos irradiam comprimentos de onda específicos — como azul, vermelho, âmbar, verde e infravermelho — que interagem com cromóforos cutâneos e desencadeiam processos de fotobiomodulação. Entre os principais efeitos relatados encontram-se a

estimulação da síntese de colágeno, a aceleração da regeneração tecidual, a modulação da resposta inflamatória e a contribuição no tratamento de diversas condições dermatológicas (BÁEZ; REILLY, 2007; OPLANDER et al., 2011; KEMIN, 2017).

Embora, em baixas doses e exposições de curto prazo, a luz azul possa ter efeitos benéficos — como em tratamentos dermatológicos para eczema e psoríase, especialmente quando combinada com agentes fotossensibilizantes para tratar queratoses actínicas —, a exposição contínua e cumulativa tem sido considerada potencialmente prejudicial. Estudos recentes destacam que o principal mecanismo nocivo envolve a formação excessiva de EROs, os quais induzem estresse oxidativo, danos ao DNA e inflamação cutânea (MENDROK-EDINGER et al., 2018).

Além disso, a luz azul interfere diretamente no ritmo circadiano por inibir a produção de melatonina, hormônio essencial para a regulação do sono. Assim, o uso intenso de telas durante a noite pode comprometer a qualidade do sono, contribuindo indiretamente para o envelhecimento precoce da pele. Essa relação se manifesta clinicamente por sinais como olheiras, aumento da sensibilidade cutânea e perda de viço (IN-COSMETICS, 2021).

2.8 Diferenças entre Danos Causados pela Luz Azul e Radiação UV

A luz visível compreende radiações eletromagnéticas com comprimentos de onda entre 400 e 700 nanômetros (nm), sendo classificada em ondas curtas (azul), médias (verde) e longas (vermelho). De acordo com seu comprimento, define-se também sua intensidade e energia: quanto menor o comprimento de onda, maior seu potencial energético. Por isso, a luz azul, situada entre 400 e 500 nm, é considerada a faixa de maior energia dentro do espectro visível (KEMIN, 2021).

Embora a principal fonte de luz visível seja o sol — responsável por emitir de 25% a 30% de luz azul —, a exposição a esse tipo de radiação também ocorre em ambientes internos, devido à presença de fontes artificiais como lâmpadas de LED e dispositivos eletrônicos (tablets, celulares, monitores e televisores) (KEMIN, 2021).

A interação da luz azul com a pele tem implicações importantes. Estudos demonstram que sua exposição pode induzir a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) nos fibroblastos, acelerando o processo de envelhecimento cutâneo. Entre os efeitos observados estão o surgimento de manchas, intensificação de linhas de expressão e alteração na função de células como melanócitos, fibroblastos e produtores de colágeno, que são essenciais para a estrutura e firmeza da pele (AUSTIN, 2021).

Além do espectro visível, a radiação infravermelha (IR) constitui cerca de 40% da radiação solar que atinge a superfície terrestre. A faixa infravermelha compreende ondas entre 760 nm e 1 mm e é dividida em três subtipos: IR-A (760–1.400 nm), IR-B (1.400–3.000 nm) e IR-C (3.000 nm–1 mm). A penetração da radiação infravermelha na pele varia conforme o comprimento de onda: a IR-A tem maior penetração, alcançando epiderme, derme e hipoderme, sendo associada a efeitos oxidativos por estimular a formação de EROs. Em contraste, as faixas IR-B e IR-C são absorvidas predominantemente na epiderme e geram efeitos térmicos, elevando a temperatura da pele (LETTNIN, 2023).

No espectro ultravioleta, as radiações UVA e UVB são as principais responsáveis pelos efeitos biológicos adversos sobre a pele. A radiação UVA, por possuir maior capacidade de penetração, atinge a derme profunda e está fortemente relacionada ao fotoenvelhecimento, à fotossensibilização e ao surgimento de rugas e flacidez. Já a radiação UVB, embora penetre menos profundamente — atingindo até a derme papilar —, é mais agressiva. Ela contribui para alterações nas fibras de colágeno e elastina, além de causar queimaduras, sensação de ardência, vermelhidão, catarata e aumentar o risco de câncer de pele (SOUZA, 2020).

2.9 Estratégias Cosméticas de Proteção

No Brasil, os filtros solares são classificados como cosméticos de grau 2, ou seja, produtos com risco potencial que exigem comprovação de segurança e eficácia, conforme exigido pela legislação sanitária vigente (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015).

