

Universidade do Vale do Paraíba  
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Qualificação para o Mestrado em Engenharia Biomédica

Priscila Vareschi Cardoso Fugimoto

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO LED AZUL NA PERMEÇÃO DE  
INGREDIENTES COSMÉTICOS NA FIBRA CAPILAR**

**EFFICACY OF THE BLUE LED IN THE PERMEATION OF COSMÉTICS  
INGREDIENTS IN THE HAIR FIBER**

São José dos Campos, SP  
2023

Priscila Vareschi Cardoso Fugimoto

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO LED AZUL NA PERMEACÃO DE  
INGREDIENTES COSMÉTICOS NA FIBRA CAPILAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da Universidade Vale do Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Ferreira Strixino.

Coorientadora: Profa. Dra. Juliana Guerra Pinto.

São José dos Campos, SP  
2023

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA**

**Ficha catalográfica**

Fugimoto, Priscila Vareschi Cardoso  
Avaliação da eficácia do LED azul na permeação de  
ingredientes cosméticos na fibra capilar / Priscila Vareschi  
Cardoso Fugimoto; orientadora, Juliana Ferreira Strixino;  
co-orientadora Juliana Guerra Pinto. - São José dos Campos, SP,  
2023.

1 CD-ROM, 50 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade do Vale do  
Paraíba, São José dos Campos. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Biomédica.

Inclui referências

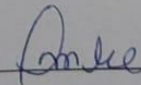
1. Engenharia Biomédica. 2. Fibra capilar. 3. Fototerapia. 4.  
Terapia capilar. 5. Led azul. I. Strixino, Juliana Ferreira,  
orient. II. Pinto, Juliana Guerra, co-orient. III. Universidade  
do Vale do Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Biomédica. IV. Título.

Eu, Priscila Vareschi Cardoso Fugimoto, autor(a) da obra acima referenciada:

Autorizo a divulgação total ou parcial da obra impressa, digital ou fixada em  
outro tipo de mídia, bem como, a sua reprodução total ou parcial, devendo o  
usuário da reprodução atribuir os créditos ao autor da obra, citando a fonte.

Declaro, para todos os fins e efeitos de direito, que o Trabalho foi elaborado  
respeitando os princípios da moral e da ética e não violou qualquer direito de  
propriedade intelectual sob pena de responder civil, criminal, ética e  
profissionalmente por meus atos.

São José dos Campos, 26 de Fevereiro de 2024.

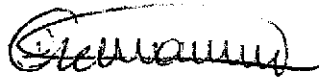

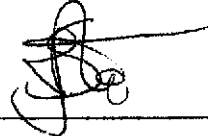
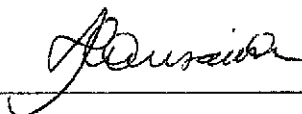
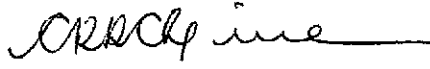


Autor(a) da Obra

**PRISCILA VARESCI CARDOSO FUGIMOTO**

**“EFICÁCIA DO LED AZUL NA PERMEAÇÃO DE INGREDIENTES COSMÉTICOS NA FIBRA CAPILAR”.**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba - Univap, pela seguinte banca examinadora:

Prof.ª Dr.ª Renata de Azevedo Canevari	
Prof.ª Dr.ª Juliana Ferreira Strixino	
Prof.ª Dr.ª Juliana Guerra Pinto	
Prof.ª Dr.ª Emília Angela Lo Schiavo Arisawa	
Prof.ª Dr.ª Cibele Rosana de Castro Lima	

Prof.ª Dr.ª Lúcia Vieira

Diretora do IP&D – Univap

São José dos Campos, 04 de abril de 2023.

## RESUMO

FUGIMOTO, Priscila Vareschi Cardoso. **A Eficácia do LED Azul na Permeação de Ingredientes Cosméticos na Fibra Capilar**. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2023.

A luz emissora de diodo (LED) azul apresenta diferentes aplicações clínicas potenciais e tem sido amplamente utilizada com o objetivo de facilitar a permeação de produtos cosméticos na haste capilar com a proposta de intensificar a ação do tratamento cosmético. Entretanto, não foi observado na literatura artigos científicos que avaliem e discutam a interação da irradiação do LED azul e sua influência na permeação de cosméticos no fio de cabelo. A fibra capilar é composta por células mortas e não pode ser renovada biologicamente, a única forma de melhorar as propriedades estruturais da haste capilar é por meio de cosméticos que promovam a manutenção da saúde e beleza dos cabelos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da irradiação do LED azul na permeação de ingredientes cosméticos em fios de cabelos de diferentes etnias e as alterações das propriedades físico-químicas após tratamento com cosmético e LED azul. Para o estudo foram utilizados cabelos virgens do tipo caucasiano, africano e asiático livres de quaisquer tratamentos químicos. Para as análises foram preparadas 6 mechas de cabelo de cada grupo étnico: 1- “controle” sem tratamento; 2- tratado com cosmético sem enxágue; 3- tratado com cosmético sem enxágue e irradiado com LED azul no modo varredura; 4- tratado com cosmético sem enxágue e irradiado com LED azul no modo pontual; 5- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul no modo de varredura; 6- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul no modo pontual. Notou-se que a interação do LED azul é divergente nas diferentes etnias de cabelo. O grupo de cabelo africano irradiado com LED azul no modo pontual e varredura obteve o menor índice de resistência, menor aumento de diâmetro da fibra capilar e permeação de ingredientes cosméticos quando comparado ao grupo tratado com cosmético. Os grupos caucasiano e asiático irradiados com LED azul pontual apresentaram um elevado índice de aumento na permeação de ingredientes cosméticos no fio de cabelo, melhora da resistência e aumento de diâmetro da fibra capilar quando comparado ao grupo tratado com cosmético. Desta forma podemos concluir que a aplicação do LED azul utilizado em uma dosimetria de 9,6 joules contribui com a permeação de ingredientes cosméticos em cabelos asiáticos e caucasianos.

**Palavras-chave:** fibra capilar; permeação cosmética; fototerapia, Led azul; terapia capilar.

## ABSTRACT

FUGIMOTO, Priscila Vareschi Cardoso. **Efficacy of the Blue LED in the Permeation of Cosméticos Ingredients in the Hair Fiber.**

Blue LED has different clinical applications and has been widely used to facilitate the permeation of cosmetic products in the hair fiber to intensify the action of the cosmetic treatment. Hair is composed of dead cells and cannot be renewed biologically. The only way to improve the structural properties of the hair fiber is through cosmetics that promote the maintenance of hair health and beauty. This work aimed to evaluate the effectiveness of blue LED irradiation in the permeation of cosmetic ingredients in hair strands of different ethnicities and the changes in physicochemical properties after treatment with cosmetics and blue LED. For the study, Caucasian, African, and Asian virgin hair free of any chemical treatments were used. For the analyses, 6 locks of hair from each ethnic group were prepared: 1- “control” without treatment, 2- treated with cosmetic without rinsing, 3- treated with cosmetic without rinsing and irradiated with a blue LED in scanning mode, 4- treated with cosmetic without rinsing and punctually illuminated with a blue LED, 5- untreated capillary fiber comprehensively irradiated with a blue LED; 6- untreated hair fiber irradiated with a blue LED in punctual mode. It was noted that the interaction of the blue LED is divergent in different hair ethnicities. The African hair group irradiated with a blue LED in spot and sweep mode had the lowest resistance index and the lowest increase in hair fiber diameter and permeation of cosmetic ingredients compared to the cosmetic-treated group. The Caucasian and Asian groups irradiated with punctual blue LED showed a high rate of increased permeation of cosmetic ingredients in the hair shaft, improved resistance, and increased diameter of the hair fiber when compared to the group treated with cosmetic.

**Keywords:** hair fiber; cosmetic permeation; phototherapy blue led; capillary therapy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1-</b> Morfologia do folículo piloso .....	18
<b>Figura 2-</b> Representações da queratina .....	19
<b>Figura 3-</b> Estrutura do cabelo e suas divisões. <b>(a)</b> Micrografia eletrônica de varredura de uma fratura longitudinal de um fio de cabelo; <b>(b)</b> imagem de microscopia ótica de secção transversal da fibra capilar mostrando os componentes da fibra (M, Medula; Co, Córtex; Cu, Cutícula); <b>(c)</b> Microscopia eletrônica de transmissão da fibra capilar mostrando o (Co, Córtex; Cu, Cutícula).....	20
<b>Figura 4-</b> Estrutura cuticular da fibra capilar. Imagens obtidas por MEV de cabelos controle submetidos a descoloração 1000X (a) e 5000X (b).....	21
<b>Figura 5-</b> Representação esquemática das células cuticulares e suas camadas em <b>(a)</b> estrutura da célula da cutícula do cabelo e <b>(b)</b> camada lipídica do ácido 18-metil eicosanóico (18-MEA) ligado covalentemente à superfície externa da epicutícula por meio de ligações tioéster. ....	21
<b>Figura 6-</b> Camadas que compõem a cutícula. <b>(a)</b> e <b>(b)</b> microscopia eletrônica de transmissão mostrando células cuticulares sobrepostas e evidenciando sucessivamente as subdivisões das camadas sub lamelares: camada A, a exocutícula externa, a endocutícula interna e o complexo de membrana celular (CMC). .....	22
<b>Figura 7-</b> Ilustração da estrutura do córtex capilar. <b>(a)</b> Diagrama mostrando a estrutura do córtex e <b>(b)</b> Corte da seção transversal de um fio de cabelo mostrando células cuticulares (Cu) envolvendo as células corticais (Co), evidenciando grânulos de melanina (pontos escuros). <b>(c)</b> Micrografia eletrônica de varredura de um cabelo dividido mostrando detalhes da estrutura da célula cortical.....	24
<b>Figura 8-</b> Características da medula na fibra capilar. (a) Microscopia eletrônica de varredura de corte longitudinal da fibra capilar. (b) Microscopia eletrônica de varredura, corte de secção transversal das estruturas da medula. ....	25
<b>Figura 9-</b> Micrografias eletrônicas de transmissão com cortes transversais de cabelo. ....	27
<b>Figura 10-</b> Comparação de microscopia eletrônica de varredura da superfície da fibra capilar e corte de secção transversal de cabelos caucasianos, asiáticos e africanos. ....	28
<b>Figura 11-</b> Segmentação dos cabelos em oito tipos de curvaturas .....	30
<b>Figura 12-</b> Desenho esquemático das duas principais vias de difusão de moléculas na fibra capilar. ....	32
<b>Figura 13-</b> Imagens de MEV de cabelos africano. (A) fibra capilar controle - sem tratamento cosmético, (B) fibra capilar tratada com cosmético capilar, (C) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com led azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm <sup>2</sup> , (D) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com led azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm <sup>2</sup> . (E) fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no modo de aplicação de varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6 j/ cm <sup>2</sup> , (F)- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no modo de aplicação pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm <sup>2</sup> . ....	40
<b>Figura 14-</b> Microscopia Confocal de <i>fluorescência</i> de cabelo africano. (a) e (b) mechas controle – com tratamento cosmético; (c) e (d) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual; (e) e (f) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura.....	42

**Figura 15-** Imagens de MEV de cabelos caucasiano. (A) fibra capilar controle - sem tratamento cosmético, (B) fibra capilar tratada com cosmético capilar, (C) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>, (D) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. (E) fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no modo de aplicação varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6 j/ cm<sup>2</sup>, (F)- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no modo de aplicação pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. ..... 44

**Figura 16-** Microscopia Confocal de *fluorescência* cabelo caucasiano. (a) e (b) mechas controle – com tratamento cosmético; (c) e (d) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual; (e) e (f) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura. .... 46

**Figura 17-** Imagens de MEV de cabelos asiáticos. (A) fibra capilar controle - sem tratamento cosmético, (B) fibra capilar tratada com cosmético capilar, (C) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>, (D) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. (E) fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no modo de aplicação varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6 j/ cm<sup>2</sup>, (F)- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no modo de aplicação pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. ..... 48

**Figura 18-** Microscopia Confocal de *fluorescência* cabelo asiático. (a) e (b) fios de cabelo controle com tratamento cosmético; (c) e (d) fios de cabelo tratado com cosmético capilar e irradiado com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual; (e) e (f) fios de cabelo tratado com cosmético capilar e irradiado com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura. .... 50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Camadas da cutícula e seus respectivos níveis de cistina e outros detalhes.....	23
<b>Tabela 2-</b> Características dos cabelos conforme etnia (continua....) .....	28
<b>Tabela 3-</b> Medida de temperatura ambiente após a irradiação da luz com o LED azul .....	52

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-</b> Média dos valores de diâmetro obtidas para cada tratamento (controle e teste), a cada tempo experimental (T0 e T1) em cabelo africano. ....	41
<b>Gráfico 2-</b> Valores de Tração à Ruptura (gmf.mm-2) do fio de cabelo africano para os tratamentos.....	43
<b>Gráfico 3-</b> Média dos valores de diâmetro obtidas para cada tratamento (controle e teste), a cada tempo experimental (T0 e T1) em cabelo caucasiano. ....	45
<b>Gráfico 4-</b> Valores de Tração à Ruptura (gmf.mm-2) do fio de cabelo caucasiano para os tratamentos.....	47
<b>Gráfico 5-</b> Média dos valores de diâmetro obtidas para cada tratamento (controle e teste), a cada tempo experimental (T0 e T1) em cabelo asiático. ....	49
<b>Gráfico 6-</b> Valores de Tração à Ruptura (gmf.mm-2) do fio de cabelo asiático para os tratamentos.....	51
<b>Gráfico 7-</b> A análise da espectroscopia do cosmético capilar (sérum) foi realizada para verificar o comprimento de onda absorvido pelo cosmético capilar.....	51

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

BRE - Bainha Radicular Externa

BRI - Bainha Radicular Interna

CMC - Complexo de Membrana Celular

FP - Folículo Piloso

HC - Haste Capilar

KAPs - Keratin Associated Proteins

LED - Diodo Emissor de Luz

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

PD - Dérmica Folicular

UV - Radiação Ultravioleta

UVB – Radiação Ultravioleta B

UV-VIS Radiação Ultravioleta Visível

## LISTA DE SÍMBOLOS

(C) – Carbono

(Co) – Córtex

(Cu) – Cutícula

(H) – Hidrogênio

(Hz) – Hertz

(Kv) – Quilovoltagem

(M) – Medula

(mw) – Megawatt

(N) – Nitrogênio

(O) – Oxigênio

(Ph) - Potencial Hidrogeniônico

(S) – Enxofre

(Va) – Volt-ampere

( $\beta$ ) – Beta

( $\mu\text{m}$ ) – Micrômetro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
3.1 ANATOMOFISIOLOGIA DO FOLÍCULO PILOSO .....	17
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CABELO HUMANO.....	18
3.3 ESTRUTURA DO CABELO .....	20
3.4 CLASSIFICAÇÃO DA FIBRA CAPILAR .....	26
3.5 COSMÉTICOS PARA TRATAMENTO DA FIBRA CAPILAR .....	30
3.6 DIFUSÃO COSMÉTICA NA FIBRA CAPILAR .....	31
3.7 LED AZUL .....	33
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
4.1 MATERIAIS .....	36
4.1.1 Seleção e preparo das mechas de cabelo.....	36
4.1.2 Cosmético utilizado para o tratamento e preparação das amostras.....	36
4.1.3 Equipamento de Luz emitida por diodo (LED) azul usado no experimento. ....	36
4.1.4 Análise da espectroscopia do cosmético capilar.....	37
4.1.5 Avaliação de temperatura ambiente após a irradiação da luz do LED azul.....	37
4.1.6 Análise de alterações estruturais superficiais por Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	37
4.1.7 Avaliação instrumental da medição do diâmetro médio do fio de cabelo. ....	38
4.1.8 Análise de permeação do sêrum por Microscopia Confocal de Fluorescência. ....	38
4.1.9 Avaliação instrumental da força/resistência do fio de cabelo por Texture Analyzer. ....	39
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>40</b>
5.1 ANÁLISES DO CABELO AFRICANO.....	40
5.2 ANÁLISES DO CABELO CAUCASIANO .....	43
5.3 ANÁLISES DO CABELO ASIÁTICO .....	47
5.4 ESPECTROSCOPIA DO COSMÉTICO CAPILAR .....	51
5.5 MEDIDA DE TEMPERATURA AMBIENTE APÓS A IRRADIAÇÃO DA LUZ DO LED AZUL.....	51
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dentro da área da dermatologia, os avanços no uso de diodos emissores de luz (LEDs) levaram à sua aplicabilidade para muitos tratamentos na área da saúde estética. O LED azul representa uma ferramenta segura, não invasiva e produz alto nível de energia com baixa radiação de calor (Sorbellini; Rucco; Rinaldi, 2018). Os processos que regem as interações da luz visível de baixa intensidade com o material biológico são a absorção e o espalhamento, a reflexão e refração são consideradas secundárias e de menor importância (Veloso, 2010). O cabelo é um material translúcido, de forma que, quando a luz incide no mesmo, parte dela é transmitida, parte espalhada e parte absorvida (Nogueira; Joekes, 2004).

As propriedades ópticas do cabelo humano dependem fortemente do tipo e da concentração de melanina contida nas hastes do cabelo, da presença da medula e do comprimento de onda medido. É bem aceito que o cabelo escuro apresente maior concentração de eumelanina e possua maior absorção e coeficientes de dispersão quando comparado com o cabelo claro, com predominância de feomelanina. As propriedades ópticas (coeficiente de absorção, coeficiente de dispersão reduzido e coeficiente de atenuação) do cabelo aumentam com a diminuição do comprimento de onda, o que significa que menos fótons em comprimentos de onda mais curtos são transmitidos pelo cabelo (Huang *et al.*, 2018). Com base na lei de Snell, a luz incidente é refletida e refratada na superfície da fibra capilar de acordo com a diferença nos índices de refração entre o cabelo e o meio ambiente, geralmente o ar. A luz incidente refratada é refletida e refratada na superfície interna da fibra novamente, esses fenômenos são repetidos na fibra até que a luz seja atenuada a um nível desprezível. Quando a luz incidente é refratada em uma posição apropriada e entra na fibra, a reflexão total pode ser observada na superfície interna (Nagase, 2019).

As estruturas do cabelo são classificadas considerando os seguintes aspectos: o alinhamento de múltiplas fibras capilares, a forma transversal da fibra capilar e as microestruturas do fio de cabelo (cutícula, córtex e medula). O cabelo é um tecido multicelular que consiste em vários componentes morfológicos: células corticais fusiformes, o córtex, que às vezes hospeda em seu núcleo a medula em forma de canal. Uma camada externa circundante de células retangulares, as cutículas e o complexo de membrana celular que tem o papel adesivo de unir as células cutícula-cutícula, cutícula-córtex e córtex-córtex. Cada componente exerce um papel no desempenho geral das fibras de queratina, com o córtex responsável principalmente pelos atributos mecânicos de resistência, rigidez e pigmentação da haste,

enquanto as cutículas formam uma barreira protetora contra o ambiente externo e as agressões externas (Breakspear et al., 2022).

