

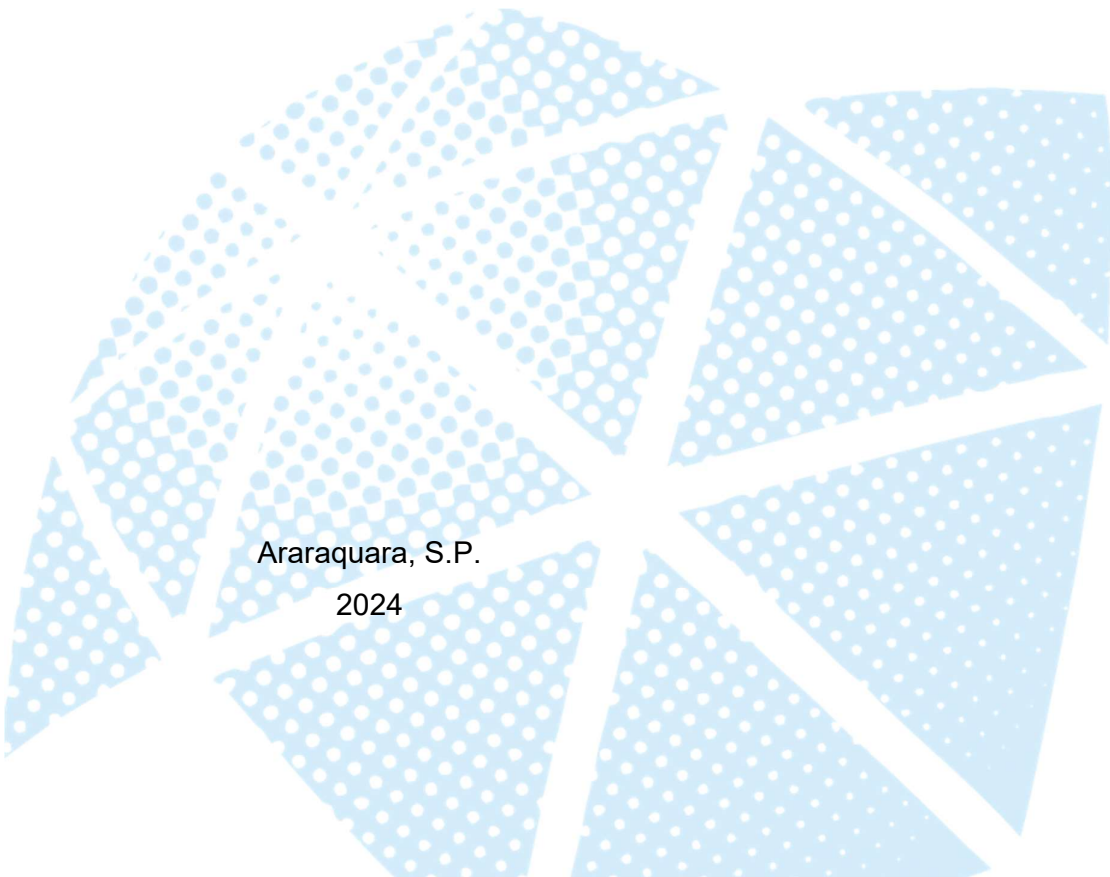
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

URSULANDRÉA SANCHES ABELAN

AVALIAÇÃO IN VITRO DAS ALTERAÇÕES DE FIBRAS CAPILARES
SUBMETIDAS A ALISANTES OXIRREDUTORES ASSOCIADOS À COLORAÇÃO

Araraquara, S.P.

2024



URSULANDRÉA SANCHES ABELAN

**AVALIAÇÃO IN VITRO DAS ALTERAÇÕES DE FIBRAS CAPILARES
SUBMETIDAS A ALISANTES OXIRREDUTORES ASSOCIADOS À COLORAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, para obtenção do título de Doutora em Ciências Farmacêuticas.

Desenvolvimento de Fármacos e
Medicamentos

Orientadora: Profa. Dra. Chung Man Chin

Coorientadora: Profa. Dra. Cibele Rosana
Ribeiro de Castro Lima

Araraquara, S.P.

2024

A139a

Abelan, Ursulandr a Sanches.

Avaliação *in vitro* das alterações de fibras capilares submetidas a alisantes oxirredutores associados à coloração / Ursulandr a Sanches Abelan. – Araraquara, 2024.
179 f. : il.

Orientadora: Chung Man Chin.

Coorientadora: Cibeles Rosana Ribeiro de Castro Lima.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de P s-Graduação em Ciências Farmacêuticas.  rea de Pesquisa e Desenvolvimento de Fármacos e Medicamentos.

1. Cabelo. 2. Coloração. 3. Alisamento. 4. Cosméticos. I. Chin, Chung Man, orient. II. Lima, Cibeles Rosana Ribeiro de Castro, coorient. III. Título.

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara

CAPES: 33004030078P6

Esta ficha não pode ser modificada

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa gerou impacto científico em apresentar dados inéditos sobre as alterações causadas em haste capilar com o uso de alisantes e colorantes alcalinos e oxidativos, mostrando sua originalidade e importância. Preenche uma lacuna significativa na base do conhecimento de processos de transformação capilar e fornece subsídio para construção de material educacional para formação e inclusão de todos os profissionais das áreas da saúde estética e cosmética. Os resultados mostram caminhos para o desenvolvimento de formulações cosméticas que forneçam ao sistema capilar a possibilidade de diminuição de danos e reparo das estruturas capilares, contribuindo para o desenvolvimento da tricologia não somente no Brasil, mas em todo o mundo.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research generated a scientific impact by presenting unprecedented data on the changes caused in hair loss with the use of straighteners and alkaline and oxidizing dyes, showing their originality and importance. It fills a significant gap in the knowledge base of hair transformation processes and provides support for the construction of educational material for the training and inclusion of all professionals in the areas of aesthetic and cosmetic health. The results show paths for the development of cosmetic formulations that provide the hair system with the possibility of reducing damage and repairing hair structures, contributing to the development of trichology not only in Brazil, but throughout the world.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA



Câmpus de Araraquara

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Avaliação in vitro das alterações de fibras capilares submetidas a alisantes oxirredutores associados à coloração

AUTORA: URSULANDREA SANCHES ABELAN

ORIENTADORA: CHUNG MAN CHIN

COORIENTADORA: CIBELE ROSANA RIBEIRO DE CASTRO LIMA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Farmacêuticas, área: Pesquisa e Desenvolvimento de Fármacos e Medicamentos pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CHUNG MAN CHIN (Participação Presencial)
Departamento de Farmacos e Medicamentos / Faculdade de Ciencias Farmaceuticas do
Campus de Araraquara da Unesp

Profa. Dra. APARECIDA ERICA BIGHETTI
(Participação Virtual) Escola Nacional de
Terapias Integrativas (ENATI)

Profa. Dra. ALESSANDRA KEIKO LIMA FUJITA (Participação
Presencial) Academia Brasileira de Tricologia (ABT)

Profa. Dra. ALBINA DE FATIMA SILVA RAMALHO
(Participação Presencial) Universidade Anhembi Morumbi

Profa. Dra. PATRICIA RODELLA (Participação
Presencial) Faculdades Integradas de Bauru
(FIB)

Araraquara, 17 de outubro de 2024

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus maiores inspiradores: meus pais, Aristides Abelan Sanches e Maria Aparecida Ferreira Abelan por todos os esforços dedicados à minha saúde e à minha educação.

Aos meus antepassados por todos os desafios vencidos, especialmente minhas avós Maria Vitória e Vitória Francisca e meus avôs José Abelan e Otávio Ferreira por todo amor que dedicaram à minha vida.

À todas as mulheres da minha família e amigas, que em cada particularidade, contribuí para meu desenvolvimento.

Dedico também aos meus professores e amigos da academia pelos conselhos, ensinamentos e apoio.

AGRADECIMENTOS

Aos humanos de grande importância.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À minha querida orientadora, pesquisadora, farmacêutica e amiga Professora Dra. Chung Man Chin, que me acolheu num momento em que voltar à minha origem era tão significativa.

Ao Instituto Abelan, representado pelo Professor Rogério Andrade que apoiou essa pesquisa, fornecendo o material necessário, além de acompanhar lado a lado o desenvolvimento de todo trabalho.

À Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP, pode ter sido minha casa durante alguns anos, por ter sido parte importante da minha formação como profissional, cidadã e gente, além de possibilitar essa pesquisa.

À minha coorientadora e amiga a Professora Dra. Cibele Rosana Ribeiro Castro Lima por todo apoio e incentivo para desbravar os caminhos desse doutorado, além da paciência nos esclarecimentos das dúvidas e companheirismo.

Às professoras das bancas avaliadoras de qualificação e de defesa desta tese, as Dras. Alessandra Keiko, Albina Ramalho, Érica Biguetti e Patrícia Rodella, que dispuseram do seu tempo, a fim de contribuir com todo conhecimento na correção deste trabalho e todo carinho dedicado.

Ao professor Pedro Marrafa que me ajudou com as análises das amostras e colaborou com material de pesquisa no IPEN, São José dos Campos-SP.

Aos meus amigos Érica Cacoci, Celso M. Júnior e Matheus Vieira que decidiram trilhar os caminhos da pesquisa, juntamente comigo. Aos amigos do Instituto Abelan Aline Gomes e Caio Patuto que sempre me apoiaram.

Ao IPClin, em nome do Professor Cassiano Escudeiro, de Jundiaí-SP.

Ao DEINFAR - Laboratório de Desenvolvimento e Inovação Farmacotécnica.
Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP - São Paulo - SP, em nome do
Professor Dr. Humberto Gomes Ferraz, Andressa Sobral e Michele Issa.

EPÍGRAFE

*“Não consigo entender a resposta passiva de todo o
mundo civilizado a essa barbárie moderna.”*

Albert Einstein

RESUMO

O cabelo é parte importante da saúde humana para identificação da autoimagem e manutenção da autoestima, além de ser considerado um marcador de saúde geral do organismo. Para manter as condições saudáveis do couro cabeludo, a qualidade, segurança e eficácia das formulações cosméticas são de vital importância. Além da saúde, a beleza também faz parte e a transformação tanto da cor quanto da forma dos cabelos tem sido cada vez mais desejada pelos consumidores, principalmente entre as mulheres. A indústria cosmética tem crescido muito nesta categoria o que faz com que pesquisas sobre estes temas sejam cada vez mais necessárias. Sendo assim, nesta pesquisa, avaliou-se as alterações causadas pelos alisamentos alcalinos de tioglicolato de amônio e amino metilpropanol, seguidos de coloração permanente. Para isso, utilizamos técnicas como a Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR), medidas de brilho, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia Confocal e de Fluorescência para avaliar as alterações causadas à superfície da fibra capilar, ou seja, a cutícula. Utilizamos também a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Termogravimetria (TG), testes de tração e medidas de diâmetro para avaliar as alterações causadas ao córtex, região mais interna que é responsável pelas transformações da cor e forma dos cabelos. Os resultados de FTIR, DSC, resistência à tração e TG evidenciaram que tanto a coloração quanto o alisamento promoveram alterações à cutícula quanto ao córtex das fibras capilares, como a oxidação de bandas características da superfície quanto a desnaturação das cadeias de alfa-queratina presentes no córtex. Enquanto os resultados de MEV, diâmetro, microscopia confocal, de fluorescência e brilho, evidenciaram alterações na região mais externa dos fios (cutícula). Sendo assim, esta associação de técnicas permitiu investigar as mudanças físico-químicas que ocorrem em fibras capilares submetidas a estes procedimentos.

Palavras-chave: cabelo; coloração; alisamento; cosméticos.

ABSTRACT

Hair plays a significant role in self-esteem and human health, serving as a means of identifying self-image and maintaining self-esteem. It is also regarded as an indicator of overall bodily health. Ensuring healthy scalp conditions necessitates the consideration of the quality, safety, and efficacy of cosmetic formulations. Additionally, beauty is intertwined with this, and the desire for transformations in hair color and shape is increasingly common among consumers, particularly women. Consequently, the cosmetics industry has experienced substantial growth in this realm, facilitating ongoing research in these areas. This study thus evaluated the effects of alkaline straightening using ammonium thioglycolate and amino methylpropanol, followed by permanent coloring. Various techniques were employed, including Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), brightness measurements, Scanning Electron Microscopy (SEM), Confocal Microscopy and Fluorescence to assess alterations in the hair fiber surface, specifically the cuticle. Additionally, Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetry (TG), tensile tests and diameter measurements were conducted to evaluate changes in the cortex, the innermost region responsible for hair color and shape alteration. Results from FTIR, tensile tests, DSC e TG indicated that both coloring and straightening induced changes in the hair fiber cuticle and cortex, including oxidation of characteristic surface bands and denaturation of alpha-keratin chains within the cortex. While the MEV results, diameter, confocal microscopy, fluorescence and brightness, showed changes in the outermost region of the hairs (cuticle). Therefore, this association of techniques is authorized to investigate the physical-chemical changes that occur in hair fibers subjected to these procedures.

Keywords: hair; dyeing; straightening; cosmetics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Esquema dos segmentos do folículo piloso (GS - glândula sebácea. MEP - músculo eretor do pelo).....	20
Figura 2 -	O ciclo capilar.....	23
Figura 3 -	Imagens geradas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da seção transversal de fibras capilares naturais	25
Figura 4 -	Esquema de corte longitudinal da fibra capilar: cutícula, córtex e medula.....	26
Figura 5 -	Formação de ligação peptídica entre dois aminoácidos para formação da proteína.....	27
Figura 6 -	Formação reversível de ligação dissulfeto entre dois aminoácidos de cisteína, formando uma molécula de cistina.....	27
Figura 7 -	Esquema das ligações e interações que ocorrem na estrutura capilar.....	29
Figura 8 -	Estruturas secundárias das proteínas.....	30
Figura 9 -	Imagens dos oito tipos de cabelos.....	32
Figura 10 -	Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de cabelo natural oriental.....	32
Figura 11 -	Esquema estrutura da cutícula capilar.....	33
Figura 12 -	Fórmula estrutural do ácido metil eicosanoico - 18-MEA.....	34
Figura 13 -	Fórmula estrutural do aminoácido cisteína.....	34
Figura 14 -	Esquema do Complexo Membrana Celular (CMC).....	35
Figura 15 -	Fio de cabelo: detalhe de células do córtex - imagem gerada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	37
Figura 16 -	Cutícula e córtex da haste capilar.....	38

Figura 17 -	Estrutura da hierarquia da haste capilar.....	38
Figura 18 -	Distribuição do paracórtex e ortocórtex na fibra capilar.....	39
Figura 19 -	Imagens de microscopia eletrônica de transmissão de cortes transversais de cabelo: (a) cabelo liso (b) cabelo ondulado (c) cabelo cacheado (O) ortocórtex; (M) mesocórtex; (P) paracórtex.....	40
Figura 20 -	Esquema de localização da medula capilar e sua distribuição contínua e descontínua.....	40
Figura 21 -	Esquema mostrando a difusão intercelular e transcelular no cabelo.....	41
Figura 22 -	Reação de lantionização entre proteína capilar e alisantes alcalinos (hidróxidos).....	47
Figura 23-	Fórmula estrutural do tioglicolato de amônio.....	48
Figura 24 -	Fórmula estrutural do tioglicolato de amino metilpropanol.....	48
Figura 25 -	Esquema geral de alisamento com ácido tioglicólico.....	49
Figura 26 -	Mechas padronizadas de cabelo caucasiano natural (Tipo IV, de acordo com De la Mettrie, 2007).....	53
Figura 27 -	Esquema das atividades práticas.....	65
Figura 28 -	Higienização das mechas naturais de cabelo caucasiano tipo IV (a) e o enxágue abundante das mechas de cabelo natural caucasiano tipo IV (b)	66
Figura 29 -	Aplicação dos alisantes, secagem e mecha após alisamento.....	67
Figura 30 -	Mecha com aplicação da mistura colorante (a) e mecha colorida e seca (b).....	68
Figura 31 -	Micrômetro Externo Digital - 0,25mm a 0,001mm (Mitutoyo®)....	70
Figura 32 -	Esquema da interação da luz com o cabelo.....	71

Figura 33 -	Equipamento SAMBA Hair System®.....	72
Figura 34 -	Representação esquemática do FTIR-ATR.....	74
Figura 35 -	MIRACLE™ SINGLE REFLECTION ATR - Prestige 21 (PIKE Technologies).....	75
Figura 36 -	Componentes de um microscópio confocal. (A) Imagem esquemática e (B) em destaque os espelhos que fazem a varredura da imagem.	75
Figura 37 -	Microscópio Confocal ALPHA-300R (Witec-).....	76
Figura 38 -	Representação esquemática do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	77
Figura 39 -	Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) JEOL 6460LV.....	78
Figura 40 -	Esquema do microscópio de fluorescência.....	79
Figura 41 -	Estrutura molecular da Rodamina 123.....	80
Figura 42 -	Imagem do microscópio confocal de fluorescência ZEISS LSM 700.....	81
Figura 43 -	Curva de tensão-deformação da fibra capilar (fases da deformação).....	82
Figura 44 -	Ilustração do ensaio de resistência à tração.....	83
Figura 45 -	Discovery DSC-25.....	85
Figura 46 -	Diagrama de um equipamento de termogravimetria (TG) genérico.....	86
Figura 47 -	Equipamento Discovery TGA 5500.....	87
Figura 48 -	Esquema comparativo do alisamento e coloração de mecha natural (MN).....	88

Figura 49 -	Diâmetros médios (μm) das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	90
Figura 50 -	Valores de brilho (BNT) das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.*MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	95
Figura 51 -	Espectro (FTIR) padrão de cabelo humano natural.....	99
Figura 52 -	Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.*MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	101
Figura 53 -	Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN e MC. *MN (mecha natural) e MC (mecha colorida).....	102
Figura 54 -	Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MT e MA. *MN (mecha natural), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).....	103
Figura 55 -	Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MT e MTC. *MN (mecha natural), MT (mecha alisada com	

	tioglicolato de amônio) e MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida).....	104
Figura 56 -	Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MA e MAC. *MN (mecha natural), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	105
Figura 57 -	Imagens coletadas com microscopia confocal usando a lente objetiva 20x das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	107
Figura 58 -	Porosidade (fração porosa) total média das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	109
Figura 59 -	Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo natural (MN).....	111
Figura 60 -	Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo colorido (MC).....	113
Figura 61 -	Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado com tioglicolato de amônio (MT).....	114
Figura 62 -	Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado com tioglicolato de amônio e colorido (MTC).....	115

Figura 63 -	Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado AMP (MA).....	117
Figura 64 -	Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado AMP (MA).....	119
Figura 65 -	Imagens (MEV) das mechas MN (mecha natural) e MC (mecha colorida), tratadas com o software ImageJ mostrando sombras das cutículas e mostrando a superfície dos fios das mechas.....	120
Figura 66 -	Imagens (MEV) das mechas MT (alisada com tioglicolato de amônio) e MTC (alisada com tioglicolato de amônio e colorida), tratadas com o software ImageJ mostrando sombras das cutículas e mostrando a superfície dos fios das mechas.....	121
Figura 67 -	Imagens (MEV) das mechas MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida), tratadas com o software ImageJ mostrando sombras das cutículas e mostrando a superfície dos fios das mechas.	122
Figura 68 -	Imagens de microscopia confocal de fluorescência das mechas MN (mecha natural) e MC (mecha colorida).....	123
Figura 69 -	Imagens de microscopia confocal de fluorescência das mechas MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).....	124
Figura 70 -	Imagens de microscopia confocal de fluorescência das mechas MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	125
Figura 71 -	Gráfico representando a tensão versus deformação de 20 amostras do grupo de cabelo natural (MN) submetidas ao ensaio de resistência mecânica.....	126

Figura 72 -	Ilustração representando curva tensão (σ) versus deformação(y).....	126
Figura 73 -	Módulo de Young e Extensibilidade das amostras MN (mecha de cabelo natural) e MC (mecha de cabelo colorido).....	128
Figura 74 -	Tensão máxima das amostras MN (mecha de cabelo natural) e MC (mecha de cabelo colorido).....	129
Figura 75 -	Tensão máxima (MPa) das mechas MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	130
Figura 76 -	Módulo de Young e Extensibilidade das amostras MN, MA e MT. *MN (mecha natural), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).....	131
Figura 77 -	Tensão máxima das amostras MN, MT e MA. *MN (mecha natural), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).....	131
Figura 78 -	Módulo de Young e Extensibilidade das amostras MN, MAC e MTC. MN (mecha natural), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	132
Figura 79 -	Tensão máxima das amostras MN, MAC e MTC. MN (mecha natural), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	132
Figura 80 -	Curvas DSC obtidas a 10°C min ⁻¹ das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT	

	(mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	133
Figura 81 -	Curvas TG obtidas das amostras MN (mecha natural) e MC (mecha colorida) colorido (MC).....	137
Figura 82 -	Curvas TG obtidas das amostras MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida).....	138
Figura 83 -	Curvas TG obtidas das amostras MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	139

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 -	Laboratórios e locais envolvidos na pesquisa.....	65
Quadro 2'-	Comparação entre TG e DSC.....	84
Quadro 3 -	Descrições qualitativas das imagens coletadas com espectroscopia confocal usando lente objetiva 20x das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Porcentagem de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S) em amostras de cabelos caucasiano, oriental, afro-étnico e queratina animal.....	25
Tabela 2 -	Composição de aminoácidos de cabelo humano das principais etnias.....	28
Tabela 3 -	Composição aproximada da Camada A, da cutícula, endocutícula de cabelo e endocutícula de lã.....	36
Tabela 4 -	Alisantes e cacheantes permitidos pela ANVISA, suas concentrações e pH.....	44
Tabela 5 -	Codificação e padronização das mechas.....	54
Tabela 6 -	Produto A: formulação utilizada nos alisamentos capilares com tioglicolato de amônio.....	56
Tabela 7 -	Produto B: formulação utilizada na neutralização dos alisamentos capilares com tioglicolato de amônio.....	57
Tabela 8 -	Produto C: formulação utilizada nos alisamentos capilares com tioglicolato de amino metilpropanol.....	58
Tabela 9 -	Produto D: formulação utilizada na neutralização dos alisamentos capilares com tioglicolato de amino metilpropanol...	59
Tabela 10 -	Produto E: formulação utilizada para colorir os cabelos - coloração permanente.....	61
Tabela 11 -	Produto F: formulação utilizada para colorir os cabelos - peróxido de hidrogênio.....	63
Tabela 12 -	Medição do diâmetro das amostras MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino	

	metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	92
Tabela 13 -	Medição do brilho das amostras MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	94
Tabela 14 -	Atribuição vibracional (IR - cm^{-1}) das principais bandas de amostras de cabelo natural.....	98
Tabela 15 -	Atribuição vibracional (IR - cm^{-1}) das principais bandas de amostras de cabelo.....	100
Tabela 16 -	Porosidade (fração porosa) total média das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	110
Tabela 17 -	Medidas de tensão-deformação das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	127
Tabela 18 -	Resultados das temperaturas e entalpias obtidos por DSC nas amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino	

metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	134
--	-----

Tabela 19 - Resultados de TG das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).....	136
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
MN	Mecha de cabelo natural
MC	Mecha de cabelo colorido com coloração permanente n.º6 com peróxido de hidrogênio 20 volumes (6%)
MT	Mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amônio
MTC	Mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amônio e colorido com coloração permanente n.º 6 com peróxido de hidrogênio 20 volumes (6%)
MA	Mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amino metilpropanol
MAC	Mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amino metilpropanol e colorido com coloração permanente n.º 6 com peróxido de hidrogênio 20 volumes (6%)
AMP	Amino metilpropanol
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
CMC	Complexo Membrana Celular
TA	Tioglicolato de amônio
TG/DTG	Termogravimetria/Termogravimetria derivada
GS	Glândula sebácea
MEP	Músculo erector do pelo
FP	Folículo piloso

PD	Papila dérmica
IN	Instrução normativa
BNT	Unidade Bossa Nova Technologies
ETC	Eflúvio telógeno crônico
AAG	Alopecia androgenética

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. O Cabelo	18
2.1.1. Folículo Piloso	19
2.1.1.1. Ciclo Capilar	23
2.1.2. Haste Capilar.....	24
2.1.2.1. Classificação do cabelo humano e suas formas	30
2.1.2.2. Cutícula	32
2.1.2.3. Córtex.....	37
2.1.2.4. Medula.....	40
2.1.2.5. Difusão capilar	41
2.2. Alisantes capilares.....	42
2.2.1. Tipos de alisantes e mecanismos de ação	45
2.2.1.1. Alisantes alcalinos: hidróxidos.....	46
2.2.1.2. Alisantes alcalinos: tiois (tioglicolato de amônio e de amino metilpropanol). 47	
2.3. Colorantes capilares.....	49
2.3.1. Tipos de colorantes capilares.....	49
3. OBJETIVOS.....	52
3.1. Geral.....	52
3.2. Específicos	52
4. MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1. Material.....	53
4.1.1. Seleção, padronização e codificação das mechas de cabelo	53
4.1.2. Formulações cosméticas utilizadas	54
4.1.3. Equipamentos	63
4.2. Métodos.....	63
4.2.1. Esquema das atividades práticas.....	63
4.2.2. Higienização das mechas de cabelo	65

4.2.3. Alisamento das mechas capilares	65
4.2.4. Coloração das mechas capilares	67
4.2.5. Técnicas aplicadas à variação das propriedades mecânicas e térmicas das mechas capilares	68
4.2.5.1. Técnicas aplicadas à variação das propriedades mecânicas	68
4.2.5.1.1. Determinação do diâmetro médio das amostras	68
4.2.5.1.2. Determinação do brilho	69
4.2.5.1.3. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR).....	71
4.2.5.1.4. Microscopia confocal	74
4.2.5.1.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	75
4.2.5.1.6. Microscopia Confocal de Fluorescência	77
4.2.5.1.7. Resistência à tração	80
4.2.5.2. Técnicas aplicadas à variação das propriedades térmicas	82
4.2.5.2.1. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	83
4.2.5.2.2 Termogravimetria (TG)	84
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
5.1. Alisamento e coloração das mechas de cabelo caucasiano natural	87
5.2. Determinação do diâmetro médio das amostras de haste capilar	88
5.3. Determinação do brilho	92
5.4. Espectroscopia na região do infravermelho por Transformada de Fourier com Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR).....	96
5.5. Imagem de microscopia confocal	106
5.6. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	108
5.7. Imagem de microscopia confocal de fluorescência	122
5.8. Resistência à Tração.....	125
5.9. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	133
5.10. Termogravimetria	136
6. CONCLUSÕES	140
REFERÊNCIAS.....	141

1. INTRODUÇÃO

Certamente, a saúde capilar desempenha um papel vital no bem-estar emocional e físico das pessoas, influenciando diretamente sua autoimagem e confiança. Estudos científicos destacam a relação entre a saúde dos cabelos e o impacto psicológico que as disfunções capilares podem acarretar. Por exemplo, os mais variados tipos de alopecias não cicatriciais ou cicatriciais, têm sido associadas a um aumento significativo na incidência de depressão e ansiedade em diversas faixas etárias (Hunt; McHale, 2005; Gupta; Mysore, 2012).