A exposição prolongada e desprotegida à radiação ultravioleta (UV) é amplamente reconhecida como fator desencadeante de diversos danos à pele, que podem ocorrer de forma imediata ou cumulativa. Entre os efeitos mais comuns estão a hiperpigmentação, devido ao estímulo da melanogênese, e o desenvolvimento de neoplasias cutâneas (MIRANDA et al., 2016). Quando a radiação UV atinge a pele continuamente, desencadeia reações químicas e estruturais que favorecem o estresse oxidativo, promovendo danos irreversíveis ao DNA, alterações genéticas, inflamações, queimaduras, envelhecimento precoce e aumento na produção de radicais livres. Embora a pele possua mecanismos naturais de defesa, a aplicação tópica de fotoprotetores é considerada uma das estratégias mais eficazes para mitigar esses efeitos (ARAÚJO; SOUZA, 2015; BALOGH et al., 2016; OLIVEIRA; MORÉGULA; SILVA, 2020).

Do ponto de vista clínico, um fotoprotetor eficaz deve apresentar estabilidade, compatibilidade com outros ingredientes da formulação e manter suas propriedades físico-químicas durante toda a sua vida útil. Além disso, deve ser não irritante e resistente à degradação (ROCHA et al., 2015).

Os protetores solares geralmente são compostos por dois tipos de filtros: os orgânicos (ou químicos), que absorvem a radiação UV e a convertem em energia térmica, e os inorgânicos (ou físicos), como o dióxido de titânio (TiO_2) e o óxido de zinco (ZnO), que refletem ou dispersam a radiação incidente (ARAÚJO; SOUZA, 2015).

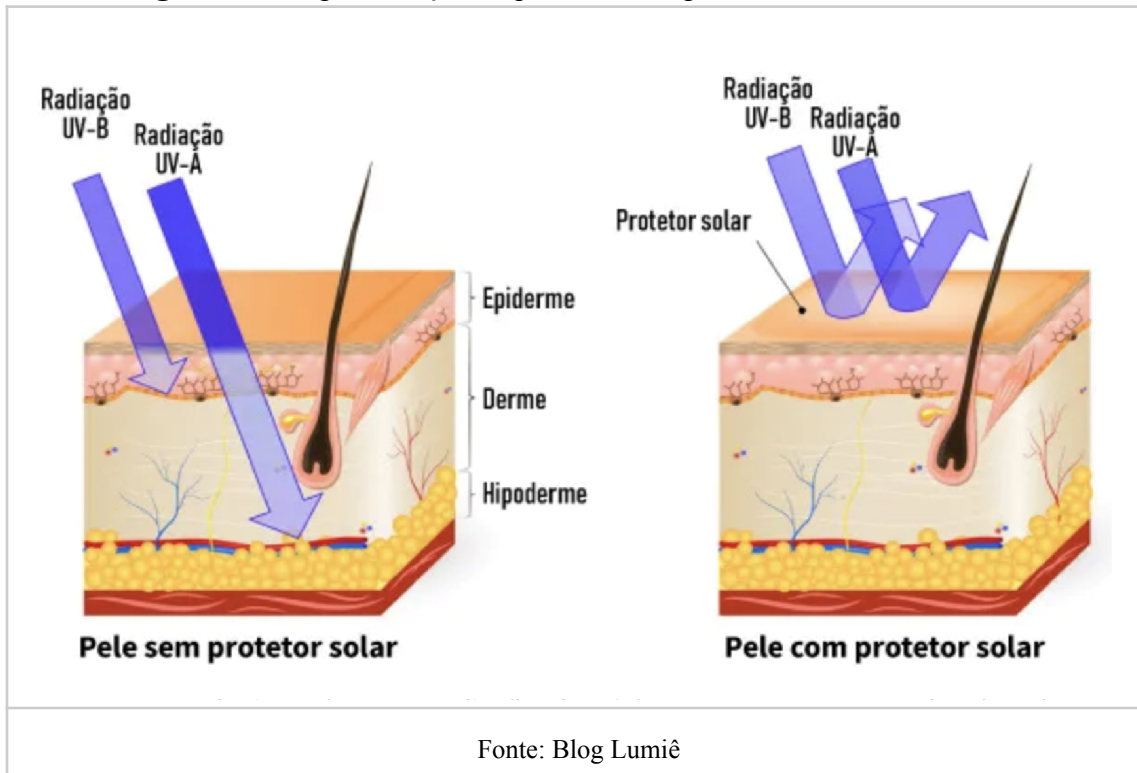
A formulação do fotoprotetor depende de dois elementos principais: o veículo e os filtros ativos.