Cada indivíduo é único em relação à taxa de produção de cabelo, tamanho e forma, muitos estudos comparativos entre os tipos de cabelo baseiam-se na classificação étnica que categoriza os cabelos como caucasiano, asiático e africano (Cloete; Khumalo; Ngoepe, 2019). O cabelo caucasiano possui o diâmetro menor, curvatura lisa e levemente ondulada, secção transversal redonda a levemente ovalada e sua cor pode variar do loiro ao castanho escuro. O tipo de cabelo asiático é o mais resistente e de maior diâmetro, geralmente liso ao longo do seu eixo. Já o cabelo africano apresenta uma estrutura enovelada característica, possui elevada irregularidade no diâmetro ao longo da haste capilar quando comparado aos demais tipos étnicos, sabe-se também que a secção transversal de sua fibra é mais oval do que os cabelos caucasiano e asiático, que são mais cilíndricos. Sob o aspecto químico, em termos de proteínas e aminoácidos, os cabelos caucasiano, africano e asiático são similares (Lima, 2016).

Agentes externos, incluindo o uso de altas temperaturas (por exemplo, secador de cabelo), tração excessiva nos fios, tinturas de cabelo, procedimentos de descoloração, alisamento ou ondulação e exposição ao sol possibilitam uma ampla gama de anormalidades adquiridas na haste (Santos *et al.*, 2022). A fibra capilar é composta por células mortas e não pode ser renovada biologicamente, a única maneira de reparar suas propriedades fisicamente é por meio de produtos capilares que possam cobrir ou preencher a superfície danificada da haste capilar (Fernandes *et al.*, 2023). Os agentes condicionantes são aplicados na fibra capilar para reduzir a força de fricção e facilitar a penteabilidade, mantendo o cabelo em estado de condicionamento ideal. Para que isto ocorra é necessário que os agentes condicionadores se depositem sobre os cabelos ou que sejam absorvidos por eles, ação influenciada pelo pH do agente condicionador, pela massa molar e pelo ponto isoelétrico do cabelo (Maurício, 2019).

Os produtos para tratamento capilar têm como principal função: melhorar a integridade estrutural das fibras capilares e aumentar a resistência à tração, aumentar o volume do cabelo, reduzir o frizz, melhorar a maleabilidade do cabelo, melhorar a penteabilidade, restaurar a hidrofobicidade da fibra e neutralizar a eletricidade estática (Gubitosa, 2019). Dependendo da capacidade de penetração na fibra, os cosméticos para tratamento da haste capilar podem atingir a superfície da cutícula ou a parte interna do córtex. Moléculas menores podem penetrar no córtex, moléculas maiores permanecem na região superficial, cutícula (Robbins, 2012). O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da irradiação do Led azul na permeação de ingredientes cosméticos em fios de cabelos de diferentes etnias, das propriedades físico-

químicas e alterações estruturais superficiais da fibra capilar após tratamento com cosmético associado a irradiação do LED azul.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

-Verificar a difusão do cosmético na superfície cuticular e no interior da fibra capilar de diferentes etnias (africana, caucasiana e asiática).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar alterações nas propriedades físico-químicas do fio de cabelo em diferentes etnias (africana, caucasiana e asiática) após a aplicação do cosmético capilar e irradiação do LED azul aplicado com a técnica varredura e após a aplicação do cosmético capilar e irradiação do LED azul utilizando a técnica no modo pontual.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 ANATOMOFISIOLOGIA DO FOLÍCULO PILOSO

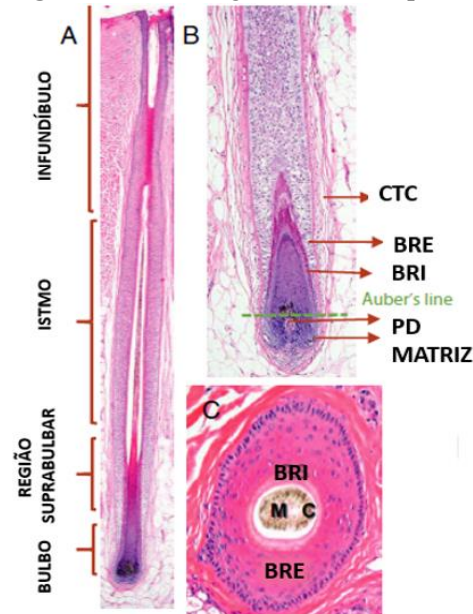
Anatomicamente, o folículo piloso (FP) é dividido em quatro regiões de cima para baixo: infundíbulo (que está entre o óstio e a glândula sebácea), istmo (localizado entre a glândula sebácea e a inserção do músculo eretor do pelo), a região suprabulbar (que começa no músculo eretor do pelo e se estende até a franja de Adamson) e a região mais profunda, o bulbo, que se inicia na franja de Adamson e se estende até a base do folículo. A composição das células na metade superior do folículo piloso, no infundíbulo e no istmo, é relativamente constante. No entanto, o istmo contém uma população de células-tronco que podem ajudar a repovoar a epiderme durante a cicatrização de feridas (Willems; Sinclair, 2021).

O bulbo está localizado na extremidade mais baixa do FP, e é o centro de crescimento ativo do cabelo. A composição da região inferior do FP é muito mais variável, incluindo células epiteliais diferenciadas e matriz capilar. Em sua base encontra-se o bulbo, uma reentrância de estrutura extremamente vascularizada e inervada, conhecida como papila dérmica folicular (PD). A matriz folicular é composta por melanócitos e por queratinócitos que se proliferam e se diferenciam terminalmente, movendo-se em direção à epiderme. A PD do FP humano é uma estrutura tecidual multicelular formada pela agregação de células dérmicas, composta principalmente por fibroblastos que desempenham um papel importante na indução do crescimento capilar. Notou-se, há muito tempo, que uma linha horizontal pode ser traçada na porção mais larga da PD, conhecida como nível crítico de Auber. Essa linha funcional delimita a atividade mais proliferativa dentro do FP, que se localiza no bulbo (Mauricio *et al.*, 2017; Lin; Zhu; He, 2022).

A arquitetura dos FPs da parte superior do bulbo até a parte superior do folículo piloso é caracterizada principalmente por sua natureza cilíndrica, com dois grandes cilindros de tecido epitelial, que se divide em três partes de dentro para fora: haste capilar (HC), a bainha radicular interna (BRI) e a bainha radicular externa (BRE). Dobrando-se ao redor da haste central do cabelo, forma-se o núcleo desta coluna de tecido epitelial rigorosamente compartimentada. Duas cutículas entrelaçadas (da haste do cabelo e a da BRI) formam um plano de deslizamento em que a haste do cabelo em movimento ascendente é guiada para a superfície da pele. A mais central dessas colunas é posteriormente processada em uma fibra proteica endurecida, e

surpreendentemente resiliente, guiada para a região externa, o couro cabeludo (Hirt; Paus, 2019). A **Figura 1** apresenta a Morfologia do folículo piloso:

**Figura 1-** Morfologia do folículo piloso



(a) Representação das subdivisões da estrutura do folículo piloso. (b) Corte de secção longitudinal representando (CTC) bainha de tecido conjuntivo, (BRE) bainha radicular externa, (BRI) bainha radicular interna, (PD) papila dérmica e a matriz do cabelo, (c) Corte de secção transversal representando (BRE) bainha radicular externa, (BRI) bainha radicular interna, (C) cutícula e (M) medula.

**Fonte:** Adaptado de Hirt; Paus (2019)

### 3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CABELO HUMANO

A proteína é o componente principal do cabelo humano e sua estrutura é composta por aminoácidos, que por sua vez são formados por cinco elementos químicos principais na composição do cabelo: carbono (C) 51%; oxigênio (O) 21%; nitrogênio (N) 17%; hidrogênio (H) 6%; enxofre (S) 5% (Maurício, 2019). As proteínas estruturais que constituem o fio de cabelo são fibrosas, denominadas  $\alpha$ -queratina, e diferem de outras proteínas por seu alto teor de pontes de dissulfeto (S-S) provenientes do aminoácido cistina (Maurício, 2019).

A queratina é a principal proteína que constitui os fios de cabelo. Além dela há também a melanina e proteínas associadas à queratina, conhecidas como KAPs (keratin associated proteins). Apresenta em sua formação 18 aminoácidos interligados por ligações de hidrogênio, pontes salinas e pontes dissulfeto (Pereira-Silva *et al.*, 2018).

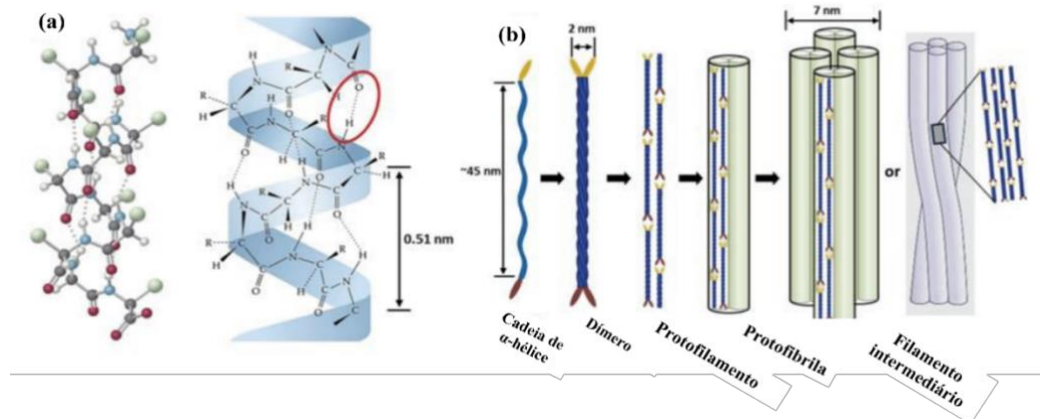
Suas cadeias peptídicas contêm altos índices de cistina, o que determina elevadas concentrações de enxofre, provenientes do aminoácido cisteína, que possui este grupo em sua

cadeia lateral. Logo são formadas as ligações dissulfeto, ou seja, interação covalente enxofre-enxofre, entre as cadeias laterais de duas ou mais  $\alpha$ -hélices, fornecendo alta resistência mecânica e estabilidade a essa estrutura (Corrêa, 2022).

É possível observar na **figura 2**, o entrelaçamento da fibra capilar, em forma espiral e milhares de cadeias de  $\alpha$ -queratina formando placas que se sobrepõem, resultando em um longo e fino "cordão" proteico. Estas proteínas interagem entre si, de diferentes maneiras, resultando em aspecto característico de cada tipo de cabelo: liso, enrolado, ondulado (Lima, 2016).

As alfa-queratinas são relativamente ricas em resíduos de cistina e possuem a maioria dos aminoácidos comuns, sendo um material proteico insolúvel responsável por mais de 85% da estrutura capilar. São formadas por cadeias peptídicas arranjadas em paralelo, interagindo entre si por ligações cruzadas de três tipos diferentes, sendo elas ligações de cisteína, iônicas e de hidrogênio. As alfa-queratinas ainda são segmentadas em dois tipos, as moles que contêm cerca de 10 a 14% de cistina, e as duras que possuem um teor maior de cistina, chegando até 22%. Os dois tipos estão presentes na estrutura dos folículos pilosos, onde a queratina mole recobre a pele de forma generalizada enquanto a dura é encontrada nos anexos como a cutícula e o córtex da haste capilar (Augusto; Igreja, 2022).

**Figura 2-** Representações da queratina.



- (a) Modelo da cadeia polipeptídica em alfa-hélice mostrando a localização das ligações de hidrogênio.  
 (b) Desenho esquemático da formação dos filamentos intermediários.

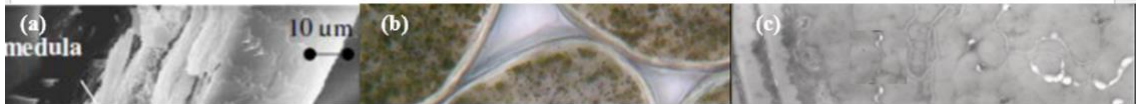
**Fonte:** Silva, (2022).

Durante a formação do cabelo, a queratina existente no interior das células torna-se mais cristalina à medida que as células se diferenciam, dando origem à fibra capilar. Estas células queratinizadas são constituídas por um material extremamente organizado destinado a fornecer resistência significativa a inúmeras restrições e agressões ambientais, como fricção, tensão, flexão, radiação UV e danos por procedimentos químicos. São essas ligações químicas que dão origem às competências que conferem força, firmeza a enzimas e a procedimentos químicos (Silva, 2022).

### 3.3 ESTRUTURA DO CABELO

Cada fio de cabelo é formado por uma região interna, o córtex e por uma camada externa de células cuticulares. Outra região que pode estar presente é a medula, localizada no centro do fio, formada por vacúolos de ar ou que pode estar ausente, conforme **Figura 3**:

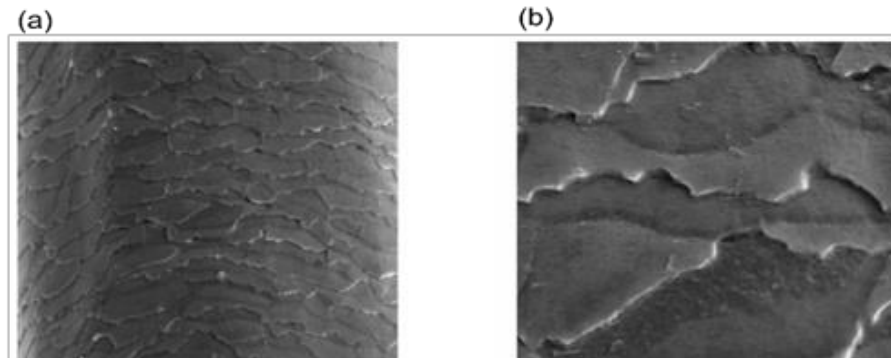
**Figura 3-** Estrutura do cabelo e suas divisões. **(a)** Micrografia eletrônica de varredura de uma fratura longitudinal de um fio de cabelo; **(b)** imagem de microscopia ótica de secção transversal da fibra capilar mostrando os componentes da fibra (M, Medula; Co, Córtex; Cu, Cutícula); **(c)** Microscopia eletrônica de transmissão da fibra capilar mostrando o (Co, Córtex; Cu, Cutícula).



**Fonte:** Extraído de Richena, (2015); Breakspear et al., (2022).

Dentro do FP, a cutícula origina-se como uma estrutura celular em monocamada. As células dessa camada formam-se cuboidais e então se achatam conforme emergem pelo folículo piloso. Ao mesmo tempo, inclinam-se para cima no estágio da queratinização completa, sobrepõem-se como telhas (Harris, 2016). Responsável pela proteção das células corticais, a cutícula também controla o ingresso e o egresso do teor de água na fibra, o que permite manter suas propriedades físicas. As células das cutículas são transparentes e opacas, e apresentam aparência lisa quando não sofreram lixiviação, permitindo a reflexão da luz e limitando o atrito entre os fios do cabelo (Chilante; Vasconcelos; Silva, 2010), como é possível observar na **Figura 4**:

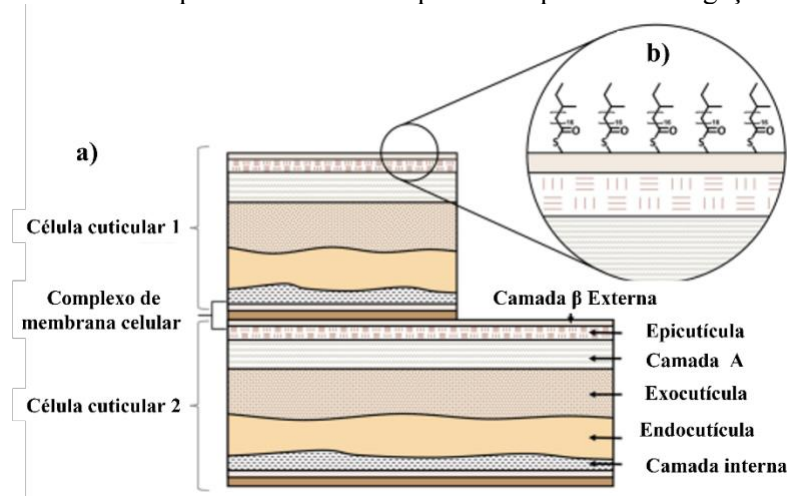
**Figura 4-** Estrutura cuticular da fibra capilar. Imagens obtidas por MEV de cabelos controle submetidos a descoloração 1000X (a) e 5000X (b).



**Fonte:** Monteiro *et al.*, (2003).

A cutícula forma uma barreira protetora contra o ambiente externo e as agressões externas, sua proporção de é de 14% do volume do cabelo (Takahashi; Yoshida, 2017). Cada célula de cutícula tem aproximadamente 0,3-0,5  $\mu\text{m}$  de espessura, e o comprimento visível de cada célula cuticular é de aproximadamente 5-10  $\mu\text{m}$ . É a camada mais externa do fio, composta de 5 a 10 células queratinizadas sobrepostas, que se recobrem como telhas e servem como uma camada protetora contra danos mecânicos e ambientais (Lima, 2016). A análise da **figura 5** permite melhor compreensão do funcionamento da cutícula, subdividida em camadas sublamelares compostas por: epicutícula, camada A, exocutícula, endocutícula e o complexo da membrana celular (CMC).

**Figura 5-** Representação esquemática das células cuticulares e suas camadas em (a) estrutura da célula da cutícula do cabelo e (b) camada lipídica do ácido 18-metil eicosanóico (18-MEA) ligado covalentemente à superfície externa da epicutícula por meio de ligações tioéster.

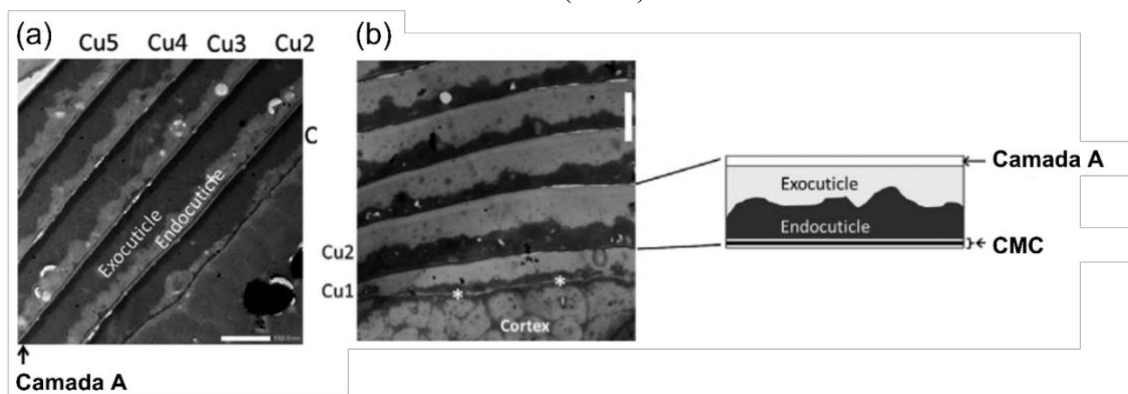


**Fonte:** Fernandes C. *et al.* (2023).

A epicutícula, estrutura superior de cada célula de cutícula contém uma fina membrana proteica (75%), que é coberta com uma camada lipídica (25%) que inclui o ácido 18-metil eicosanóico (18-MEA), essa camada constitui a camada  $\beta$  externa do complexo da membrana celular cuticular, que atua como um lubrificante de contorno, responsável pelo baixo atrito e proporciona uma superfície hidrofóbica (Ribeiro; Antunes; Souza, 2021). Abaixo da epicutícula encontra-se a camada A, possui em média 50–100 nm de espessura, é um componente com alto teor de cistina (~30%) e localiza-se na face externa de cada célula, altamente reticulada, o que confere a esta camada considerável resistência mecânica e resiliência química, e o inchaço mínimo na água (Fellows; Casford; Davies, 2021).