A queda capilar, em especial quando ocorre em uma idade jovem, pode desencadear uma série de emoções negativas, como baixa autoestima e ansiedade social (Cash, 2001). Tais sentimentos podem agravar-se em casos de condições capilares crônicas ou persistentes, como a alopecia areata, impactando negativamente a qualidade de vida dos indivíduos afetados (Yang, *et al.*, 2020). Transtornos como a tricotilomania, caracterizados pela compulsão de arrancar os próprios cabelos, representam um desafio significativo para a saúde mental e pesquisas indicam que está associada a altos níveis de estresse, vergonha e isolamento social (Grant, *et al.*, 2009).

A falta de controle sobre o comportamento de arrancar os cabelos pode intensificar ainda mais o sofrimento psicológico dos pacientes, demandando intervenções terapêuticas adequadas para mitigar tais efeitos. Portanto, compreender a importância da saúde capilar vai além do aspecto estético, sendo crucial reconhecer sua relevância na saúde emocional e mental das pessoas. A conscientização sobre essas questões, aliada ao acesso a tratamentos e suporte psicossocial adequados, desempenha um papel fundamental na promoção do bem-estar e na melhoria da qualidade de vida das pessoas afetadas por problemas capilares (Woods, *et al.*, 2006).

Na estética capilar, a busca pela aparência perfeita também se faz presente e evolui rapidamente, exigindo dos profissionais, das indústrias de equipamentos e utensílios, dos desenvolvedores de formulações cosméticas e dos órgãos reguladores agilidade e atualização constante. Em paralelo a todo esse movimento, a pesquisa tem papel crucial, pois os resultados promovidos pelos estudos científicos das ações de substâncias químicas sobre os cabelos mostram o caminho no desenvolvimento

de novos produtos (novos ativos isolados ou em associações) para alteração da forma e da cor da fibra capilar com segurança e eficácia.

O desenvolvimento de cosméticos, em geral, segue os requisitos básicos indicados em várias resoluções e legislações, como as Boas Práticas de Produção (BPF), regulamentada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na RDC nº 48/2013, harmonizada junto aos Estados-parte do Mercosul. O consumo de cosméticos capilares é, indiscutivelmente, alto e importante, pois os mesmos são aplicados para embelezamento e melhoria das condições do couro cabeludo e haste capilar. O Brasil, em 2022, ocupava a quarta posição entre os países consumidores de cosméticos capilares e para o banho e, em 2023, subiu para a terceira colocação, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC), com 5,7%, seguido de China (14,1%) e Estados Unidos (21,7%).

Neste contexto, o tema desta pesquisa integra assuntos diretamente relacionados à economia, ciência e saúde. Entre esses cosméticos, temos como destaque os que promovem a modificação das fibras, seja causando alisamento ou cacheamento, doando cores ou descolorindo, em variados graus. Todos agem diretamente na estrutura proteica capilar (cutícula e córtex), sendo de ações permanentes ou temporárias. Mesmo a alteração de forma e cor mais sutil, leva à mudanças na estrutura capilar, pois muitos estudos já comprovam alterações no brilho, resistência mecânica, degradação proteica e aumento da porosidade, alterando as características desejadas pelos indivíduos (cabelos brilhosos, macios e com formas definidas) (Lima, *et al.*, 2019).

Não somente os fios passam por alterações anatômicas e fisiológicas, mas o couro cabeludo, como tecido cutâneo provido de capacidade permeativa, também pode receber as substâncias que compõem os cosméticos e apresentarem alterações significativas e importantes para a saúde capilar. White *et al.* (2021) avaliaram associações entre o uso de cosméticos capilares (colorações e alisantes) por adolescentes (entre 10 a 13 anos) e o risco de câncer de mama, já que essas formulações podem conter compostos hormonalmente ativos (disruptores endócrinos) e cancerígenos e o resultado foi de que produtos capilares, especificamente permanentes e alisadores, durante a adolescência pode estar associado a um risco maior de câncer de mama na pré-menopausa, já os colorantes não apresentaram essa correlação. Em um estudo similar, Eberle *et al.* (2020), avaliaram a relação entre

colorantes e alisantes com risco do câncer de mama por etnia e observaram um maior risco deste tipo de câncer associado ao uso de qualquer alisante e ao uso pessoal de tintura permanente, especialmente entre mulheres com afro étnicas.

Outra relação descrita na literatura é o uso desses cosméticos e a incidência de câncer de ovário. White *et al.* (2021), entrevistaram 40.559 mulheres saudáveis (entre 35 a 74 anos) que usaram alisantes ou colorantes capilares nos últimos 12 meses e concluíram que o uso constante dessas formulações pode estar associado à ocorrência de câncer de ovário.

Os fios capilares possuem uma estrutura complexa, organizada, com design único e preciso, sendo descritos como cilindros irregulares de constituição proteica, divididos em três partes distintas: medula, córtex e cutícula. Destacam-se com maior importância o córtex e a cutícula, devido à complexidade estrutural morfológica (Lima, *et al.*, 2019; Gama, *et al.*, 2011; Sanad, 2018; Plowman *et al.*, 2018).

A maior massa da haste capilar está no córtex (70-90%), parte responsável pela resistência e elasticidade. São células agregadas e adesivadas pelo complexo membrana celular (CMC), formadas por filamentos chamados de macrofibrilas, estas são constituídas por microfibrilas, que por sua vez, são formadas por filamentos chamados de protofibrilas que são as cadeias peptídicas de α -hélice (Miranda-Vilela; Botelho; Muehlmann; 2014).

As alterações realizadas na fibra capilar podem ser temporárias ou definitivas. As primeiras são promovidas pela água e calor (secador ou chapinha), já as definitivas são por meio de cosméticos com ativos alisantes ou cacheadores, permitindo aos indivíduos mudarem os formatos dos seus cabelos de acordo com costumes, moda ou desejo pessoal (Dias, *et al.*, 2007; Halal, 2016; Goshiyama, 2020).

A importância em investigar as mudanças nas estruturas da haste capilar causadas por esses cosméticos também se aplica às cores, pois colorantes causam alterações, devido ao pH alcalino e ao depósito de massa nos fios e são classificados como: temporário, semipermanente e permanente, devido ao tempo de permanência nos cabelos e à reação com os mesmos. Os permanentes são oxidativos e os outros são de deposição direta no córtex, utilizando comumente o hidróxido de amônio como dilatador cuticular (Oliveira, *et al.*, 2014; Dias, 2015).

Em uma pesquisa recente na literatura, observou-se uma quantidade limitada de artigos científicos que descrevem as alterações causadas nas fibras capilares por mudanças de formas e cores, bem como a combinação destas. Por isso, cada vez

mais, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos que estejam mais próximos do dia a dia dos profissionais da tricologia e saúde capilar.

Os cosméticos disponíveis e liberados no Brasil para alisar ou cachear, inclusive os importados, devem ser registrados na ANVISA. Dentre os liberados, estão: tioglicolato de amônio - TA ($\text{NH}_4^+\text{HSCH}_2\text{COO}^-$), tioglicolato de amino metil propanol - AMP, hidróxido de guanidina ($\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}$), hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de lítio (LiOH), hidróxido de monoetanolamina ($\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{OH}$) (ANVISA, 2020).

Um aspecto relevante a ser considerado é a construção social do modelo de beleza, especialmente no que tange à forma dos cabelos, onde o cabelo liso é amplamente desejado e supervalorizado. No contexto brasileiro, marcado historicamente pelo regime escravocrata, o preconceito racial está profundamente enraizado na sociedade. Isso intensifica o racismo estrutural, refletindo-se em escolhas estéticas, como a prevalência do alisamento capilar, particularmente entre as mulheres (Albuquerque, 2015).

No texto expressivo de Campos (2019), o cabelo liso é apresentado como o padrão de beleza ideal, enquanto os cabelos dos tipos IV e V (cacheados e crespos) são retratados de forma pejorativa, descritos como feios e sujos. Manter os cabelos lisos, nesse contexto, surge como uma tentativa de disciplinar a própria identidade, reforçando um ideal estético que marginaliza a diversidade capilar.

Tendo em vista a importância descrita por vários pesquisadores das mais variadas áreas (saúde, estética, sociologia, psicologia, antropologia, por exemplo), o cabelo deve ser tratado como parte integrante do indivíduo, e como entusiasta do tema, saliento, mais uma vez, o quanto conhecer os processos de transformação de forma e cor da haste capilar pode auxiliar os profissionais responsáveis pelo comércio desses serviços tão específicos

Diversos pesquisadores, em áreas como saúde, estética, sociologia, psicologia e antropologia, destacam a importância do cabelo como parte integral da identidade individual. O cabelo não deve ser visto apenas como um elemento estético, mas como um aspecto profundo de expressão pessoal e cultural. Como entusiasta do tema, reforço a relevância de compreender os processos de transformação da forma e cor da haste capilar. Esse conhecimento é fundamental para que os profissionais que atuam na prestação desses serviços especializados possam atender às demandas de seus clientes de maneira mais eficaz e consciente.

Para o trabalho proposto, foram escolhidos os tiois (amônio e amino metilpropanol) para a promoção do alisamento devido à popularidade desses produtos no dia a dia das empresas de estética capilar, ser permitidos e regulamentados pelos órgãos fiscalizadores e de ensaios comparativos realizados com essas moléculas em fibras natural e colorida. O TA é um cosmético capilar consagrado e vastamente utilizado, já o AMP foi há pouco tempo patenteado e produzido no Brasil, logo, a comparação da ação de ambos sobre as mechas capilares proporcionará um avanço na estética capilar, buscando um possível melhoramento do método associado aos colorantes permanentes, de forma eficiente e segura.

Neste contexto, o presente trabalho busca o entendimento das alterações causadas na haste capilar, tendo como parâmetro amostras de cabelos naturais que foram submetidos aos alisamentos com oxirredutores (tioglicolato de amônio e de amino metilpropanol) e coloração permanente (cor 6,0 com peróxido de hidrogênio a 20 volumes), empregando a calorimetria exploratória diferencial (DSC), termogravimetria (TG), espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier com Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR), microscopia eletrônica de varredura, microscopia confocal e confocal de fluorescência, diâmetro, resistência à tração e brilho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Cabelo

Os cabelos humanos, como uma estrutura anexa derivada da pele, desempenham um papel vital tanto no propósito biológico de proteção do couro cabeludo quanto na percepção da beleza e atratividade, exercendo impactos significativos na autoestima (Hunt; McHale, 2005; Gupta; Mysore, 2012). Únicos entre os mamíferos, os cabelos têm sido objeto de discussões científicas, abordando diversas facetas, que incluem descrição, caracterização, identificação em contextos sociais, sexuais, políticos, religiosos e estéticos (Stenn; Paus, 2001). Além de sua função estética, os cabelos desempenham várias funções fisiológicas essenciais. Estas incluem proteção física do couro cabeludo, camuflagem, produção de feromônios, defesa contra insetos, transporte externo de sinais ambientais, mecanismo de limpeza contra sujidades e parasitas, controle térmico corporal, e percepção sensorial para a interpretação do ambiente circundante (Rushton, 2002; Buffoli, *et al.*, 2014; Choy, 2018).

A importância dos cabelos transcende o campo dermatológico, abrangendo também perspectivas cosméticas, forenses e biológicas. No âmbito cosmético, os cabelos são centrais em práticas de embelezamento e expressão pessoal (Ebling, 1976; Stenn; Paus, 2001; Schneider, *et al.*, 2009). Em contextos forenses, análises capilares podem fornecer informações valiosas para identificação e caracterização de indivíduos (Hunt, *et al.*, 2003). Do ponto de vista biológico, os cabelos revelam uma intrincada interação entre fatores genéticos e ambientais (Rezende, *et al.*, 2018; Choy, 2018). Portanto, a compreensão abrangente da importância dos cabelos é essencial não apenas para avanços dermatológicos, mas também para uma apreciação mais profunda de seu papel multifacetado na experiência humana e qualidade de vida (Buffoli, *et al.*, 2014; Chiu; Huang; Wang, 2015; Madaan, *et al.*, 2018).

Anatomicamente os cabelos e pelos são divididos em *vellus* e terminais (quando completamente estruturados), e são descritos como marcadores de saúde geral e podendo, precocemente, por meio de ensaios clínicos, auxiliar na identificação de doenças genéticas, metabólicas, deficiência nutricional e, em recém nascidos, características físicas padrão como cor, textura, quantidade, tipo e implantação dos fios devem ser avaliadas como indícios de doenças (padrão anormal - podem estar

relacionada à anomalias cerebrais) (Dawber, 1988; Furdon, 2003; Cash, 2001; Van Der Walt, 2019).

2.1.1. Folículo Piloso

O corpo humano abriga aproximadamente 100.000 a 150.000 folículos capilares, distribuídos de maneira irregular em todo o organismo, exceto nas palmas das mãos e plantas dos pés. Estes folículos dão origem a cabelos terminais e *vellus*, exibindo densidade variável, porém com número definido desde a gestação (Halal, 2012; Schlake, 2007).

O folículo piloso (FP) está localizado a uma profundidade entre 3 e 4 mm abaixo da epiderme, estendendo-se desde essa camada, atravessando a derme e, em alguns casos, alcançando o tecido subcutâneo. A comunicação molecular entre a epiderme e a derme é essencial para o desenvolvimento do folículo piloso, bem como para a produção de acessórios como dentes e cabelos, dependendo da combinação do Fator Transformador de Crescimento-beta (TGF- β), proteínas morfogenéticas do osso (BMP), fator de crescimento de fibroblastos (FGF) e fator de necrose tumoral (TNF) (Panteleyev, 2018; Torkamani, *et al.*, 2014).

Durante os primeiros quatro meses do desenvolvimento embrionário, a epiderme fetal inicia um processo de diferenciação celular para formar o folículo piloso e seus apêndices. Isso ocorre mediante a atuação de células mesenquimais, que secretam substâncias sinalizadoras e estimulam as células epiteliais a migrarem em direção descendente. Ao final desse processo, o feto possui um folículo com matriz celular derivada do ectoderma e uma papila dérmica derivada do mesoderma. Durante a gestação, os hormônios andrógenos estimulam as glândulas sebáceas, e após o nascimento, nenhum novo folículo piloso é produzido (Schneider, *et al.*, 2009).

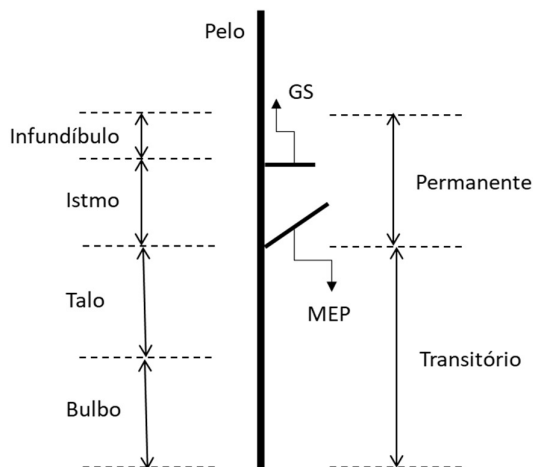
O folículo piloso, uma estrutura essencial na pele, está intimamente relacionado a diversos elementos cutâneos, tais como inervação, responsável pela sensação tátil, e vasculatura, que estabelece conexões vitais através do sistema circulatório. Essas conexões são fundamentais para a interação do folículo piloso com os sistemas imunológico e endócrino, garantindo o suprimento adequado de nutrientes, oxigênio e água, essenciais para seu funcionamento saudável. Estudos recentes destacam a importância dessas interações para a regulação do ciclo capilar e a manutenção da

integridade da pele (Paus; Cotsarelis, 1999; Jahoda; Reynolds, 2001; Carvalho; Ribas, 2019).

Alguns autores nomeiam o folículo piloso como um mini órgão complexo (formado pela interação das células neuroectodérmicas e mesodérmicas), dinâmico e com inúmeras funções, entre elas: produção e adesão dos fios, reservatório epitelial para respostas de reparação tecidual, aparato sensorial para detectar movimento, reservatório de melanina para pigmentação da pele e da haste, produção e liberação sebácea e reservatório de células de defesa (Langerhans) (Stenn, Paus, 2001; Rishikaysh, *et al.*, 2014; Panteleyev, 2018).

O folículo piloso é uma estrutura complexa composta por um conjunto organizado de células epiteliais, formando um arranjo cilíndrico e concêntrico conhecido como bainhas radiculares. Essa estrutura abrange toda a extensão do folículo, circundando o pelo, e desempenha um papel fundamental como um reservatório de células-tronco multipotentes, que incluem queratinócitos e melanócitos (Torkamani, *et al.*, 2014; Panteleyev, 2018).

Figura 1 - Esquema dos segmentos do folículo piloso (GS - glândula sebácea. MEP - músculo eretor do pelo).



Fonte: Adaptado de Pereira, *et al.*, 2016.

Pereira *et al.* (2016) fornecem descrições detalhadas de modelos anatômicos de fios terminais na fase anágena, destacando todas as estruturas estudadas. O folículo piloso é dividido em duas regiões específicas: a área permanente, que compreende a região mais externa ou superior, subdividida em infundíbulo e istmo, e

a área transitória, que constitui a região mais interna ou profunda, subdividida em talo e bulbo (Figura 1).

No bulbo encontram-se estruturas diretamente relacionadas com o crescimento capilar, que são: papila dérmica, matriz epitelial do folículo piloso, bainha radicular interna, externa membrana de hialina, bainha fibrosa, bulge, músculo eretor do pelo e glândula sebácea (Pereira, *et al.*, 2016; Carvalho; Ribas, 2019; Sundaramoorthi, *et al.*, 2017; Martel; Miao; Badri, 2022; Grubbs; Nassereddin; Morrison, 2023). Tais estruturas estão detalhadas abaixo:

- Papila dérmica (PD) e matriz epitelial do folículo piloso: estruturas celulares especializadas (células mesenquimais) e caracterizadas por sua riqueza em mucopolissacarídeos e representa uma fonte essencial de diversos fatores de crescimento que estimulam e alimentam os queratinócitos e melanócitos (Yan, *et al.*, 2022; Topouzi, *et al.*, 2017). Esta região, na base do FP, ao redor das células germinativas, é de grande importância no desenvolvimento, regulação do ciclo capilar e pigmentação da haste (Zerbinati, *et al.*, 2021). Toda a comunicação celular envolvida na papila dérmica ainda não está totalmente elucidada. Muitos grupos de pesquisadores tentam desenvolver modelos de produção e controle dessas células *in vivo*, além de estudar estímulos químicos e elétricos que possam estimular o crescimento capilar (Panteleyev, 2018; Andl, Zhou, Zhang; 2023; Zerbinati, *et al.*, 2021, Ng, Lim, Tan, *et al.*, 2022; Yan, *et al.*, 2022; Topouzi, *et al.*, 2017; Carvalho; Ribas, 2019).
- Bulge: área particularmente importante, também chamada de protuberância diferenciada, localizada entre o músculo eretor do pelo e a glândula sebácea, sendo crucial, abrigando células-tronco que desempenham um papel significativo na regeneração capilar (Robertson, 1999; Bhushan, 2010). A interação complexa entre as células e componentes dessas regiões é crucial para o processo dinâmico de crescimento, desenvolvimento e manutenção dos folículos pilosos (Millar, 2002; Buffoli *et al.*, 2014). Este setor é caracterizado por células epiteliais compactadas e aglomeradas, desempenhando um papel crucial ao conectar a papila dérmica do folículo piloso durante a

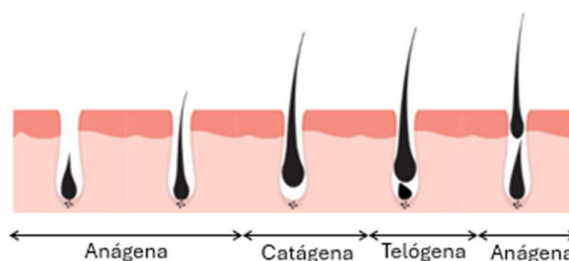
transição entre as fases telógena e telógena-anágena (Rishikaysh *et al.*, 2014). Nessa região específica, há uma concentração notável de células-tronco, cuja função é estimular o crescimento e o alongamento do folículo durante a fase anágena. Além disso, essas células-tronco também desempenham um papel na acumulação de lipídios e na formação das glândulas sebáceas (Robertson, 1999; Bhushan, 2010).

- Glândulas sebáceas (GS): estão amplamente distribuídas por quase todas as regiões do corpo, variando de 400 a 900 glândulas por centímetro quadrado, com concentração particular nas regiões do couro cabeludo, face e testa, notavelmente associadas aos folículos pilosos, são comumente referidas como glândulas pilossebáceas (Thody; Shuster, 1989). O desenvolvimento dessas glândulas ocorre entre a 13ª e a 16ª semana de gestação em humanos, os quais possuem a função primária de produzir e excretar sebo por meio de secreção holócrina (Zouboulis, 2010). Durante os períodos fetal e neonatal, a modulação do desenvolvimento e regulação das glândulas sebáceas são influenciadas pelos hormônios maternos, especialmente andrógenos, e pela síntese endógena de esteroides (Thiboutot, 2004; Harris, 2009). Em fases específicas da vida, observa-se um aumento significativo na liberação de sebo, como logo após o nascimento, por volta dos 9 anos e durante a transição para a idade adulta, aproximadamente aos 17 anos (Thody, Shuster, 1989; Thiboutot, 2004; Harris, 2009; Zouboulis, 2010).
- Músculo eretor do pelo (MEP): este músculo é do tipo liso e é uma pequena faixa que conecta o folículo piloso à membrana basal ao tecido conjuntivo, promovendo o aprisionamento aéreo e o controle da temperatura, porém, estudos atuais mostram sua importância na manutenção do sistema folicular. Sua estrutura é formada por feixes de fibras musculares paralelas (com células fusiformes com núcleos centralizados), contendo fibras nervosas. Cada unidade folicular (composta por 1 ou mais fios de cabelo) possui um único músculo (Buffoli, *et al.*, 2014; Torkamani, *et al.*, 2014).

2.1.1.1. Ciclo Capilar

Por todo tempo de vida útil, todos os folículos pilosos passam por ciclos repetitivos de transformações entre os estágios de crescimento, regressão e queda, conhecido como ciclo capilar (Figura 2). A velocidade de crescimento capilar é de 15 a 20 cm/ano (Lehninger, Nelson, Cox, 2014). Muitas doenças capilares são resultados de mudanças diretas nesse ciclo natural e fisiologicamente estruturado (Oh, *et al.*, 2016).

Figura 2 - O ciclo capilar.