A escolha do tipo de apresentação está diretamente relacionada ao tipo de pele e à preferência do usuário. As formas cosméticas mais comuns incluem:

- Bloqueadores solares, indicados para peles sensíveis ou com patologias, impedindo a penetração da radiação UV na epiderme;
- Soluções hidroalcoólicas, de fácil espalhabilidade, mas que podem causar ressecamento devido ao álcool etílico;
- Cremes e loções emulsionadas, com formulações do tipo óleo em água (O/A) ou água em óleo (A/O), sendo estas últimas mais indicadas para peles secas;
- Géis, com textura leve, ideais para peles oleosas, porém com menor capacidade de proteção quando comparados às emulsões;

- Sprays, que oferecem resistência à água e ao suor, sendo recomendados para praticantes de atividades físicas;
- Fotoproteção oral, que atua de forma sistêmica, utilizando compostos antioxidantes como vitaminas C e E, carotenóides e polifenóis para reduzir os danos pós-exposição solar (FERNANDES, 2012; ADCOS, 2020).

Figura 03 - Representação esquemática da pele e os raios UV-A, UV,B.



Atualmente, muitos produtos fotoprotetores são classificados como cosméticos, pois além da proteção UV, contém ativos que atuam em camadas mais profundas da pele, promovendo benefícios estéticos e funcionais. Entre os principais ativos adicionados estão os antioxidantes, que reduzem a formação de radicais livres; clareadores, utilizados no tratamento de manchas; e vitaminas e agentes hidratantes, que combatem a desidratação e contribuem para o aspecto saudável da pele (FERNANDES, 2015; ADCOS, 2020).

Os cosméticos antipoluição podem ser encontrados em diferentes formas fármaco-técnicas, como cremes, sérums e protetores solares. Esses produtos são desenvolvidos com o objetivo de proteger a pele contra diversas formas de poluição,

incluindo a atmosférica e a eletromagnética — esta última originada pelas ondas emitidas por dispositivos eletrônicos como celulares e computadores (FRANQUILINO, 2018). Para isso, seguem-se estratégias formuladoras específicas que visam atenuar os efeitos nocivos provocados pelos agentes poluentes. De acordo com Barros (2021), os mecanismos de atuação desses cosméticos incluem:

- Uso de antioxidantes tópicos para reduzir o estresse oxidativo e a inflamação;
- Reforço da função de barreira cutânea;
- Diminuição da deposição de poluentes por meio da promoção da limpeza e esfoliação;
- Proteção contra a radiação UV e seus efeitos sinérgicos com poluentes ambientais;
- Estímulo à síntese de proteínas fibrosas estruturais da pele.

Com o aumento da conscientização sobre os impactos negativos da poluição, observou-se uma ampliação da oferta de cosméticos com apelo antipoluição, inicialmente influenciada por tendências asiáticas e posteriormente incorporada ao mercado ocidental (FRANQUILINO, 2018). Pesquisas indicam que, no primeiro trimestre de 2016, 79% dos lançamentos de produtos para cuidados com a pele em nível global já traziam a alegação de proteção contra a poluição digital (MISTRY, 2017).

Além dos poluentes atmosféricos tradicionais, a luz azul — também denominada luz visível de alta energia — tornou-se um foco de preocupação, especialmente durante a pandemia de COVID-19, quando o tempo de exposição a telas aumentou significativamente (IN-COSMETICS, 2021). Dados da plataforma Stylight apontam um aumento de 136% nas buscas por “cuidados com a pele e luz azul” em 2019, número que saltou para 336% em maio de 2020 (DEL GENIO, 2021).

A luz azul está presente tanto em fontes naturais, como o sol (responsável por emitir cerca de 25% a 30% deste tipo de luz), quanto em fontes artificiais, como dispositivos com tecnologia LED. Isso significa que a exposição é contínua, independentemente do ambiente ou faixa etária (VILAR, 2016). Tal exposição prolongada pode interferir nos padrões de sono, gerar fadiga ocular e desencadear alterações cutâneas como acne, melasma, eczema, psoríase e enfraquecimento da barreira cutânea, fenômeno conhecido como eletro-poluição (IN-COSMETICS, 2021).

Apesar da crescente popularização do termo “antipoluição” , ainda não existem diretrizes padronizadas para validar esse tipo de reivindicação cosmética, devido à escassez de evidências e métodos reconhecidos (VELASCO et al., 2018). Portanto, a avaliação da eficácia desses produtos baseia-se principalmente na atuação de ativos com propriedades funcionais específicas (BARROS, 2021).