É possível observar na **figura 6**, que a exocutícula é imediatamente adjacente à camada A, e possui alto teor de cistina (~15 - 20%). A menor concentração de cistina em comparação com a camada A resulta em menos reticulação e uma resistência física e química menor (Fellows; Casford; Davies, 2020).

**Figura 6-** Camadas que compõem a cutícula. **(a)** e **(b)** microscopia eletrônica de transmissão mostrando células cuticulares sobrepostas e evidenciando sucessivamente as subdivisões das camadas sub lamelares: camada A, a exocutícula externa, a endocutícula interna e o complexo de membrana celular (CMC).



**Fonte:** Extraído de Takahashi (2021).

Na face interna de cada célula da cutícula há uma fina camada de conhecida como camada interna. Entre a exocutícula e a camada interna localiza-se a endocutícula que possui alto teor de proteínas, porém baixo teor de cistina (~3%), constitui uma interface com a parte interna do cabelo, porém não contribui de forma significativa com as propriedades de resistência do cabelo, no entanto é mais porosa e mais permeável que a água, altamente variável em espessura de cerca de 50 a 300 nm (Robbins; Robbins, 2012).

**Tabela 1-** Camadas da cutícula e seus respectivos níveis de cistina e outros detalhes.

<i>Camada de cutícula</i>	<i>% de cistina</i>	<i>Propriedades</i>
<i>Epicutícula</i>	<i>~12%</i>	<i>A camada lipídica 18-MEA ligada à epicutícula contribui para a lubrificação do cabelo</i>
<i>Camada A</i>	<i>~30%</i>	<i>Camada altamente reticulada</i>
<i>Exocutícula</i>	<i>~15%</i>	<i>Resistência mecânica</i>
<i>Endocutícula</i>	<i>~3%</i>	<i>Maior porosidade e mais permeável à água</i>
<i>Complexo de membrana celular (CMC) ~ 2%</i>		<i>Estrutura lamelar, consiste em camada <math>\beta</math> interna, camada <math>\delta</math> e camada <math>\beta</math> externa</i>

**Fonte:** Adaptado de Bhushan (2010).

A aderência e o nivelamento entre as camadas cuticulares, que dão aparência de brilho ao cabelo, tem correlação com o CMC da cutícula, que é constituído por ácidos graxos livres, mas principalmente de (18-MEA), fortemente associada às proteínas por ligações de éter ou tioéster. O CMC também possibilita a aderência entre as células cuticulares e as células corticais, contendo em sua composição, ácidos graxos de ligações covalentes e não covalentes, além de colesterol e ceramidas (Ribeiro; Antunes Junior; Souza, 2021).

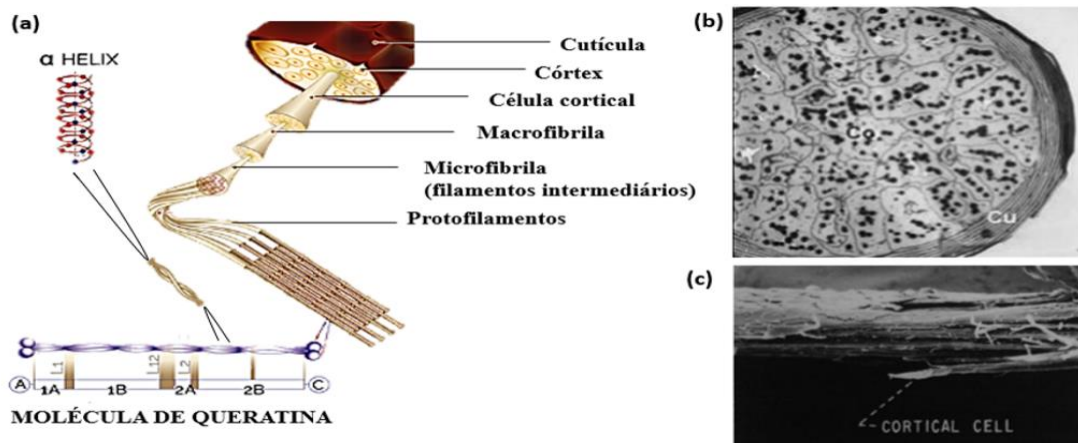
A cutícula circunda o córtex, a maior parte da massa capilar. O córtex é composto por células corticais e por CMC (Fellows; Casford; Davies, 2020). As células corticais possuem geralmente 1-6  $\mu\text{m}$  de espessura e 100  $\mu\text{m}$  de comprimento, agrupadas longitudinalmente ao longo do eixo da fibra capilar e ocupam a maior parte da composição interna do cabelo, cerca de 70% a 90% (Bhushan, 2010).

As células corticais alongadas envolvem melanossomos contendo eumelanina (pigmento marrom/preto) e/ou feomelanina (pigmento vermelho), responsável pela cor do cabelo. Essas células são compactadas e contêm microfibrilas paralelas e orientadas longitudinalmente ao eixo da fibra capilar (Cruz *et al.*, 2016). As microfibrilas contam com aproximadamente 0,1 a 0,4  $\mu\text{m}$  de diâmetro e compreendem a maior parte das células corticais.

Cada macrofibrila está disposta em uma formação espiral e compreende proteínas de filamentos intermediários com diâmetro de 7,5 nm, também chamadas de microfibrilas e proteínas associadas à queratina (KAPs), também conhecidas como proteínas de matriz. A matriz é formada por aproximadamente 21% de proteínas cristalinas com alto teor de cistina (Robbins; Robbins, 2012).

Os filamentos intermediários, com baixo teor de cisteína (~6%), contêm unidades subfilamentosas, protofilamentos, incorporando seções curtas de cadeias polipeptídicas  $\alpha$ -helicoidal na formação de bobinas enroladas. O córtex é responsável pela grande resistência à tração do cabelo. Três tipos de células corticais foram observados na fibra capilar com diferentes proporções de filamentos intermediários e arranjos matriciais: células ortocorticais, paracorticais e mesocorticais. As células ortocorticais contêm menos matriz entre os filamentos intermediários compostos de queratina e baixo teor de cistina (~3%). As células paracorticais são menores em diâmetro, possuem maior conteúdo de matriz e filamentos intermediários mais regulares, possuem bordas lisas e arredondadas e maior teor de cistina (~5%). Já as células mesocorticais contêm um nível intermediário de cisteína. A estrutura assimétrica bilateral dessas fibras é um possível fator que contribui para a forma do cabelo (Cruz *et al.*, 2016).

**Figura 7-** Ilustração da estrutura do córtex capilar. **(a)** Diagrama mostrando a estrutura do córtex e **(b)** Corte da seção transversal de um fio de cabelo mostrando células cuticulares (Cu) envolvendo as células corticais (Co), evidenciando grânulos de melanina (pontos escuros). **(c)** Micrografia eletrônica de varredura de um cabelo dividido mostrando detalhes da estrutura da célula cortical.

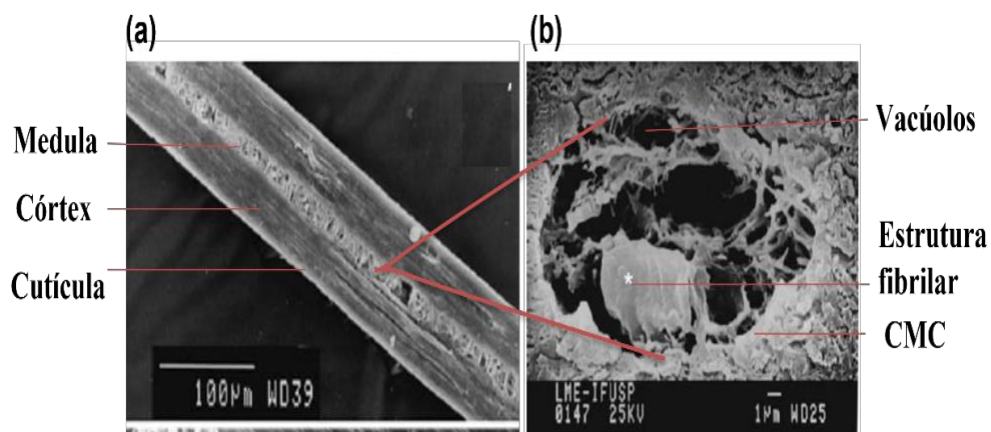


**Fonte:** Adaptado pelo autor, Teha, (2019); Santos, (2017); Robbins e Robbins (2012).

O córtex envolve a medula, uma estrutura celular vacuolizada e frouxamente compactada (Pereira-Silva *et al.*, 2022). A medula, ou canal medular, é a parte central da fibra e pode estar ausente, ou ter uma presença descontínua ao longo do cabelo, o que não leva a modificações em sua estrutura (Farias, 2022). Composta por uma substância amorfa, de

estrutura fibrilar, formada em grande parte por proteínas não queratinizadas, torna-se relativamente macia, e contém muitas cavidades, como uma esponja, resultado dos vários pequenos bolsões de ar em seu interior. Quando essas pequenas câmaras de ar são vacuolizadas pequenas rachaduras intercelulares permanecem durante a queratinização, separadas por uma parede divisória (Ymazaki; Maeda, 2018). A natureza da subestrutura real da medula é controversa, considera-se comumente que consiste em células vacuolizadas, unidas pelo complexo de membrana celular (CMC) que, por sua vez, consiste em três camadas distintas: duas camadas externas ricas em lipídios, intercalando uma camada  $\delta$  central proteica e rica em polissacarídeos. Devido à presença dos vacúolos, a densidade da medula é baixa, proporcionando menor suporte estrutural para as células corticais, sendo responsável pelas grandes deformações e orientações aleatórias que estão presentes. Essa distribuição aleatória das fibrilas, diferentemente da estrutura colateral encontrada no córtex, tem um efeito significativo nas propriedades mecânicas. Assim, embora os vacúolos não contribuam ativamente para a estrutura ou propriedades do cabelo, sua presença altera o empacotamento e a orientação das fibrilas que desempenham um papel importante nas características mecânicas da fibra capilar (Fellows; Casford; Davies, 2021).

**Figura 8-** Características da medula na fibra capilar. (a) Microscopia eletrônica de varredura de corte longitudinal da fibra capilar. (b) Microscopia eletrônica de varredura, corte de secção transversal das estruturas da medula.



**Fonte:** Adaptado de Wagner *et al.* (2007).

Quimicamente a medula contém uma alta concentração de lipídeos e comparada ao restante da fibra é pobre em cistina. Porém é rica em citrulina, de modo que as pontes de enxofre são substituídas por ligações peptídicas que mantêm a estrutura da medula coesa (Wagner, 2006).

### 3.4 CLASSIFICAÇÃO DA FIBRA CAPILAR

O cabelo humano apresenta uma grande variedade quanto à sua forma, cor, textura e regime de crescimento. Essa diferença ocorre devido a razões genéticas que variam de indivíduo para indivíduo, assim toda essa heterogeneidade depende da raça ou da mistura de raças herdadas (Maurício, 2019).

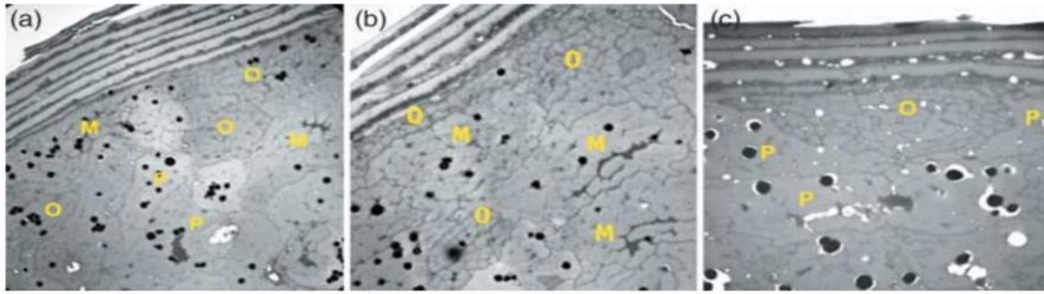
Existem vários mecanismos propostos de curvatura para o cabelo: expressão desigual de queratinas capilares no pré-córtex; distribuição assimétrica de células em proliferação e compartimento proliferativo desequilibrado do folículo piloso; distribuição bilateral desigual de tipos de células corticais que são determinados pelos diferentes arranjos de filamentos intermediários dentro das células corticais; bainhas radiculares internas incorporadas na modelagem da fibra capilar; e diferenças na forma da papila dérmica que influenciam a ondulação do cabelo (Leerunyakul; Suchonwanit, 2020).

A presença e quantidade de curvaturas e torções nas fibras capilares, também variam de acordo com a etnia, já o endurecimento das camadas da bainha radicular interna dentro do folículo piloso pode estar relacionado a forma da fibra (Cruz *et al.*, 2016).

Em consonância com isso acredita-se que a forma da fibra seja determinada pela implantação do formato do folículo piloso na zona de queratinização do fio e ao ângulo de saída que se forma em relação ao couro cabeludo. Quanto maior o ângulo de curvatura, mais curvado será o fio, e com a proporção entre as células ortocorticais e paracorticais presentes na fibra e com a forma com que estas se encontram dispostas na mesma. Estudos vêm indicando que quanto maior a proporção de células ortocorticais, mais enrolada será a fibra capilar (Gasparin, 2019).

A **Figura 9** ilustra micrografias eletrônicas de transmissão com cortes transversais de cabelo, evidenciando na (**Figura 9a**) cortes transversais de cabelos lisos a encaracolados, revelando três tipos de células no córtex do cabelo humano. Cabelos ondulados foram caracterizados por microfibrilas ortocorticais e mesocorticais entrelaçadas ao redor de microfibrilas paracorticais (**Figura 9b**). À medida que o grau de encaracolamento aumenta o mesocórtex desaparece apresentando a maioria das células ortocorticais (**Figura 9c**). No caso do cabelo liso, todos os três tipos de microfibrilas tendem a adotar uma conformação reta, predominando as células mesocorticais (Thibaut *et al.*, 2007).

**Figura 9-** Micrografias eletrônicas de transmissão com cortes transversais de cabelo.



(a) Micrografias eletrônicas de transmissão com cortes transversais de cabelos lisos a encaracolados. (b) Micrografias eletrônicas de transmissão com cortes transversais de cabelos ondulados.

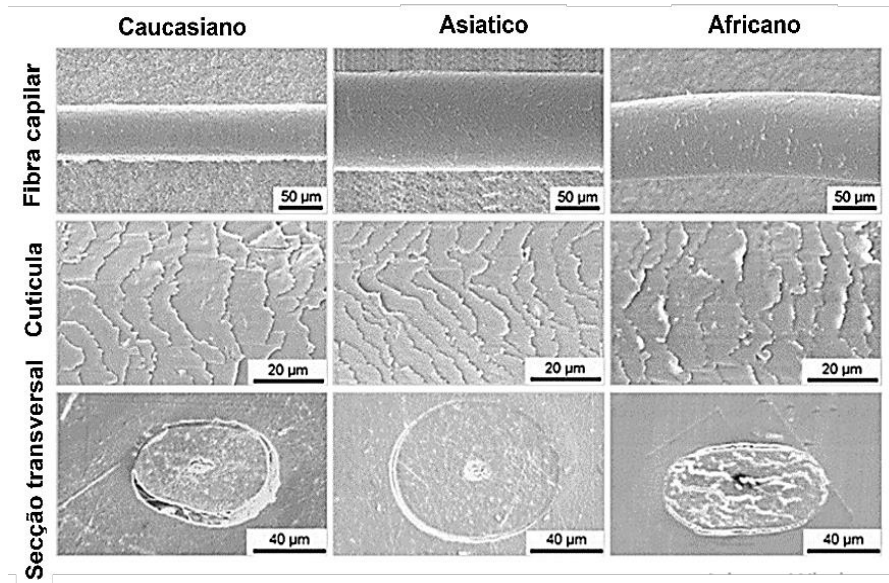
(c) Micrografias eletrônicas de transmissão com cortes transversais de cabelos com alto grau de curvatura.

**Fonte:** Thibaut *et al.* (2007).

Cada indivíduo é único em relação à taxa de produção de cabelo, tamanho e forma, mas existem propriedades da fibra capilar que diferem de acordo com a secção transversal da haste. Observa-se variações associadas à etnia, sendo o cabelo asiático tipicamente o mais circular, o caucasiano mais ovalado e o africano mais elíptico. O cabelo caucasiano é proveniente de pessoas com ancestralidade europeia. Em tese, o cabelo africano refere-se ao cabelo de indivíduos com ascendência africana e o cabelo asiático refere-se ao cabelo de indivíduos com ascendência asiática (Cloete; Khumalo; Ngoepe, 2019).

O cabelo caucasiano possui características como diâmetro menor, curvatura lisa e levemente ondulada, secção transversal redonda a levemente ovalada e sua cor pode variar do loiro ao castanho escuro, conforme **figura 10**. O tipo de cabelo asiático é o mais resistente e de maior diâmetro, geralmente muito liso ao longo do seu eixo. Já o cabelo africano apresenta uma estrutura enovelada característica, possui um alto grau de irregularidade no diâmetro ao longo da haste capilar quando comparado aos demais tipos étnicos, sabe-se também que a secção transversal de sua fibra é mais oval do que os cabelos caucasiano e oriental, que são mais cilíndricos. Sob o aspecto químico, em termos de proteínas e aminoácidos, os cabelos caucasiano, africano e oriental são similares (Lima, 2016).

**Figura 10-** Comparação de microscopia eletrônica de varredura da superfície da fibra capilar e corte de secção transversal de cabelos caucasianos, asiáticos e africanos.



**Fonte:** Fernandes *et al.* (2023).

Muitos estudos comparativos entre os tipos de cabelo baseiam-se na classificação étnica. As diferentes características dos tipos de cabelos conforme etnia pode ser compreendida na **Tabela 2:**

**Tabela 2-** Características dos cabelos conforme etnia (continua...).

<b>Característica</b>	<b>Asiático</b>	<b>Caucasiano</b>	<b>Africano</b>
<b>Pigmentação</b>	Castanho escuro a preto	Loiro a castanho escuro	Preto marrom a preto
<b>Varição de diâmetro</b>	35-125 µm	30-100 µm	45-120 µm
<b>Elipticidade média Formato da área transversal</b>	1.28 circular a oval	1.38 circular a oval	1.68 oval a elíptica
<b>Varição de curvatura</b>	Liso a ondulado	Liso a cacheado	Ondulado a crespo
<b>Varição da curvatura</b>	I-II	I-IV	II-VIII

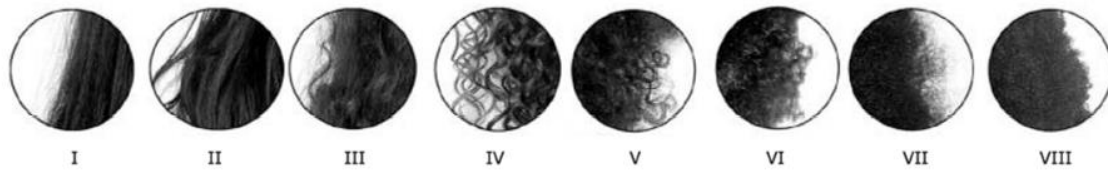
**Tabela 2** - Características dos cabelos conforme etnia (conclusão).