Fonte: Adaptado de <https://crlab.com.br/institucional/>

No ser humano em vida adulta, o ciclo capilar é aleatório, onde os folículos não estão todos na mesma fase, caracterizado pelas fases anágena, catágena e telógena, exógena e quenógena, onde cada uma delas é regulada por mecanismos próprios de sinalização celular (Sehgal, *et al.*, 2013; Natarelli; Gahoonia; Sivamani, 2023).

A fase anágena é a fase de crescimento capilar ativo, ocorre uma rápida divisão e diferenciação das células-tronco, na papila dérmica (Pereira, *et al.*, 2016). Cerca de 85 a 95% dos fios estão nessa fase e tem sua durabilidade de acordo com a região do corpo, no couro cabeludo pode durar de dois a oito anos, já nas sobrancelhas pode durar até 3 meses (Ebling, 1987; Alonso, 2006).

No final da fase anágena ocorre a fase de involução ou regressão é transitória e chamada de catágena (cerca de 1% dos fios), onde ocorre apoptose na maioria das células do folículo piloso, inclusive melanócitos, gerando diminuição da distância entre papila dérmica e bulge que interagem para regular a duração desta etapa (na região do bulbo), e assim, encerrar o crescimento dos fios. Esta fase pode durar entre 7 a 15 dias (Accorsi, *et al.*, 2022). A próxima fase é a telógena, onde acontece um repouso ou estado de quiescência e, ao mesmo tempo, há baixa atividade metabólica das células-tronco e alto metabolismo para expulsar o fio, cerca de 5 a 15% dos folículos

estão nessa fase e pode durar até 5 semanas. (Pereira, *et al.*, 2016; Ebling, 1987; Alonso, 2006; Schneider, *et al.*, 2009; Bernard, 2012; Mistriotis; Andreadis, 2013; Chai, *et al.*, 2019; Accorsi, *et al.*, 2022).

A produção proteica (síntese de queratina) é alta, pois a célula folicular percorre toda a extensão até emergir como haste capilar em torno de cinco dias, no entanto, ainda há muitas perguntas a serem respondidas sobre todo metabolismo e desenvolvimento da queratina capilar (Rogers, 1988). Esse processo de queratinização é complexo e é o conjunto de mais de cinquenta tipos de queratinas organizadas em filamentos intermediários, dentre elas as “queratinas moles” (presentes no tecido epitelial) e as “queratinas duras” que formam unhas e cabelos (Tenore, *et al.*, 2018). São proteínas divididas em duas famílias principais: tipo I (ácidas) e tipo II (básico-neutras), produzidas por 54 genes (Rogers, *et al.*, 2006).

Já na fase quenógena há uma pausa nos processos fisiológicos, onde o fio não segue o ciclo clássico, ou seja, o crescimento capilar segue uma via alternativa na qual a fase telógena não é seguida pela fase anágena fazendo com que o folículo piloso fique vazio. A frequência e a duração da fase quenógena é maior em indivíduos acometidos pela alopecia androgenética (Rebora; Guarrera, 2002; Guarrera; Rebora, 2005).

E finalizando a descrição do ciclo completo do crescimento capilar temos a fase exógena que corresponde à liberação total do fio na fase telógena, resultando na queda, já que são retidos sem resistência, ou seja, sem força de coesão no folículo piloso, num processo sugerido pelos pesquisados de proteolítico específico, por meio de separação intercelular (Milner, *et al.*, 2003; Van; Ieroy; Conil, 2007; Higgins, *et al.*, 2009; Guarrera; Rebora, 2017).

2.1.2. Haste Capilar

Os cabelos são compostos por queratinócitos terminalmente diferenciados, produzidos pelo folículo piloso. Sua morfologia estrutural é delineada pelos biopolímeros de queratina, apresentando uma complexa organização com um design único e preciso, com, pelo menos, 89 tipos de proteínas associadas (Faria, *et al.*, 1997; Nakano, 2006; Koch, *et al.*, 2020; Cunha, 2023; Fraser; Parry, 2018). A palavra “queratina” significa “chifre” (em grego), que era utilizada para descrever uma mescla complexa de proteínas insolúveis presentes na pele, unhas, cabelos, garras e

escamas. Inicialmente, esse termo foi oportuno, mas na medida em que as pesquisas evoluíram, as diferenças estruturais entre esses anexos cutâneos foram esclarecidas e detalhadas (Yu J. *et al.*, 1993).

Quimicamente os fios de cabelos possuem cerca de 45,2% de carbono, 15,1% de nitrogênio, 5,2% de enxofre, 6,6% de hidrogênio e 0,065% de fósforo (P) e o teor de água varia até 12%. Grande parte da insolubilidade deste material biológico se dá por uma queratina que possui alta concentração do aminoácido cistina, que pode variar entre 15 a 17% (Lima *et al.*, 2016).

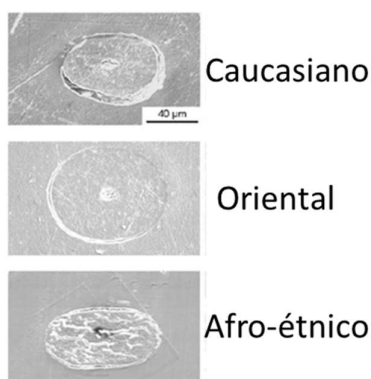
A Tabela 1 mostra a porcentagem dos elementos químicos encontrados em amostras de cabelos dos tipos caucasiano, oriental e afro-ético, comparado com a queratina de origem animal e a Figura 3, mostra a diferença física entre esse tipos de fios de cabelo (Bhushan, 2010. p. 9; Robbins, 2002. p. 67; Lima, *et al.*, 2016).

Tabela 1 - Porcentagem de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S) em amostras de cabelos caucasiano, oriental, afro-ético e queratina animal.

Amostra	C%	H%	N%	S%
Queratina	47,00	4,76	13,41	3,86
Caucasiano	42,96	7,31	13,81	3,64
Oriental	42,89	7,08	13,84	3,47
Afro-ético	41,34	6,38	12,28	3,43

Fonte: Lima *et al.*, 2016

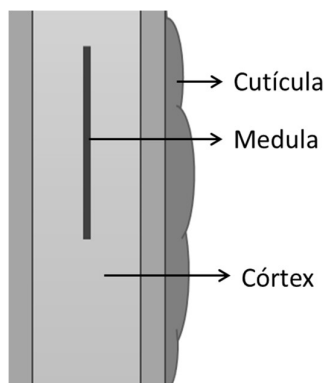
Figura 3: Imagens geradas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da seção transversal de fibras capilares naturais.



Fonte: Bhushan, 2010.

Independentemente do formato, textura, tamanho ou cor, a haste capilar é descrita como cilindros irregulares de constituição proteica, divididos em três partes distintas: medula, córtex e cutícula (Figura 4).

Figura 4: Esquema de corte longitudinal da fibra capilar: cutícula, córtex e medula.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024) ¹

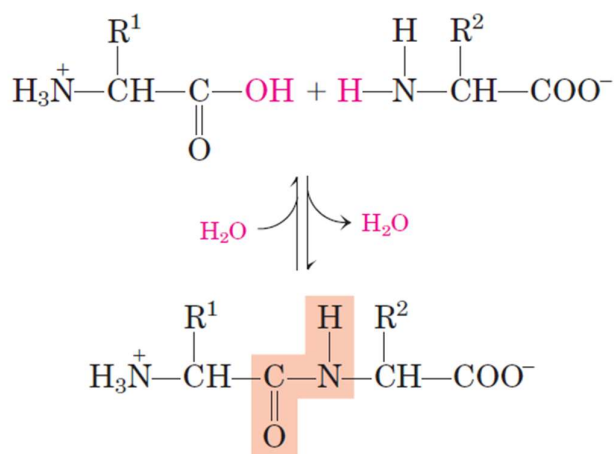
¹ Esquema elaborado e adaptado a partir do modelo descrito por Kamatha, *et al.*, 2013.

O córtex e a cutícula destacam-se como componentes de maior relevância devido à sua complexidade estrutural morfológica. Esses elementos têm sido amplamente estudados, ressaltando a importância de compreender a estrutura e as propriedades fundamentais dos cabelos (Harris, 2009; Robbins, 2012; Bufoli, *et al.*, 2014; Gama, *et al.*, 2011; Sanad, 2018; Plowman, *et al.*, 2018; Lima, *et al.*, 2019; Lima, *et al.*, 2020).

Cerca de 65 a 95% da massa capilar é formada por queratina e os outros componentes do cabelo são os lipídios (livres e pertencentes à estrutura), traços de metais, água e pigmentos (melanina) (Lima, 2016).

As proteínas são biomoléculas poliméricas formadas pela união combinatória de vinte diferentes tipos de aminoácidos. A ligação feita por reação de condensação é chamada de ligação peptídica (Figura 5) entre esses monômeros, formando infinitos tipos de proteínas com as mais variadas funções (Lehninger; Nelson; Cox, 2014).

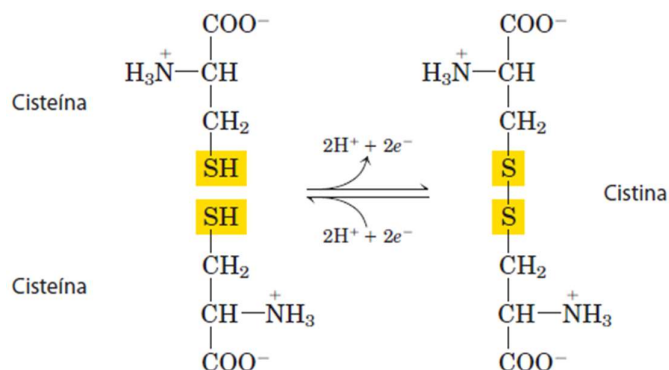
Figura 5: Formação de ligação peptídica entre dois aminoácidos para formação da proteína.



Fonte: Lehninger, *et al.*, 2014.

Os radicais R1 e R2 das moléculas de aminoácidos descritas na Figura 5 simbolizam as cadeiras laterais dos aminoácidos da α -queratina, correspondentes a 18 composições diferentes de cabelos das etnias humanas principais descritas na Tabela 2. O aminoácido cistina se destaca pela importância em estar presente nas ligações cisteídicas (dois aminoácidos cisteína) entre seus átomos de enxofre (ligação dissulfeto) (Figura 6) auxiliando na estabilização da estrutura da queratina, por meio de ligações cruzadas, aumentando a rigidez, solidez, insolubilidade, além de alta capacidade de resistir à degradação por calor, frio, ação microbiana, luz e deformações mecânicas (Velasco, 2009; França, 2014; Vilela, 2014; Lehninger, Nelson, Cox, 2014 (Lima, 2016)).

Figura 6: Formação reversível de ligação dissulfeto entre dois aminoácidos de cisteína, formando uma molécula de cistina.



Fonte: Lehninger, *et al.*, 2014.

Tabela 2 - Composição de aminoácidos de cabelo humano das principais etnias.

Aminoácido	Caucasiano μmol/g	Oriental μmol/g	Afroetnico μmol/g
Ácido aspártico	407-455	456-500	436-452
Treonina	542-654	568-593	580-618
Serina	851-1076	986-1101	672-1130
Ácido glutâmico	868-1063	1021-1082	915-1017
Prolina	588-753	615-683	642-697
Glicina	450-544	454-498	467-542
Alanina	345-475	370-415	370-509
Valina	405-542	421-493	442-573
Cistina (½)	1268-1608	1165-1357	1310-1420
Metionina	8-54	21-37	6-42
Isoleucina	188-255	205-244	224-282
Leucina	442-558	515-546	484-573
Tirosina	126-194	131-170	179-202
Fenilalanina	124-150	129-143	139-181
Lisina	178-220	182-196	198-236
Histidina	56-70	57-63	60-85
Arginina	466-534	492-510	482-540
Ácido cisteico	22-58	35-41	10-30

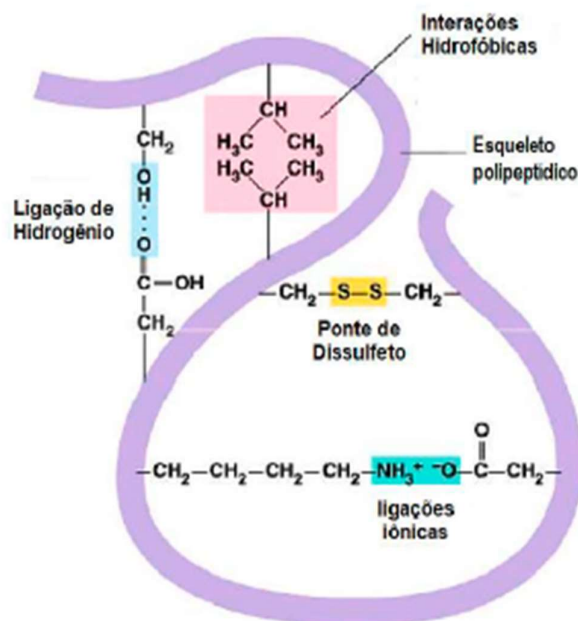
Fonte: Adaptado de Lima, 2016; Wolfram, 2003.

Na estabilização molecular da queratina, além das ligações dissulfeto e peptídicas, há as ligações iônicas, de hidrogênio e força de Van Der Waals (Figura 7). As ligações cisteídicas não sofrem ação direta das moléculas de água, diferente das outras ligações mais brandas (ligações laterais) (Halal, 2012; Lima, 2016; Cunha, 2023).

As ligações de hidrogênio são as mais fracas e acontecem entre um átomo de hidrogênio (do ácido carboxílico de um aminoácido) e um átomo de oxigênio (do ácido carboxílico de um outro aminoácido), se rompem com a água e calor e são responsáveis pelas alterações reversíveis ou temporárias das formas do cabelo. As ligações salinas (iônicas) também são físicas entre as cargas negativas e positivas de

dois aminoácidos. Podem ser facilmente rompidas por pH ácidos e alcalinos (Halal, 2016).

Figura 7: Esquema das ligações e interações que ocorrem na estrutura capilar.



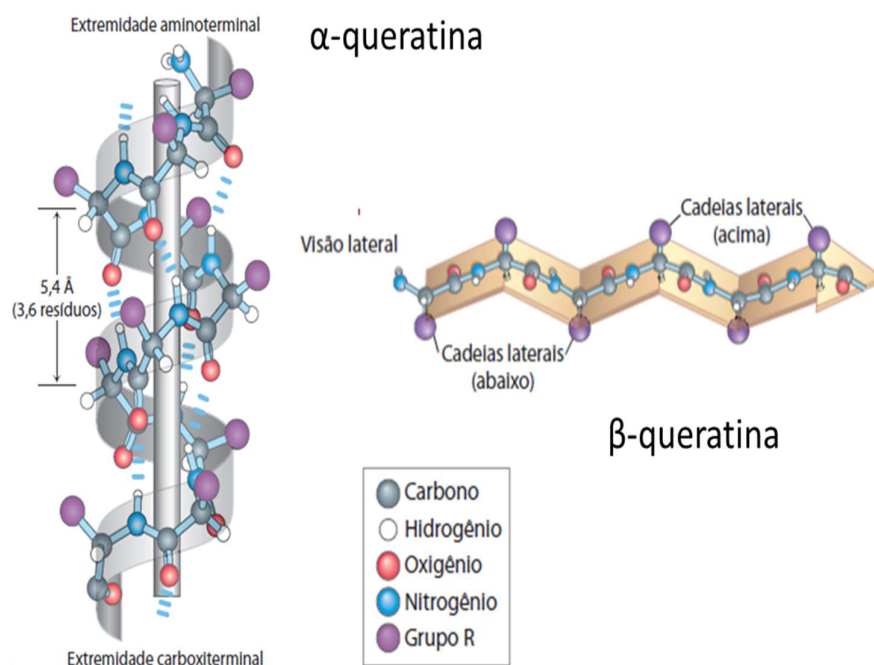
Fonte: Adaptado de Silva, 2012.

Na configuração da queratina, para além das diferentes ligações presentes em sua estrutura, existem duas classes de cristais nesta proteína: a cristalina e a amorfa. Dentro da categoria da queratina cristalina, destacam-se a α -queratina (α -hélice), β -queratina (folha β) e uma estrutura desordenada (Figura 8) (Lima, 2016; Cunha, 2023).

A α -queratina, componente que desempenha papel fundamental na sustentação e flexibilidade da fibra, encontra-se predominantemente localizada no córtex e é notavelmente abundante em resíduos de cistina e contém a maior parte dos aminoácidos típicos (Whewell, 1961; Silva, 2012;).

Essas α -queratinas são formadas por cadeias peptídicas organizadas em paralelo, que interagem entre si através de três tipos de ligações cruzadas: de cisteína, iônicas e de hidrogênio. assumindo a forma de microfibrilas espiraladas, com 3,6 resíduos de aminoácidos por volta (Whewell, 1961; Velasco, 2009; Silva, 2012; Pudney, 2013; Lehninger; Nelson; Cox, 2014).

Figura 8: Estruturas secundárias das proteínas.



Fonte: Adaptado de Lehninger, *et al.*, 2014.

Quanto à estrutura da β -queratina, esta concentra-se primariamente na região da cutícula, apresentando cadeias estendidas organizadas em um arranjo laminar pregueado (Pudney, 2013; Silva, 2012; Whewell, 1961).

Por meio da análise de difração de raios X, foi constatado que cerca de 30% da estrutura capilar é cristalina, enquanto os restantes 70% correspondem à fase amorfa, caracterizada por peptídeos de conformação não definida (Pozebon; Dressler; Curtius, 1999).

Essa diversidade estrutural contribui para as propriedades distintas das diferentes regiões do cabelo, desempenhando um papel crucial na funcionalidade global da fibra capilar (Pozebon; Dressler; Curtius, 1999).

2.1.2.1. Classificação do cabelo humano e suas formas

O cabelo humano, por ser constituído, na sua maioria, por queratina que é um tecido que responde rapidamente aos estímulos externos e são expressos em uma

ampla gama de tamanhos, formas, cores e padrões de crescimento (Gaines *et al.*, 2023).

As categorias de formato foram estabelecidas utilizando medidas mensuráveis e objetivas, como diâmetro, índice de curvatura, ondulação e torção, proporcionando uma caracterização mais precisa e científica. Essa abordagem contribui para uma compreensão mais aprofundada e padronizada da diversidade de formas de cabelo, estabelecendo uma estrutura para estudos comparativos e análises consistentes (Loussouarn, *et al.*, 2007; Koch, *et al.*, 2020).

Apesar dessa grande diversidade de fios, não há dados suficientes demonstrando diferenças significativas na composição proteica do cabelo, por exemplo:

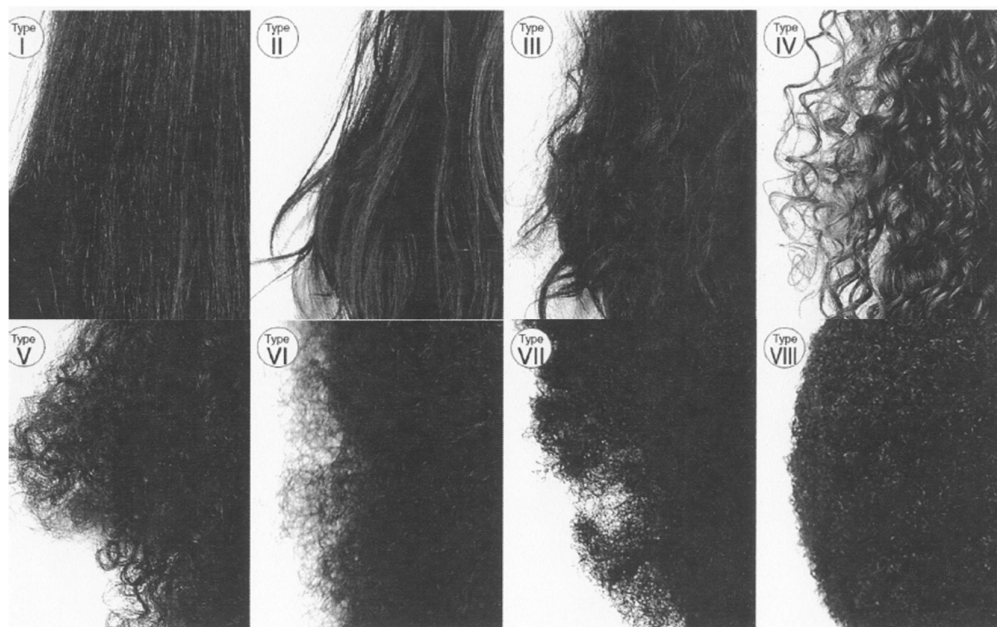
- há alta concentração da eumelanina em todas as cores de cabelo, exceto para cabelos ruivos, que têm um alto teor de feomelanina;
- a maior resistência à tração e à fadiga é relatada para cabelos mais retos, no entanto, a fragilidade do cabelo cacheado é atribuída a emaranhados, formação de fissuras e fluxo, em vez de variações estruturais e
- o cabelo africano foi encontrado com o maior nível de lipídios, enquanto a sorção de água no cabelo caucasiano é a mais alta e a do cabelo asiático, a mais baixa (Koch, *et al.*, 2020).

O estudo dessas variações é essencial para compreender as características específicas dos diferentes tipos de cabelos, por isso, De La Mettrie *et al.* (2007), propuseram classificar os cabelos em oito tipos principais de formato capilar (Figura 9) , apresentando uma abordagem mais objetiva e reprodutível, fazendo a medição direta de três parâmetros: diâmetro da curva, índice de ondulação e número de ondas.

DANIELS *et al.* (2023), numa revisão classificam os cabelos em três parâmetros: classificação capilar, características e propriedades da fibra.

A abordagem de classificação capilar mais comum baseia-se na origem georracial, definindo três grupos principais: cabelo africano, asiático e caucasiano. No entanto, essa classificação não considera adequadamente a diversidade capilar global e a variabilidade entre os grupos em relação a cachos, forma, tamanho e cor (miscigenação e diferenciação populacional).

Figura 9: Imagens dos oito tipos de cabelos

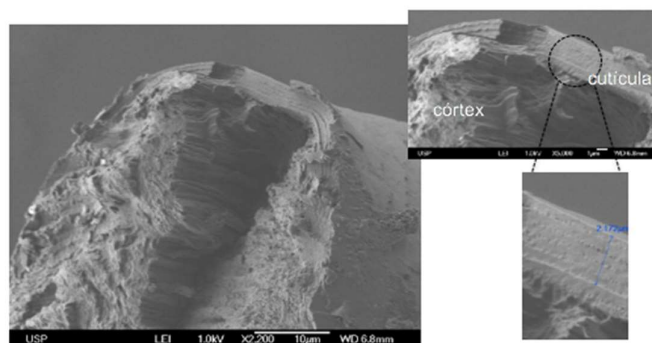


Fonte: De la Mettrie, *et al.*, 2007.

2.1.2.2. Cutícula

Por se tratar da parte que está em contato com o meio externo, a cutícula (Figura 10) exerce ação direta na proteção, é uma região quimicamente resistente que envolve o córtex, contribui para algumas propriedades físicas da fibra e possui papel importante na difusão de ativos cosméticos e outras substâncias (Lima, 2016; Robbins, 2012).

Figura 10: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de cabelo natural oriental

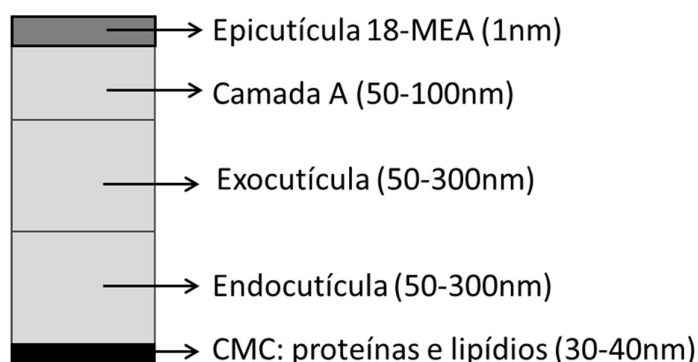


Fonte: Lima *et al.*, 2016.

Sua estrutura é composta por células cuticulares planas sobrepostas, formando uma camada protetora com uma espessura média de 0,5nm e um comprimento que varia de 45 a 60 nm. Analogamente, as células cuticulares assemelham-se a telhas dispostas em um telhado, estendendo-se da região proximal à extremidade distal dos cabelos (Velasco, *et al.*, 2009).

A quantidade dessas camadas celulares pode variar de 6 a 10, dependendo da etnia, e apresentam uma elevada concentração do aminoácido cistina (Chen, Bhushan, 2005). Essa estrutura desempenha um papel fundamental nas propriedades superficiais dos cabelos, incluindo brilho, facilidade de pentear e sensação tátil. Ademais, sua organização é subdividida em quatro camadas distintas: epicutícula, camada A, exocutícula e endocutícula, conforme ilustrado na Figura 11 (Bouillon; Wilkinson, 2005; Junior, 2015; Andl; Zhou; Zhang, 2013).