As espécies reativas de oxigênio (EROs), embora exerçam papel essencial em sinalizações celulares, tornam-se prejudiciais quando produzidas em excesso, seja por radiação UV, poluentes ou luz visível. O organismo dispõe de enzimas antioxidantes endógenas, como catalase, superóxido dismutase e glutathione peroxidase, além de antioxidantes não enzimáticos, como o tocoferol (vitamina E) e o ácido ascórbico (vitamina C), que atuam no combate ao estresse oxidativo (BARROS, 2021).

Além de antioxidantes, a aplicação de ingredientes que atuam como escudos mecânicos também é relevante para manter o equilíbrio da barreira cutânea (VELASCO et al., 2018). Ingredientes como carvão ativado, PEG-20 Glyceryl Triisostearate e Biosaccharide gum-4 auxiliam na remoção de poluentes e na formação de barreiras protetoras. Outras estratégias incluem o uso de veículos com sensorial seco, que evitam a aderência de partículas, e o uso de sílicas absorvedoras de sebo em formulações de protetores solares (FRANQUILINO, 2018).

Dentre os ativos mais promissores, destaca-se a niacinamida, conhecida por seu efeito uniformizador do tom da pele, redução da produção de sebo e fortalecimento da barreira cutânea. Esse ativo também protege contra os danos provocados por partículas finas como o PM 2.5, amplamente associado à poluição urbana. Outros ingredientes eficazes incluem o carvão ativado, argilas e silicatos (BARROS, 2021).

A hidratação também é uma preocupação central, pois a degradação da barreira cutânea aumenta a perda de água transepidérmica. Poluentes são capazes de degradar proteínas estruturais como colágeno e elastina, comprometendo a firmeza da pele. Por isso, o uso de substâncias como ácido hialurônico tem sido indicado na formulação de cosméticos antipoluição (FRANQUILINO, 2018; MISTRY, 2017).

A proteção contra a luz azul exige estratégias combinadas de dia e noite. Durante o dia, é recomendada a redução da exposição e o uso de antioxidantes; à noite, foca-se no

reparo dos danos celulares, prevenindo a degradação do colágeno e a oxidação do DNA (SUITTHIMEATHEGORN et al., 2022). Como os antioxidantes naturais são rapidamente consumidos, é necessário incluir antioxidantes exógenos como vitaminas C, E, niacinamida e flavonóides (IN-COSMETICS, 2021; MENDROK-EDINGER et al., 2018).

Carotenóides como luteína e zeaxantina têm demonstrado eficácia na proteção contra a luz azul, por reduzirem o estresse oxidativo e aumentarem a capacidade antioxidante da pele. Além disso, estimulam a síntese de ácido hialurônico nos queratinócitos, contribuindo para a hidratação e elasticidade (VILAR, 2017).

É importante destacar que os protetores solares convencionais não oferecem proteção contra a luz visível. Por isso, novas formulações devem incluir pigmentos e filtros físicos, como óxidos de ferro, dióxido de titânio e óxido de zinco, capazes de refletir a luz azul e minimizar seus efeitos deletérios (USP, 2017; SCHALKA et al., 2015; SUITTHIMEATHEGORN et al., 2022).

3 Metodologia

A presente pesquisa é classificada como de natureza básica, tendo como finalidade ampliar o conhecimento teórico acerca dos efeitos da luz azul, proveniente de dispositivos eletrônicos, sobre a pele, além de identificar alternativas cosméticas de proteção contra esses efeitos e discutir os potenciais benefícios dessa radiação quando aplicada em protocolos terapêuticos estéticos. Foi adotada uma abordagem qualitativa, pois o estudo buscou interpretar os dados obtidos a partir de uma análise compreensiva e crítica das fontes consultadas, sem recorrer a métodos estatísticos.

O trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa descritiva, cujo objetivo foi observar, registrar e analisar as evidências científicas sobre os impactos da radiação visível de alta energia (HEV – High Energy Visible Light) na pele humana, bem como reunir os principais recursos cosméticos utilizados para minimizar tais efeitos e destacar as aplicações positivas da luz azul e de outros comprimentos de onda em tratamentos de disfunções estéticas, como acne, manchas, flacidez e envelhecimento cutâneo.

A metodologia utilizada foi um levantamento bibliográfico, com base na revisão de artigos científicos, livros, dissertações, teses e documentos técnicos que abordam a fisiologia da pele, os efeitos da exposição à luz azul, o conceito de envelhecimento digital, os ativos cosméticos com potencial fotoprotetor e as evidências sobre fototerapia em estética. A seleção das fontes foi realizada nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, PubMed e CAPES Periódicos, utilizando palavras-chave como: luz azul, HEV light, envelhecimento digital, radiação de telas, fotoenvelhecimento, cosméticos antioxidantes, proteção solar e fototerapia. Foram considerados os materiais publicados entre os anos de 2011 e 2025, desde que disponíveis na íntegra, com relevância temática e comprovação científica.