<b>Propriedades mecânicas</b>	<b>Maior resistência</b>	<b>Resistência elástica comparada ao asiático</b>	<b>Menor resistência elástica</b>
<b>Diferença de composição proteica</b>	Não significativa	Não significativa	Não significativa
<b>Cutícula</b>	Apresenta a menor quantidade de lipídios	Apresenta menor quantidade de lipídios que o afro, mas maior ordem lipídica.	Apresenta a maior quantidade de lipídios, mas menor ordem lipídica.
<b>Coefficiente de difusão (permeação)</b>	Menor do que o afro-étnico	Menor do que o Asiático	Maior coeficiente de difusão- (Alta permeabilidade)

**Fonte:** Ribeiro, Antunes Junior e Souza (2021).

O cabelo possui características estruturais e morfológicas classificadas de acordo com o diâmetro da curva, índice de ondulação e número de ondas. Com base nesses atributos, uma taxonomia qualitativa para a ondulação do cabelo é oferecida pelo método de análise de árvore de segmentação, fornecendo uma ferramenta significativa para dar sentido científico e derivar inferências objetivas de resultados de estudos de cabelo. Um artigo clássico de taxonomia, proposto para se afastar da classificação de fibra baseada em tipo racial é o método de análise que classifica o cabelo em oito categorias, conforme ilustra a **Figura 11**: tipo I (liso), tipo II (ligeiramente ondulado), tipo III (ondulado), tipo IV (cacheado), tipo V (muito cacheado), tipo VI (crespo), tipo VII (crespo médio) e tipo VIII (extremamente crespo) (Bloch *et al.*, 2021).

**Figura 11-** Segmentação dos cabelos em oito tipos de curvaturas



**Fonte:** Cruz *et al.* (2016).

### 3.5 COSMÉTICOS PARA TRATAMENTO DA FIBRA CAPILAR

Atualmente, as principais formulações cosméticas capilares incluem formulações para lavagem dos cabelos, incluindo xampus, e condicionamento capilar, obtido por condicionadores capilares; formulações para penteados, como produtos para ondulação e alisamento; formulações antiqueda de cabelo; e formulações de tingimento/coloração e descoloração de cabelo. Essas formulações cosméticas são destinadas para fins de cuidado e embelezamento do cabelo, limpeza e cuidado do cabelo, estimulação do crescimento do cabelo e modificação da cor do cabelo (Pereira-Silva, 2022).

A principal função do cosmético para tratamento capilar é melhorar as características físicas e estéticas do cabelo. O consumidor deseja sanar com a utilização de produtos adequados as principais intempéries causadas na fibra por danos ambientais, térmicos e químicos (Corrêa, 2022). Tratamento químico excessivo ou repetido, hábitos de higiene e exposição ambiental produzem alterações na textura do cabelo e, se extremas, podem resultar em desgaste e quebra do cabelo. Quando o cabelo está extremamente desgastado e quimicamente tratado, pode ocorrer descamação das camadas da cutícula, remoção do 18-MEA e lixiviação da cutícula. Se a cutícula for removida, a exposição do córtex e mais danos ao córtex podem levar à fratura da fibra capilar (DIAS, 2015). Se, por um lado, a textura e o brilho do cabelo geralmente estão relacionados às propriedades da superfície do cabelo, por outro lado, a integridade do cabelo deve-se ao córtex capilar (Gubitosa *et al.*, 2019). O cabelo é composto por células mortas, ele não pode ser renovado biologicamente, a única maneira de reparar suas propriedades fisicamente é usando um condicionador de cabelo e/ou outros produtos capilares que possam cobrir ou preencher a superfície danificada da haste capilar (Fernandes *et al.*, 2023).

Um grande aliado na recuperação dos danos da haste capilar, são os cosméticos condicionadores. As principais funções dos condicionadores são diminuir o atrito, desembaraçar o cabelo, minimizar o *frizz* e melhorar a penteabilidade, agem neutralizando a

carga elétrica negativa da haste capilar adicionando cargas positivas e lubrificando a cutícula que reduz a hidrofobicidade do cabelo. Contêm substâncias anti estáticas e lubrificantes que se dividem em 5 grupos principais: Polímeros, óleos, ceras, aminoácidos hidrolizados e moléculas catiônicas (Rosen; Landriscina; Friedman, 2015). O condicionador ideal é capaz de restaurar a hidrofobicidade da fibra e neutralizar a eletricidade estática. Dependendo da capacidade de penetração na fibra, o condicionador pode atingir a superfície da cutícula ou a parte interna do córtex. Moléculas menores podem atingir o córtex. Já as maiores agem na cutícula. Polipeptídeos de baixo peso molecular podem se difundir no cabelo. Moléculas maiores podem se difundir na cutícula, principalmente em cabelos descoloridos. A via preferencial é a difusão intercelular ou difusão através das regiões não queratinizadas, embora também possa ocorrer difusão intracelular. Polímeros de maior peso molecular podem sofrer absorção na superfície da haste capilar (Robbins, 2012). Os cosméticos para tratamento capilar têm a proposta de melhorar a integridade estrutural das fibras capilares e aumentar a resistência à tração, além de aumentar o volume do cabelo, reduzir o *frizz* e melhorar a maleabilidade do cabelo (Gubitosa *et al.*, 2019).

### 3.6 DIFUSÃO COSMÉTICA NA FIBRA CAPILAR

Distúrbios genéticos, congênitos e adquiridos da haste capilar podem reduzir a densidade do cabelo e causar anormalidades na fibra capilar. Agentes externos, incluindo o uso de altas temperaturas (por exemplo, secador de cabelo), tração excessiva nos fios, tinturas de cabelo, procedimentos de descoloração, alisamento ou ondulação e exposição ao sol possibilitam uma ampla gama de anormalidades adquiridas na haste (Santos, 2022).

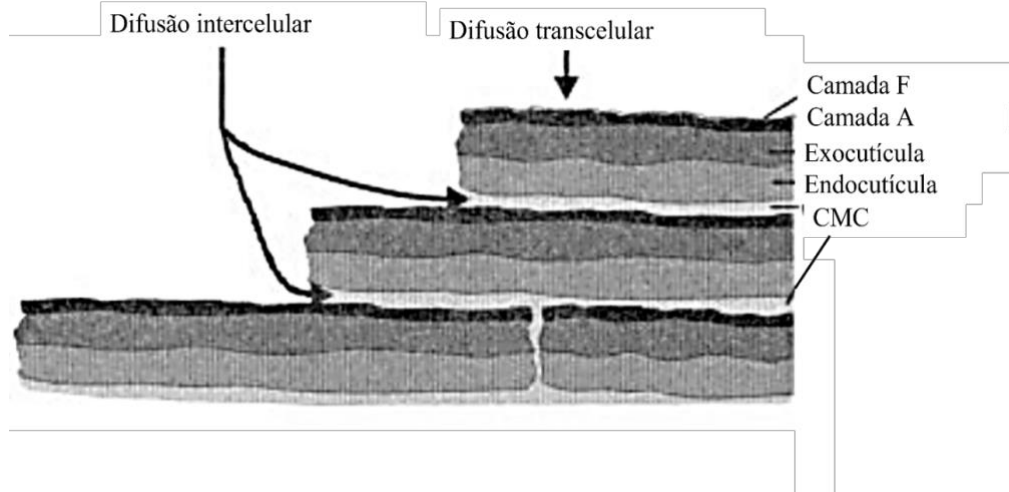
Uma maneira para reduzir os danos causados na fibra capilar é o uso de agentes condicionantes que reduzem a força de fricção e facilitam a penteabilidade, mantendo o cabelo em estado de condicionamento ideal. Para que isto ocorra é necessário que os agentes condicionadores se depositem sobre os cabelos ou que sejam absorvidos por eles, ação influenciada pelo pH do agente condicionador, pela massa molar e pelo ponto isoelétrico do cabelo (Maurício, 2019).

A quantidade de ingrediente que pode ser sorvida pelo cabelo a partir de uma solução aquosa depende da relação entre sua atração ou interação com a queratina, da sua afinidade pela água (hidrofilicidade), e da sua taxa de difusão para o interior da fibra, tendo que ser considerado o tamanho da molécula, condição do cabelo, pH e temperatura de reação. A interação de uma substância com a queratina sofre influência da carga da substância, de seu

peso molecular e do ponto isoelétrico do cabelo (o qual é afetado por seu grau de oxidação), da quantidade de lipídios livres na superfície, do pH do meio, da presença de outros componentes na formulação aplicada, e de ingredientes que já estejam ligados à superfície (Gasparin, 2019).

A integridade física do cabelo é determinada pelos componentes da queratina da cutícula e do CMC. Responsável por ligar as células umas às outras juntamente com outros componentes da queratina o CMC possui uma importante contribuição para a difusão de substâncias nas fibras capilares (Sureka *et al.*, 2022). Como é possível observar na **Figura 12**, existem duas vias principais de difusão nos cabelos, a rota transcelular e a intercelular.

**Figura 12-** Desenho esquemático das duas principais vias de difusão de moléculas na fibra capilar.



**Fonte:** Kelch *et al.* (2000).

A difusão transcelular descreve o caminho por intermédio das partes de baixo e alto teor de enxofre das células da cutícula. Esta via é importante especialmente para pequenas moléculas hidrofílicas, envolvendo a difusão através das células da epicutícula, camada A exocutícula e endocutícula. Este é o caminho mais difícil por causa das regiões de alta reticulação (Arab; Eskander; Abdel-Gawad, 2018).

Uma maneira alternativa é a difusão intercelular, que é preferida para grandes moléculas hidrofóbicas ou apolares. Na difusão intercelular, moléculas penetram na cutícula por meio das regiões de baixo teor de enxofre da cutícula, do material intercelular e da endocutícula.

As regiões de baixo teor de enxofre podem funcionar como vias de difusão preferidas devido ao seu comportamento de inchamento em soluções aquosas (Kelch *et al.*, 2000). Sob condições não aquosas, as moléculas também se difundem pelas vias intercelulares devido a ocorrência da alta mobilidade de moléculas de lipídios e proteínas do CMC à temperatura ambiente.

Após penetrar na cutícula, as moléculas se difundem na rota intercelular do córtex até o centro do cabelo. Somente após um longo período de penetração as moléculas migram também para as células corticais. Em geral, a difusão é uma combinação de ambas as vias (Kelch *et al.*, 2000).

### 3.7 LED AZUL

Dentro do campo da dermatologia, os avanços no uso de diodos emissores de luz (LEDs) levaram à sua aplicação clínica para uma variedade de usos estéticos e cosméticos. O benefício decorrente do uso da luz é conhecido desde a antiguidade, mas somente nas últimas décadas do século XX foi possível observar a rápida expansão do conhecimento e das técnicas. Os LEDs representam a ferramenta emergente mais segura para o tratamento de muitas condições na área da saúde estética (Sorbellini; Rucco; Rinaldi, 2018).

O LED é um diodo semicondutor que, quando energizado, produz luz visível de espectro limitado, em forma de eletroluminescências (Camargo; Regis *et al.*, 2020). A emissão de luz ocorre por uma reação física, os elétrons do material semicondutor após a estimulação por uma corrente elétrica vão para uma órbita superior do átomo e ao retornarem para sua órbita de origem emitem os fótons. Este sistema condutor é composto por camadas (n-p-n), quando a energia elétrica é depositada entre as camadas ocorre a movimentação dos elétrons da camada “n” para camada “p” ocorrendo a emissão de luz (Bueno; Cristofolini, 2014).

A fonte de luz gerada com base na tecnologia de semicondutores, pelos quais semicondutores complexos, na maioria das vezes nitreto de índio e gálio (InGaN) (60%) e alumínio gálio fosfeto de índio (AlInGaP) (38%), convertem a corrente elétrica em luz de espectro estreito incoerente (Van Tran *et al.*, 2021).

Sob condições apropriadas de polarização direta, elétrons e lacunas se recombinam na junção p-n do LED, levando, no caso de LEDs de nitreto de gálio, à emissão de luz azul. Uma pequena lente de polímero na frente da junção p-n colima parcialmente a luz. Os comprimentos de onda disponíveis para LED cobrem as luzes visíveis e partes das luzes invisíveis, o espectro de radiação inclui radiação infravermelha (IR, 760–1000 nm), luz visível (400–760 nm) e radiação ultravioleta (UV, 280–400 nm). O mecanismo de ação da luz visível não é completamente compreendido quanto ao amplamente utilizado UVB. No espectro de luz visível há luz vermelha, laranja, amarela, verde, azul e violeta (Sadowska; Narbutt; Lesiak, 2021).

Os LEDs não são invasivos, produzem altos níveis de energia com baixa radiação de calor, por ser uma luz de baixa intensidade e que se espalha, possui uma característica não

coerente e não colimada, porém, obtém um maior comprimento de onda e produz um espectro eletromagnético. Os principais parâmetros da terapia de luz de baixa intensidade mediada por LED são comprimento de onda, saída média, densidade de potência, irradiância ou tempo de tratamento, densidade de energia, energia acumulada, modo de saída entre outros (Bordini; Oliveira; Moreira, 2019).

Em termos de comprimentos de onda, o nanômetro (nm) é a unidade de medida principal do LED. A potência do LED é geralmente entre 1 e 1000 mW. mais próximo da Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação (Laser) (Li; Zhang., 2019).

O primeiro LED vermelho foi criado na década de 1950, e na década de 1960 a busca por comprimentos de onda de emissão mais curtos já havia produzido LEDs verdes – mas faltavam dispositivos azuis (Nanishi, 2014). Para revolucionar a tecnologia da iluminação ainda faltava desenvolver o LED azul. Como se sabe, somente a tríade formada pelas cores vermelha, verde e azul pode produzir a luz branca. Entretanto, a criação do diodo emissor de luz azul permaneceu um desafio por décadas, tanto para a comunidade científica, como para a indústria eletrônica. Os trabalhos desenvolvidos pelos cientistas japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura culminaram com a invenção do LED azul. Nos anos 1990 os seus trabalhos possibilitaram a produção de LEDs azuis eficientes, com estruturas complexas. Em 2014 eles receberam o Prêmio Nobel de Física pelo desenvolvimento do LED azul (Melo, 2020). A saída espectral do LED azul de nitreto de gálio incide dentro do espectro de absorção do fotoiniciador de canforquinona, alterna entre 400-500 nm (Cunha; Ribeiro; Fonseca, 2021).

Comprimentos de onda maiores apresentam menor energia e maior penetração no tecido. Por outro lado, pequenos comprimentos de onda mostram maior energia e menor penetração na pele. Neste contexto, a luz azul mostra uma ação superficial na pele (Ash *et al.*, 2017).

De acordo com a primeira lei da fotobiologia, a energia da luz deve ser absorvida por um fotorreceptor molecular ou um fotossensibilizador endógeno para ter efeito em qualquer sistema biológico. Os fotorreceptores possuem sistemas especializados em integrar proteína-cromóforo, onde as reações fotoquímicas produzem mudanças conformacionais que desencadeiam uma cascata de sinalização e uma consequente resposta celular (Born; Liebmann, 2018).

A fotobiomodulação é um conjunto de reações que envolvem a absorção de fótons por moléculas fotorreceptoras. Esses fotorreceptores em humanos estão presentes na hemoglobina, melanina e mitocôndrias, entre outras, sendo que a absorção dos fótons por essas estruturas é dependente do comprimento de onda (Rossato, 2018).

A luz azul apresenta diferentes aplicações clínicas potenciais, de fato pode ser usada para controle de infecção em pacientes com acne cutânea (*Propionibacterium acnes*), contra diferentes cepas bacterianas, incluindo *Porphyromonas gingivalis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Helicobacter pylori*, mas também pode ser empregado para descontaminação ambiental de quartos clínicos hospitalares, de biomateriais em dispositivos de implantação ou de fluidos biológicos (Zupin; Gratton; Fontana, 2021).

São utilizados parâmetros para estudar os efeitos biológicos causados pelos LEDs: comprimento de onda, dose (fluência), intensidade, tempo de irradiação, modo contínuo ou pulsado e padrões de pulso. Em questões de segurança, o LED é muito seguro, já que não é tóxico e muito menos invasivo, além de não haver relatos de efeitos colaterais (Lima, 2015).

Os processos ópticos básicos da interação da luz incidente sobre a matéria obedecem aos princípios de reflexão e refração, os quais são correlacionados, absorção e espalhamento. Contudo os processos que regem as interações da luz visível de baixa intensidade com o tecido biológico são a absorção e o espalhamento, pois a reflexão e refração são consideradas secundárias e de menor importância (Velo, 2010).

Entretanto, tem sido sugerido que a fotobiomodulação induzida em tecidos biológicos por radiações emitidas por LASERS e LEDs de baixa potência tem por fatores determinantes: o comprimento de onda, a intensidade, a dose, a concentração de fotorreceptores e as propriedades ópticas (reflexão, transmissão, absorção, espalhamento e anisotropia) do tecido irradiado, bem como o seu estado fisiológico, todos são fatores determinantes para os efeitos da fotobiomodulação (Cunha; Ribeiro; Fonseca, 2021).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

#### 4.1.1 Seleção e preparo das mechas de cabelo.

Foram selecionadas amostras comerciais de cabelos virgens do tipo caucasiano, africano e asiático livres de quaisquer tratamentos químicos, gentilmente cedidas pela empresa brasileira Synrise Ltda.

As amostras de cabelo foram lavadas com uma solução a 10% de Lauril Sulfato de Sódio no método de lavagem digital: 5 movimentos rotativos de cada lado da amostra, enxaguadas dez vezes em cada lado por 1 minuto sob água corrente (Kaushik; Chogale; Mhaskar, 2020).

#### 4.1.2 Cosmético utilizado para o tratamento e preparação das amostras.

O produto cosmético utilizado para tratamento dos fios de cabelo é um leave-in com ácido hialurônico, polímeros amino funcionais e um conjunto de nanopartículas de sericina (marca Grandha Professional Hair Care), foi obtido por doação da empresa Melk Cosméticos LTDA. Lote 15/3039-37, validade 01/2025.