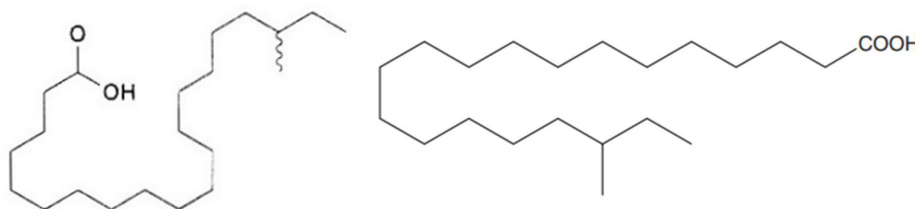
Figura 11: Esquema de estrutura da cutícula capilar



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024), Adaptado de Bouillon, Wilkinson, 2005; Robbins, 2012

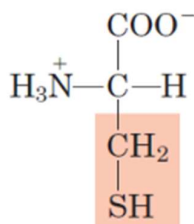
A epicutícula apresenta cerca de 10–14 nm de espessura e desempenha um papel crucial nas propriedades da superfície externa da fibra capilar (camada mais externa da cutícula), a epicutícula age como uma membrana semipermeável (Swift; Smith, 2001; Cunha, 2023).

Esta estrutura é composta por 75% de proteínas reticuladas e 25% de uma fina camada lipídica de ácido metil eicosanoico (18-MEA), conforme ilustrado na Figura 12 (Bouillon; Wilkinson, 2005; Robbins, 2012; Lima, 2016; Cunha, 2023)

Figura 12: Fórmula estrutural do ácido metil eicosanoico - 18-MEA

Fonte: Cundy, Gurr, 2000; <https://cdn.caymanchem.com/cdn/insert/11009.pdf>

Essa camada lipídica está conectada às proteínas por meio de ligações tioéster com resíduos de cisteína (Figura 13), os quais possuem um elevado teor de enxofre (Robbins, 2012; Lima, 2016; Cunha, 2023).

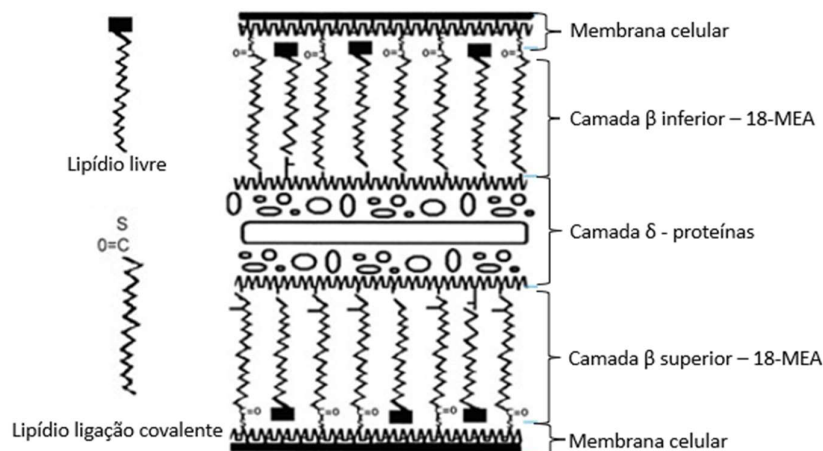
Figura 13: Fórmula estrutural do aminoácido cisteína

Fonte: Lehninger, *et al.*, 2014.

O 18-MEA, também denominado camada β , é um dos constituintes do Complexo de Membrana Celular (CMC), conforme representado na Figura 14. Essa camada β desempenha um papel fundamental no CMC, conhecido como o cimento intercelular, promovendo a adesão entre as células cuticulares e corticais nas fibras de queratina.

Essa interação confere às fibras capilares sua característica hidrofóbica distintiva. O CMC, uma estrutura lipoproteica com aproximadamente 15 nm de espessura, é descrito como uma composição lamelar tripla (Robbins, 2012; Lima, 2016).

Esta estrutura consiste em duas camadas de 18-MEA e uma camada proteica, representando aproximadamente 2% da massa total dos fios. Essa complexa organização contribui para as propriedades únicas dos cabelos, conforme destacado por diversos estudos (Bouillon; Wilkinson, 2005; Chen; Bhushan, 2005; Robbins, 2012; Lima, 2016; Cunha, 2023).

Figura 14: Esquema do Complexo Membrana Celular (CMC)

Fonte: Esquema elaborado a partir do modelo descrito por Robbins, 2012

Camada A refere-se à estrutura proteica (Tabela 3), com uma espessura de 50 a 100 nm. Essa camada, uniformemente distribuída ao longo da haste capilar, encontra-se na parte externa de cada célula, imediatamente abaixo da epicutícula. Composta por proteínas ricas em enxofre (aproximadamente 30% de cistina), a Camada A exibe notável resistência mecânica devido à característica reticulada com ligações de dissulfeto, associadas a isopeptídeos de glutamina e lisina. Além disso, apresenta baixa hidrofiliicidade, como indicado por estudos anteriores (Velasco, *et al.*, 2009; Chen; Bhushan, 2005; Robbins, 2012).

A exocutícula, situada imediatamente adjacente à camada A e com uma espessura aproximada de 50 a 300 nm, exibe uma redução significativa na concentração de cistina, atingindo cerca de 20%. Os espaços intercelulares dentro desta camada são preenchidos pelo complexo de membrana celular (CMC), presumivelmente composto por resquícios das membranas celulares originais e proteínas com baixo teor de enxofre (Bouillon; Wilkinson, 2005).

Essas proteínas, por sua vez, são abundantes em aminoácidos ácidos (10%), básicos (7%) e apolares (44%). Com um caráter hidrofílico distintivo, a exocutícula é composta por duas camadas β , desempenhando um papel fundamental na promoção da coesão entre as estruturas celulares cuticulares e corticais (Robbins, 2012; Yang, *et al.*, 2014; Plowman, 2018).

Tabela 3 - Composição aproximada da Camada A, da cutícula, endocutícula de cabelo e endocutícula de lã.

Aminoácido	Camada A (%)	Cutícula (%)	Endocutícula do cabelo	Endocutícula da lã
Ácido aspártico	1,30	4,20	9,30	7,40
Ácido glutâmico	5,20	8,10	12,30	7,40
Treonina	2,70	4,60	5,90	10,30
Serina	14,2	12,9	10,30	5,50
Prolina	6,60	9,30	7,30	10,70
Glicina	18,4	9,80	6,90	8,90
Alanina	3,4	5,5	5,90	8,20
Valina	6,50	6,60	6,50	6,70
Isoleucina	2,00	2,70	4,10	7,50
Leucina	3,90	6,00	8,70	3,90
Cistina - ácido cisteico	25,10	14,70	5,70	9,30
Metionina	0,70	0,70	1,50	3,10
Tirosina	1,10	3,70	3,40	0,80
Fenilalanina	1,60	2,10	2,40	3,90
Histidina	1,20	1,40	1,00	1,10
Lisina	3,00	2,90	4,10	4,20
Arginina	3,10	4,90	4,80	5,00

Fonte: Robbins, 2012

Ao contrário da camada A, a endocutícula apresenta-se irregular em toda extensão do fio de cabelo, com espessura muito variada de 50 a 300 nm. Sua composição se aproxima muito da exocutícula, com baixo teor de cistina, em torno de 3%, e de aminoácidos ácidos e básicos podem sugerir uma maior afinidade com a água (Robbins, 2012).

Na Tabela 3, acima, organizada por Robbins (2012) mostra as diferentes concentrações entre a endocutícula do cabelo humano e a endocutícula da lã. (Wolfran, 2003).

2.1.2.3. Córtex

O córtex, a porção maior do fio, é responsável pela elasticidade e resistência mecânica do fio e é formado pelas células corticais (Figura 15), que apresentam, aproximadamente, de 1 a 6 μm de diâmetro e 50 a 100 μm de comprimento (Schueller; Romanowski, 1999; Velasco *et al.*, 2009; Borowska; Yang, *et al.*, 2014; Brzóška, 2015).

Nos cabelos, há dois tipos de queratinas em α -hélice: tipo I (com resíduos de aminoácidos ácidos) e tipo II (com resíduos de aminoácidos básicos), esses dois tipos se unem num entrelaçamento como hélice, formando dímeros e esses dímeros se unem, também em entrelaçamento antiparalelo, formando os tetrâmeros, desta forma conhecidos como protofilamentos, onde sete unidades deles cercam um único protofilamento central, gerando os filamentos intermediários. Os filamentos intermediários apresentam, aproximadamente, de 75 a 90 $\text{\AA}$ de diâmetro e são chamados de microfibrilas (Yang *et al.*, 2014). A figura 16 mostra a localização das microfibrilas no córtex da haste capilar (Robbins, 2012).

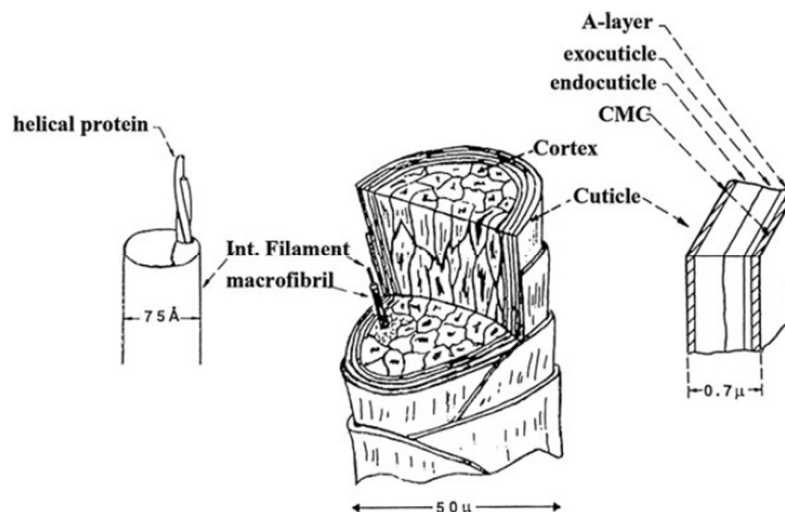
Figura 15: Fio de cabelo: detalhe de células dos córtex - Imagem gerada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).



Fonte: Robbins, 2012.

As microfibrilas estão envoltas por uma matriz composta por uma associação proteica com estrutura irregular, possuem de 0,1 a 0,4 μm de diâmetro e possuem concentração alta dos aminoácidos leucina e ácido glutâmico, formando a α -queratina com apenas cerca de 6% de cistina. São organizadas e formam as macrofibrilas que constituem a maior parte e mede cerca de 7,5 nm de diâmetro (Yang *et al.*, 2014).

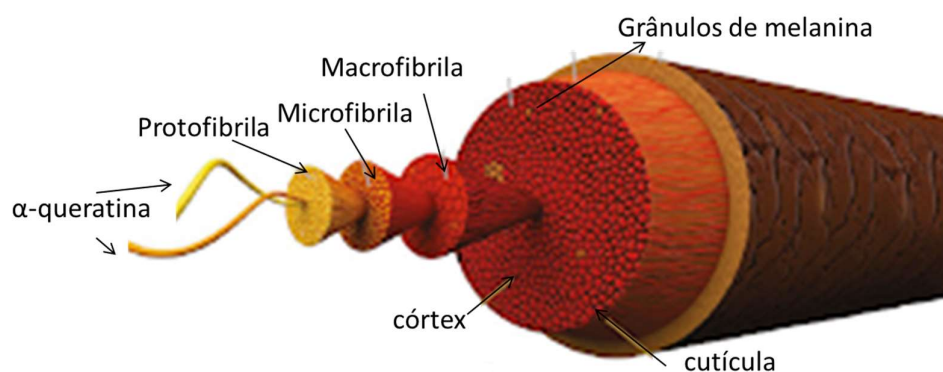
Figura 16: Cutícula e córtex da haste capilar.



Fonte: Robbins, 2012.

As unidades básicas das células do córtex capilar são formadas pela macrofibrilas e a matriz com, aproximadamente, 21% de cistina (Figura 17) (Yang *et al.*, 2014; Halal, 2016. p.82; Robbins, 2012. p.53).

Figura 17: Estrutura da hierarquia da haste capilar.

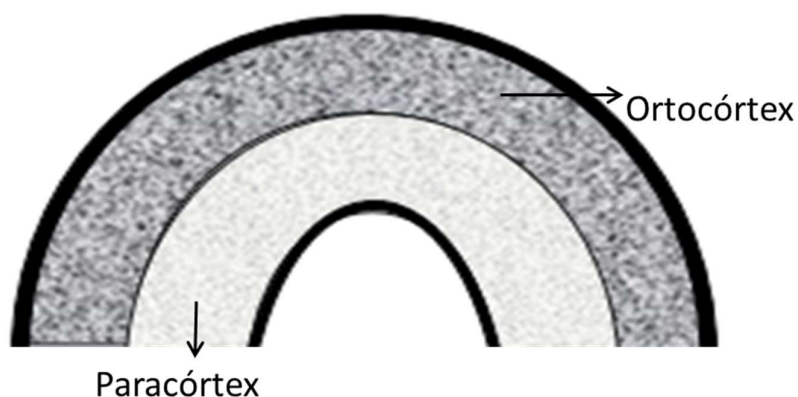


Fonte: Elaborada pela própria autora (2024), Adaptado de <https://chemyunion.com>

As células corticais são fusiformes, compactadas, não uniformes (forma e tamanho) e compõem, de forma distinta o paracórtex, ortocórtex e mesocórtex, e a distribuição destes causa as diferentes formas de curvatura dos fios.

A Figura 18 mostra um esquema da distribuição das células do ortocórtex (menor quantidade de material entre os filamentos intermediários e enxofre) e do paracórtex (maior teor de enxofre com menor diâmetro) (Robbins, 2012.)

Figura 18: Distribuição do paracórtex e ortocórtex na fibra capilar.



Fonte: Adaptada de Robbins, 2012.

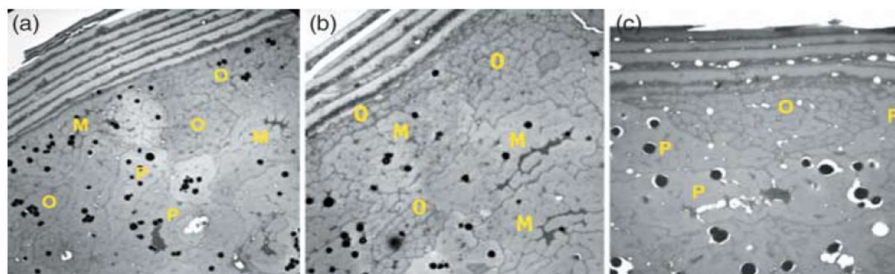
Thibaut *et al.* (2007) demonstraram seus experimentos uma correlação direta entre a distribuição das diferentes células corticais e o seu grau de curvatura e estabeleceram que nos cabelos lisos há um núcleo de células do paracórtex circulado por células do ortocórtex e do mesocórtex, com distribuição simétrica entre ortocórtex e paracórtex.

Já os cabelos cacheados, as células do mesocórtex vão desaparecendo à medida que a curvatura aumenta, tendendo a ter distribuição assimétrica apenas de ortocórtex e mesocórtex (Chen; Bhushan, 2005; Yang *et al.*, 2014; Halal, 2016. p.82; Robbins, 2012. p.53).

As imagens registradas por Thibaut *et al.* (2007), ilustradas pela Figura 19, mostram as descrições de diferentes tipos de cabelos, onde o cabelo caucasiano apresenta núcleos de células paracorticais circulado por células ortocorticais, nos cabelos afro-étnicos há maior quantidade de células ortocorticais (Robbins, 2012).

Assim como as células cuticulares, as células corticais também são ligadas por um complexo de membrana celular (CMC), múltiplas camadas contínuas de proteínas e lipídios e têm um papel importante na difusão de cosméticos na fibra capilar (Schueller; Romanowski, 1999; Robbins, 2012).

Figura 19: Imagens de microscopia eletrônica de transmissão de cortes transversais de cabelo: (a) cabelo liso (b) cabelo ondulado (c) cabelo cacheado (O) ortocórtex; (M) mesocórtex; (P) paracórtex.

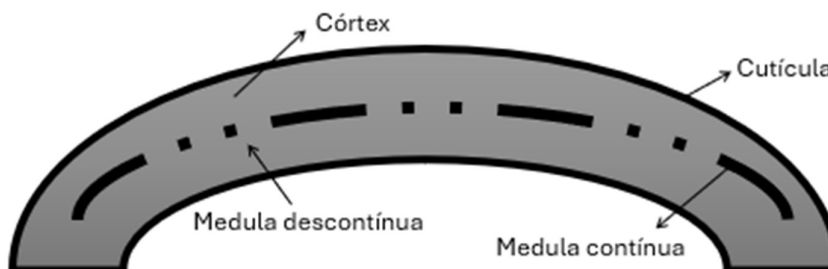


Fonte: Thibaut, *et al.*, 2007

2.1.2.4. Medula

A medula é uma fina camada cilíndrica localizada no centro da fibra capilar, fracamente queratinizada e não presente em todos os cabelos (Robbins, 2012). As células que formam a medula produzem o aminoácido citrulina, que forma a estrutura de uma proteína diferente das proteínas do córtex e da cutícula, além de possuir quantidades não expressivas de aminoácidos hidroxilados. Esta estrutura pode ser contínua em todo o interior do fio, ser interrompida por espaços ocupados por ar ou estar ausente (Figura 20). Estão presentes e são mais volumosos nos pelos e penas dos animais, mas nos humanos, quando presentes, ocupam pouco espaço (Bhushan, 2010; Borowska, Brzóška, 2015; Plowman; Harland, 2018; Fellows; Casford; Davies, 2021).

Figura 20: Esquema de localização da medula capilar e sua distribuição contínua e descontínua.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024). Adaptado de Robbins, 2012..

Wagner e Joeques (2007), avaliaram a influência da medula nas propriedades mecânicas da haste capilar e descreveram que as fibras proteicas presentes na

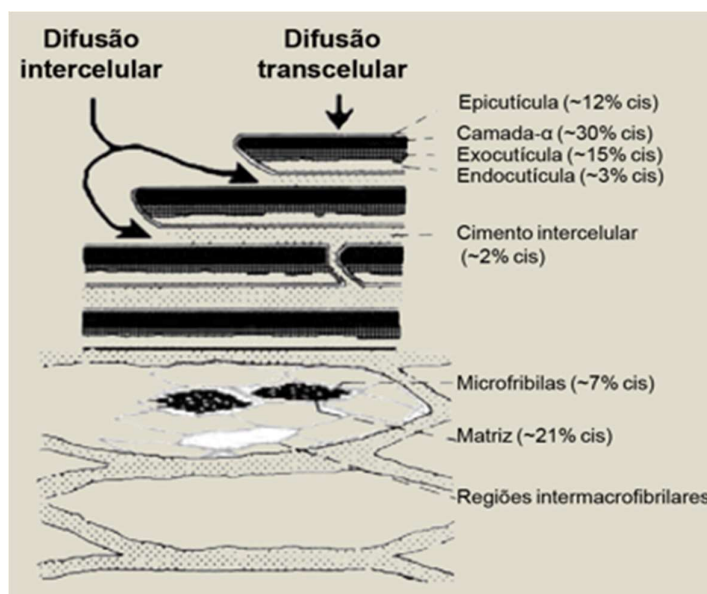
medula tem arranjo cristalino e grânulos com presença de ar e a propriedades mecânicas não apresentaram diferenças significativas, afirmando ser semelhantes, mas as fibras com medula apresentam são menos uniformes e com maiores diâmetro.

Há poucas informações sobre a função da medula na fibra capilar, alguns pesquisadores afirmam que substâncias aplicadas sobre os cabelos podem difundir e alterar a estrutura medular, como por exemplo: corantes aniônicos, lipofílicos e catiônicos com propriedades fluorescentes, inclusive colorações capilares, o que pode prolongar as mais diferentes ações cosméticas (Hirayama, *et al.*, 2023).

2.1.2.5. Difusão capilar

A cutícula capilar desempenha um papel fundamental como a primeira linha de defesa contra a permeação de substâncias no interior do fio de cabelo. Composta por múltiplas camadas e uma rede complexa de ligações dissulfídicas, sua estrutura oferece uma barreira resistente. A difusão de cosméticos pela haste capilar é um processo influenciado por vários fatores, incluindo as propriedades iônicas do soluto, tamanho das partículas, ponto isoelétrico do cabelo, pH e força iônica do meio circundante (Robbins, 2012.; Pinheiro *et al.*, 2013).

Figura 21: Esquema mostrando a difusão intercelular e transcelular no cabelo



Fonte: <https://www.cosmeticsonline.com.br/artigo/49>, adaptado de Robbins, 2015.

Ao serem depositados sobre as fibras capilares, os cosméticos podem difundir pelas vias: transcelular, onde as moléculas caminham com dificuldade devido ao arranjo proteico entre os estratos da epicutícula, camada A, exocutícula e endocutícula e intercelular, utiliza como rota o cimento intercelular e é mais utilizada por macromoléculas, por exemplo (Figura 21). As propriedades das formulações cosméticas, as condições da fibra e o tamanho das moléculas são características importantes para a rota de difusão no tecido capilar, sendo que ambas podem acontecer ao mesmo tempo (Gavazzoni, 2015; Robbins, 2015).

2.2. Alisantes capilares

A prática de alterar a forma dos cabelos é muito comum em todo mundo, no Brasil, o alisamento se faz presente, pois ter cabelos maleáveis e disciplinados faz parte do desejo da maioria das mulheres brasileiras, isto se torna claro devido à diversidade de técnicas e cosméticos utilizados. A aplicação antiga de pentes e ferros quentes (150 a 250°C) diretamente na haste capilar, com auxílio de vaselina sólida, alisava, reversivelmente, os fios por alterarem as ligações de hidrogênio da queratina (causando danos), ação hoje não mais utilizada na mesma frequência, pois a própria literatura científica registrou muitos acidentes com esses utensílios em vítimas infantis, como acidentes domésticos (Velasco De Paola, *et al.*, 1999; Bolduc; Shapiro, 2001).

No caso dos cosméticos alisantes alcalinos, historicamente, podemos registrar um grande avanço na indústria cosmética na melhoria das fórmulas que alisam os cabelos e causam baixo dano (Weathersby; Mcmichael, 2013; Breuning; Papini, 2008; Oikawa, *et al.*, 2012; França, *et al.*, 2015; Leite; Maia, 2017).

Na década de 40, os primeiros alisantes químicos eram compostos pela mistura altamente irritativa para o couro cabeludo, de hidróxido de sódio ou de potássio com amido. Já na década de 50, alguns alisantes químicos, também à base de hidróxido de sódio, foram comercializados, tornando-se populares entre os profissionais da estética capilar, porém, até a década de 60 o uso de pentes e ferros quentes ainda era comum (Velasco de Paola, *et al.*, 1999).

Esses alisantes promoviam muitas queixas das usuárias como: fragilidade dos fios e muita irritação no couro cabeludo, além da dificuldade em driblar as características da formulação e obter estabilidade, o que, no presente, as indústrias

já conseguiram efetuar, e juntamente com o alisamento, há o aumento do efeito condicionante (brilho, maciez e menor embaraçamento dos fios) (Sá Dias, 2004).

As formulações disponíveis no mercado para alisar os cabelos são compostas por substâncias que atuam sobre a queratina, mais propriamente dito, nos filamentos intermediários (resíduos de cistina com ligação dissulfeto) por reação de lantionização (hidróxidos) ou por oxirredução (tiois) (Halal, 2012; Robbins, 2012; Velasco De Paola, *et al.*, 1999; Bolduc; Shapiro, 2001; Sá Dias, 2004).

Após 2020, o Brasil vive uma nova era em relação às formulações que alteram as formas do cabelo, de forma definitiva. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) publicou em 27 de julho de 2020 a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 409, onde tratou exclusivamente dessas formulações e dispôs sobre os procedimentos e requisitos para a regularização de produtos cosméticos para este fim.

Para auxiliar e registrar quais substâncias podem compor formulações capilares para alterar a forma dos cabelos (alisar ou ondular), a ANVISA publicou as seguintes Instruções Normativas:

- INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 64, DE 27 DE JULHO DE 2020 - Estabelece a "Lista de ativos permitidos em produtos cosméticos para alisar ou ondular os cabelos" com requisitos para seu uso, nos termos da Resolução de Diretoria Colegiada – RDC n° 409, de 27 de julho de 2020.
- INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 124, DE 24 DE MARÇO DE 2022 - Estabelece a "Lista de ativos permitidos em produtos cosméticos para alisar ou ondular os cabelos" com requisitos para seu uso, nos termos da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC n° 409, de 27 de julho de 2020.
- INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 220, DE 13 DE ABRIL DE 2023 - Estabelece a "Lista de ativos permitidos em produtos cosméticos para alisar ou ondular os cabelos" com requisitos para seu uso, nos termos da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC n° 409, de 27 de julho de 2020, e revoga a Instrução Normativa - IN n° 124, de 24 de março de 2022. Nesse mesmo documento há a informação sobre a concentração de cada substância alisante e o pH da formulação final (Tabela 5).