Após a coleta, os dados foram organizados em categorias temáticas, de acordo com os objetivos do estudo, e analisados de forma interpretativa. O processo envolveu a leitura crítica do conteúdo, a extração das principais informações e a estruturação de uma síntese lógica e coerente dos conhecimentos encontrados na literatura. O percurso metodológico seguiu as seguintes etapas: definição do tema e objetivos; seleção das palavras-chave; levantamento bibliográfico nas bases científicas; aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; leitura e interpretação dos dados; categorização temática; e sistematização dos resultados.

A escolha por essa metodologia se justifica pela atualidade do tema e pela escassez de estudos consolidados sobre o envelhecimento digital e os efeitos da radiação azul na pele, bem como pela relevância de compreender seu uso controlado como recurso terapêutico em estética. Dessa forma, a pesquisa buscou reunir e organizar o conhecimento existente sobre o assunto, promovendo uma base teórica sólida para futuras investigações e práticas profissionais na área da estética e cosmética.

4 Resultados e Discussão

A análise dos estudos selecionados evidencia que a luz azul (High Energy Visible Light – HEV) desempenha um papel relevante na fisiologia cutânea, especialmente no que se refere ao processo de envelhecimento digital. Diversos autores apontam que essa radiação é capaz de induzir a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs),

desencadeando estresse oxidativo e alterações celulares que comprometem a integridade da pele (LIEBEL et al., 2018; MENDROK-EDINGER et al., 2018).

Nesse contexto, observa-se convergência entre os estudos ao relacionar a exposição à luz azul com a degradação da matriz extracelular. Segundo Avola et al. (2019), a irradiação com luz azul em queratinócitos e fibroblastos resulta em aumento da expressão de MMP-1 e redução da síntese de colágeno, fatores diretamente associados ao envelhecimento cutâneo. Esses achados corroboram as evidências apresentadas por Kemin (2017), que destaca a influência dessa radiação na alteração da produção de colágeno e na perda de elasticidade da pele.

Além disso, estudos como os de Austine et al. (2018) demonstram que a exposição à luz azul pode elevar significativamente a produção de EROs em fibroblastos humanos, podendo ultrapassar 80% em determinados cenários experimentais. Esse aumento do estresse oxidativo reforça a hipótese de que a luz azul atua como um agente potencializador do fotoenvelhecimento, de forma semelhante à radiação ultravioleta, conforme discutido por Coats et al. (2020).

Entretanto, ao comparar os dados experimentais com situações reais de exposição, alguns autores apresentam uma visão mais cautelosa. Estudos de Ohligschläger et al. (2022) e Jung et al. (2021) indicam que a irradiância emitida por dispositivos eletrônicos é significativamente inferior à radiação solar, sugerindo que, isoladamente, essa exposição pode não ser suficiente para causar danos cutâneos imediatos. Essa divergência na literatura evidencia uma lacuna importante, especialmente no que se refere aos efeitos cumulativos da exposição prolongada à luz azul no cotidiano (KUMARI et al., 2023).

Outro aspecto amplamente discutido refere-se à hiperpigmentação induzida pela luz azul. Estudos como os de Duteil et al. (2015) e Mahmoud et al. (2015) demonstram que essa radiação pode estimular a melanogênese de forma mais intensa e persistente que a radiação UVB, mesmo em exposições de curta duração. Esses achados reforçam o papel da luz azul como fator relevante no desenvolvimento de discromias cutâneas, especialmente em indivíduos com fototipos mais elevados.

Por outro lado, observa-se consenso na literatura quanto ao potencial terapêutico da luz quando aplicada de forma controlada. De acordo com Oplander et al. (2011) e Báez e

Reilly (2007), a fototerapia baseada em LEDs promove efeitos benéficos como ação anti-inflamatória, estímulo à regeneração tecidual e melhora da microcirculação. Esses resultados são reforçados por Santos et al. (2011), que destacam o papel da luz na bioestimulação celular e na produção de colágeno. Além disso, estudos como os de Hamblin (2021) e Sowersouza e Catão (2021) demonstram que a fotobiomodulação pode aumentar a produção de ATP mitocondrial, estimular a proliferação celular e modular a resposta inflamatória, contribuindo para processos de cicatrização e rejuvenescimento cutâneo. Dessa forma, evidencia-se que a mesma radiação que pode causar danos quando aplicada de forma indiscriminada também pode promover benefícios quando utilizada dentro de parâmetros adequados.