O produto é composto pelos ingredientes: INCI: *Aqua, Lactic Acid, Polyquaternium-7, Glycolic Acid, Glycerin, Polyquaternium-37, Behentrimonium Chloride, Propylene Glycol Dicaprylate/ Dicaprate, Cocos nucifera (Coconut) Oil, Sericin, Trideceth-6, Caprylyl Glycol, Cyclopentasiloxane, Dimethicone, Propylene Glycol, Phenyl Trimethicone, Dimethiconol, TEA-Dodecylbenzenesulfonate, Parfum, Sodium PCA, Sodium Lactate, Arginine, Aspartic Acid, PCA, Glycine, Alanine, Serine, Valine, Proline, Threonine, Isoleucine, Histidine, Phenylalanine, Guar Hydroxypropyltrimonium Chloride, PPG-1 Trideceth-6, Acrylates/Stearyl Methacrylate Copolymer, Sorbitan Oleate, Citric Acid, Phenoxyethanol, Ethylhexylglycerin, Phosphoric Acid, Cinnamal, Limonene, Linalool, Hexyl Cinnamal, Butylphenyl Methylpropional, Hydroxycitronellal, Geraniol, Citronellol, Coumarin.*

#### 4.1.3 Equipamento de Luz emitida por diodo (LED) azul usado no experimento.

Para realização do experimento foi utilizado o equipamento da empresa Ecco Fibras (Brasil), modelo Ecco Hair fibra capilar com o cluster de LED azul (460 nm). Este equipamento

apresenta características técnicas: Cluster com 3 pontos de LED azul; Potência óptica: 3x400 mW; Tensão de entrada: 110-230 vac; Frequência de entrada: 47-64 hz; Potência de entrada: 50 va; Tensão de saída: e Corrente de saída: 2,0 A. As mechas foram irradiadas com densidade de energia de 9,6 J/cm<sup>2</sup>, densidade de potência de 160 mW/cm<sup>2</sup> durante 60 s, pontualmente ou na forma de varredura.

#### **4.1.4 Análise da espectroscopia do cosmético capilar.**

Para análise da absorvância de luz por comprimento de onda, o cosmético foi analisado por espectroscopia utilizando o espectrofotômetro *DeNovix DS-11*, em 190 a 840 nm.

#### **4.1.5 Avaliação de temperatura ambiente após a irradiação da luz do LED azul.**

Para verificar se o LED azul altera a temperatura ambiente após a irradiação por 60 segundos foi utilizado um termômetro digital da marca KASVI. O cluster do equipamento de LED azul foi colocado sobre o sensor e após 60 segundos aferiu-se a temperatura.

#### **4.1.6 Análise de alterações estruturais superficiais por Microscopia eletrônica de varredura (MEV).**

A técnica de MEV foi utilizada visando avaliar a eficácia da deposição do cosmético na superfície da estrutura capilar. As imagens de MEV foram obtidas a partir de amostras de fibra capilar metalizadas com nanopartículas em ouro e em seguida foram depositadas em fita carbono dupla face de 1 cm<sup>2</sup>. Para análise foi utilizado o equipamento EVO-MA10 (ZEISS, ALEMANHA) de alta resolução com emissão de elétrons por um canhão de aplicação de um campo elétrico, com tensão de aceleração de 5 ou 15 kV, fonte de tungstênio, que permite obtenção de imagens com ampliação de até 5.000 X. Foram preparadas 6 mechas de cabelos asiáticos, 6 mechas de cabelos caucasianos e 6 mechas de cabelos africano. Cada etnia de cabelo foi dividida em 6 grupos: Grupo A- “controle” sem tratamento; Grupo B- tratado com cosmético capilar sem enxágue; Grupo C- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiado com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no método de varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>; Grupo D- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no método pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. Grupo E- fibra capilar sem tratamento irradiada com

LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no método de varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>; Grupo F- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no método pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. As mechas foram acondicionadas em ambiente padronizado a 50 ± 5% de umidade relativa e 21 ± 2°C durante a realização dos ensaios.

#### **4.1.7 Avaliação instrumental da medição do diâmetro médio do fio de cabelo.**

A avaliação instrumental da medição do diâmetro médio do fio de cabelo foi realizada para analisar se houve alteração no diâmetro da fibra capilar no grupo de cabelos tratado com cosmético capilar e nos grupos tratados com cosmético capilar e irradiados com o led azul nos modos de aplicação varredura e pontual em comparação ao grupo controle. Este estudo visa verificar a eficácia da reposição de massa e efeito filmógeno da preparação cosmética por meio da avaliação do diâmetro da fibra capilar. As medidas de diâmetro do fio de cabelo foram realizadas antes da aplicação do produto (T0) e após 1 aplicação do produto (T1). As medidas foram realizadas em 50 fios de cada mecha, a cada tempo experimental, com o auxílio do equipamento Micrômetro (Mitutoyo®). Foi utilizado o programa Minitab Statistical software 19 para a análise estatística. Foi realizada análise estatística por teste T de Student para comparar os grupos de tratamento em cada tempo experimental (T0 e T1). O valor de alpha igual a 5% foi adotado como limite para ser declarada diferença entre grupos ( $p < 0,05$ ).

Foram preparadas quatro mechas de cabelos asiáticos, quatro mechas de cabelos caucasianos e quatro mechas de cabelos africano. Cada etnia de cabelo foi dividida em quatro grupos: Grupo A- “controle” sem tratamento; Grupo B- tratado com cosmético capilar sem enxágue; Grupo C- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiado com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no método de varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>; Grupo D- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no método pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>.

#### **4.1.8 Análise de permeação do sêrum por Microscopia Confocal de Fluorescência.**

A microscopia Confocal de fluorescência foi utilizada como marcador de fluorescência para analisar a permeação de partículas de ingredientes cosméticos no interior da fibra capilar e o depósito de cosmético na superfície do cabelo. Para a análise de fluorescência foram

separadas mechas de cabelo asiático, africano e caucasiano e selecionados 30 fios de cabelo com 10 cm de comprimento em cada mecha. Cada etnia de cabelo foi dividida em 3 grupos: Grupo A- tratado com cosmético capilar sem enxágue; Grupo B- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiado com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no método de varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de  $9,6\text{J}/\text{cm}^2$ ; Grupo C- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no método pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de  $9,6\text{J}/\text{cm}^2$ . As mechas foram acondicionadas em ambiente padronizado a  $50 \pm 5\%$  de umidade relativa e  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  durante a realização dos ensaios. Para microscopia Confocal de fluorescência foi utilizado o equipamento ZEISS LSM 700.

#### **4.1.9 Avaliação instrumental da força/resistência do fio de cabelo por Texture Analyzer.**

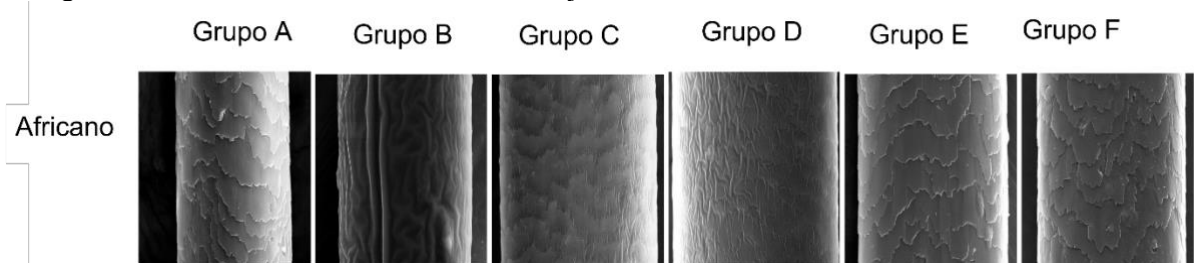
Para avaliar se houve alteração na força/resistência do fio de cabelo nos diferentes grupos processados, utilizou-se a técnica de tração em cabelos africanos, caucasianos e asiáticos. Foram selecionados 50 fios de cabelo de cada grupo de estudo (tratado e controle) obedecendo aos critérios de diâmetro entre 50 e 70 micras através do uso de um micrômetro eletrônico marca Mitutoyo® Modelo IP54. Desta forma, para cada tratamento foram obtidas 50 curvas de força do fio de cabelo. Foi utilizado o equipamento TEXTURE ANALYZER TA-XT2i com acessório para avaliação de resistência à tração acoplado (tensile grips), com uma cela de carga de 25 kg. A velocidade de tração foi estabelecida em 0,5 mm/s, obedecendo-se uma distância entre as garras de 5 cm. Os dados obtidos com o TEXTURE ANALYZER TA-XT2i foram estatisticamente analisados utilizando o software Minitab Statistical Software 19 comparando, por tratamento, os valores de tensão na Tração a Ruptura ( $\text{gmf}\cdot\text{mm}^{-2}$ ). O resultado da análise estatística por teste ANOVA com um fator com nível de significância de  $p < 0,05$ . Foram preparadas quatro mechas de cabelos asiáticos, quatro mechas de cabelos caucasianos e quatro mechas de cabelos africano. Cada etnia de cabelo foi dividida em quatro grupos: Grupo A- “controle” sem tratamento; Grupo B- tratado com cosmético capilar sem enxágue; Grupo C- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiado com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no método de varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de  $9,6\text{J}/\text{cm}^2$ ; Grupo D- tratado com cosmético capilar sem enxágue e irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no método pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de  $9,6\text{J}/\text{cm}^2$ .

## 5 RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISES DO CABELO AFRICANO

Os resultados obtidos pela análise por MEV de fios de cabelo africano tratada com cosmético demonstram elevada rugosidade (Figura 13 b). Por sua vez, fios desse mesmo tipo de cabelo tratados com cosméticos e irradiados com LED azul apresentaram alteração da deposição do produto na fibra, evidenciado com mais intensidade quando a irradiação foi pontual (Figuras c e d). Na (figura 13 e) e (figura 13 f) não se observaram alterações e danos relacionados à exposição da luz na superfície da fibra capilar.

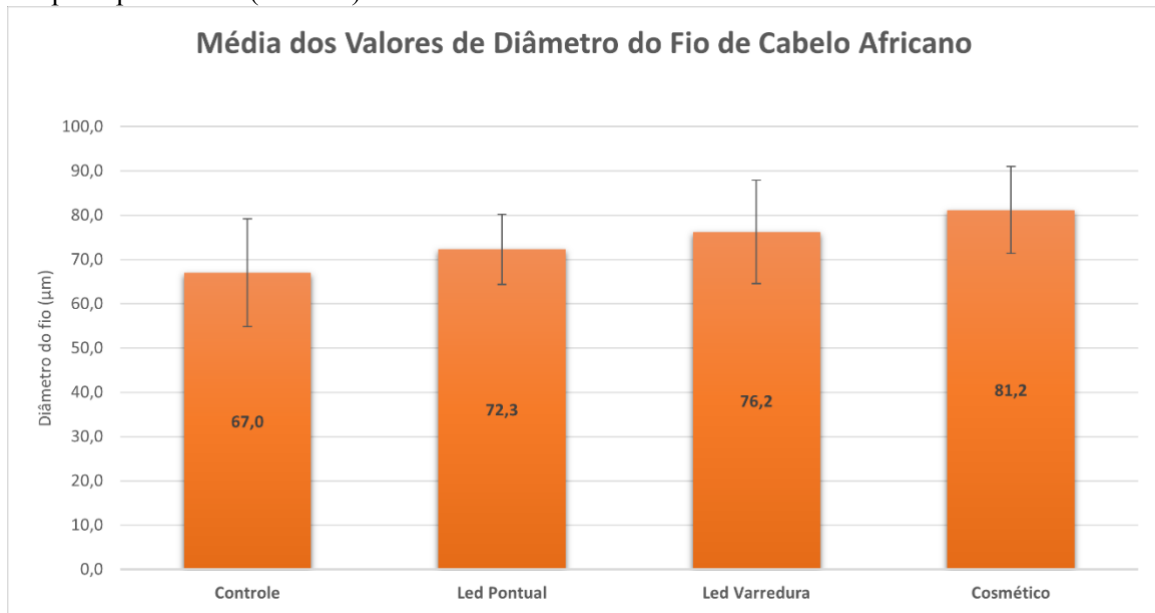
**Figura 13-** Imagens de MEV de cabelos africano. (A) fibra capilar controle - sem tratamento cosmético, (B) fibra capilar tratada com cosmético capilar, (C) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com led azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual com uma dose de irradiância de  $9,6\text{ j/ cm}^2$ , (D) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com led azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura com uma dose de irradiância de  $9,6\text{ j/ cm}^2$ . (E) fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no modo de aplicação de varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de  $9,6\text{ j/ cm}^2$ , (F)- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no modo de aplicação pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de  $9,6\text{ j/ cm}^2$ .



Fonte: O autor.

Nas análises de diâmetro obtidas no (gráfico 1) não houve diferença estatisticamente significativa em relação ao diâmetro do fio de cabelo ( $p < 0,05$ ) em T1 dos fios de cabelo com tratamento do cosmético capilar e fios de cabelo tratados com cosmético capilar e irradiados com o LED azul nos modos varredura e pontual quando comparado ao grupo controle, demonstrando que os tratamentos obtiveram resultado similar em relação ao controle.

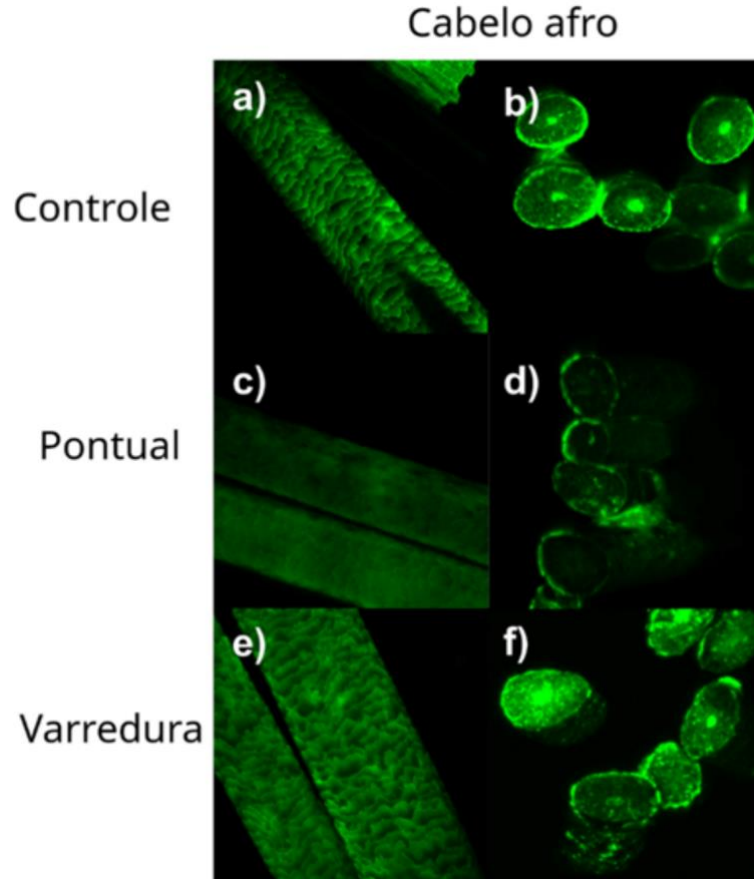
**Gráfico 1-** Média dos valores de diâmetro obtidas para cada tratamento (controle e teste), a cada tempo experimental (T0 e T1) em cabelo africano.



Fonte: O autor.

As imagens da análise de microscopia Confocal por fluorescência do cabelo africano do grupo tratado com cosmético **figuras 14 (a) e 14 (b)**, apresentou um maior índice de fluorescência com demarcação acentuada na superfície cuticular e penetração profunda no córtex da haste capilar. O grupo tratado com cosmético capilar e posteriormente irradiado com LED azul no modo de aplicação pontual, **figura 14 (c) e 13 (d)**, apresentou fluorescência significativa na borda cuticular, porém menor reflexão de fluorescência na parte interna do córtex. Já a fibra capilar tratada com cosmético capilar e em seguida irradiada com LED azul no modo de aplicação varredura, **figura 14 (e) e 14 (d)** evidencia maior fluorescência devido à maior penetração cosmética.

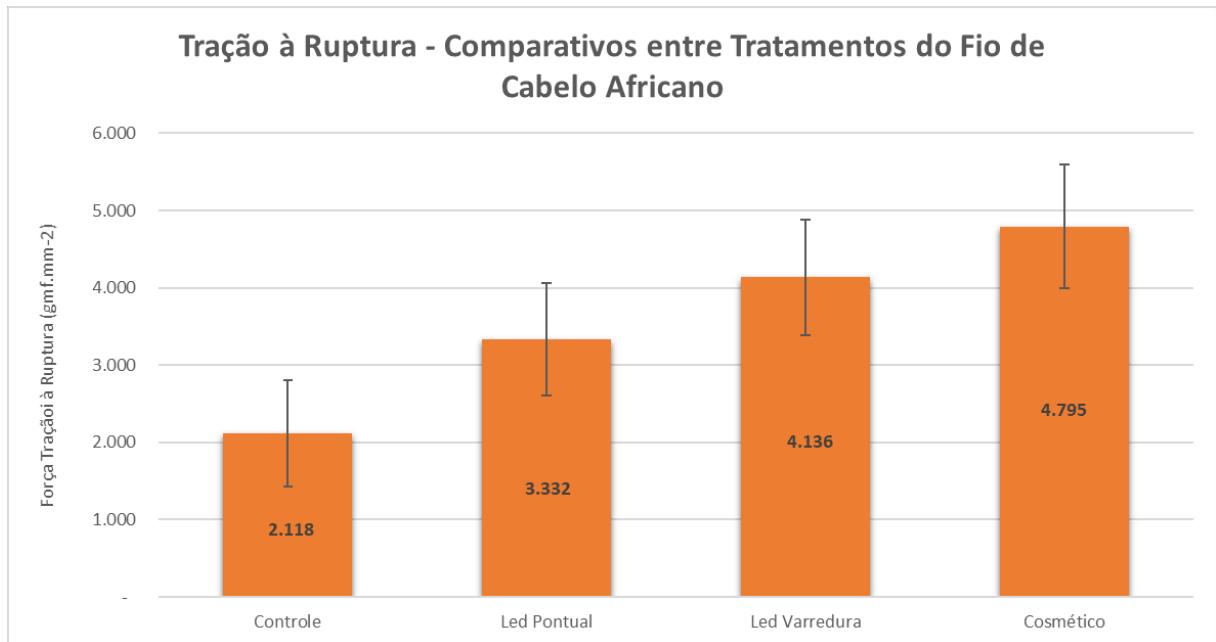
**Figura 14-** Microscopia Confocal de *fluorescência* de cabelo africano. (a) e (b) mechas controle – com tratamento cosmético; (c) e (d) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual; (e) e (f) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura.



Fonte: O autor.

Na análise de tração a ruptura do cabelo africano (gráfico 2) observou-se um aumento na resistência da estrutura capilar de 92% para o fio de cabelo tratado com cosmético e irradiado com LED azul no modo de aplicação pontual, 95% para o fio de cabelo tratado com cosmético e irradiado com LED azul no modo de aplicação varredura e 127% para o cabelo tratado com cosmético, em relação ao tratamento controle na força (gmf.mm-2) e resistência do fio de cabelo que está relacionado à hidratação interna do fio e à integridade capilar.

**Gráfico 2-** Valores de Tração à Ruptura (gmf.mm-2) do fio de cabelo africano para os tratamentos.

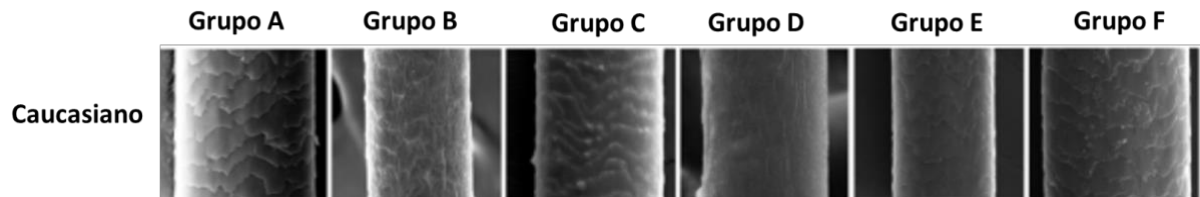


Fonte: O autor.