Nessa mesma RDC, a ANVISA os conceitua como cosméticos que modificam a estrutura química capilar (alisar, reduzir o volume ou ondular) com duração do efeito após enxágue (Brasília, 2020, p.1; Brasília, 2022, p.1).

Na RDC n.º 752 de 19 de setembro de 2022, a ANVISA informa e conceitua a classificação dos cosméticos como grau 1 ou grau 2 e os alisantes são listados no anexo I como cosméticos grau 2, ou seja, possuem indicações específicas que exigem comprovação de segurança e eficácia e, também, informações, cuidados, modo e restrições de uso.

A maior massa da haste capilar está no córtex (70-90%), parte responsável pela resistência e elasticidade. São células agregadas e adesivadas pelo CMC, formadas por filamentos chamados de macrofibrilas, estas são constituídas por microfibrilas, que por sua vez, são formadas por filamentos chamados de protofibrilas que são as cadeias peptídicas de α -hélice (Miranda-Vilela; Botelho; Muehlmann; 2014).

As alterações realizadas na fibra capilar podem ser temporárias ou definitivas. As primeiras são promovidas pela água e calor (secador ou chapinha), já as definitivas são por meio de cosméticos com ativos alisantes ou cacheadores, permitindo, principalmente, às mulheres mudarem os formatos dos seus cabelos de acordo com costumes, moda ou desejo pessoal (Dias, *et al.*, 2007; Hallal, 2016; Goshiyama, 2019).

Tabela 4 - Alisantes e cacheantes permitidos pela ANVISA, suas concentrações e pH.

Ativo	% máxima	pH
Ácido tioglicólico e seus sais	Uso geral: 8,00 Uso profissional: 11,00	7,00 - 9,50 7,00 - 9,50
Ésteres do ácido tioglicólico	Uso geral: 8,00 Uso profissional: 11,00	6,00 - 9,50 6,00 - 9,50
Hidróxido de sódio ou potássio	Uso geral: 2,00 Uso profissional: 4,50	-
Hidróxido de lítio	Uso geral: 2,00 Uso profissional: 4,50	-
Hidróxido de cálcio	7,00	-
Sulfitos e bissulfitos inorgânicos	6,70 (expressos em SO ₂ livre)	-
Pirogalol	3,00	até 3,50

Fonte: IN n.º 220, de 13 de abril de 2023 (ANVISA).

Os cosméticos disponíveis e liberados no Brasil (Tabela 4) para alisar ou cachear, inclusive os importados, devem ser registrados na ANVISA. Dentre os liberados, estão: tioglicolato de amônio - TA ($\text{NH}_4^+\text{HSCH}_2\text{COO}^-$), tioglicolato de amino

metil propanol - AMP, hidróxido de guanidina ($\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}$), hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de lítio (LiOH), hidróxido de monoetanolamina ($\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{OH}$) (ANVISA, 2020).

A escolha dos tióis para a promoção do alisamento nesse trabalho se dá pela raridade de ensaios comparativos realizados com essas moléculas em fibras natural e colorida. O TA é um cosmético capilar consagrado e vastamente utilizado, já o AMP foi há pouco tempo patenteado e produzido no Brasil, logo, a comparação da ação de ambos sobre as mechas capilares proporcionará um avanço na estética capilar, buscando um possível melhoramento do método associado aos colorantes permanentes, de forma eficiente e segura.

A importância em investigar as mudanças nas estruturas da haste capilar causadas por esses cosméticos também se aplica às cores, pois colorantes causam alterações, devido ao pH alcalino e ao depósito de massa nos fios e são classificados como: temporário, semipermanente e permanente, devido ao tempo de permanência nos cabelos e à reação com eles. Os permanentes são oxidativos e os outros são de deposição direta no córtex, utilizando comumente o hidróxido de amônio como dilatador cuticular (Oliveira, et al., 2014; Dias, 2015).

Outro ponto importante acerca dos alisantes capilares foi destacado no estudo realizado por Leite e *et al.* (2018) sobre o comportamento dos consumidores de cosméticos alisantes e constataram que 50% deles já usaram ou usam essas formulações e que 40% não sabem quais são as substâncias alisantes que os compõem.

2.2.1. Tipos de alisantes e mecanismos de ação

Os alisantes alcalinos também são chamados de relaxantes químicos e, divergentemente, podem ser classificados como: com soda cáustica (hidróxido de sódio) e sem soda cáustica (tioglicolato de amônio e bissulfitos). São utilizados nas formulações cosméticas o ácido tioglicólico e seus sais, ésteres de ácido tioglicólico, hidróxido de sódio ou potássio, hidróxido de lítio, hidróxido de cálcio associado ao sal de guanidina (deve ser preparado no momento do uso misturando carbonato de guanidina e hidróxido de cálcio), sulfitos e bissulfitos inorgânicos (Hatsbach; Basílio; Mulinari-Brenner, 2022; Weathersby; Mcmichael, 2013; Robbins 2012).

Halal (2012), pontuou as principais alterações nas fibras capilares em relação ao pH, como descrito abaixo:

- Soluções com pH de 0,00 a 1,00: promovem certa dissolução dos cabelos e não devem ser aplicadas no couro cabeludo e nem na haste;
- Soluções com pH de 1,00 a 4,50: há encolhimento da fibra, enrijecimento, contração das cutículas, redução de porosidade, aumento do brilho;
- Soluções com pH de 4,50 a 5,50: os fios não apresentam alteração no diâmetro e nem no brilho;
- Soluções com pH de 5,50 a 10,00: o volume, a porosidade, a opacidade e o ressecamento dos fios aumentam;
- Soluções com pH de 10,00 a 14,00: promovem certa dissolução dos cabelos e muitos cuidados devem ser tomados quando aplicadas aos fios.

2.2.1.1. Alisantes alcalinos: hidróxidos

Todos os alisantes formulados com hidróxido são bases fortes que podem exercer a ação direta de dilatação, aumentando o diâmetro dos fios em até 100% e apresentam incompatibilidade quando aplicados em fios anteriormente alisados pelos tioglicolatos (tiois), devido às diferentes mecanismos de ação (Robbins 2012).

A concentração dos íons de hidroxila (OH^-) nas formulações alisantes é quem garante sua força de alisamento, ou seja, quanto maior a sua contração, maior será o resultado do alisamento sobre a mecha capilar, de forma permanente (Halal, 2016).

Os hidróxidos são comumente comercializados na forma de emulsão com alta viscosidade para dificultar o escoamento nos olhos e couro cabeludo e facilitar o manuseio e aplicação nos cabelos (Robbins 2012; Weathersby; Mcmichael, 2013).

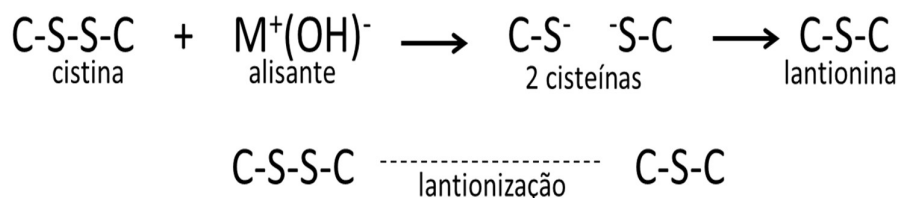
A concentração dos sais vai de 1 a 10% e o pH é elevado entre 12,5 a 14, essa característica promove o intumescimento das cutículas, facilitando o acesso das moléculas dos alisantes ao principal sítio de ação que é o córtex capilar (Madhani; Khan, 2013; França, 2014; Hatsbach; Basílio; Mulinari-Brenner, 2022).

Bunett *et al.* (2021), descrevem em seu estudo a segurança dessas substâncias como alisantes capilares nas concentrações e pH descritos pelos órgãos regulamentadores.

A reação química descrita na ação direta dos hidróxidos sobre os grupos de cistina (2 moléculas de cisteína) da queratina capilar produz resíduos de lantionil

(lantionização), reagem também com as ligações peptídicas (hidrólise) produzindo grupos amina e ácido, em pelo menos 35% das ligações de cisteínicas (Figura 22) (Bolduc; Shapiro, 2001; Robbins, 2012; Madnani; Khan, 2013).

Figura 22: Reação de lantionização entre proteína capilar e alisantes alcalinos (hidróxidos)



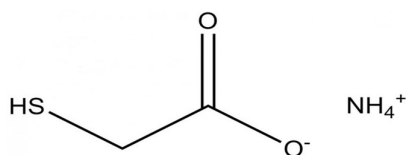
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024). Esquema elaborado e adaptado a partir dos modelos descritos por França, 2014 e Halal, 2016.

2.2.1.2. Alisantes alcalinos: tiois (tioglicolato de amônio e de amino metilpropanol)

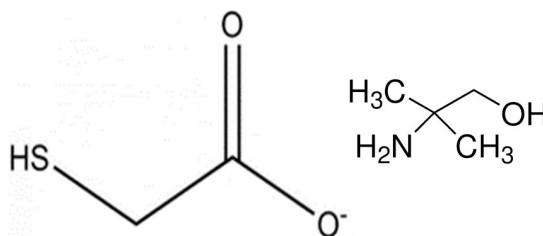
Outra alternativa para alisar definitivamente os cabelos é o uso dos sais de ácido tioglicólico, como agentes redutores, conhecidos como alisantes à base de tiois. Possuem pH alcalino que varia na faixa de 7,00 a 9,50, são menos cáusticos que os hidróxidos e são formados por reação química do tipo ácido-base entre um álcali forte (hidróxido de amônio ou monoetanolamina) e o ácido tioglicólico (HSCH₂COOH).

No caso do tioglicolato de amônio (TA - Figura 23), essa reação química ocorre entre o ácido tioglicólico e o hidróxido de amônio e para o tioglicolato de amino metilpropanol (AMP - Figura 24), ocorre entre o ácido tioglicólico e o amino metilpropanol (2-amino-2-methyl-1-propanol), que é uma alcanolamina primária, muito utilizada com formulações cosméticos como alcalinizantes (Bremecker, *et al.*, 1991; Halal, 2011; Zabashta, *et al.*, 2012).

Figura 23: Fórmula estrutural do tioglicolato de amônio



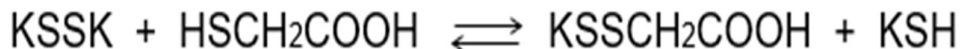
Fonte: <https://campusvirtual.ufsj.edu.br/>

Figura 24: Fórmula estrutural do tioglicolato de amino metilpropanol

Fonte: <https://campusvirtual.ufsj.edu.br>

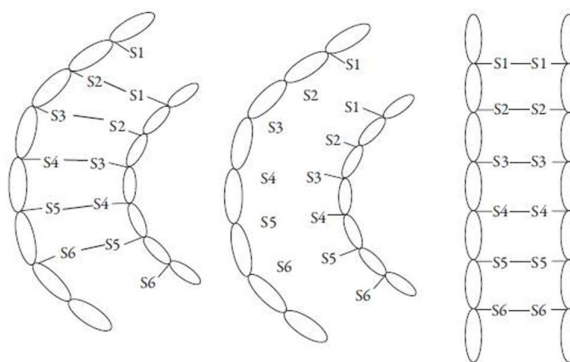
Assim como os alisantes à base de hidróxido, os tiois também são comercializados em formulações emulsificadas de alta viscosidade e por apresentar pH elevado, imediatamente ao ser aplicada os fios, a formulação alisante intumescce as cutículas, por ação direta do hidróxido (Oikawa, *et al.*, 2012; Xie, *et al.*, 2014):

Este processo faz com que o ácido tioglicólico atinja as lições de dissulfeto presentes no córtex, onde são convertidas em grupos sulfidríla (HS), estas causam o alisamento da complexa estrutura proteica das fibras capilares, por meio do rompimento das ligações de enxofre e adição de um átomo de hidrogênio (H) a estes. A etapa de redução das ligações de dissulfeto que ocorrem nos resíduos mistos de cistina e cisteína, acontece conforme mostrado a seguir (Oikawa, *et al.*, 2012; Xie, *et al.*, 2014):



Após sua ação sobre os cabelos e a realização de enxágue vigoroso, aplica-se a formulação neutralizante com peróxido de hidrogênio (água oxigenada) para restaurar as ligações dissulfídicas rompidas anteriormente pelo tiol (Figura 25) (Madnani, 2013; Martins Júnior, 2015; Halal, 2016. p. 250; Sversut, *et al.*, 2017).

Figura 25: Esquema geral de alisamento com ácido tioglicólico



Fonte: Sversut, *et al.*, 2017.

2.3. Colorantes capilares

A coloração natural dos fios dos cabelos é formada pelo pigmento melanina, gerado por um processo metabólico chamado melanogênese que ocorre na papila dérmica, durante toda fase de crescimento dos fios (anágena), que é diferente da formação da cor da pele (Van Neste; Tobin, 2004; Halal, 2016).

O sistema de cores utilizado para a numeração e construção dos cosméticos colorantes disponíveis no mercado é o RYB, onde os tons acromáticos são: preto, branco e variações de cinza construídas com as misturas variadas dessas duas cores e os tons cromáticos são as outras cores, que são obtidas das inúmeras misturas das cores primárias: vermelho, azul e amarelo, secundárias: laranja, verde e roxo e terciárias que são as misturas de todas as tons cromáticos em infinitos percentuais (Halal, 2016).

2.3.1. Tipos de colorantes capilares

O procedimento estético capilar de coloração é amplamente utilizado por homens e mulheres e há uma grande variedade disponível no mercado. O objetivo principal das colorações é alterar a cor natural dos cabelos, ou seja, um cosmético de uso específico e com formulações complexas e de uso repetitivo para mascarar o crescimento dos cabelos (Bolduc; Shapiro, 200; Decker, 2004).

De acordo com a origem, são classificadas em:

- Colorações vegetais (henna, camomila, noqueira, pau-brasil e cinchona): não apresentam toxicidade, duram curto período sobre os fios e mudam a tonalidade dos cabelos;
- Colorações minerais ou metálicas (nitrato de prata ou sais de chumbo): podem apresentar severa toxicidade, são incompatíveis com peróxido de hidrogênio, podem clarear ou escurecer os cabelos, durar meses e requerem aplicação diária;
- Colorações sintéticas: divididas em temporárias, semipermanentes e permanentes (Guerra-Tapia; Gonzalez-Guerra, 2014).

Existem três categorias de produtos colorantes que podem modificar as cores do cabelo de forma artificial, variando em termos de quanto tempo a cor permanece nos fios e sua capacidade de cobertura, são elas: as colorações permanentes, as semipermanentes e as temporárias (Dias; Loures; Ekelem, 2021).

As temporárias, que agem de forma mais superficial nas cutículas capilares (deposição), formando uma película. São compostas por macromoléculas hidrossolúveis e ácidas. Permanecem nos cabelos por tempo reduzido a poucas semanas, pois a cada higienização, os corantes são removidos pela ação dos shampoos e enxagues. São mais empregadas para destacar as nuances desejadas às cores majoritárias, em barbas e cabelos para evidenciar os tons acinzentados e diminuir o amarelamento natural dos fios brancos (França-Stefoni, *et al.*, 2015).

As formulações colorantes com ação semipermanente sobre as fibras capilares são constituídas por corantes com moléculas de tamanho intermediário, mas que conseguem difundir as camadas das células cuticulares e atingirem o córtex, com auxílio de substâncias alcalinas. Mesmo com ação cortical, sua fixação é baixa e também podem ser removidas com higienizações repetidas, cerca de 8 a 10 vezes (Dias; Loures; Ekelem, 2021).

As mais utilizadas são as colorações permanentes (cerca de 70% do mercado) que agem diretamente no córtex, formando a cor, por meio da reação de oxidação direta entre acopladores, intermediários e oxidantes (Bolduc; Shapiro, 2001).

Os intermediários (orto e para-aminofenóis e fenilenodiaminas) formam a cor, os acopladores (fenóis, metaminofenóis e metadiaminobenzenos), reagem com os produtos de oxidação dos intermediários, formando os corantes. No geral, podem clarear ou escurecer os cabelos, é um processo irreversível e pode causar danos à haste capilar (Decker, 2004).

Por difundirem mais profundamente utilizando agentes alcalinizantes (hidróxido de amônio ou monoetanolamina) em maior concentração que as anteriores, com pH em torno de 9,0 a 10,5. São resistentes às repetidas higienizações e conseguem camuflar perfeitamente os cabelos grisalhos (Bolduc; Shapiro, 2001; He; Wang; Wang, 2021).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar as alterações nas propriedades físico-químicas e mecânicas de fibras capilares submetidas aos procedimentos de transformação química de alisamento seguido de coloração permanente.

3.2. Específicos

- Avaliar as alterações nas propriedades mecânicas (elasticidade) por medidas de resistência à tração;
- Determinar, via calorimetria exploratória diferencial (DSC), os parâmetros termodinâmicos de temperatura e entalpia de desidratação, denaturação dos filamentos intermediários (α -queratina) e pirólise;
- Avaliar o comportamento da etapa de degradação térmica da queratina presente no cabelo, bem como comparar a estabilidade térmica das amostras.
- Avaliar as alterações nas propriedades superficiais por medidas de brilho;
- Avaliar as alterações causadas por medidas de FTIR;
- Avaliar as alterações superficiais por microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Avaliar o comportamento na difusão (permeabilidade) da solução aquosa de corante fluorescente por microscopia confocal de fluorescência;
- Avaliar as alterações superficiais por espectroscopia confocal e
- Avaliar o diâmetro médio.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Seleção, padronização e codificação das mechas de cabelo

As mechas de cabelos naturais padronizadas de indivíduos caucasianos , na cor castanha-escura (Figura 26) (sem qualquer tratamento químico cosmético) foram adquiridas da empresa Andrea Lopes da Silva Cosméticos Me. Por se tratar de material disponível no mercado para preparo de perucas, próteses, apliques, adereços capilares e testes para ativos e formulações cosméticas, não é necessário parecer do Comitê de Ética e representam uma mistura de fios de cabelos de indivíduos distintos, garantindo assim a representatividade. Todas as amostras de cabelo (processadas ou não) foram armazenadas em sacos de polietileno limpos, lacrados e identificados, em temperatura ambiente, até o momento de cada análise (Sundaramoorthi, *et al.*, 2017).

Figura 26 - Mechas padronizadas de cabelo caucasiano natural (Tipo IV, de acordo com De La Mettrie, 2007).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Cada mecha possui 3,00 g e cerca de 25 cm de comprimento. Foram padronizadas por grupos, de acordo com a Tabela 5:

Tabela 5 - Codificação e padronização das mechas.

Mechas	Tratamento
MN	mecha de cabelo natural
MC	mecha de cabelo colorido com coloração permanente n.º 6 com peróxido de hidrogênio 20 volumes (6%)
MT	mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amônio
MTC	mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amônio e colorido com coloração permanente n.º 6 com peróxido de hidrogênio 20 volumes (6%)
MA	mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amino metilpropanol
MAC	mecha de cabelo alisado com tioglicolato de amino metilpropanol e colorido com coloração permanente n.º 6 com peróxido de hidrogênio 20 volumes (6%)

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

4.1.2. Formulações cosméticas utilizadas

Todas as formulações cosméticas utilizadas nos procedimentos de alisamento e coloração das mechas capilares estão registradas na Agência Nacional de Vigilância Sanitária, atendem às Resoluções do setor, em prazo de validade e foram fornecidas pelo Instituto Abelan.

A solução higienizadora dos cabelos é uma solução aquosa de lauril éter sulfato de sódio (LESS) a 10% e foi adquirida de farmácia de manipulação de São José do Rio Preto (FOURLAB).

As formulações cosméticas utilizadas para os alisamentos e coloração são:

- Produto A (Tabela 6): alisante em emulsão O/A com tioglicolato de amônio a 21%, com 11% do ácido tioglicólico e pH 8,80 - 9,50, lote ;
- Produto B (Tabela 7): neutralizante em emulsão O/A com peróxido de hidrogênio a 1,50% e pH 3,50 - 4,00;
- Produto C (Tabela 8): alisante em emulsão O/A com tioglicolato de amino metilpropanol a 12%, com 6% de ácido tioglicólico e pH 7,50 - 8,00;
- Produto D (Tabela 9): neutralizante em emulsão O/A com peróxido de hidrogênio a 1% e pH 3,50 - 4,00;
- Produto E (Tabela 10): colorante em emulsão O/A com pH 9,50 - 10,00;

- Produto F (Tabela 11): agente oxidante em emulsão O/A com peróxido de hidrogênio a 6% e pH 2,50 - 3,00.

Tabela 6 - Produto A: formulação utilizada nos alisamentos capilares com tioglicolato de amônio.

Matérias-primas	INCI Name	Função
Água	Aqua/ Water	Veículo
Ácido Tioglicólico	Thioglycolic Acid	Ativo Alisante
Cloreto De Cetrimônio	Cetrimonium Chloride	Condicionante
Álcool Etílico	Alcohol	Solvente
Hidróxido De Amônio	Ammonium Hydroxide	Alcalinizante
Perfume	Parfum	Perfume
Etanolamina	Ethanolamina	Alcalinizante
Lanolina Peg-75	Peg-75 Lanolin	Emoliente
Cloreto De Berrenil Trimetil Amônio	Cloreto De Berrenil Trimetil Amônio	Conservante
Álcool Isopropílico	Isopropyl Alcohol	Solvente
Óleo De Rícino Hidrogenado Etoilado	Peg-40 Hydrogenated Castor Oil	Emoliente
Cetomacrogol 1000	Ceteareth-20	Emulsificante
Álcool Cetílico	Cetyl Alcohol	Agentes de Consistência
Álcool Estearílico	Stearyl Alcohol	
Álcool Miristílico	Myristyl Alcohol	
Álcool Laurílico	Laureth-2	
Decametilciclopentasiloxano	Cyclopentasiloxane	
Dimeticona	Dimethicone	Condicionante
Edta Tetrassódico	Tetrasodium Edta	Quelante
Ácido Etidrônico	Ácido De Etidronic	
Metossulfato De Berrenil Trimetil Amônio	Behenyl Trimonium Methosulfate	
Isoalquilamidopropiletildimônio Etossulfato	Isoalquilamidopropiletildimônio	
Pentaeritritil Tetra-di-t-Butil Hidroxihidrocinnamato	Pentaerythrityl Tetra-Di-T-Butyl Hydroxyhydrocinnamate	
Álcool Benílico	Benzyl Alcohol	Estabilizador
Salicilato De Benzila	Benzyl Salicylate	Solvente
Hexil Cinnamal	Hexyl Cinnamal	Fragrância

Lote:27/3076-30

Tabela 7 - Produto B: formulação utilizada na neutralização dos alisamentos capilares com tioglicolato de amônio.

Matérias-primas	INCI Name	Função
Água	Aqua/ Water	Veículo
Álcool Cetoestearílico	Cetearyl Alcohol	Emoliente
Peróxido de Hidrogênio	Hydrogen Peroxide	Neutralizante
Cloreto de Cetrimônio	Cetrimonium Chloride	Condicionante
Álcool Etílico	Alcohol	Solvente
Petrolato Líquido	Paraffinum Liquidum	Emoliente
Macrogol	Polyethylene Glycol	Emoliente
Decametilsilicopentasiloxano	Cyclopentasiloxane	Condicionante
Dimeticona	Dimethicone	Condicionante
Perfume	Parfum	Perfume
Cetomacrogol 1000	Ceteareth-20	Emulsificante
Fenacetina	Phenoxyethanol	Calmante
Poliquatérnio-37	Polyquaternium-37	Estabilizante
Propilenoglicol	Propylene Glycol	Umectante
Dicaprilato/Dicaprato	Propylene Glycol Dicaprylate/Dicaprate	Estabilizante
PPG-1 Trideceth-6	PPG-1 Trideceth-6	Emulsificante
Oleato de Sorbitana	Sorbitan Oleate	Emulsificante
Copolímero de acrilatos/estearil metacrilato	Acrylates copolymer	Suspensor
Lanolina Peg-75	Peg-75 Lanolin	Emoliente
Edeteato de Sódio	Disodium Edta	Quelante
Ácido Cítrico	Citric Acid	Acidificante
Metossulfato De Berentrimônio	Behenyl Trimonium Methosulfate	Conservante
Isoalquilamidopropiletildimônio Etossulfato	Isoalquilamidopropiletildimônio	Surfactante
Amino Bispropil Dimeticona	Bis-Aminopropyl dimethicone	Emulsificante
Pentaeritritil Tetra-di-t-Butil Hidroxihidrocinnamato	Pentaerythrityl Tetra-Di-T-Butyl Hydroxyhydrocinnamate	Antioxidante
Ácido Fosfórico	Phosphoric Acid	Acidificante

Lote: 02-3314-10

Tabela 8 - Produto C: formulação utilizada nos alisamentos capilares com tioglicolato de amino metilpropanol.