Diante desse cenário, a literatura aponta para a importância de estratégias de proteção contra os efeitos da luz azul. Autores como Schalka et al. (2015) e Suiithimeathegorn et al. (2022) destacam a eficácia de fotoprotetores com pigmentos minerais, especialmente óxidos de ferro, na proteção contra a luz visível. Paralelamente, Barros (2021) enfatiza o papel dos antioxidantes tópicos na neutralização do estresse oxidativo, contribuindo para a manutenção da integridade cutânea.

Portanto, ao analisar o conjunto dos estudos, observa-se que não há um consenso absoluto sobre o impacto da luz azul proveniente de dispositivos eletrônicos na pele. Enquanto alguns autores enfatizam seu potencial prejudicial, outros destacam que os níveis de exposição cotidiana ainda são insuficientes para causar danos significativos de forma isolada. No entanto, há concordância quanto à necessidade de considerar os efeitos cumulativos e à relevância de medidas preventivas.

Assim, a discussão dos dados evidencia que a luz azul apresenta um comportamento dual: pode atuar como agente de dano quando associada à exposição prolongada e desprotegida, mas também como ferramenta terapêutica eficaz quando aplicada de forma controlada. Esse equilíbrio entre risco e benefício reforça a importância do conhecimento científico para a prática estética baseada em evidências.

5 Conclusão

Este estudo teve como objetivo analisar o papel da luz azul na pele, considerando seus efeitos no envelhecimento digital e suas aplicações terapêuticas na estética. A partir da revisão da literatura, verificou-se que essa radiação apresenta um comportamento dual, cujos impactos estão diretamente relacionados à intensidade, duração e forma de exposição.

Os achados mostram que a exposição prolongada à luz azul pode contribuir para o estresse oxidativo, degradação de fibras estruturais e alterações pigmentares, favorecendo o envelhecimento cutâneo precoce. Em contrapartida, quando utilizada de forma controlada, especialmente em protocolos de fototerapia, demonstra efeitos benéficos como ação anti-inflamatória, bactericida e bioestimuladora, evidenciando sua relevância na prática estética.

Assim, a problemática proposta foi respondida ao evidenciar que a luz azul não deve ser interpretada de forma isoladamente prejudicial ou benéfica, mas sim a partir do contexto de exposição e aplicação. A hipótese do estudo foi confirmada, ao demonstrar que a mesma radiação pode desencadear efeitos distintos conforme suas condições de uso. Observa-se, que, uma tendência crescente de estudos voltados ao impacto da luz visível de alta energia na pele, acompanhando o aumento da exposição digital na sociedade contemporânea. Contudo, persistem lacunas importantes, especialmente quanto à ausência de estudos clínicos de longo prazo que avaliem os efeitos cumulativos da exposição diária a dispositivos eletrônicos.

Como limitação ao estudo, destaca-se a dependência de evidências secundárias e a escassez de estudos consolidados sobre envelhecimento digital, o que reforça a necessidade de investigações futuras mais robustas. Nesse sentido, recomenda-se o desenvolvimento de estudos clínicos e longitudinais, bem como o aprofundamento das estratégias cosméticas de proteção e dos protocolos terapêuticos com fototerapia.

A relevância do tema se confirma diante da crescente inserção das tecnologias digitais no cotidiano, exigindo uma abordagem baseada em evidências para orientar tanto práticas preventivas quanto terapêuticas na estética. Assim, o presente estudo contribui

para a consolidação do conhecimento científico sobre os efeitos da luz azul na pele, reforçando a importância de uma atuação profissional crítica e fundamentada.

Referências Bibliográficas

ADCOS. **Protetor solar e dermocosméticos: tecnologia e eficácia**. Brasília: Laboratório Adcos, 2020.

ANDRADE, M. S. **Colágeno e elastina: estrutura e função na pele**. Revista de Ciências da Saúde, v. 3, n. 2, p. 45–52, 2023.

ARAÚJO, M. M.; SOUZA, A. F. **Fotoprotetores: princípios ativos e formulações**. Revista Brasileira de Ciências da Saúde, v. 6, n. 1, p. 45–52, 2018.

AUSTIN, E. **Efeitos da luz azul sobre os fibroblastos humanos**. Journal of Skin Science, v. 6, n. 2, p. 84–90, 2021.

AVOLA, R.; GRAZIANO, A.; PAPPALARDO, F.; et al. **Blue light induces cytotoxic effects and oxidative stress in human keratinocytes and fibroblasts**. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, v. 196, p. 111513, 2019.