## 5.2 ANÁLISES DO CABELO CAUCASIANO

Na análise de MEV de cabelos caucasianos pode-se observar de acordo com as imagens das (figuras 15 a e 15 b), maior rugosidade cosmética na superfície da fibra capilar devido a deposição do cosmético aplicado. Já o grupo tratado com cosmético capilar e posteriormente irradiado com LED azul no modo de aplicação pontual demonstrou maior adesão do cosmético capilar nas células cuticulares. Observa-se dispersão cosmética no fio de cabelo e uma superfície mais plana e menos enrugada no grupo tratado com cosmético e irradiado com LED azul (figura 15 c e 15 d). Nos grupos sem tratamento e irradiados com LED azul (figura 15 e 15 f) não se observou alterações e lixiviação nas cutículas do cabelo.

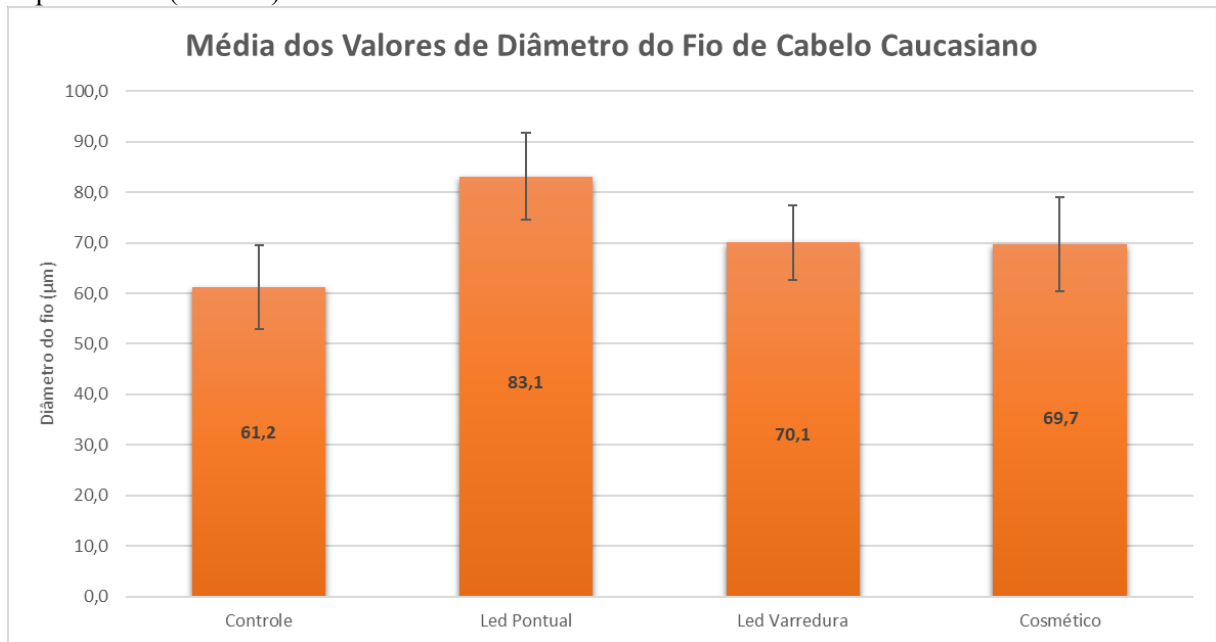
**Figura 15-** Imagens de MEV de cabelos caucasiano. (A) fibra capilar controle - sem tratamento cosmético, (B) fibra capilar tratada com cosmético capilar, (C) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>, (D) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. (E) fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no modo de aplicação varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6 j/ cm<sup>2</sup>, (F)- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no modo de aplicação pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>.



Fonte: O autor.

A avaliação da média dos valores de diâmetro demonstrou diferença estatisticamente significativa em relação ao diâmetro do fio de cabelo ( $p < 0,05$ ) quando comparado os tratamentos teste versus tratamento controle, confirmando que os tratamentos obtiveram melhor resultado em relação ao controle. As fibras capilares tratadas com cosmético capilar e posteriormente irradiadas com LED azul no modo de aplicação pontual obtiveram aumento no diâmetro do fio de cabelo de 25 %, para o tratamento com cosmético capilar e posteriormente irradiado com LED azul no modo de aplicação varredura aumento de 8% e para o tratamento com cosmético capilar melhora de 7% após uma (T1) aplicação em comparação ao tratamento controle.

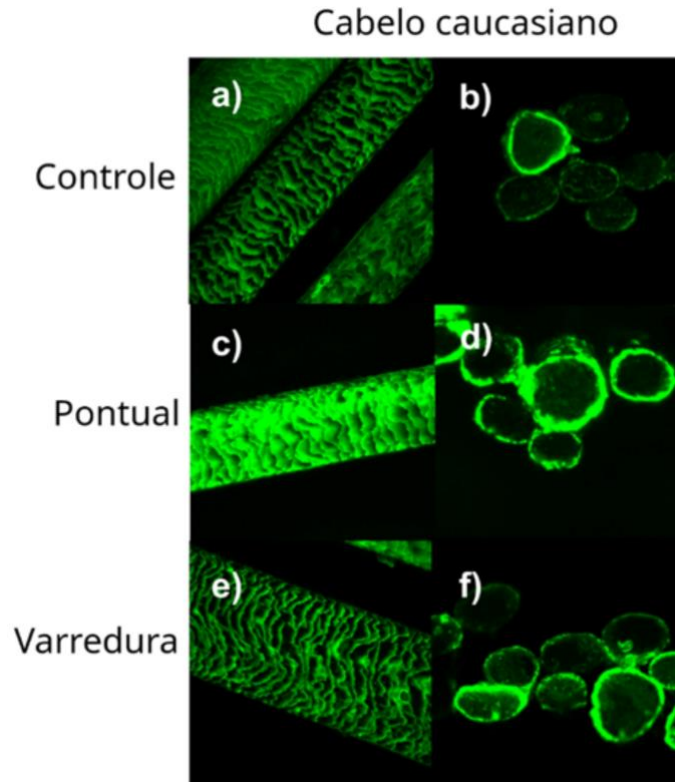
**Gráfico 3-** Média dos valores de diâmetro obtidas para cada tratamento (controle e teste), a cada tempo experimental (T0 e T1) em cabelo caucasiano.



Fonte: O autor.

Na análise de cortes de secção transversal de microscopia Confocal por fluorescência de cabelos caucasianos é possível observar na (figura 16 a e 16 b) uma fluorescência na superfície cuticular do grupo controle, porém quando comparado ao grupo tratado com cosmético capilar e em seguida irradiada com LED azul no modo de aplicação pontual (figura 16 c e 16 d) e tratado com cosmético capilar e em seguida irradiada com LED azul no modo de aplicação varredura (figura 16 e e 16 f), pode-se identificar fluorescência acentuada tanto na camada superficial quanto na camada interna das cutículas, além de se observar uma fluorescência moderada no córtex, parte interna dos cabelos.

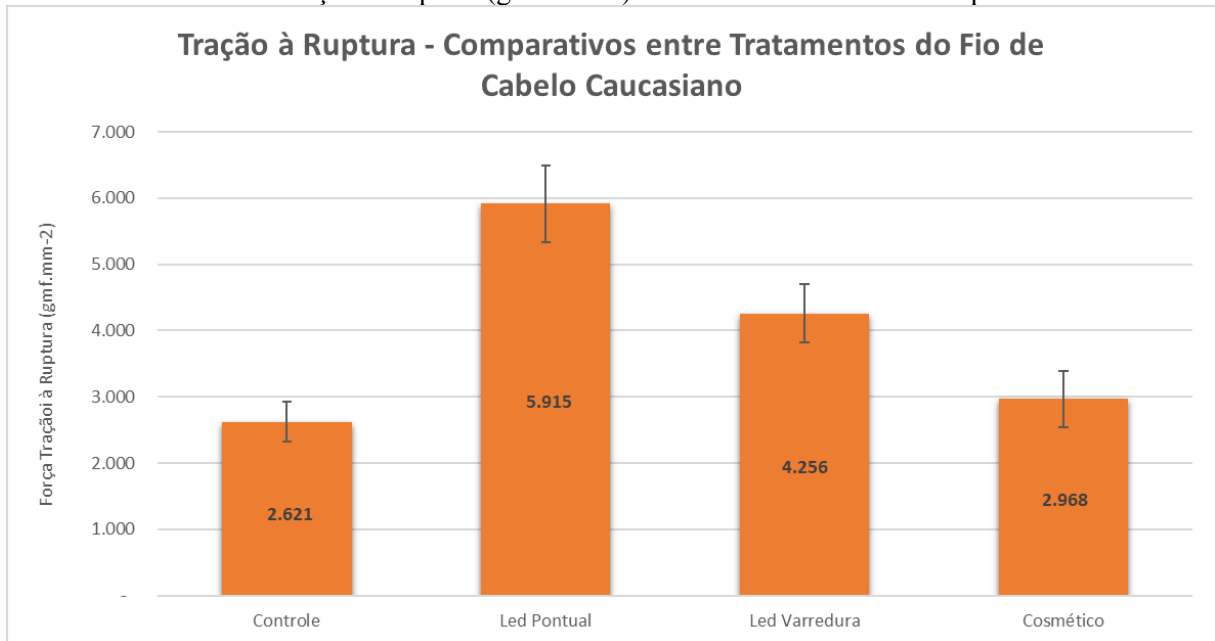
**Figura 16-** Microscopia Confocal de *fluorescência* cabelo caucasiano. (a) e (b) mechas controle – com tratamento cosmético; (c) e (d) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual; (e) e (f) mechas tratadas com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura.



Fonte: O autor.

Para a análise de resistência do cabelo caucasiano foi observado um aumento 118% para a fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul no modo de aplicação pontual, 62% a fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul no modo de aplicação varredura e 46% com para a fibra capilar tratada com cosmético capilar, em relação ao grupo controle na força ( $\text{gmf.mm}^{-2}$ ) e resistência do fio de cabelo que está relacionado à hidratação interna do fio e à integridade capilar.

**Gráfico 4-** Valores de Tração à Ruptura (gmf.mm-2) do fio de cabelo caucasiano para os tratamentos.

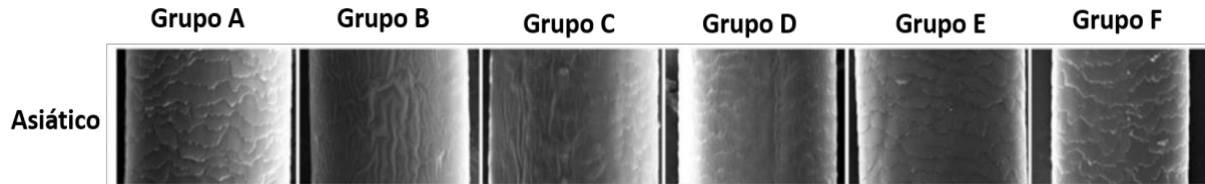


Fonte: O autor.

### 5.3 ANÁLISES DO CABELO ASIÁTICO

Nas amostras de MEV de cabelos asiáticos tratadas com cosmético capilar (figura 17b), é possível observar a presença de uma película ao redor da fibra capilar, ocasionada pela sobreposição de matérias-primas contidas no cosmético capilar. Nas (**figuras 17 c e 17 d**) correspondentes respectivamente aos cabelos tratados com cosmético capilar irradiados com LED azul no modo de aplicação pontual e LED azul no modo de aplicação varredura observa-se a aderência do cosmético nos fios de cabelos evidenciando as cutículas após a aplicação do LED azul. Nos grupos (figura 17 e e 17 f), sem tratamento irradiado com LED azul no modo de aplicação varredura e no modo de aplicação observa-se as cutículas capilares saudáveis sem alterações ou danos gerados pela exposição a irradiação do LED azul.

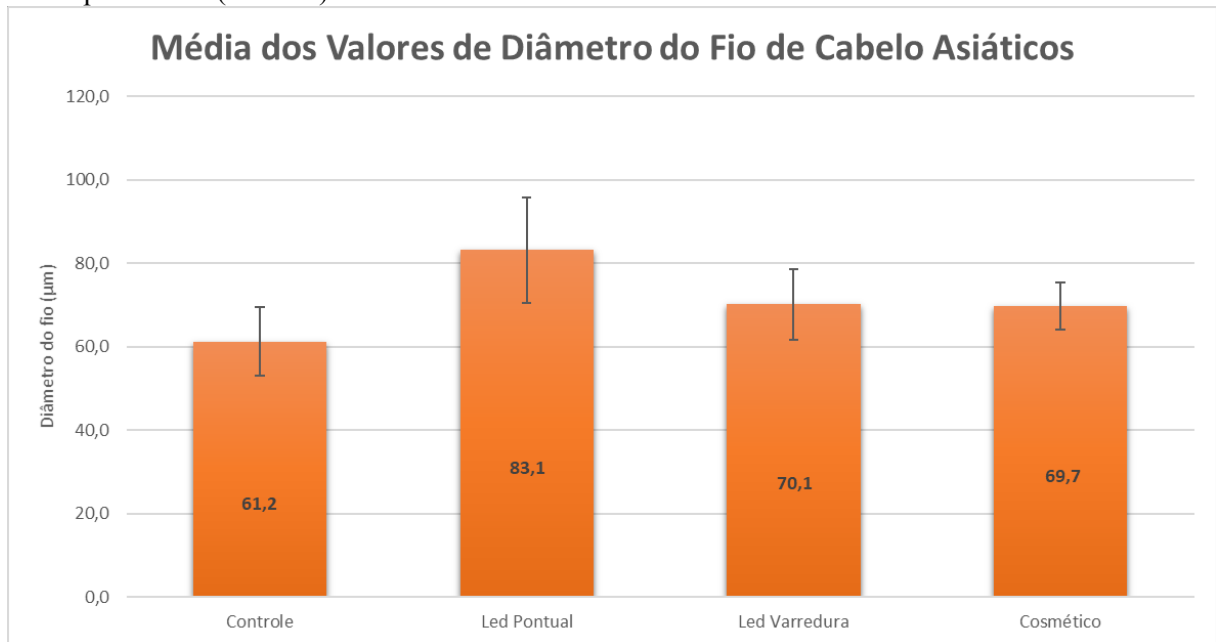
**Figura 17-** Imagens de MEV de cabelos asiáticos. (A) fibra capilar controle - sem tratamento cosmético, (B) fibra capilar tratada com cosmético capilar, (C) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>, (D) fibra capilar tratada com cosmético capilar e irradiada com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>. (E) fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm) com distância de 1 cm, no modo de aplicação varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6 j/ cm<sup>2</sup>, (F)- fibra capilar sem tratamento irradiada com LED azul (460nm), com distância de 1 cm, no modo de aplicação pontual por 60 segundos com uma dose de irradiância de 9,6j/ cm<sup>2</sup>.



Fonte: O autor.

Na análise média dos valores de diâmetro obtidas em cabelos asiáticos pode-se observar diferença estatisticamente significativa dos cabelos em relação ao diâmetro do fio de cabelo ( $p < 0,05$ ) quando comparado os tratamentos teste versus tratamento controle, demonstrando que os tratamentos obtiveram melhor resultado em relação ao controle. Os fios de cabelos tratados com cosmético e posteriormente irradiados com o LED azul no modo de aplicação pontual obtiveram melhora no diâmetro do fio de cabelo de 36%, 15% para os fios de cabelo tratados com cosmético capilar e irradiados com LED azul no modo de aplicação varredura e aumento de diâmetro de 14% para os fios de cabelo tratados com cosmético capilar, após uma (T1) aplicação em comparação ao grupo controle.

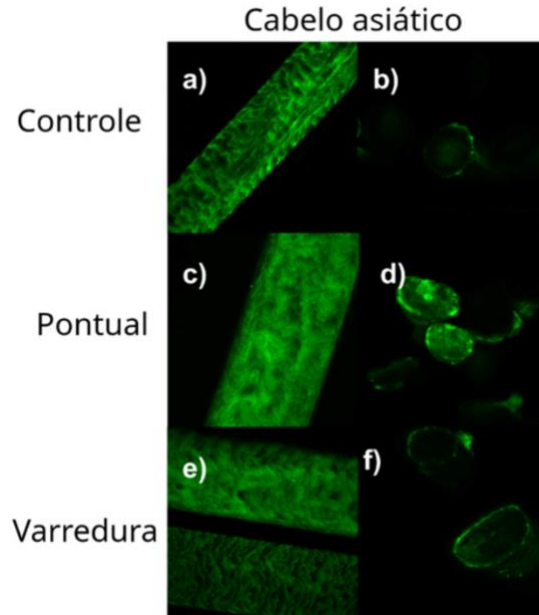
**Gráfico 5-** Média dos valores de diâmetro obtidas para cada tratamento (controle e teste), a cada tempo experimental (T0 e T1) em cabelo asiático.



Fonte: O autor.

A análise de Microscopia Confocal de fluorescência do cabelo asiático demonstra que a fibra capilar tratada com cosmético e posteriormente irradiado com LED azul no modo de aplicação pontual, (figura 18 c e 18 d), foi o grupo com fluorescência superior, quando comparado aos demais grupos de cabelo tipo asiático.

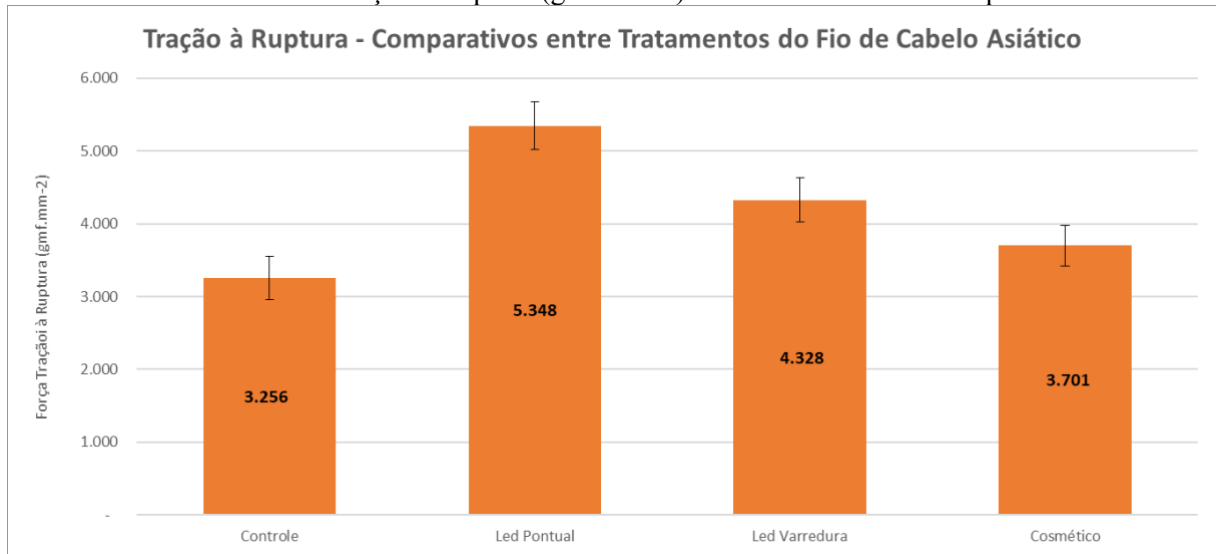
**Figura 18-** Microscopia Confocal de *fluorescência* cabelo asiático. (a) e (b) fios de cabelo controle com tratamento cosmético; (c) e (d) fios de cabelo tratado com cosmético capilar e irradiado com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação pontual; (e) e (f) fios de cabelo tratado com cosmético capilar e irradiado com LED azul (460nm) por 60 segundos no modo de aplicação varredura.