Matérias-primas	INCI Name	Função
Água	Aqua/ Water	Veículo
Aminometil Propanol	Aminomethyl propanol	Alcalinizante
Ácido Tioglicólico	Thioglycolic Acid	Alisante
Petrolato Líquido	Paraffinum Liquidum	Emoliente
Álcool Cetoestearílico	Cetearyl Alcohol	Emoliente
Cloreto de Cetrimônio	Cetrimonium Chloride	Condicionante
Álcool Etílico	Alcohol	Solvente
Bicarbonato de Amônio	Ammonium Bicarbonate	Conservante
Perfume	Parfum	Perfume
Óleo De Rícino Hidrogenado Etoxilado	Peg-40 Hydrogenated Castor Oil	Emoliente
Lanolina Peg-75	Peg-75 Lanolin	Emoliente
Cloreto De Berrentrimônio	Cloreto De Berrenil Trimetil Amônio	Conservante
Álcool Isopropílico	Isopropyl Alcohol	Solvente
Fenil Dimeticona Aminopropílica	Aminopropil Fenil Trimeticone	Condicionante
Cetomacrogol 1000	Ceteareth-20	Emulsificante
Álcool Cetílico	Cetyl Alcohol	
Álcool Estearílico	Stearyl Alcohol	Agentes de
Álcool Miristílico	Myristyl Alcohol	Consistência
Álcool Laurílico	Laureth-2	
Ácido Etidrônico	Ácido De Etidronic	Quelante
Ácido Fosfórico	Phosphoric Acid	Acidificante
Ácido Acético	Acetic Acid	Acidificante
Edta Tetrassódico	Tetrasodium Edta	Quelante
Pentaeritritil Tetra-di-t-Butil Hidroxi-hidrocinaurato	Pentaerythrityl Tetra-Di-T-Butyl Hydroxyhydrocinnamate	Antioxidante

Lote: 28/3447-10

Tabela 9 - Produto D: formulação utilizada na neutralização dos alisamentos capilares com tioglicolato de amino metilpropanol.

Matérias-primas	INCI Name	Função
Água	Aqua/ Water	Veículo
Álcool Cetoestearílico	Cetearyl Alcohol	Emoliente
Cloreto de Cetrimônio	Cetrimonium Chloride	Condicionante
Álcool Etílico	Alcohol	Solvente
Petrolato Líquido	Paraffinum Liquidum	Emoliente
Macrogol	Polyethylene Glycol	Emoliente
Peróxido de Hidrogênio	Hydrogen Peroxide	Neutralizante
Decametilciclopentasiloxano	Cyclopentasiloxane	Condicionante
Dimeticona	Dimethicone	Condicionante
Perfume	Parfum	Perfume
Cetomacrogol 1000	Ceteareth-20	Emulsificante
Fenacetina	Phenoxyethanol	Calmante
Ácido Cítrico	Citric Acid	Acidificante
Poliquatérnio-37	Polyquaternium-37	Estabilizante
PPG-1 Trideceth-6	PPG-1 Trideceth-6	Emulsificante
Propilenoglicol	Propylene Glycol	Umectante
Dicaprilato/Dicaprato	Propylene Glycol Dicaprylate/Dicaprate	Estabilizante
Oleato de Sódio	Sorbitan Oleate	Emulsificante
Copolímero de acrilatos/estearil metacrilato	Acrylates copolymer	Suspensor
Lanolina Peg-75	Peg-75 Lanolin	Emoliente
Edeteato de Sódio	Disodium Edta	Quelante
Metossulfato De Berrentrimônio	Behenyl Trimonium Methosulfate	Conservante
Isoalquilamidopropiletildimônio Etossulfato	Isoalquilamidopropiletildimônio	Surfactante
Amino Bispropil Dimeticona	Bis-Aminopropyl dimethicone	Emulsificante
Óleo de Kernel Orbignya Speciosa	Orbignya Oleifera Oil	Emoliente
Óleo de Soja Hidrogenado	Hydrogenated Soybean Oil	Emoliente
Óleo de Coco	Cocos Nucifera (Coconut) Oil	Emoliente
Óleo de Semente de Linum Usitatissimum (Linhaça)	Linum usitatissimum (Linseed) seed oil	Emoliente
Tocoferol	Tocopherol	Antioxidante
Pentaeritritil Tetra-di-t-Butil Hidroxi-hidrocinnamato	Pentaerythrityl Tetra-Di-T-Butyl Hydroxyhydrocinnamate	Antioxidante
Glicerina	Glycerin	Umectante

Trideceth-6	Trideceth-6	Emulsificante
Ácido Láctico	Lactic Acid	Acidificante
Poliquatérnio-37	Polyquaternium-37	Estabilizante
Ácido Glicólico	Glycolic Acid	Acidificante
Cloreto De Berrentrimônio	Cloreto De Berrenil Trimetil Amônio	Conservante
Sericina	Hydrolyzed Sericin (and) Sericin	Ativo
Cloreto de Hidroxipropiltrimônio de Guar	Guar Hydroxypropyltrimonium Chloride	Viscosidade
Fenoxietanol	Phenoxyethanol	Conservante
Caprilil Glicol	Caprylyl Glycol	Conservante
Óleo de Caróço de Argânia Spinosa	Argania Spinosa Oil	Emoliente
Ácido Fosfórico	Phosphoric Acid	Acidificante
Cinamaldeído	Hexyl Cinnamal	Fragrância
Amil Cinnamal	Amyl Cinnamal	Fragrância
Salicilato de Hexila	Hexyl Salicylate	Fragrância
Citronelol	Citronellol	Fragrância
Salicilato De Benzila	Benzyl Salicylate	Solvente
Cumarina	Coumarin	Fragrância

Lote:20/3043-40

Tabela 10 - Produto E: formulação utilizada para colorir os cabelos - coloração permanente.

Matérias-primas	INCI Name	Função
Água	Aqua/ Water	Veículo
Álcool Cetoestearílico	Cetearyl Alcohol	Emoliente
Hidróxido de amônio	Ammonium Hydroxide	Alcalinizante
Álcool Cetoestearílico 20EO	Ceteareth-20	Emulsificante
Lauril Sulfato de amônio	Lauril Sulfato de amônio	Surfactante
Monoestearato de Glicerila	Glyceryl Stearate	Emulsificante
Palmitato de Glicerila	Glyceryl Palmitate	Emulsificante
Álcool Oleílico	Oleth-5 Phosphate	Surfactante
Butoxietanol	2-Butoxy-aethano	Solvente orgânico
Pentetato Pentassódico	Pentasodium Pentetate	
Perfume	Parfum	Perfume
Cloreto de Berrentrimônio	Cloreto de Berrenil Trimetil Amônio	Condicionante
Amodimeticone	Amodimethicone	
Lauramina Óxida	Lauramine Oxide	Tensoativo anfótero
Cloreto de Estearalcônio	Stearalkonium Chloride	Tensoativo catiônico
Copolímero de Acrilato	Acrylates Copolymer	Viscosidade
Eritorbato de Sódio	Eritorbato de Sódio	Conservante
Álcool Etílico	Alcohol	Solvente
Álcool Isopropílico	Isopropyl Alcohol	Solvente
Sal Potássico de Palmiste	Elaeis guineenses (Palm) Kernel Oil	Emoliente
Hidróxido de Sódio	Sodium hydroxide	Alcalinizante
Sulfito de Sódio	Sodium sulfite	Descolorante
Cloreto de Cetrimônio	Cetrimonium Chloride	Condicionante
Polietilenoglicol-10	PEG-10 Dimethicone	Emulsificante
Éter de Álcool Tridecílico	Alcohols C13	Solvente
Edeteato de Sódio	Disodium Edta	Quelante
Dimetil Lauramina	Dimethyl Laurylamine	Surfactante
Dimetil Miristamina	Oxide dimethyl miristil amine	Espumógeno
Peróxido de Hidrogênio	Hydrogen Peroxide	Neutralizante
Metilcloroisotiazolinona e Metilisotiazolinona	Methylchloroisothiazolinone Methylisothiazolinone Benzyl Alcohol.	Conservante

Limoneno	Limoneno	Perfume
Óleo da Semente de Gossypium Herbaceum	Gossypium Herbaceum Extract	Emoliente
Óleo de Persea Gratissima	Persea Gratissima Oil	
Óleo de Gérmem de Triticum Aestivum	Triticum Aestivum Germ Oil	Antioxidante
Óleo de Milho	Zea mays (Corn) oil	Emoliente
Óleo de Girassol	Helianthus Annuus (Sunflower) Seed Oil	
Óleo de Amêndoas	Prunus Amydalus Dulcis Oil	
Óleo da Semente de Brassica Napus	Brassica napus (Canola) oil	
Óleo da Semente de Carthamus Tinctorius	Carthamus Tinctorius (Safflower) Seed Oil	
Óleo da Semente de Macadâmia Ternifolia	Macadamia Ternifolia Seed Oil	
Óleo da Semente de Linum Usitatissimum	Linum usitatissimum (Linseed) seed oil	

*Podem conter os corantes: Resorcina, p-Fenilenodiamina, p-Aminofenol, m-Aminofenol, Sulfato de p-Metilaminofenol, Sulfato de Tolueno-2,5-diamina, Cloridrato de 2,4-diaminofenoxietanol, 4-Amino-2-Hidroxitolueno, 2-Metilresorcina, 1-Naftol, Sulfato de N,N-bis(2-hidroxietil)-p-fenilenodiamina, 2-Metil-5-Hidroxietilaminofenol, 2-Amino-3 Hidroxipiridina, 5-Amino-6-Cloro-o-Cresol, Sulfato de 1-Hidroxietil 4,5 Diamino Pirazol, Sulfato de Tetraminopirimidina, 2,6-Di-Hidroxietilaminotolueno, Fenilmetil Pirazola, Amarelo Básico 87, Vermelho Básico 51, Laranja Básico 31, 2-Amino-6-Cloro-4-Nitrofenol, Cloridrato de Hidroxietil- 3-4-Metilenodioxianilina.

Lote: C04576

Tabela 11 - Produto F: formulação utilizada para colorir os cabelos - peróxido de hidrogênio.

Matérias-primas	INCI Name	Função
Água	Aqua/ Water	Veículo
Peróxido de Hidrogênio	Hydrogen Peroxide	Oxidante
Álcool Cetoestearílico	Cetearyl Alcohol	Emoliente
Cetomacrogol 1000	Ceteareth-20	Emulsificante
Cloreto de Cetrimônio	Cetrimonium Chloride	Condicionante
Álcool Etílico	Alcohol	Solvente
Óleo da Semente de Macadâmia Ternifolia	Macadamia Ternifolia Seed Oil	Emoliente
Ácido Etidrônico	Ácido De Etidronic	Quelante
Ácido Fosfórico	Phosphoric Acid	Acidificante
Ácido Acético	Acetic Acid	Acidificante
Ácido Edético	Edetic Acid	Acidificante

Lote: 27/3049-10

4.1.3. Equipamentos

Para a realização dos ensaios com as amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC foram utilizados os equipamentos listados abaixo, de acordo com sua finalidade:

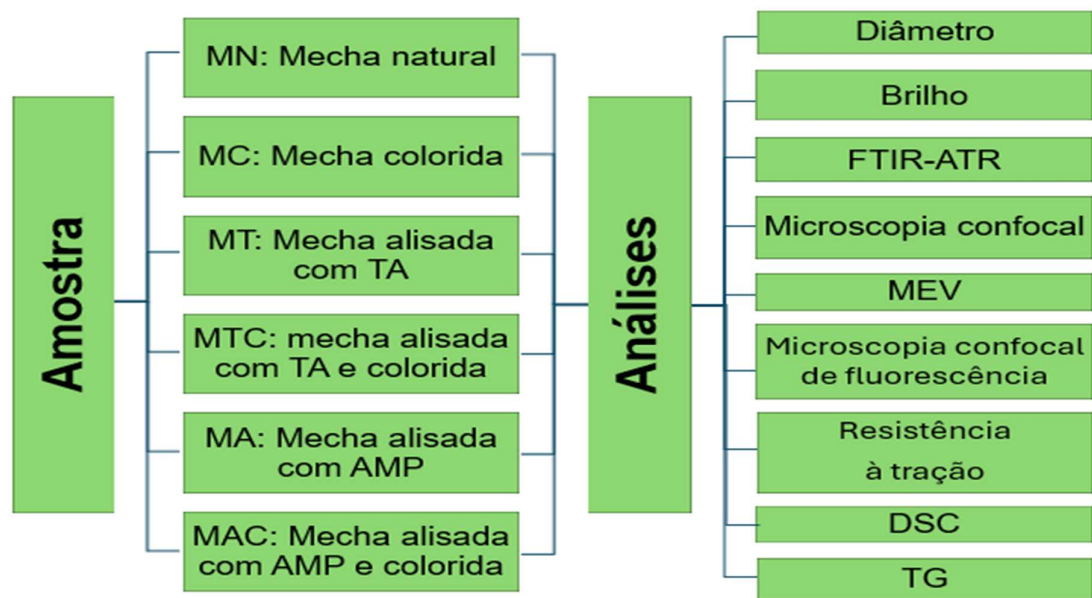
- Auxiliar no alisamento: Secador Dragon 220V e 2200 Watts
- Auxiliar no alisamento: Chapa para cabelos Babyliss Pro Nano Titanium 110V (150 a 230°C)
- Diâmetro: Micrômetro Externo Digital - 0,25mm a 0,001mm (Mitutoyo®)
- Brilho: SAMBA Hair System®
- Microscópio Confocal ALPHA-300R (Witec-)
- Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Jeol 6460LV
- Microscópio Confocal de Fluorescência ZEISS LSM 700
- Espectrofotômetro na Região do Infravermelho - MIRACLE™ Single Reflection ATR - FTIR - Prestige 21 (PIKE Technologies)
- Máquina universal de ensaio MTS Criterion (modelo 42)
- Discovery DSC 25 (TA Instruments, New Castle, EUA)
- Discovery TGA 5500 (TA Instruments, New Castle, EUA)

4.2. Métodos

4.2.1. Esquema das atividades práticas

Todas as atividades práticas realizadas com as amostras de cabelo natural (tipo IV) e processadas com alisamentos alcalinos e coloração, de acordo com o planejado nesta pesquisa, estão resumidas na Figura 27 e os locais e laboratório envolvidos, no Quadro 1.

Figura 27: Esquema das atividades práticas.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Quadro 1: Laboratórios e locais envolvidos na pesquisa

Ensaio	Laboratório e local
Alisamento e coloração	Instituto Abelan - IA. São José do Rio Preto - SP
Diâmetro médio	Instituto de Pesquisa Clínica - IPCLin, Jundiaí - SP
Brilho	
FTIR	Laboratório de Plasmas e Processos do Instituto de Engenharia Espacial do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), em São José dos Campos - SP.
Microscopia confocal	Laboratório de Física da Universidade de São Paulo (USP), Campus de São Carlos - SP
MEV	Instituto de Física da USP. São Paulo - SP
Microscopia confocal de Fluorescência	Laboratório de Bioquímica Aplicada à Engenharia Biomédica. Universidade do Vale do Paraíba - UniVap. São José dos Campos - SP
Resistência à tração	Núcleo de Apoio à Pesquisa em Ciência e Engenharia de Materiais - NAPCEM/UNIFESP. São Paulo - SP
DSC	DEINFAR - Laboratório de Desenvolvimento e Inovação Farmacotécnica - Departamento de Farmácia - FCF/USP. São Paulo - SP
TG	

4.2.2. Higienização das mechas de cabelo

Todas as mechas de cabelos utilizadas nesta pesquisa foram higienizadas em lavatório de cabeleireiro com água a temperatura ambiente e com solução aquosa de lauril éter sulfato de sódio (LESS) a 10%. Em seguida foram enxaguadas abundantemente e secas suavemente, com auxílio de toalhas de tecido higienizadas. Foram mantidas sobre a bancada à temperatura ambiente até a secagem total, e após, armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e identificados (SILVA, 2015). A Figura 28 mostra a higienização das mechas naturais de cabelo caucasiano tipo IV e o enxágue abundante.

Figura 28: Higienização das mechas naturais de cabelo caucasiano tipo IV (a) e o enxágue abundante das mechas de cabelo natural caucasiano tipo IV (b).



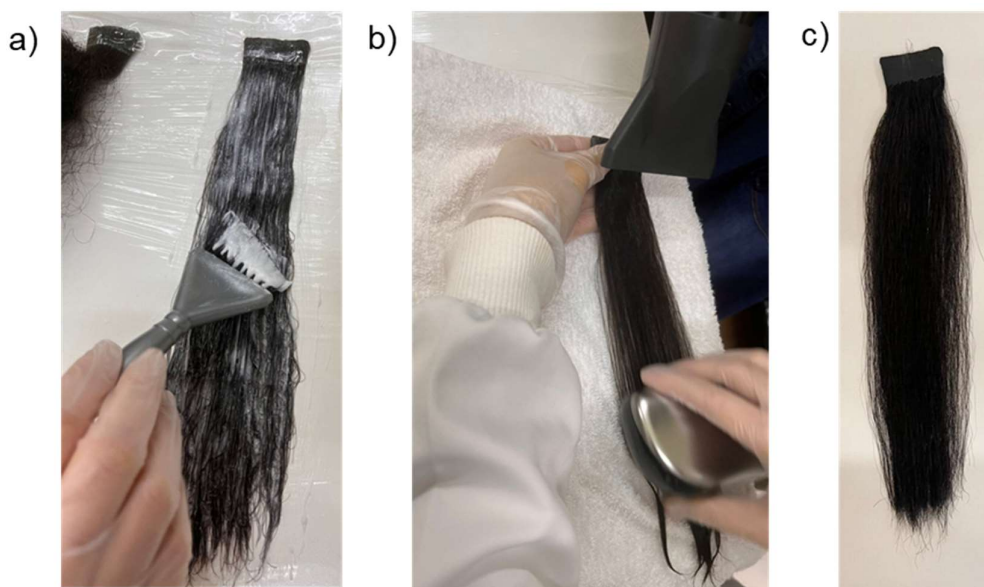
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

4.2.3. Alisamento das mechas capilares

Para o processo de alisamento com os tiois não é necessário qualquer tipo de preparo desses cosméticos, basta utilizá-los como são adquiridos, puros. É importante salientar o uso de luvas no manuseio e uso dos alisantes, pois o pH das formulações é alcalino e pode sensibilizar as mãos.

As mechas higienizadas e padronizadas como MT e MTC foram alisadas com 20 g de tioglicolato de amônio cada e as mechas MA e MAC foram alisadas com 20 g de tioglicolato de amino metilpropanol cada. Os alisantes tioglicolato de amônio e tioglicolato de amino metilpropanol foram aplicados nas mechas capilares utilizando a mesma técnica, descrita da seguinte forma: aplicar, com auxílio de um pincel plástico para cosméticos capilares, uma camada farta e homogênea dos alisantes sobre toda extensão dos cabelos. Deixar as mechas em repouso, aguardar 30 minutos e enxaguar abundantemente. Apoiá-las sobre uma toalha de tecido higienizada, retirar o excesso de água e, então, secá-las cuidadosamente com secador. Após a evaporação de toda água, utilizar a chapinha em toda mecha, por três vezes (temperatura de 150°C). Em seguida, aplicar, também com auxílio de um pincel plástico para cosméticos, uma camada farta e homogênea de 20 g de neutralizante. Deixar as mechas em repouso, aguardar 20 minutos e enxaguar abundantemente. Apoiá-las sobre outra toalha de tecido higienizada, retirar o excesso de água e, então, secá-las cuidadosamente com o secador e armazená-las em sacos plásticos lacrados e identificados. A Figura 29 mostra o processo de alisamento, a secagem e a mecha alisada.

Figuras 29: Aplicação dos alisantes (a), secagem (b) e mecha após alisamento (c)



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

4.2.4. Coloração das mechas capilares

Assim como no caso dos alisantes, no momento do preparo e aplicação da coloração se fez necessário o uso das luvas para proteção das mãos. Após os processos de alisamento capilar, as mechas MTC (alisadas com tioglicolato de amônio e posteriormente coloridas) e MAC (alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol e posteriormente coloridas) secas foram tratadas com coloração permanente na cor número 6.0 (louro escuro).

O preparo foi realizado homogeneizando 45g ao peróxido de hidrogênio a 20 volumes (6%) em recipiente plástico com 30g de coloração, a proporção usada foi de 1:1,5, o que é descrito pelo fabricante. Com o auxílio de um pincel plástico para cosméticos capilares, aplicar uma camada farta e homogênea da mistura dos cosméticos sobre as mechas, aguardar 40 minutos, enxaguar abundantemente e secá-las com auxílio de toalhas de tecido higienizadas. Após, deixá-las sobre a bancada até secagem total em temperatura ambiente e armazená-las em sacos plásticos selados e identificados (Figura 30).

Figura 30: Mecha com aplicação da mistura colorante (a) e mecha colorida e seca (b).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

4.2.5. Técnicas aplicadas à variação das propriedades mecânicas e térmicas das mechas capilares

Todos os procedimentos cosméticos para uso capilar, seja para alterar a forma, a cor e a textura, legalmente registrados são seguros, mas essa segurança não está livre de causar danos aos fios. Esses danos, claramente, são variados e para ajustá-los, muitos parâmetros devem ser considerados. Sabe-se que as principais queixas dos após a transformação química são: aumento do frizz, da opacidade, da aspereza e do embaraçamento dos fios, chegando até a quebra e, em casos mais graves, atinge o couro cabeludo, podendo levar a alopecia precoce, por exemplo (Sinclair, 2007).

Para isso, a pesquisa realizada verificou as possíveis alterações causadas nas mechas capilares por cosméticos alisantes contendo tioglicolato de amônio e tioglicolato de amino metilpropanol isoladamente e associados à coloração do tipo permanente na cor 6.0 (louro escuro), utilizando as técnicas descritas nas Figuras 29 e 30.

4.2.5.1. Técnicas aplicadas à variação das propriedades mecânicas

Para a avaliação das alterações nas propriedades mecânicas ocorridas nas mechas de cabelo natural (MN) e tratadas cosmeticamente com alisantes TA (MT) e AMP (MA) isolados e seguidos de coloração do tipo permanente (MC, MTC e MAC), foram: determinação do diâmetro médio dos fios, determinação do brilho, FTIR- ATR, imagens microscópicas confocal, imagens obtidas por microscopia confocal de fluorescência, imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e resistência à tração.

4.2.5.1.1. Determinação do diâmetro médio das amostras

A medição do diâmetro médio (geralmente em mm ou μm) dos fios fornece informações importantes do comportamento dos cabelos na presença de formulações cosméticas com pH distintos e tratamentos térmicos. Por exemplo, em pH ácidos a fibra tende a retrair e em pH alcalinos, tende a expandir. No entanto, fibras que se

expandem, estão mais espessas, porém pode não significar maior resistência e vice-versa (Halal, 2012).

Este ensaio foi realizado em parceria com o Instituto de Pesquisa Clínica - IPClin, Jundiaí-SP, utilizando um Micrômetro Externo Digital - 0,25mm a 0,001mm (Mitutoyo®) (Figura 31). Foram submetidos 20 fios de cada amostra de cabelo para a obtenção do diâmetro médio, onde cada fio foi medido em 3 partes (próximo à raiz, meio e na ponta). O valor médio foi utilizado para calcular os parâmetros relacionados às propriedades mecânicas.

Figura 31: Micrômetro Externo Digital - 0,25mm a 0,001mm (Mitutoyo®).



Fonte: www.mitutoyo.com.br

4.2.5.1.2. Determinação do brilho

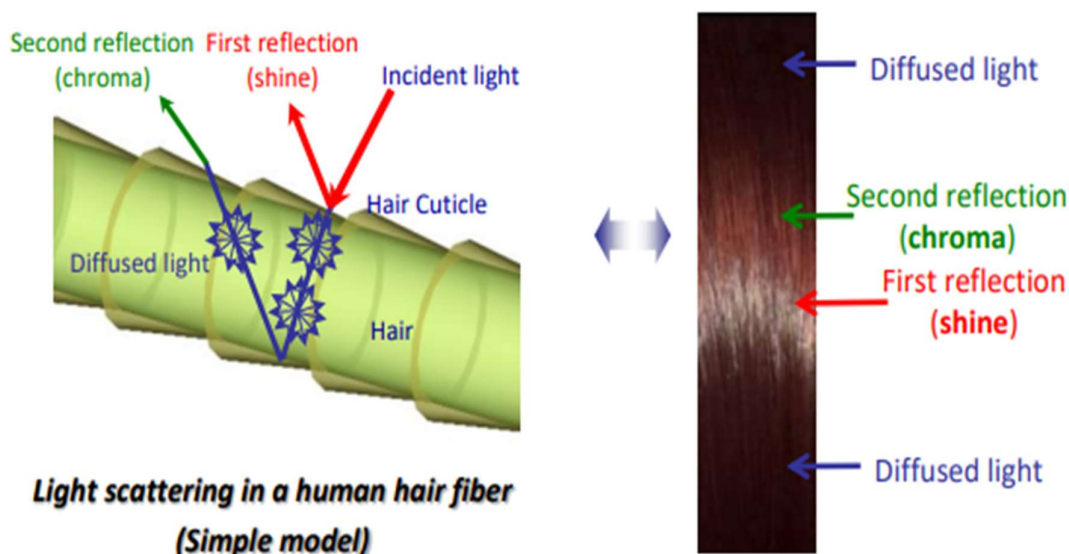
Para os consumidores de cosméticos capilares, o efeito visual positivo é um objetivo fundamental, sendo o brilho uma das características mais importantes.