AZULAY, R. D. **Dermatologia**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2022.

BÁEZ, F.; REILLY, L. **Light emitting diode (LED) therapy and its applications in dermatology**. Lasers in Surgery and Medicine, v. 39, n. 9, p. 748-759, 2007. BALOGH, T. S. et al. Fotoproteção e cosméticos: conceitos e aplicações. Química Nova, v. 34, n. 6, p. 1124–1130, 2011.

BARROS, A. M. **Cosméticos antipoluição: fundamentos, ingredientes e eficácia**. Revista Brasileira de Cosmetologia, v. 33, n. 1, p. 11–24, 2021.

BERNARDO, R.; SANTOS, A. C.; SILVA, T. S. **Fisiologia da pele e alterações dérmicas**. Revista Saúde Estética, v. 5, n. 2, p. 30–38, 2019.

BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. **Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta**. Revista de Nutrição, v. 12, n. 2, p. 123–130.

CIOL, M. A.; CASTRO, J. S. **Fundamentos de anatomia e fisiologia da pele**. São Paulo: Phorte, 2019.

COATS, J. G. et al. **Blue light and oxidative stress in skin: effects and protection strategies**. Journal of Clinical Dermatology, v. 12, n. 1, p. 50–58, 2020.

DECCACHE, T. **Alterações fisiológicas da pele no processo de envelhecimento.** Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia, v. 9, n. 3, p. 101–110, 2016.

DEL GENIO, T. **Tendências globais de cuidados com a pele em tempos de pandemia.** Stylight Beauty Reports, 2021.

DUTEIL, L. et al. **Differences in visible light-induced pigmentation according to wavelengths: a clinical and histological study in comparison with UVB exposure.** Pigment Cell & Melanoma Research, v. 27, n. 5, p. 822–826, 2014.

FERNANDES, A. P. **Ação dos fotoprotetores e o papel dos dermocosméticos na proteção cutânea.** Revista de Estética Aplicada, v. 4, n. 1, p. 33–40, 2012.

FONSECA, G. M.; PAULA, A. C. A.; TAQUETTO, S. **Envelhecimento cutâneo e fotoproteção.** Revista Ciências da Saúde, v. 12, n. 2, p. 67–74, 2021.

FONTES de luz de baixa intensidade na estética facial. Implant News, 2023. <https://revistaimplantnews.com.br/fontes-de-luz-de-baixa-intensidade-na-estetica-facial>. Acesso em: 03 nov. 2025.

FRANQUILINO, R. **Cosméticos antipoluição: tendências e formulações.** Revista de Cosmetologia e Estética, v. 20, n. 2, p. 70–78, 2018.

GUIRRO, E. C. O. GUIRRO, R. R. J. **Fisioterapia dermato-funcional: fundamentos, recursos e patologias.** 5. ed. São Paulo: Manole, 2014.

HIRATA, F. H.; SATO, E. I.; SANTOS, M. C. **Papel dos radicais livres no envelhecimento cutâneo.** Revista Brasileira de Medicina, v. 61, n. 6, p. 42–47, 2014.

IN-COSMETICS. **Luz azul e cuidados com a pele: tendências e ingredientes ativos.** In-Cosmetics Global, 2021.

JUNG, S. et al. **Evaluation of blue light hazard from smartphones and tablets: spectral analysis and exposure assessment.** Journal of Cosmetic Dermatology, v. 20, n. 6, p. 1805–1812, 2021.

KAMIBEPPU, K.; VALENTE, M. A. R.; SOTTO, M. N. **Morfologia da pele humana.** São Paulo: Atheneu, 2023.

KEMIN, L. **Luz azul e pele: interações e implicações clínicas.** Revista Brasileira de Cosmetologia Aplicada, v. 9, n. 1, p. 22–29, 2021.

KEMIN, Y. et al. **Clinical efficacy of LED light therapy in skin rejuvenation and related mechanisms.** Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine, v. 33, n. 5, p. 241-248, 2017.

LEAL JUNIOR, E. C. P.; LOPES-MARTINS, R. A. B.; BARONI, B. M.; DE MARCHI, T.; ROSSI, R. P.; GROSSELLI, D. et al. **Comparison between single-diode low-level laser therapy (LLLT) and LED multi-diode (cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise.** Photomedicine and Laser Surgery, v. 27, n. 4, p. 617-623, 2019. LEHNINGER, A. L. **Princípios de bioquímica.** 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2002.

LETTNIN, A. P. **Efeitos da radiação infravermelha na pele humana.** Revista Brasileira de Fotobiologia, v. 12, n. 3, p. 67–74, 2023.