Fonte: O autor.

Na análise de tração do cabelo asiático ( gráfico 6) pode-se observar de acordo com as estatísticas do gráfico um aumento da resistência de 64% para a fibra capilar tratada com cosmético capilar e posteriormente irradiada com LED azul no modo de aplicação pontual, 33% para a fibra capilar tratada com cosmético capilar e posteriormente irradiada com LED azul no modo de aplicação varredura e 11% a fibra capilar tratada com cosmético capilar em relação ao grupo controle na força ( $\text{gmf.mm}^{-2}$ ) e resistência do fio de cabelo que está relacionado à hidratação interna do fio e à integridade capilar.

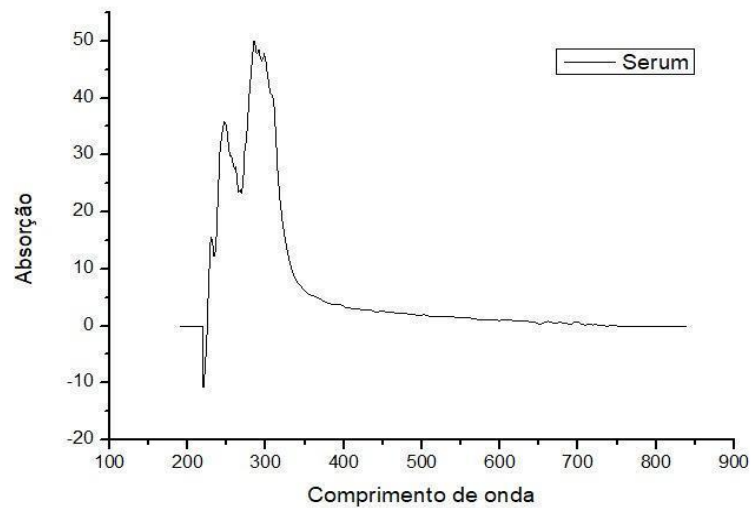
**Gráfico 6-** Valores de Tração à Ruptura (gmf.mm-2) do fio de cabelo asiático para os tratamentos



Fonte: O autor.

#### 5.4 ESPECTROSCOPIA DO COSMÉTICO CAPILAR

**Gráfico 7-** A análise da espectroscopia do cosmético capilar (sérum) foi realizada para verificar o comprimento de onda absorvido pelo cosmético capilar.



Fonte: O autor.

Observou-se de acordo com o gráfico que o pico de absorção do cosmético capilar está em um comprimento de onda próximo a 300 nm.

#### 5.5 MEDIDA DE TEMPERATURA AMBIENTE APÓS A IRRADIAÇÃO DA LUZ DO LED AZUL

A medição da temperatura foi realizada para verificar se houve alteração da temperatura ambiente após a irradiação por 60 segundos do LED azul no modo de aplicação pontual e após a irradiação por 60 segundos do LED azul no modo de aplicação varredura.

**Tabela 3-** Medida de temperatura ambiente após a irradiação da luz com o LED azul

Irradiação Led azul	Temperatura inicial	Temperatura após 60 s
Modo pontual	26.3 C	31.3 C
varredura	26.7 C	29.5 C

Fonte: O autor.

Pode-se verificar que o LED azul irradiado no modo de aplicação pontual obteve um aumento significativo da temperatura ambiente quando comparado ao LED azul aplicado no modo de aplicação varredura.

## 6 DISCUSSÃO

Pode-se considerar o tema dessa pesquisa inédito, resultando em enorme relevância para o uso da fototerapia como recurso associado a terapêutica cosmética destinada aos tratamentos capilares. O cabelo é um material translúcido, de forma que, quando a luz incide sobre o cabelo parte dela é transmitida, parte espalhada e parte absorvida. Para que ocorra uma transição eletrônica em uma molécula, é necessário que a energia do fóton incidente corresponda a um nível de energia existente na molécula absorvedora. Caso a energia do fóton seja maior do que a diferença entre os níveis de energia, uma parte da energia será absorvida pela molécula e o restante será transmitido. Se a energia do fóton for menor do que a diferença entre os níveis, toda a energia será transmitida pelo meio (Nogueira; Joekes, 2004).

Quando a luz visível é absorvida por um objeto, o objeto converte a luz de comprimento de onda curto em calor (GORE, 2000). A escolha do LED azul para realizar o experimento é baseada na hipótese de que comprimentos de ondas menores apresentam maior energia (Veloso, 2010). Sugere-se que a energia elevada do LED azul interaja melhor com a formulação do cosmético capilar por características, textura leve, absorção rápida e fácil espalhabilidade. Na análise térmica realizada na área iluminada por 60 segundos com o cluster de LED azul, pode-se observar um aumento na temperatura ambiente da ponteira do equipamento de 5 °C para o LED azul no modo de aplicação pontual e 2,8 °C quando o LED foi aplicado no modo varredura. Pode-se verificar que o LED azul irradiado no modo pontual apresentou aumento da temperatura ambiente quando comparado ao aplicado no modo varredura, porém a elevação de temperatura é mínima e não altera os resultados.

Roldan-Kalil *et al.* (2022), investigou o número de melanossomas nas hastes de amostras de cabelo humano loiro, castanho e preto e correlacionou com a conversão da luz azul (441 nm) e verde (534 nm). Observou-se que a área irradiada da haste do cabelo absorveu a luz e a energia da luz foi convertida em calor, no entanto, a temperatura do cabelo loiro foi afetada apenas marginalmente, enquanto as temperaturas do cabelo castanho e preto foram significativamente mais elevadas. A luz verde elevou a temperatura de amostras de cabelos castanho e preto de forma semelhante, enquanto a luz azul elevou a temperatura de amostras de cabelo preto de forma significativamente mais acentuada. Esses dados mostram que a luz azul pode interagir com a fibra capilar, promover um aquecimento diferenciado de acordo com o tipo étnico do cabelo e contribuir para alterações físicas na haste capilar. A espectroscopia do sérum utilizado na pesquisa apresentou espectro de absorção em comprimento de onda próximo a 300 nm. Esses dados demonstram que nem o espectro de absorção do cabelo e nem o espectro de

absorção do cosmético capilar (sérum) são compatíveis ao comprimento de onda da luz azul que varia entre (400-470 nm).

Para avaliar a interação do cosmético e a irradiação do LED azul na fibra capilar utilizou-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), um microscópio eletrônico capaz de produzir imagens altamente amplificadas e nítidas (até 300.000 vezes de 3 a 20 nm, de acordo com o equipamento utilizado). As imagens de MEV são úteis para avaliar a topografia e a composição da superfície do cabelo, deposição de partículas sobre a superfície, afinidade com ingredientes incorporados em produtos capilares e alterações estruturais (Gama, 2017).

O cabelo pode ser dividido em duas regiões principais onde a luz vai interagir com as moléculas absorvedoras da foto irradiação: a cutícula e o córtex. Na haste capilar de cabelo africano pode-se observar a deposição de partículas depositadas na superfície cuticular e uma elevada rugosidade formada pelo filme polimérico do cosmético nas fibras capilares tratadas com cosmético capilar. Essa análise é confirmada ao verificarmos os gráficos com a média de valores de diâmetro do fio de cabelo africano. Os fios de cabelo africano tratados com cosmético quando comparados aos outros grupos, foram os que mais apresentaram aumento de diâmetro da fibra.

Para avaliar a permeação do cosmético na fibra capilar foi empregada a técnica de microscopia confocal por fluorescência, por ser uma excelente ferramenta para demonstrar o efeito substantivo de ingredientes cosméticos, essa técnica permite observar a absorção e a detecção de penetração de ativos na fibra capilar. Nas análises pode-se observar que houve diferentes resultados quando comparados os cabelos das diferentes etnias. No cabelo africano observou-se maior fluorescência nos fios de cabelos tratados com o cosmético capilar e sem a irradiação do LED azul. A análise de microscopia confocal de varredura por fluorescência em cabelo africano contribui com os achados da análise de tração/ruptura que quantifica a resistência do cabelo. Pode-se observar que o cabelo africano tratado com cosmético apresentou maior incidência de fluorescência e também apresentou maior resistência da estrutura capilar (127%), já o fio de cabelo africano tratado com cosmético capilar e irradiado com LED azul no modo de aplicação pontual foi também o que demonstrou menor fluorescência e apresentou menor resistência (92%). Ribeiro, Antunes Junior e Souza (2021), menciona que o cabelo africano quando comparado ao asiático e ao caucasiano é o que possui o maior coeficiente de difusão. A sua alta permeabilidade pode explicar o fato de o cabelo africano ter obtido uma maior fluorescência, ou seja, uma maior permeabilidade do cosmético mesmo sem a irradiação do LED azul.

O cabelo caucasiano apresentou uma variação de resultados quando comparado ao cabelo africano. As imagens de MEV de cabelo caucasiano apresentaram menor variação de deposição cosmética em relação ao grupo de cabelo africano tratado com cosmético capilar, porém pode-se verificar que houve alteração do cosmético depositado na fibra, principalmente no método em que a técnica foi aplicada no modo de aplicação pontual por 60 segundos, percebe-se a proeminência das camadas cuticulares devido a adesão do cosmético e o efeito filmógeno na superfície do fio de cabelo.

Na avaliação do diâmetro do fio de cabelo verifica-se a eficácia da reposição de massa e efeito filmógeno da preparação cosmética. Existem preparações cosméticas que possuem propriedades de aumento da densidade capilar em decorrência do alto poder de penetração na matriz cortical ou, também, com a característica de promover o intumescimento da fibra capilar (Robbins, 1994). Quando comparado às análises para os tratamentos de aumento de diâmetro de cabelos caucasianos pode-se constatar que o grupo que obteve melhor resultado em relação ao controle foi o grupo tratado com cosmético capilar e posteriormente irradiado com LED azul no modo de aplicação pontual, pode-se observar aumento no diâmetro do fio de cabelo em 25 %.

A extração lipídica indica a maior quantidade de lipídios totais para o cabelo africano. Os extratos lipídicos caucasianos apresentam os maiores pontos de fusão e temperaturas de transição de fase. Isso pode estar relacionado à maior hidratação e menor coeficiente de difusão das fibras capilares caucasianas (Coderch *et al.*, 2019). O menor coeficiente de difusão quando comparados os três tipos de etnia capilar é o do cabelo caucasiano. Freis (2010), relatou que a penetração profunda é refletida pela alta intensidade de fluorescência na fibra capilar, constatou que a penetração de ingredientes proteicos foi maior em cabelos africanos do que em cabelos caucasianos. Pode ser observado nas análises de microscopia por fluorescência do grupo controle de cabelo caucasiano, fluorescência superficial na cutícula, porém quando comparado ao grupo tratado com cosmético capilar e em seguida irradiada com LED azul no modo de aplicação pontual e tratado com cosmético capilar e em seguida irradiada com LED azul no modo de aplicação varredura, pode-se identificar fluorescência acentuada tanto na camada superficial quanto na camada interna das cutículas, além de se observar fluorescência moderada no córtex, parte interna dos cabelos.

Preparações cosméticas contendo ingredientes específicos fazem ligações quimicamente fortes, aumentando consideravelmente a resistência mecânica do fio de cabelo. A análise de resistência do fio de cabelo está relacionada à hidratação interna do fio e à integridade capilar. Portanto, através de cálculos entre diferenças percentuais de força máxima,

podemos atribuir melhora ou piora percentual de resistência/força da estrutura capilar. A análise de resistência reforça os dados observados na microscopia por fluorescência de cabelos caucasiano. O aumento da resistência em todos os grupos é considerável, porém podemos destacar o grupo tratado com LED azul no modo de aplicação pontual que apresentou melhora na resistência de 118%, para o tratamento com LED azul no modo de aplicação varredura 62% e para o tratamento com cosmético capilar 46%, em relação ao grupo controle. Esses dados são indicativos para a hipótese de que o cabelo caucasiano pode ter suas propriedades de correção da porosidade cuticular e cortical e aumento da resistência quando tratado com um produto cosmético capilar e posteriormente irradiado com o LED azul.

Pentear ou escovar excessivamente o cabelo costuma ser a causa de danos e abrasão na superfície da fibra capilar. Essas lesões mecânicas muitas vezes provocam a perda de várias camadas de células da cutícula. Lesões graves resultam em ausências locais na cutícula que revelaram o córtex. Hadjur et al (2002), usaram um filme polimérico em um cabelo para proteger a superfície da haste capilar de danos mecânicos e fornecer firmeza e brilho. Na análise de MEV em cabelos asiáticos pode-se avaliar a aderência do cosmético nos fios de cabelos evidenciando as cutículas após a aplicação do LED azul, respectivamente correspondentes aos cabelos tratados com cosmético capilar irradiados com LED azul no modo de aplicação pontual e LED azul no modo de aplicação varredura.

Estudos das propriedades estruturais, mecânicas e tribológicas de vários cabelos em função da etnia, dano, região, carga de contato, velocidade e ambiente mostraram que diferentes tipos de cabelo étnicos (caucasiano, asiático e africano) têm propriedades mecânicas consideravelmente diferentes e que o cabelo asiático possui melhores propriedades mecânicas do que o cabelo caucasiano (Tang *et al.*, 2016).

No experimento de análise de média de diâmetro dos cabelos asiáticos houve diferença estatisticamente significativa, demonstrando aumento no diâmetro do fio de cabelo em 36% para o grupo de cabelos tratados com cosmético capilar e posteriormente irradiados com o LED azul no modo de aplicação pontual em relação ao grupo controle. Os cabelos tratados com cosmético capilar e irradiados com LED azul no modo de aplicação varredura e tratados com cosmético sem a irradiação do LED azul obtiveram respectivamente um aumento de diâmetro similar 15% e 14%. Essa diferença entre os grupos tratados com o LED azul no modo de aplicação pontual e no modo de aplicação varredura pode estar relacionada à elevada concentração de lipídios dos cabelos asiáticos que possibilita uma barreira contra lesões externas. Cabelos asiáticos contêm maiores quantidades de lipídios integrais, ácidos graxos, colesterol e ésteres de cera quando comparados a caucasianos e africanos (Ji *et al.*, 2013).

De acordo com Maymone *et al.* (2021), o cabelo asiático é conhecido por sua retidão, pigmentação escura e maior diâmetro. A camada de cutícula em asiáticos é mais espessa com células de cutícula mais compactas do que em caucasianos. Essas características sugerem que o fio de cabelo asiático possui maior resistência para permeação cosmética, contribuindo com os resultados de microscopia confocal por fluorescência que aponta a menor fluorescência para o grupo de cabelos tratados com cosmético capilar. Srivastav, Dandekar e Jain (2019), realizaram análise de microscopia confocal para investigar a permeabilidade por fluorescência de diferentes tipos de óleos na estrutura externa e interna do cabelo. Hadjur *et al.* (2002), demonstrou em seus resultados que a técnica de fluorescência pode ser usada para estudar as vias de penetração e difusão de moléculas nos cabelos influenciando as propriedades químicas e físicas das fibras capilares, observaram uma representação nítida da localização do polímero na superfície da fibra capilar ao incorporarem rodamina B aos polímeros. Eletrostaticamente, a Rodamina B apresenta uma carga molecular global catiônica, o que a torna atraída por cargas negativas (Paz, 2019). Constatou-se nos resultados de microscopia por fluorescência que cabelos asiáticos irradiados com LED azul no modo de aplicação pontual apresentou o maior índice de fluorescência, evidenciando a melhor permeação cosmética, quando comparado aos grupos de cabelo caucasiano e africano.

Uma das funções importantes conhecidas do cabelo é a proteção contra a luz solar intensa. Essa proteção é possível em grande parte devido à pigmentação natural do cabelo, que é conhecida por refletir o número de grânulos de melanina (melanossomas) na haste do cabelo e variantes de melanina. A melanina no cabelo humano está presente na região cortical, podem ser encontradas em dois tipos principais: a eumelanina (melanina preta), que é composta principalmente por oligômeros de dihidroxiindol e seus derivados, e a feomelanina (melanina vermelho-alaranjada), que é derivada de unidades de benzotiazina (MICILLO, 2016). Na maior parte do espectro visível, a eumelanina absorve a luz melhor do que a feomelanina. Este efeito é especialmente pronunciado no comprimento de onda mais longo do espectro visível (NOFSINGER, 1999). O tamanho e a densidade dos melanossomos em uma fibra capilar contribuem para a pigmentação do cabelo. O cabelo preto tem o maior conteúdo de melanossoma e eumelanina compactado. O cabelo castanho tem um melanossomo menor com formato elipsóide. Cabelos de descendentes de africanos apresentam tamanho de melanossomo maior e maior densidade de melanossomo do que os de caucasianos e asiáticos (LEERUNYAKUL, 2020). Sabe-se que a pigmentação do cabelo varia com a ancestralidade e a idade, e o conteúdo total de eumelanina encontrado no cabelo dos asiáticos orientais é o segundo maior depois dos afro-americanos; no entanto, eles parecem ter o mesmo fenótipo

“visual” (MAYMONE 2021). Bashkatov (2002), relatou a absorção e os coeficientes de dispersão reduzidos em cabelos do couro cabeludo humano com pigmentação diferente para 600-nm, 540-nm e 460-nm comprimento de onda obtido medindo a transmitância e a reflectância. Os pigmentos de eumelanina em cabelos asiáticos e seu diâmetro regular podem justificar a melhor interação da luz com a eumelanina e maior entrega energética devido a quantidade desses cromóforos em cabelos asiáticos, essa seria uma hipótese para que o cabelo asiático possua maior eficácia no tratamento com cosmético capilar e irradiação com o LED azul no modo de aplicação pontual quando comparado ao cabelo caucasiano. O Leerunyakul (2020), menciona que cabelos de descendentes de africanos apresentam tamanho de melanossomo maior e maior densidade de melanossomo do que os de caucasianos e asiáticos. Roldan-kalil (2022), sugere que a absorção de energia luminosa pode ser dependente do número de melanossomas e não apenas do conteúdo de melanina, observou em seu experimento a correlação entre a quantidade de melanossomas e a absorção e conversão em calor da energia luminosa encontrada para a absorção de luz na fibra capilar. Esses dados confirmam a importância de outros componentes da absorção além da melanina. Pode-se observar nas imagens de MEV dos três tipos étnicos que somente a irradiação com LED azul aplicada a uma distância de 1 cm, no método pontual e método varredura por 60 segundos com uma dose de irradiância de  $9,6\text{ j/cm}^2$  não acarretou alterações e danos na superfície da fibra capilar, após a irradiação com o LED azul o fio de cabelo permaneceu com as cutículas íntegras e sem danos aparentes, provavelmente devido ao breve tempo de exposição da luz azul na haste capilar.