A percepção do brilho pode ser afetada por muitos fatores: condição da superfície da fibra capilar, iluminação do ambiente, cor e reflexo do cabelo, densidade do fio e alinhamento da cutícula (Gao; Pereira; Zhu, 2009).

Para avaliar a luminosidade ou brilho dos cabelos (*in vivo* e *in vitro*), emprega-se o dispositivo SAMBA Hair®, que submete uma amostra de mecha capilar a feixes de luz e registra as diversas formas de reflexão luminosa. Graças à sua capacidade de iluminação polarizada, o aparelho distingue entre reflexões especulares e difusas (Gao; Pereira; Zhu, 2009).

Enquanto a reflexão especular fornece dados sobre o brilho e a textura da superfície capilar, a luz difusa oferece informações acerca da tonalidade do cabelo (Jiang, *et al.*, 2023).

Figura 32: Esquema da interação da luz com o cabelo.



Fonte: <https://www.bossanovavision.com>

O valor de intensidade para este padrão estabelecido é menor que 100 GU (do inglês “Gloss Units” ou simplesmente Unidade de Brilho). Ao atingir a mecha de cabelo, a polarizada pode interagir de três formas distintas (Figura 32):

- brilho: reflexão de superfície branca polarizada (mesma cor da luz incidente).
- croma: reflexão polarizada colorida inferior do cabelo.
- cor do cabelo: luz difusa não polarizada proveniente do espalhamento interno.

Este ensaio foi realizado em parceria com o Instituto de Pesquisa Clínica - IPClin, Jundiaí - SP, utilizando o equipamento da marca Bossa Nova SAMBA Hair® (Figura 33).

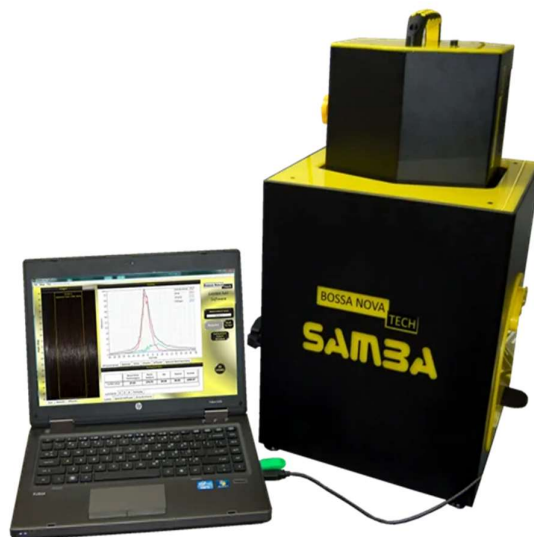
A reflectância de luz para determinação do potencial de brilho do cabelo é feita seguindo o princípio da captação da reflexão especular da luz após ser incidida na amostra, num ângulo de 45°, medindo a alteração da direção de propagação da energia no retorno da energia incidente em direção à região de onde ela é oriunda, após entrar em contato com uma superfície refletora.

Todas as mechas analisadas de cabelo tinham, aproximadamente, 3g e 25 cm de comprimento e, durante as medidas, foram mantidas em ambiente controlado com

55% (+/- 5%) de umidade relativa e 22°C (+/- 2°C) de temperatura, sendo que todas as análises foram realizadas em triplicata.

As medidas são obtidas em 10 pontos diferentes ao longo da extensão de cada mecha.

Figura 33: Equipamento SAMBA Hair System ®.



Fonte: <https://www.bossanovavision.com/homepage/cosmetic-testing/samba-hair/>

4.2.5.1.3. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR)

Esta técnica é de grande importância na análise qualitativa orgânica e pode ser utilizada para investigar elementos bioquímicos como lipídios, carboidratos, proteínas e ácidos nucleicos, além de grupos funcionais e interações intermoleculares, em diferentes amostras de tecidos biológicos, com baixa capacidade destrutiva, ou seja, a mesma amostra pode ser utilizada para outras diferentes análises (Lopes; Fascio, 2004; Pienpinijtham, 2008; Lau, *et al.*, 2011; Lima, *et al.*, 2019; Zhu, *et al.*, 2024).

Sobre a amostra é incidida a radiação de infravermelho que, após atravessar a mesma, parte dela é absorvida e outra parte é transmitida (Lima, *et al.*, 2019; Zhu, *et al.*, 2024).

A radiação transmitida é comparada diretamente com a transmitida na ausência da amostra. Esta interação direta entre radiação e amostra fornece um espectro

molecular de absorção e transmissão, possibilitando o estudo do comportamento da amostra, pois nesse tipo de espectroscopia é possível observar a transição entre diferentes estados de energia vibracional das moléculas orgânicas (Solomons, 2001; Gasparin, 2019).

Essas transições energéticas estão envolvidas por movimentos de torção e vibração das ligações covalentes, em comprimentos de ondas específicos e característicos. Os gráficos que expressam e registram as bandas nos mostram a energia absorvida gerando mudanças de dipolo (Lima, 2016; Sundaramoorthi, *et al.*, 2017).

No estudo de Barton (2011), foram exploradas diversas características dos cabelos utilizando espectroscopia na região do infravermelho com Reflectância Total Atenuada (ATR).

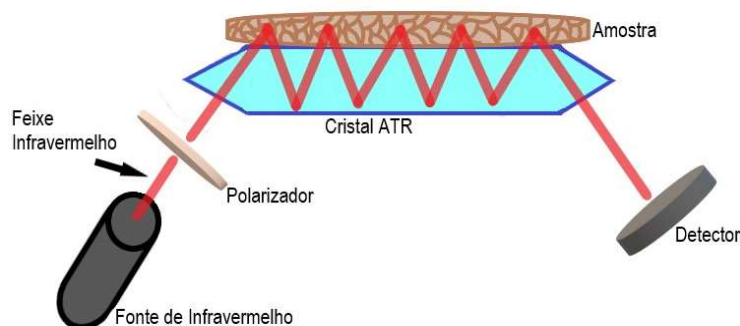
Este método permitiu a identificação das principais bandas presentes nos espectros, assim como as alterações na estrutura causadas pelos processos químicos aos quais as amostras foram submetidas. Além disso, o autor destacou as distinções entre os espectros obtidos por diferentes técnicas, evidenciando as vantagens do método ATR em relação aos demais, como por exemplo:

- Os espectros adquiridos exibiram superior qualidade;
- Não ocorreu perda de informação estrutural química, ao oposto do que se verifica com métodos alternativos, reconhecendo componentes tanto da camada exterior (cutícula) quanto de áreas circundantes do córtex;
- Comprovou-se ser uma abordagem mais eficiente em termos de tempo;
- O preparo das amostras acontece de maneira descomplicada e não invasiva.

O uso da técnica de FTIR-ATR (Figura 34) é caracterizado por ser uma espectroscopia de reflexão interna, onde a amostra é colocada em contato com um elemento de reflexão interna que apresenta alto índice de refração, deste modo, a radiação atravessa o elemento de reflexão e finalmente é refletida e direcionada para o detector conveniente.

Devido ao seu modo de obtenção de espectros, esta técnica é muito difundida para uso com amostras de difícil manuseio (Hind; Bhargava; McKinnon, 2001; Skoog; Holler; Nieman, 2002; Mendham, *et al.*, 2002).

Figura 34: Representação esquemática do FTIR-ATR.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Usualmente os elementos de reflexão interna usados pela técnica ATR se tratam de cristais feitos de materiais que têm altos índices de refração, além de baixa solubilidade em água, sendo eles; o seleneto de zinco (ZnSe), o germânio (Ge), iodeto de tálio (KRS-5) e o diamante (Mendham, *et al.*, 2002).

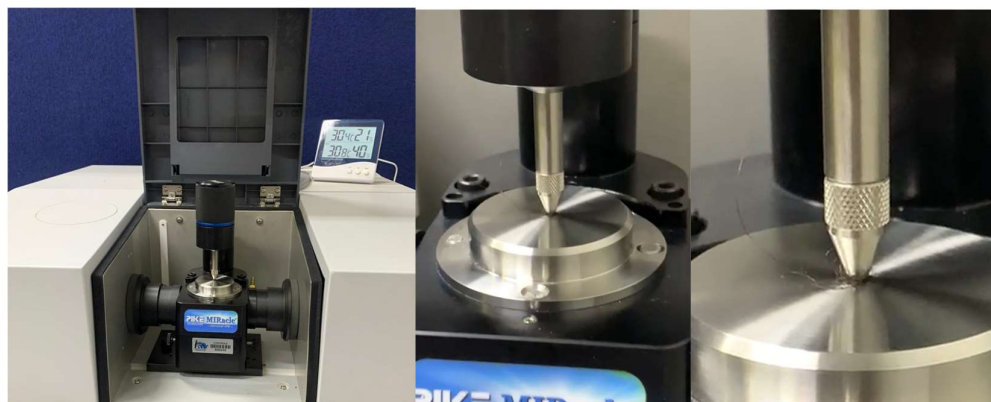
Embora a reflexão interna total aconteça entre a amostra e o elemento de reflexão, a radiação, que também é denominada como onda evanescente, só penetra de forma efetiva na amostra até uma curta distância, onde então é absorvida. Deste modo, o espectro de absorção de uma amostra em contato com elemento de reflexão pode ser obtido e variar conforme os parâmetros a seguir: ângulo de incidência (θ), índice de refração dos materiais do elemento de reflexão interna (n_1), e da amostra (n_2).

As análises das amostras dos fios de cabelo foram realizadas em quintuplicata, usando o equipamento MIRACLE™ SINGLE REFLECTION ATR - FTIR - Prestige 21 (PIKE Technologies) (Figura 35), faixa espectral de 450 a 4000 cm^{-1} , a resolução ajustada em 4 cm^{-1} para avaliar o comportamento cosmético dos tratamentos utilizados (alisamento por oxirredução e coloração). As medições espectrais FTIR foram realizadas à temperatura ambiente (Sundaramoorthi, *et al.*, 2017).

Técnica utilizada com o objetivo de identificar e avaliar alterações físico-químicas na estrutura das mechas capilares tratadas com formulações cosméticas de alisantes e colorantes.

Os ensaios de FTIR-ATR foram realizados no Laboratório de Plasmas e Processos do Instituto de Engenharia Espacial do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), em São José dos Campos - SP.

Figura 35: MIRACLE™ SINGLE REFLECTION ATR - Prestige 21 (PIKE Technologies).



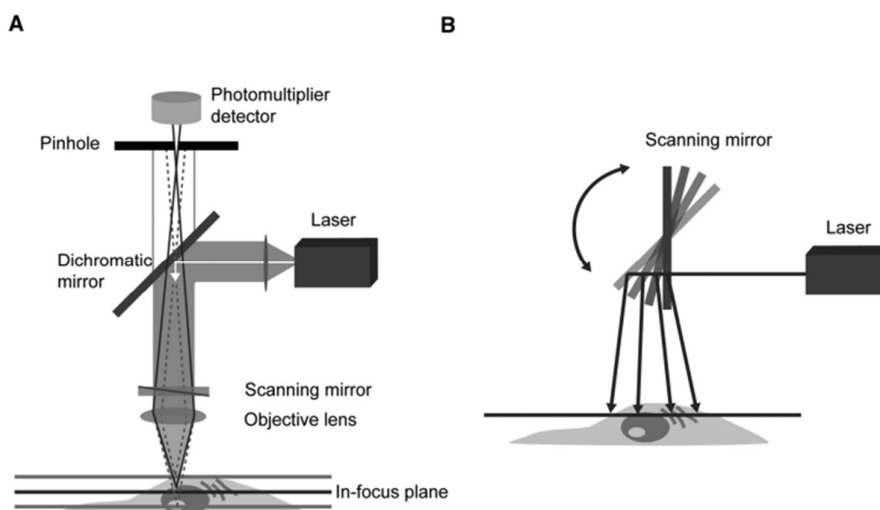
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

4.2.5.1.4. Microscopia confocal

É uma tecnologia que auxilia na captação de imagens microscópicas de alta resolução mais focadas, pois sua estrutura do equipamento possibilita filtrar a luz com baixo foco, principalmente de amostras de tecidos espessos (Figura 36).

Há vários tipos de microscópios confocais no mercado. Esta tecnologia fornece capacidade de coletar imagens de vários tipos de amostras, inclusive na área médica para a realização de biópsia e nas ciências de materiais (Elliot, 2020).

Figura 36: Componentes de um microscópio confocal. (A) Imagem esquemática e (B) em destaque os espelhos que fazem a varredura da imagem.



Fonte: Elliot, 2020

Nwaneshiudu *et al.* (2012), listaram as principais vantagens e limitações do uso desse tipo de microscopia, são elas: imagens de alta resolução e alto contraste, reconstrução de imagens 3D e ausência de problemas com a amostra, encolhimento, perda de gordura, ausência do fluxo sanguíneo e microscopia *in vivo* até uma profundidade de pele de cerca de 200 μm e as limitações são: baixa profundidade da imagem, fotodegradação de sondas fluorescentes e a fototoxicidade de amostras vivas e alto custo em relação à microscopia convencional.

Figura 37: Microscópio confocal ALPHA-300R (Wltec).



Fonte: <https://sacchidesign.com.br/instrutecnica/produto/alpha300-r/>

As imagens das amostras de cabelo foram obtidas pelo equipamento Microscópio Confocal ALPHA-300R (Wltec) no Laboratório de Física da Universidade de São Paulo (USP), Campus de São Carlos - SP, sendo munido de LASER de diodo de 785 nm com objetiva de 100x (Figura 37).

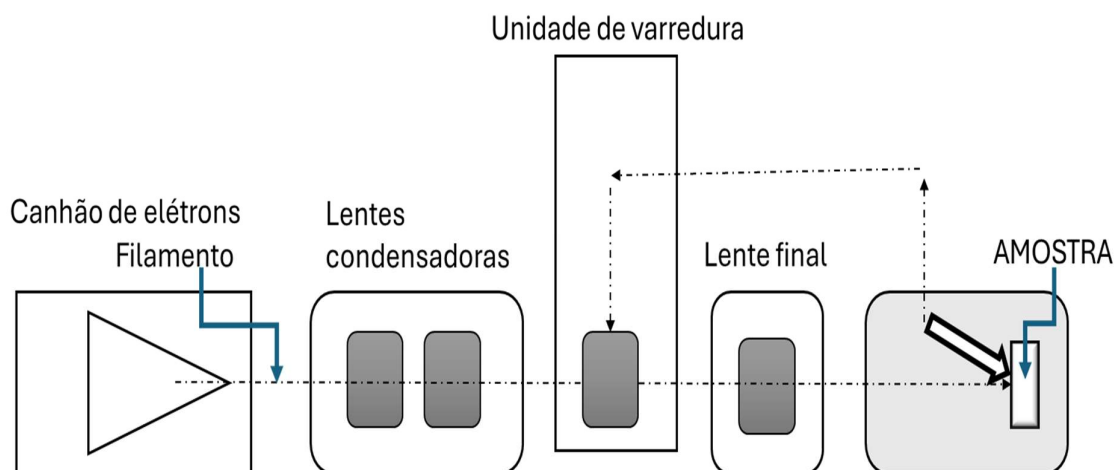
4.2.5.1.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (Figura 38) é uma ferramenta importante utilizada para obter imagens da superfície de amostras com informações dos detalhes, possibilitando a observação de danos (químicos e físicos) causados à cutícula, bem como a deposição de substâncias que compõem as formulações cosméticas utilizadas

para tratamentos de haste como máscaras capilares, condicionadores, cremes sem enxágue e soluções siliconadas para proteção térmica (SILVA, 2012).

Podem ser observados espaços vagos entre as células cuticulares e também a adesão entre elas, a fim de verificar alterações no CMC (Lima, *et al.*, 2016).

Figura 38: Representação esquemática do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024), adaptado de Costa, 2016.

O equipamento fornece as imagens por emissão de feixes de elétrons em um sistema de bobinas que guiam os feixes no sentido de promover a varredura da superfície da amostra sólida de forma detalhada (ponto a ponto).

Tais informações são transmitidas a um detector de raio-X e as imagens são capturadas em uma superfície com fina camada de ouro (Tomes, *et al.*, 2007; Souza, *et al.*, 2007; Dedavid; Gomes; Machado, 2007)

As análises foram realizadas no Instituto de Física da USP. São Paulo - SP, onde todas as amostras foram metalizadas com fina camada de ouro (Au), por meio de processo de pulverização (*sputtering*).

O equipamento microscópio eletrônico de varredura (MEV) JEOL 6460LV, no modo de elétrons secundários e tensão acurada de 20 kV (Figura 39), foi utilizado para avaliar, detalhadamente, a aparência geral, alterações morfológicas e estruturais, afinidade por produtos capilares e a superfície e adesão de partículas na superfície das amostras (Silva, 2015).

Figura 39: Microscópio eletrônico de varredura (MEV) JEOL 6460.



Fonte: <https://www.jeol.com/products/scientific/sem/>

4.2.5.1.6. Microscopia Confocal de Fluorescência

Como descrito nos itens 2.1 (o cabelo) e 2.3 (colorantes capilares), a melanina (feomelanina e eumelanina) é o pigmento natural produzido pelos melanócitos, que, presente no córtex, propicia as mais diferentes cores, indo do preto até o mais claro tom amarelado.

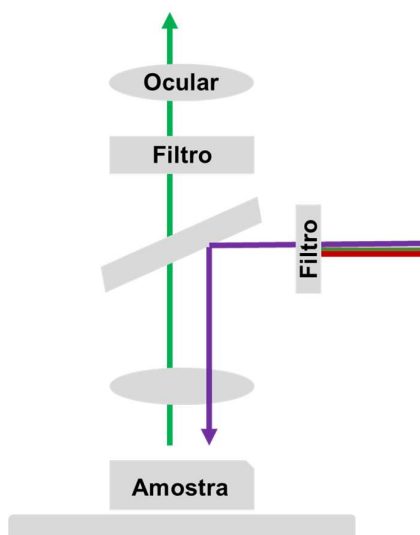
Estes pigmentos são moléculas poliméricas com características e propriedades físico-químicas diferentes, onde a feomelanina apresenta átomos de enxofre, tem cores que variam do vermelho ao amarelo e possui maior resistência em relação à degradação oxidativa, quando comparada ao pigmento eumelanina, que tem tons mais escuros (preto e marrom) e é insolúvel em soluções alcalinas. A melanina possui autofluorescência e quando sofre oxidação, por cosméticos, por exemplo, apresenta aumento considerável nessa característica fluorescente (Prota, 2000; Kerimo; Rajadhyaksha; DiMarzio, 2011; Witt, et al., 2016).

A microscopia óptica de fluorescência (emissão de luz não térmica) aproveita a capacidade de certas moléculas de emitir luz quando expostas a uma radiação luminosa, devido às suas propriedades fluorescentes de fluoróforos ou fluorocromos. Por isso, quando essas moléculas interagem com as proteínas, no caso dos cabelos, podemos visualizá-las nos meios onde foram difundidas. Então, esta localização é permitida, uma vez que o equipamento fornece imagens fluorescentes contra um fundo escuro, onde não houve interação com os corantes de fluorescência (Tsutae;

2016).

O processo acontece da seguinte forma: a amostra a ser analisada é colocada sob uma base e exposta a uma alta energia radiativa (xenônio ou LED), onde a interação promovida faz com que a amostra absorva os fótons luminosos e se energize. Ao diminuir a energia excitatória, as moléculas respondem emitindo luz visível detectada pelo microscópio, evidenciada pelo uso do corante fluorescente (Haque, *et al.*, 2013; Tsutae; 2016).

Figura 40: Esquema do microscópio de fluorescência.



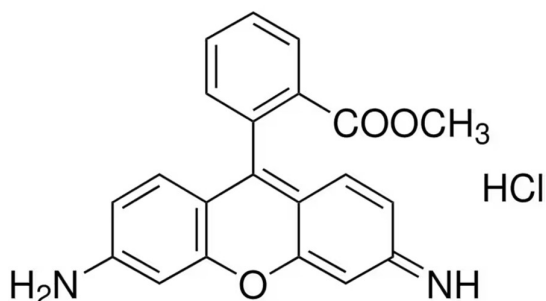
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024). Baseado em:
<https://www.microscopioelectronico.top/microscopio-de-fluorescencia/>

O microscópio confocal de fluorescência possui composição complexa (Figura 40) e, na composição das lentes, há filtros que controlam os comprimentos de onda que atingem a amostra. Esta tecnologia é um avanço analítico significativo, pois permite extrair imagens nítidas de tecidos, células, organelas (mitocôndrias, complexo de golgi, por exemplo), entre outras, já que seus fluoróforos podem permear membranas, difundir de forma intercelular, marcar anticorpos, identificar microrganismos e investigar ácidos nucleicos, inclusive de células vivas (Witt, *et al.*, 2016; Barra, 2021; Cunha, 2023).

Para a obtenção de dados utilizando este tipo de microscopia, utiliza-se substâncias fluorescente, no caso desta pesquisa utilizou-se a Rodamina 123 (fluorona) (2-(6-Amino-3-imino-3H-xanthen-9-yl)benzoic acid methyl ester) (Figura 41), que é um corante verde fluorescente, catiônico, permeável às células e solúvel

em água, etanol e metanol, amplamente utilizado em citometria para marcação de proteínas (www.sigmaaldrich.com).

Figura 41: Estrutura molecular da Rodamina 123.



Fonte: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/product/sigma/83702>

Na constituição química da haste capilar (item 2.1.2.) podemos destacar a importância da cutícula (região mais externa) na difusão de moléculas para regiões mais internas da fibra. As formas citadas de difusão por entre as células cuticulares são: transcelular (rota utilizada por substâncias de baixo peso molecular e com propriedades hidrofílicas) e intercelular (trajeto de moléculas maiores e com hidrofobicidade) (Kelch, *et al.*, 2000).

As mechas aqui estudadas foram tratadas com alisantes e colorantes alcalinos, que agiram na cutícula e córtex para alterar a forma e a cor. As imagens da microscopia confocal de fluorescência possibilitou observar se a difusão da solução aquosa do corante fluorescente Rodamina 123 foi intensificada ou prejudicada ao compararmos com a amostra de cabelo natural não tratada (MN).

A microscopia confocal de fluorescência foi realizada no Laboratório de Bioquímica Aplicada à Engenharia Biomédica, na Universidade do Vale do Paraíba - UniVap, em São José do Campos-SP. Os ensaios foram realizados em triplicata no microscópio confocal de fluorescência ZEISS LSM 700 (Figura 42), utilizando solução aquosa do corante fluorescente Rodamina 123 a 2%, adquirida da empresa Thermo Fisher.

Das amostras de cabelo foram selecionados 30 fios de cada uma (quadruplicata), com comprimento médio de 10 cm. Durante a realização do experimento, a temperatura e umidade relativa do ar foram padronizadas em 21°C e 50%, respectivamente.

Figura 42: Imagem do microscópio confocal de fluorescência ZEISS LSM 700.



Fonte: <https://www.zeiss-700-microscope/>

4.2.5.1.7. Resistência à tração

Com este ensaio para determinar a resistência dos fios que compõem as amostras podemos avaliar possíveis alterações cuticulares e corticais, por meio da comparação dos resultados (Lima, 2016).

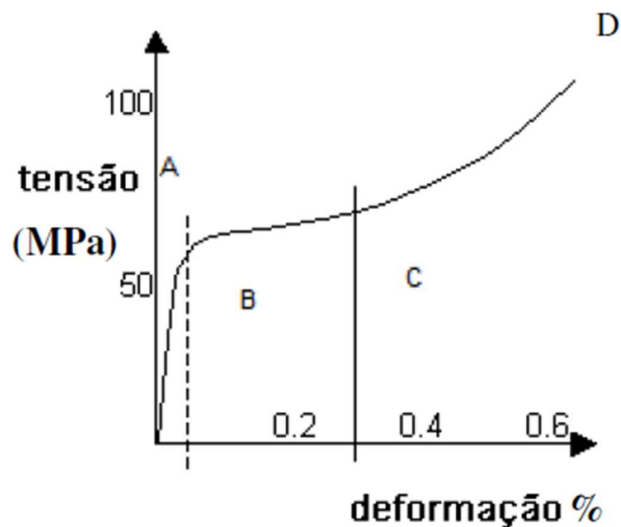
O cabelo possui propriedades mecânicas, dentre elas, sua capacidade de se estender (extensibilidade), que é obtida por meio da soma das propriedades de cada ligação molecular entre os aminoácidos que compõem e mantém a estrutura proteica (Wolfram, 2013).