LIEBEL, F.; et al. **Irradiation of skin with visible light induces reactive oxygen species and matrix-degrading enzymes.** Journal of Investigative Dermatology, v. 132, n. 7, p. 1901–1907, 2019.

LOPES, M. J. **Colágeno e envelhecimento: implicações estéticas.** Revista Brasileira de Cosmetologia, v. 17, n. 2, p. 40–49, 2023.

LORRIO, S.; et al. **Effects of blue light irradiation on human dermal fibroblasts and melanocytes.** Journal of Cosmetic Dermatology, v. 20, n. 4, p. 1120–1128, 2021.

MAHMOUD, B. H. et al. **Impact of long-wavelength UVA and visible light on pigmentation.** Journal of Investigative Dermatology, v. 130, n. 8, p. 2092–2097, 2010.

MENDROK-EDINGER, C. et al. **Effects of blue light irradiation on human skin cells.** Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine, v. 34, n. 4, p. 231–238, 2018.

MENEZES, P. F. C. **Aplicação da luz na Dermatologia e Estética.** São Carlos, SP, ed. USP, 2017, 277 p. MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). **Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 30, de 1º de junho de 2012.** Diário Oficial da União, Brasília, 2012.

MIRANDA, M. C. et al. **Efeitos da radiação UV na pele e a importância dos fotoprotetores.** Revista Saúde e Estética, v. 2, n. 1, p. 14–22, 2016.

MISTRY, N. **Skin protection from pollution: claims, trends and effectiveness.** Cosmetic Business Journal, v. 18, n. 2, p. 20–26, 2017.

NETTO, N. M. **Colágeno: aplicações clínicas e fisiológicas.** Revista de Nutrição e Saúde, v. 15, n. 3, p. 30–37, 2018.

OHLIGSCHLÄGER, M. et al. **Blue light emission from digital devices: intensity, spectral distribution and biological relevance.** Photochemical & Photobiological Sciences, v. 21, n. 4, p. 567-576, 2022.

OLIVEIRA, C. M. **Alterações estruturais da pele no envelhecimento.** Revista Brasileira de Dermatologia, v. 89, n. 5, p. 820–825, 2018.

OLIVEIRA, F. A.; MORÉGULA, J. E.; SILVA, L. C. **Propriedades físicas e químicas de protetores solares.** Cosmetologia em Foco, v. 9, n. 2, p. 69–77, 2020.

OPLANDER, C. et al. **Effects of blue light irradiation on human dermal fibroblasts.** Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, v. 103, p. 118–125, 2011.

ORTOLAN, E. V. P. et al. **Envelhecimento cutâneo: fatores intrínsecos e extrínsecos.** Revista de Ciências da Saúde, v. 5, n. 1, p. 19–28, 2013.

PANDA, S. et al. **Digital aging: impact of prolonged blue light exposure from screens.** Journal of Dermatology and Skin Science, v. 9, n. 2, p. 112–118, 2021.

PORTILHO, L. Efeito da luz visível sobre a pele. Instituto de Cosmetologia, 2018.

PURI, P. et al. **Molecular mechanisms of skin aging induced by ultraviolet radiation and blue light.** International Journal of Molecular Sciences, v. 18, n. 7, p. 1345, 2017.

RANGARAJAN, M. et al. **Mechanisms of ultraviolet radiation-induced skin damage and photoprotection.** Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine, v. 19, n. 1, p. 3–10, 2013.

ROCHA, S. A. et al. **Avaliação de estabilidade de formulações cosméticas: aspectos regulatórios.** Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, v. 46, n. 2, p. 311–319, 2011.

SANTOS, I. N. P., NICOLAU, R. A., MESQUITA, M.H. , R. BATISTA, F. M. A., LIMA, P. H. F., SIMIONI, A. R. **O uso da fototerapia no controle do edema no pós-operatório de cirurgias estéticas.**

SCHALKA, S. et al. **Proteção oferecida por fotoprotetores contra luz visível – uma proposta de avaliação.** Surgical & Cosmetic Dermatology, v. 4, n. 3, p. 45–52, 2012.

SHANAHAN, T.; CZEISLER, C. A. **Physiological effects of light on human circadian pacemakers.** Seminars in Perinatology, v. 24, n. 4, p. 299–320, 2013.

SOUZA, C. A. **Fisiologia da pele e radiação solar: aspectos clínicos e cosméticos.** São Paulo: Estética Científica, 2020.

SOUZA, L. C. et al. **Estresse oxidativo e envelhecimento cutâneo**. Revista de Nutrição Funcional, v. 6, n. 2, p. 95–102, 2018.