Estudos das propriedades estruturais, mecânicas e tribológicas de vários cabelos em função da etnia, dano, região, carga de contato, velocidade e ambiente mostraram que diferentes tipos de cabelo étnicos (caucasiano, asiático e africano) têm propriedades mecânicas consideravelmente diferentes e que o cabelo asiático possui melhores propriedades mecânicas do que o cabelo caucasiano (TANG, 2016). As análises de estatística para o aumento de resistência do cabelo asiático corresponderam às análises de aumento de diâmetro e aumento de permeação com cosmético capilar. A fibra capilar tratada com cosmético capilar e posteriormente irradiada com LED azul no modo de aplicação pontual foi o grupo de cabelo asiático que obteve o maior indicador de aumento de resistência 64%, enquanto o grupo tratado com cosmético capilar obteve o menor índice de aumento de resistência 11% em relação ao grupo controle. Os condicionadores à base de proteínas são compostos de fragmentos de proteínas hidrolisadas de baixo peso molecular, como aminoácidos ou pequenos peptídeos, que podem penetrar na haste do cabelo, ligar-se à queratina e restaurar as proteínas perdidas, aumentando a força e a resistência da fibra capilar (FERNANDES, 2023). Pressupõe-se que ao

incidir o LED azul no fio de cabelo a energia do fóton incidente favoreça a permeação de ativos de matérias primas contidas no cosmético na região do córtex, aumente a resistência cortical e melhore as características estruturais físico-químicas do fio de cabelo asiático e caucasiano.

## 7 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o efeito da interação do LED azul com os parâmetros de dosimetria utilizados se mostrou divergente nas diferentes etnias de cabelo. Dados de análises da pesquisa demonstram que o uso associado de cosmético capilar ao LED azul no modo de aplicação pontual e varredura contribuíram para a terapêutica cosmética na fibra capilar de cabelos caucasianos e asiáticos, o grupo de cabelo africano obteve resultados mais satisfatórios com aplicação do cosmético sem associação do LED azul. Portanto, as técnicas aqui utilizadas foram capazes de identificar que os cabelos asiáticos e caucasianos podem apresentar aumento de diâmetro e resistência, favorecendo a ação dos produtos cosméticos com a inserção do recurso do LED azul na terapêutica capilar, já o cabelo africano obtém melhor resistência quando o tratamento é realizado com cosméticos. Ainda se faz necessário outros estudos que contribuam com os resultados encontrados até o presente momento.

## REFERÊNCIAS

- ARAB, E. E.; ESKANDER, S.B; ABDEL-GAWAD, E. L. Consequences of Hot Air and / or  $\gamma$  - Rays on Hair Hygiene Post the Application of Protein Conditioner in Rats : Urea , Creatinine , Scanning Electron Microscope and Fourier Transform Infrared Analyses. **International Journal of Innovative Science and Research Techbology**, v. 3, n. 9, p. 571–578, 2018. Disponível em <https://ijisrt.com/consequences-of-hot-air-andor-%CE%B3-rays-on-hair-hygiene-post-the-application-of-protein-conditioner-in-rats-urea-creatinine-scann>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- ASH, Caerwyn *et al.* Effect of wavelength and beam width on penetration in light-tissue interaction using computational methods. **Lasers in medical science**, v. 32, p. 1909-1918, 2017.
- AUGUSTO, P.; IGREJA, L. **Avaliação dos Efeitos do Gás Ozônio em Fibra Capilar Humana: Um Estudo preliminar in Vitro.** Disponível em: <https://portal.anhembibr/wp-content/uploads/2022/05/Dissertac%CC%A7a%CC%83o-Pedro-Marrafa-Revisada.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- BHUSHAN, Bharat. **Biophysics of human hair: structural, nanomechanical, and nanotribological studies.** Springer Science & Business Media, 2010.
- BLOCH, L. D. *et al.* Chemical and physical damage affect the perceptions of hair attributes: A quantitative sensory assessment by a trained panel. **Journal of Sensory Studies**, v. 36, n. 1, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/joss.12621>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- BORDINI, K. P.; OLIVEIRA, L. R. DE; MOREIRA, J. R. Efeitos do led azul no tratamento do melasma : revisão de literatura. **Rev Cient da Fund Hermínio Ometto**, v. 7, n. 1, p. 14–22, 2019. Disponível em: [https://www.fho.edu.br/revistacientifica/\\_documentos/art.004-2019.pdf](https://www.fho.edu.br/revistacientifica/_documentos/art.004-2019.pdf). Acesso em: 15 nov. 2022.
- BORN, M.; LIEBMANN, J. Visible Blue Light Therapy: Molecular Mechanisms and Therapeutic Opportunities. **Current Medicinal Chemistry**, p. 5564–5577, 2018. Disponível em: <http://10.2174/0929867324666170727112206>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- BREAKSPEAR, S. *et al.* Cuticle – Designed by nature for the sake of the hair. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 44, n. 3, p. 343–362, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ics.12782> Acesso em: 15 nov. 2022.
- BUENO, J.; CRISTOFOLINLI, G. M. A. F. LED terapia na faixa do vermelho ao infravermelho: uma nova abordagem sob a visão quântica para a saúde. **Revista Saúde Quântica**, v. 3, n. 3, p. 102–110, 2014. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistasauade/index.php/revista-praticas-interativas/article/view/334>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- CAMARGO, M. F. P.; REGIS, T. N. Estudo do estímulo de colágeno através da aplicação de luz led. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 49796–49803, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/13695>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CHILANTE, J. A.; VASCONCELOS, L. B. DE O.; SILVA, D. DA. **Análise dos princípios ativos do protocolo destinado a reestruturação capilar**. Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, p. 20, 2010. Disponível em:

<http://siaibib01.univali.br/pdf/Jucemara%20Chilante,%20Leonardo%20Vasconcelos.pdf>.

Acesso em: 15 nov. 2022.

CLOETE, E.; KHUMALO, N. P.; NGOEPE, M. N. The what, why and how of curly hair: A review. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 475, n. 2231, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0516>.

Acesso em: 15 nov. 2022.

CORRÊA, R. C. O. **Controle de qualidade de cosméticos capilares para coloração oxidativa permanente**: uma breve descrição. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16488>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CODERCH, L. *et al.* External lipid function in ethnic hairs. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 18, n. 6, p. 1912-1920, 2019.

CRUZ, C. F. *et al.* Human Hair and the Impact of Cosmetic Procedures : A Review on Cleansing and Shape-Modulating Cosmetics. **Cosmetics**. v. 3, n. 3, p. 1–22, 2016. Disponível em: [10.3390/cosmetics3030026](https://doi.org/10.3390/cosmetics3030026). Acesso em: 15 nov. 2022.

CUNHA, L. R. A.; RIBEIRO, R. S.; FONSECA, A. S. Perfil eletroforético de plasmídeos bacterianos expostos a leds e lasers de baixa potência. **Revista da JOPIC**, v. 6, n. 10, 2021.

DIAS, Tania Cristina de Sá. **Avaliação in vitro do efeito de diferentes processos de alisamento químico/térmico na fibra capilar**. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FARIAS, I. L. N. **Avaliação de óleos vegetais sobre o brilho e resistência dos fios capilares submetidos a tratamentos químicos**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

FELLOWS, A. P.; CASFORD, M. T. L.; DAVIES, P. B. Nanoscale Molecular Characterization of Hair Cuticle Cells Using Integrated Atomic Force Microscopy–Infrared Laser Spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, v. 74, n. 12, p. 1540-1550, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0003702820933942>. Acesso em: 15 nov. 2022.

FELLOWS, A. P.; CASFORD, M. T. L.; DAVIES, P. B. Using hybrid atomic force microscopy and infrared spectroscopy (AFM-IR) to identify chemical components of the hair medulla on the nanoscale. **Journal of Microscopy**, v. 284, n. 3, p. 189–202, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jmi.13052>. Acesso em: 15 nov. 2022.

FERNANDES, C. *et al.* On Hair Care Physicochemistry: From Structure and Degradation to Novel Biobased Conditioning Agents. **Polymers**, v. 15, n. 3, p. 608, 2023.

FREIS, O. *et al.* Fluorescence laser scanning confocal microscopy to assess the penetration of low molecular protein hydrolyzates into hair. **Cosmetics and toiletries**, v. 125, n. 11, 2010.

GAMA, R. M.; BABY, A. R.; VELASCO, M. V. R. In vitro methodologies to evaluate the effects of hair care products on hair fiber. **Cosmetics**, v. 4, n. 1, p. 2, 2017.

GASPARIN, R. M. **Avaliação da retenção de fragrâncias em cabelos de diferentes etnias, virgens e danificados**. 2019. 113 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Campinas, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/273>. Acesso em: 15 nov. 2022.

GORE, M. G. **Espectrofotometria e Espectrofluorimetria: Uma Abordagem Prática**. Springer EUA, Oxford, Inglaterra . 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oso/9780199638130.001>. Acesso em: 15 nov. 2022.

GUBITOSA, J. *et al.* Hair care cosmetics: From traditional shampoo to solid clay and herbal shampoo, a review. **Cosmetics**, v. 6, n. 1, p. 13, 2019.

HARRIS, M. I. N. DE C. **Pele: Do Nascimento a Maturdade**. 1. ed. São Paulo: Senac, 2016.

HADJUR, C. *et al.* Avaliação cosmética do cabelo humano por microscopia confocal. **Digitalização: The Journal of Scanning Microscopies** , v. 24, n. 2, p. 59-64, 2002.

HIRT, P. A.; PAUS, R. **Healthy Hair (Anatomy , Biology , Morphogenesis , Cycling , and Function )**. Elsevier Inc., 2019. [E-book]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-54825-0.00001-6>. Acesso em: 15 nov. 2022.

HUANG, X. *et al.* Review of the optical properties of human hair in possible relation with the development of melanoma. **Journal of biomedical optics**, v. 23, n. 5, p. 050901-050901, 2018.

JI, J. H. *et al.* As diferenças étnicas do dano do cabelo e lipídio capilar integral após a radiação ultravioleta. **Ana Dermatol.**, v. 25, n. 1, p. 54–60, 2013.

KELCH, A. *et al.* Penetration pathways of fluorescent dyes in human hair fibres investigated by scanning near-field optical microscopy. **Journal of Microscopy**, v. 200, n. 3, p. 179–186, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2818.2000.00756.x>. Acesso em: 15 nov. 2022.

KAUSHIK, Vaibhav; CHOGALE, Ritesh; MHASKAR, Sudhakar. Alternative protocol for hair damage assessment and comparison of hair care treatments. **International journal of trichology**, v. 12, n. 1, p. 7, 2020.

LEERUNYAKUL, K.; SUCHONWANIT, P. Asian hair: A review of structures, properties, and distinctive disorders. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, v. 13, p. 309–318, 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7187942/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

LI, J.; ZHANG, G. Q. Light-Emitting Diodes. 4. **Materials, Processes, Devices and Applications**, v. 4, p. 600-600, 2019.

LIMA, C. R. R. DE C. **Caracterização físico-química e analítica de fibras capilares e ingredientes cosméticos para proteção**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9139/tde-31052016-160629/pt-br.php>. Acesso em: 15 nov. 2022.

LIMA, T. F. C. **Avaliação dos efeitos de diferentes fontes de luz sobre o processo de clareamento dental**. 2015. Trabalho de Graduação. (Engenharia) – Universidade Federal do ABC, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://pesquisa.ufabc.edu.br/pmalab/wp-content/uploads/2021/08/TG-III-Thaina-Lima-1.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

LIN, X.; ZHU, L.; HE, J. Morphogenesis, Growth Cycle and Molecular Regulation of Hair Follicles. **Cell Dev. Biol.**, v. 12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.899095>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MAURICIO, P. *et al.* Histofisiología del folículo piloso y su importancia para la medicina regenerativa. **Morfologia**. v.9, n. 1, p. 46–55, 2017. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/morfologia/article/view/64754>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MAURÍCIO, L. P. A. **Caracterização da integridade estrutural da fibra capilar tratada com diferentes produtos químicos**. 2019. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/27531>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MAYMONE, M. B. C. *et al.* Envelhecimento capilar em diferentes raças e etnias. **The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology**, v. 14, n. 1, 2021.

MELO, C. A. O. DE. Estudo das propriedades do Diodo Emissor de Luz ( LED ) para a determinação da constante de Planck numa maquete automatizada com o auxílio da plataforma Arduino. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, v. 42, 2020. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbef/a/tYxCGJshXSRQY5wDgZMdCqM/?lang=pt>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MONTEIRO, V. F. *et al.* Análise morfológica de polímeros em fibras capilares por MEV e AFM. **Pesquisa de Materiais**, v. 6, p. 501-506, 2003.

NAGASE, S. Hair structures that affect hair appearance. **Cosméticos**, v. 6, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cosmetics6030043>. Acesso em: 15 nov. 2022.

NANISHI, Y. Nobel Prize in Physics: The birth of the blue LED. **Nature Photon**, v. 8, n. 12, p. 884–886, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.291>. Acesso em: 15 nov. 2022.

NOGUEIRA, A. C. S.; JOEKES, I. Alterações na cor do cabelo e danos nas proteínas causados pela radiação ultravioleta. **Journal of photochemistry and photobiology B: Biology**, v. 74, n. 2-3, p. 109-117, 2004.

PAZ, V. K. *et al.* Adsorção do corante Rodamina B usando cabelo humano. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 20, n. 2, p. 157-165, 2019.

PEREIRA-SILVA, M. *et al.* Nanomaterials in hair care and treatment. **Acta Biomateriais**, v. 142, p. 14–35, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.02.025>. Acesso em: 15 nov. 2022

RIBEIRO, A. C.; ANTUNES JUNIOR, D.; SOUZA, V. M. **Tricologia e cosmética capilar: das alterações aos tratamentos**. São Paulo: CIA Farmaceutica, 2021.

RICHENA, M. **Efeitos da irradiação na morfologia e estrutura do cabelo**. 2015. 146 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1626983>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ROBBINS, C. R. **Chemical and Physical Behavior of Human Hair**. 5th ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. [E-BOOK]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25611-0>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ROBBINS C.R. Patel A. **J. Soc. Cosmet. Chem.**, v. 45, 1994.

ROBBINS, Clarence R.; ROBBINS, Clarence R. **Comportamento químico e físico do cabelo humano**. Berlim: Springer, 2012.

ROLDAN-KALIL, J. *et al.* A quantidade de grânulos de melanina no cabelo humano define a absorção e a conversão em calor da energia luminosa no espectro visível. **Fotoquímica e Fotobiologia**, 2022.

ROSEN, J.; LANDRISCINA, A.; FRIEDMAN, A. J. Nanotechnology-based cosmetics for hair care. **Cosmetics**, v. 2, n. 3, p. 211-224, 2015.

ROSSATO, M. **Influência dos parâmetros da terapia com fotobiomodulação (fluência, momento de aplicação e dose de energia) sobre as respostas neuromusculares ao exercício**. 2018. Tese (Doutorado em Educação Física) – Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/194258>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SADOWSKA, M.; NARBUTT, J.; LESIAK, A. Blue Light in Dermatology. **Life**, v. 11, n.7, 670, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/life11070670>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SANTOS, J. D. *et al.* Characterization by Raman and infrared spectroscopy and fluorescence microscopy of human hair treated with cosmetic products. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 280, p. 121577, 2022.

SANTOS, J. D. DOS. **Caracterização de fios de cabelo antes e após tratamentos químicos e físicos por espectroscopias Raman e no infravermelho e microscopia eletrônica**. 2017. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas, Juiz de Fora, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/5936>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SILVA, Natália Rosa. **Desenvolvimento de formulações para leave-in destinado à cabelos cacheados**. 2018. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23980>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SRIVASTAV, A.; DANDEKAR, P.; JAIN, R. Study of the penetration of oils and their formulations in humans hair using confocal microscopy. **J Cosmet Dermatol.**, v. 18, n. 6, p. 1947–1954, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jocd.12918>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SORBELLINI, E.; RUCCO, M.; RINALDI, F. Photodynamic and photobiological effects of light-emitting diode (LED) therapy in dermatological disease: an update. **Lasers in Medical Science**, v. 33, n. 7, p. 1431–1439, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10103-018-2584-8>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SUREKA P. *et al.*. A method for measuring oil penetration into hair and its correlation with tensile strength. **Int J Trichol**, v. 14, n. 4, p. 128-134, 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.4103/ijt.ijt\\_122\\_20](https://doi.org/10.4103/ijt.ijt_122_20). Acesso em: 15 nov. 2022.

TANG, W. *et al.* Efeitos do envelhecimento no diâmetro, propriedades nanomecânicas e percepção tátil do cabelo humano. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 38, n. 2, p. 155-163, 2016.

TAKAHASHI, T. A highly resistant structure between the cuticle and the cortex of human hair III: Characterization of the structure CARB. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 43, n. 2, p. 254–262, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ics.12691>. Acesso em: 15 nov. 2022.

TAKAHASHI, T.; YOSHIDA, S. A highly resistant structure between cuticle and cortex of human hair. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 39, n. 3, p. 327–336, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ics.12380>. Acesso em: 15 nov. 2022.

TEHA. **Ilustração da estrutura do cortex capilar**, 2019. Disponível em: <https://id-pulse.com/2019/04/01/50-tons-de-melanina-saiba-mais-sobre-pigmentacao>. Acesso em: 24 set. 2022

THIBAUT, S. *et al.* Human hair keratin network and curvature. **International Journal of Dermatology**, v. 46, n. SUPPL. 1, p. 7–10, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-4632.2007.03454.x>. Acesso em: 15 nov. 2022.

VAN TRAN, V. *et al.* Light emitting diodes technology-based photobiomodulation therapy (PBMT) for dermatology and aesthetics: Recent applications, challenges, and perspectives. **Optics and Laser Technology**, v. 135, n. October 2020, p. 106698, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106698>. Acesso em: 15 nov. 2022.

VELOSO, Marcelo Noronha. **Influência da luz LED em culturas de células-tronco mesenquimais in-vitro**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/121689>. Acesso em: 15 nov. 2022.

WAGNER, R. C. C. **A estrutura da medula e sua influência nas propriedades mecânicas e de cor do cabelo**. 2006. 84f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP. Disponível em:

<https://hdl.handle.net/20.500.12733/1603771>. Acesso em: 15 nov. 2022.

WAGNER, R. C. C. *et al.* Electron microscopic observations of human hair medulla. **Journal of Microscopy**, v. 226, n. 1, p. 54–63, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.2007.01747.x>. Acesso em: 15 nov. 2022.

WILLEMS, A.; SINCLAIR, R. Alopecias in humans: biology, pathomechanisms and emerging therapies. **Veterinary Dermatology**, v. 32, n. 6, p. 596-e159, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/vde.13014>. Acesso em: 15 nov. 2022.

YMAZAKI, J.; MAEDA, K. Analysis of lipids in the medulla of Japanese hair and their function. **Cosmetics**, v. 5, n. 2, p. 1–12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cosmetics5020027>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ZUPIN, L.; GRATTON, R.; FONTANA, F. Blue photobiomodulation LED therapy impacts SARS-CoV-2 by limiting its replication in Vero cells. **Revista de Biofotônica**, v. 14, n. 4, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jbio.202000496>. Acesso em: 15 nov. 2022.