A estrutura capilar é complexa e rearranjo estrutural das proteínas fornecem aos fios uma capacidade de resistência física considerável, onde um fio de cabelo do tipo caucasiano saudável pode suportar uma variação de massa de 50 a 100g, sem que se rompa, equivalente a 12 kg/mm^2 (Lima, 2016; Goshiyama, 2019).

A deformação capilar pode ser avaliada ao se aplicar uma força de estiramento diretamente sobre o fio e a mesma acontece em três fases diferentes (representadas na Figura 43 - letras A, B, e C) até que aconteça o rompimento total do cabelo, são elas: A: Hookeana ou elástica (até 3% de alongamento, comparado ao comprimento inicial); B: região plástica (entre 3 a 30%) e C: região pós-plástica (acima de 30%) (Lima, 2016; Wagner, 2006; Goshiyama, 2019).

Para medir a resistência à tração das mechas de cabelo utilizou-se um equipamento que usa a tensão ou carga para causar uma distensão de até 2% do comprimento inicial das mechas devido à propriedade elástica até a ruptura total (SILVA, 2015).

Figura 43: Curva de tensão-deformação da fibra capilar (fases da deformação).



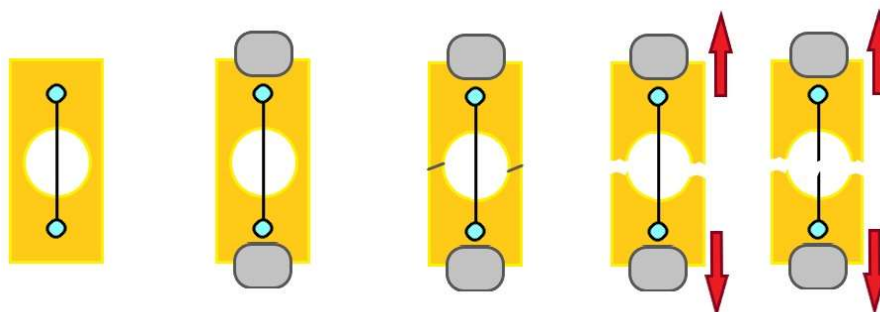
Fonte: Wagner, 2006

Os ensaios de resistência à tração (Figura 44) foram realizados de acordo com a norma ASTM C 1557-20, utilizando uma máquina universal de ensaio MTS Criterion (modelo C42). Com esta metodologia internacional, pode-se medir a resistência à tração e módulo de Young de diversos materiais como cerâmica, vidro e muitos tipos de fibras, dentre elas o cabelo.

A resistência à tração é calculada a partir da razão entre o pico de força e a área da seção transversal de um plano perpendicular ao eixo da fibra e o módulo de Young é determinado a partir da região linear da curva de tensão de tração versus deformação de tração.

Pelo menos 20 monofilamentos de cada tipo de amostra foram ensaiados. As análises foram realizadas no Núcleo de Apoio à Pesquisa em Ciência e Engenharia de Materiais - NAPCEM/UNIFESP. São Paulo - SP.

Figura 44: Ilustração do ensaio de resistência à tração.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

4.2.5.2. Técnicas aplicadas à variação das propriedades térmicas

Para a avaliação das alterações nas propriedades térmicas ocorridas nas mechas de cabelo natural (MN) e tratadas cosmeticamente com alisantes TA (MT) e AMP (MA) isolados e seguidos de coloração do tipo permanente (MC, MTC e MAC), foram: DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial) e TG (Termogravimetria).

No estudo das mechas de cabelo, a análise térmica considera este material um biopolímero com filamentos intermediários compreendendo a fase cristalina envolvidos por uma matriz amorfa, que é a associação de proteínas com alto teor de glicina e tirosina interagindo com os filamentos intermediários, por meio de ligações dissulfeto intermoleculares (Robbins, 2012; Lima, 2016; Oliver, *et al.*, 2020).

Ensaio térmicos são muito utilizados para caracterizar amostras capilares e descrever o comportamento térmico com os efeitos de desidratação e fusão da estrutura cristalina da α -queratina, sendo as mais utilizadas e realizadas nesse estudo a calorimetria exploratória diferencial (DSC) e a termogravimetria (TG) (Cao, 1999; Lima, *et al.*, 2019).

Os dados gerados pelos ensaios de DSC são usados para estudar o comportamento térmico das mechas analisadas e detectar as possíveis alterações geradas por diversos tipos de tratamentos cosméticos, tanto para reparar quanto para identificar danos por alteração de formas e cores. Já os resultados da TG indicam mudanças na massa em função do tempo, ou seja, estabilidade térmica (Oliver, *et al.*, 2020).

O Quadro 2 mostra, de forma resumida, a comparação entre as propriedades físicas medidas e usos relacionados à DSC e TG.

Quadro 2: Comparação entre TG e DSC.

Técnica	Abreviatura	Propriedades	Usos
Termogravimetria	TG	Massa	Decomposição Desidratação e Oxidação
Calorimetria Exploratória Diferencial	DSC	Entalpia	Mudança de fase Capacidade de calor Calorimetria

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024), adaptado de Denari; Cavaleiro, 2012

4.2.5.2.1. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é uma técnica de análise térmica que detecta eventos associados ou não à perda de massa, que mede a diferença de energia que foi fornecida à uma substância ou material referenciado (com estabilidade térmica), em função da temperatura, enquanto este sistema é submetido a temperatura controlada. Os materiais submetidos à essa análise (material de referência e amostra) são colocados em cadinhos idênticos e padronizados no interior de um disco termoelétrico e aquecidos de forma única e controlada, com isso, são obtidos os gráficos com as curvas DSC com picos descendentes (endotermia) e ascendentes (exotermia) (Machado; Matos, 2004; Lima, 2016).

A aplicação crescente do uso do DSC em análise de cabelos mostra o destaque da técnica na obtenção de dados seguros sobre as possíveis alterações causadas na haste por agentes químicos ou físicos. Ensaio que utiliza a variação de temperatura das amostras para determinar processos químicos e físicos como fusão, temperatura de transição vítrea, mudança de massa e decomposição. Trata-se de uma técnica já utilizada desde a década de 60, tanto aplicada a cabelos como lãs, que foram identificados como materiais biológicos muito parecidos, em relação à composição e comportamento proteico (Monteiro, Maciel, Longo, 2005; 2015; Lima, 2016; Popescu, Gummer, 2016).

O preparo da amostra foi da seguinte forma: todo equipamento e utensílios foram sanitizados, previamente, com álcool 70% para retirada de sujidades para não contaminação da amostra. Em seguida, os fios das amostras de cabelo foram cortados em duas partes com a finalidade de ser usada para a análise da parte mais central do cabelo, evitando a parte mais próxima a raiz e a região das pontas. Em seguida, a região central da mecha de cabelo foi cortada em tamanhos semelhantes em um comprimento pertinente ao preenchimento do cadinho.

As amostras foram cuidadosamente pesadas em cadinhos não herméticos de alumínio (Tzero Pan - T 190307 - 901683.901) e Tzero Lid (T 190213 - 901671.901) no equipamento Discovery DSC 25 - TA Instruments, New Castle, EUA (Figura 45). Usou-se uma faixa de temperatura de 25 a 300°C, sob taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹ e 50 mL.min⁻¹ de vazão de nitrogênio

Figura 45: Discovery DSC-25.



Fonte: <https://www.tainstruments.com/dsc-25/>

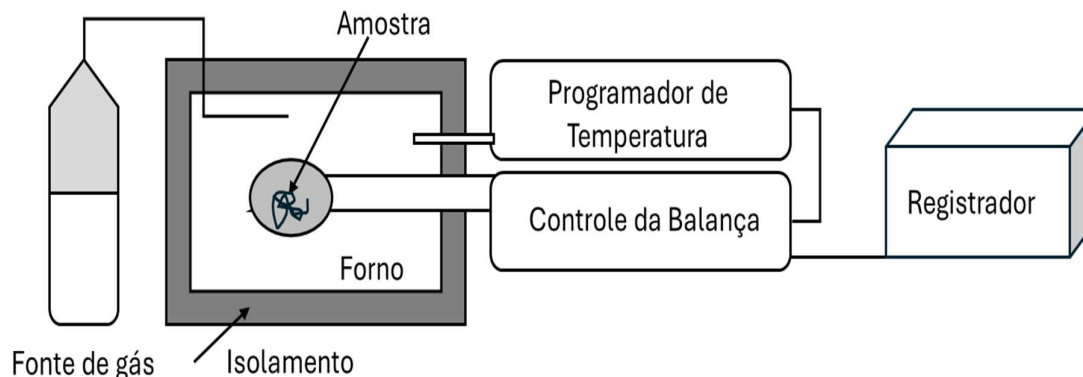
4.2.5.2.2 Termogravimetria (TG)

A TG é uma técnica termoanalítica que possibilita avaliar o comportamento de amostras, em condições atmosféricas controladas, e ter informações precisas da variação de massa (perda ou ganho) em função do tempo ou temperatura.

Os equipamentos (Figura 46) são munidos de balanças analíticas que permitem os registros constantes correspondentes à variação de massa causada pelo

aquecimento da amostra, e essas variações são organizadas em gráficos (curvas) que são interpretados e fornecem informações sobre a termoestabilidade e composição da amostra, sobre os resíduos formados e possíveis produtos intermediários (Silva; Paola; Matos, 2007; Denari; Cavaleiro, 2012; Lima, *et al.*, 2019).

Figura 46: Diagrama de um equipamento de termogravimetria (TG) genérico.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024), adaptado de Denari; Cavaleiro, 2012

Alguns fatores devem ser controlados, durante as análises TG, pois podem afetar diretamente os resultados, são eles: atmosfera e razão de aquecimento do forno, geometria do suporte da amostra, composição do suporte da amostra, sensibilidade da balança, natureza da amostra, condutibilidade térmica da amostra, solubilidade dos gases envolvidos, entre outros (Silva; Paola; Matos, 2007; Denari; Cavaleiro, 2012).

As amostras das mechas de cabelo foram submetidas a este ensaio isotérmico utilizando uma balança atmosfera vazão de ar e o preparo da amostra foi da seguinte forma: todo equipamento e utensílios foram sanitizados, previamente, com álcool 70% para retirada de sujidades para não contaminação da amostra.

Em seguida, os fios das amostras de cabelo foram cortados em duas partes com a finalidade de ser usada para a análise da parte mais central do cabelo, evitando a parte mais próxima a raiz e a região das pontas. Em seguida, a região central da mecha de cabelo foi cortada em tamanhos semelhantes em um comprimento pertinente ao preenchimento do cadinho.

Para as análises de TG foi utilizado o equipamento Discovery TGA 5500 (Figura 47). As amostras foram inseridas em cadinhos de platina e submetidas a uma rampa de aquecimento na faixa de temperatura de 25°C a 500°C, sob razão de aquecimento de 10° C.min⁻¹, em atmosfera inerte de nitrogênio a 100 mL.min⁻¹.

Figura 47: Equipamento Discovery TGA 5500.



Fonte: <https://www.tainstruments.com/tga-5500>

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Alisamento e coloração das mechas de cabelo caucasiano natural

As avaliações visual e sensorial das mechas de cabelo processadas e avaliadas nesta pesquisa indicam a eficácia dos cosméticos alisantes (mudança da forma do cacheado para liso) contendo tioglicolato de amônio (Produto A) e amino metilpropanol (Produto C), como mostra a Figura 48. As imagens não reproduzem o efeito da coloração a olho nu, porém observou-se que houve transformação da cor mesmo sendo selecionada uma cor (6.0 louro escuro e peróxido de hidrogênio a 20 volumes) mais próxima ao tom natural das mechas (Figura 30).

Figura 48 - Esquema comparativo do alisamento e coloração de mecha natural (MN).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Importante destacar que as formulações cosméticas utilizadas nos alisamentos e na coloração são os produtos disponíveis no mercado e, assim sendo, formulações finalizadas que apresentam em sua composição matérias-primas já consagradas na

literatura atual como agentes melhoradores de textura, brilho, proteção térmica e resistência da fibra capilar.

As matérias-primas presentes nesses processos estão detalhadas no item 4.1.2 deste trabalho, no entanto, são algumas: Cetrimonium Chloride, Cyclopentasiloxane, Dimethicone, Orbignya Oleifera Oil, Hydrogenated Soybean Oil, Cocos Nucifera (Coconut) Oil e Linum usitatissimum (Linseed) seed oil, por exemplo.

5.2. Determinação do diâmetro médio das amostras de haste capilar

Alterações na haste capilar são muito comuns e, principalmente, nas alopecias não cicatriciais como o eflúvio telógeno crônico (ETC) e a androgenética (AAG - padrões masculino e feminino). Os indivíduos acometidos relatam que os fios se apresentam com afinamento, ou seja, miniaturizados, comprometendo toda a estrutura estética e a autoestima (Loussouarn, *et al.*, 2007; Le Floc'h, 2015; Koch, *et al.*, 2020).

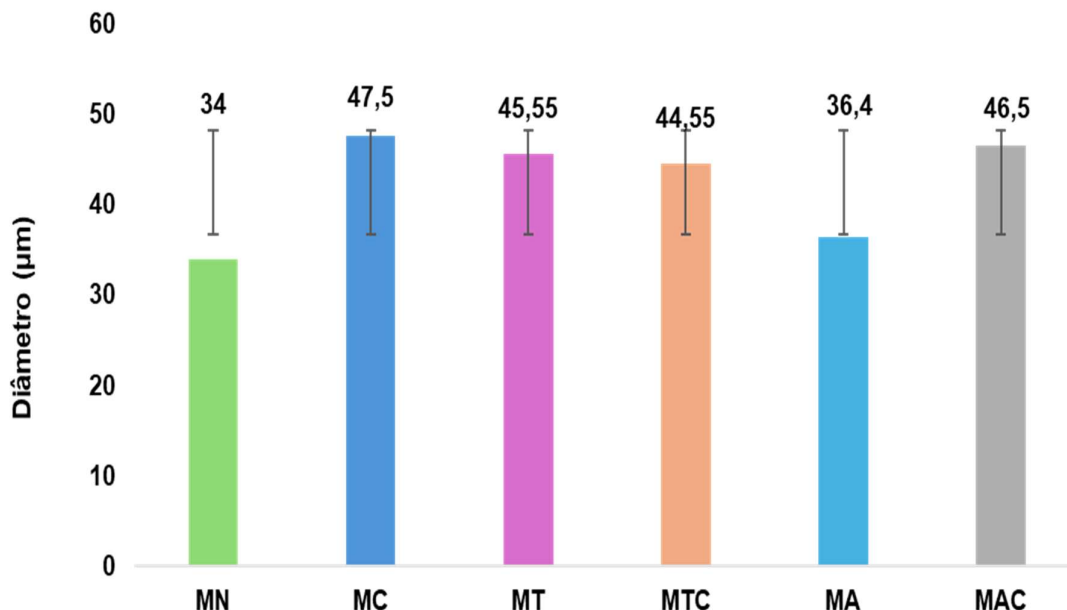
Muitos são os protocolos médicos e estéticos para aumentar a massa capilar, ou seja, aumentar o diâmetro das fibras e transformar essa característica física em expressão de saúde e beleza, como o ajuste de ingestão alimentar, uso de nutracêuticos, cosméticos variados de deposição sobre a fibra, medicamentos, entre outros (Le Floc'h, 2015).

Na pesquisa realizada por Duvel *et al.* (2019), concluíram que nos voluntários estudados, o diâmetro dos fios está diretamente relacionado à qualidade de vida e idade. Os resultados mostraram que os fios tendem a ter o diâmetro diminuído com o aumento da idade, uso de cigarros e sobrepeso corporal, por exemplo. Desta forma, podemos prever que tratamentos cosméticos de mudanças de forma e cor e de reparação interagem, de formas diferentes, em indivíduos com hábitos menos saudáveis.

A Figura 49, gráfico extraído dos dados da Tabela 12 (resultados obtidos das medições dos valores de diâmetro médio de 20 fios de cada amostra analisada, sua média e desvio padrão), apresenta os valores médios dos diâmetros das fibras capilares, onde a amostra das mechas coloridas (MC) apresentou o maior valor, 47,50µm, seguida da amostra das mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida (MAC), 46,50µm.

Figura 49: Diâmetros médios (μm) das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.

*MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Todos os tratamentos cosméticos (alisamento e coloração) somados ou isolados aumentaram o diâmetro médio das fibras quando compara-se ao diâmetro médio da mecha natural (MN), de 34,00 μm .

O processo de coloração, como discutido anteriormente, promove a dilatação cuticular da fibra por meio de formulações alcalinas para o depósito das substâncias coloridas e, dessa forma, há um acréscimo de massa, mesmo causando danos à estrutura lipoproteica do cabelo (Halal, 2016; Velasco, *et al.*, 2009; Pinheiro, *et al.*, 2002).

O aumento da média de diâmetro entre a mecha colorida (MC) e a natural (MN) foi de, aproximadamente, 40%. Ao aplicar os corantes e uma emulsão de peróxido de hidrogênio sobre a fibra capilar, esses componentes se espalham até o córtex, onde passam por um processo de oxidação. Durante esse processo, eles se complexam com moléculas precursoras da cor, formando compostos de maior volume que ficam permanentemente retidos entre as células corticais.

Esse mecanismo é essencial para alcançar o efeito duradouro desejado nas colorações capilares permanentes. Todo este depósito de massa colorida pode

promover esse aumento significativo no diâmetro dos fios, desta forma, este procedimento estético pode contribuir para a melhora da aparência dos fios, auxiliando, como coadjuvante, em alguns casos de alopecias ou danos das fibras capilares.

No caso dos alisantes capilares alcalinos, promovem a dilatação cuticular e isso é interpretado com aumento do diâmetro, chegando até 300% quando aplicado em concentrações máximas descritas nas resoluções (Martins Júnior, 2015; Robbins, 2012).

Os corantes e alisantes do tipo tios são cosméticos que atuam por meio de processos oxidativos. No entanto, enquanto os corantes, além de causarem o intumescimento das cutículas, depositam massa sobre os fios, os alisantes alcalinos promovem apenas o intumescimento das mesmas e, assim contribuem para o aumento do diâmetro dos fios.

As mechas alisadas com tioglicolato de amônio e posteriormente coloridas (MTC), assim como as que passaram pelo alisamento com tioglicolato de amino metilpropanol e também foram coloridas (MAC), sofreram dois processos oxidativos. Como resultado, ambas apresentaram diâmetros maiores que a mecha de cabelo natural (MN), com medidas de 44,55 μm e 46,50 μm , respectivamente.

Observou-se que o aumento do diâmetro médio das mechas alisadas com tioglicolato de amônio (pH 7,00 a 9,50) e com tioglicolato de amino metilpropanol (pH 7,00 a 8,50) foi de 33,97 e 31%, respectivamente, em relação às amostras de cabelo natural (MN).

Este ensaio de diâmetro também evidencia a falta de literatura sobre o efeito do alisamento à base de tioglicolato de amino metilpropanol. Martins Júnior (2015) realizou medições do diâmetro médio dos fios antes e após o tratamento com esse composto, observando um aumento de 5,1% no diâmetro dos fios

Da mesma forma que o autor conduziu a metodologia de alisamento com tioglicolato de amino metilpropanol nas mechas, nesta pesquisa, foi obtido um aumento ainda maior, de 31% (MA) quando comparada à amostra de cabelo natural (MN). Fazendo a mesma comparação entre as amostras de mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol (MA) e as naturais (MN), o ensaio de resistência à tração indicou que o aumento da tensão máxima foi de 0,24%, ou seja, este tipo de alisante não gerou aumento expressivo à resistência mecânica da haste.

Tabela 12 - Medição do diâmetro (μm) das amostras MN, Mc, MT, MTC, MA e MAC.

*MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).

Fio	Diâmetro médio (μm)	Diâmetro médio (μm)	Diâmetro médio (μm)	Diâmetro médio (μm)	Diâmetro médio (μm)	Diâmetro médio (μm)
F 01	38,00	45,00	42,00	38,00	32,00	36,00
F 02	40,00	49,00	41,00	41,00	34,00	37,00
F 03	34,00	45,00	45,00	40,00	36,00	33,00
F 04	39,00	45,00	40,00	44,00	37,00	30,00
F 05	32,00	53,00	49,00	42,00	33,00	36,00
F 06	36,00	49,00	46,00	46,00	35,00	32,00
F 07	30,00	43,00	42,00	59,00	38,00	53,00
F 08	30,00	45,00	60,00	39,00	37,00	34,00
F 09	29,00	51,00	44,00	45,00	30,00	34,00
F 10	39,00	59,00	50,00	44,00	33,00	38,00
F 11	30,00	45,00	40,00	61,00	36,00	36,00
F 12	29,00	47,00	48,00	43,00	32,00	46,00
F 13	30,00	44,00	46,00	41,00	34,00	32,00
F 14	42,00	53,00	42,00	57,00	53,00	34,00
F 15	36,00	45,00	53,00	44,00	44,00	33,00
F 16	32,00	44,00	42,00	41,00	46,00	35,00
F 17	34,00	46,00	49,00	38,00	36,00	44,00
F 18	33,00	53,00	40,00	45,00	32,00	37,00
F 19	36,00	44,00	48,00	42,00	34,00	36,00
F 20	31,00	45,00	44,00	41,00	36,00	32,00
M $\pm$ DP	34,00 $\pm$ 4,04	47,50 $\pm$ 4,24	45,55 $\pm$ 5,07	44,55 $\pm$ 6,65	36,40 $\pm$ 5,48	46,50 $\pm$ 5,18

Legenda: M: média DP: desvio padrão
 Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Comparando as mechas alisadas com os dois tipos de alisantes e coloridas (MTC e MAC) às mechas naturais (MN), nota-se um comportamento diferente em relação às alisadas e não coloridas (MT e MA).

Este fato pode ser notado na Tabela 12 e Figura 49 que demonstram que esse aumento de diâmetro foi de 7% para MTC e 36,8% para MAC. Essa diferença de diâmetro pode ser explicada pela associação dos diferentes valores de pH entre formulações de alisamento com as de coloração, que depositam polímeros e pigmentos sintéticos.

5.3. Determinação do brilho

As mechas de cabelo foram submetidas ao ensaio de reflectância de luz para avaliar se houve alteração no brilho após os tratamentos com os cosméticos alisantes e colorante, em relação à mecha de cabelo natural.

O valor do brilho é medido em uma unidade chamada Bossa Nova Technologies (BNT), onde quanto maior o valor, mais intenso é o brilho.

Essa característica está relacionada com a região cuticular (região mais externa) da haste capilar e quanto mais íntegra, organizada e plana, maior será a reflectância da luz incidida e, conseqüentemente, maior será o brilho (Schueller; Romanowski, 1999; Bouillon; Wilkinson, 2005; Halal, 2012; Goshiyama, 2019).

O teste de brilho fornece, em condições controladas e padronizadas, resultados concretos, diminuindo a possibilidade de erros em avaliações subjetivas (Gama, 2010).

No estudo realizado por Gao *et al.* (2011), foi medido o brilho de diferentes cores de cabelos, onde o cabelo transparente, conhecido por “cabelo branco”, apresentou o mais baixo índice de BNT 1,69 e os cabelos marrom e preto 31,50 e 34,6, respectivamente.

Os dados obtidos das mechas pesquisadas neste trabalho corroboram aqueles obtidos por Gao (2011), que mostraram valores mais altos (entre 23 a 27, 39 BNT).

A Tabela 13 e a Figura 50 mostram os valores (média e desvio padrão) obtidos das medições de brilho (BNT) das mechas analisadas (MN, MC, MT, MTC, MA e MAC).

Tabela 13 - Medição do valor de brilho (BNT) das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.
 *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).

	MN	MC	MT	MTC	MA	MAC
Leituras	(BNT)	(BNT)	(BNT)	(BNT)	(BNT)	(BNT)
1	24,16	23,38	27,39	23,02	23,21	22,94
2	24,46	23,31	27,37	22,85	22,97	22,92
3	24,18	23,47	27,38	22,86	22,85	22,86
4	24,18	23,49	27,38	22,87	22,41	22,81
5	24,20	23,52	27,40	22,94	22,79	23,04
6	23,91	23,57	27,39	22,99	22,06	22,94
7	23,76	23,62	27,38	23,05	22,87	22,94
8	23,61	23,67	27,41	23,10	22,67	22,96
9	23,81	23,71	27,40	23,14	22,27	22,96
10	23,84	23,75	27,41	23,21	22,59	22,97
M	24,01	23,55	27,39	23,00	22,67	22,93
DP	0,26	0,14	0,01	0,12	0,34	0,06

Legenda: M: média DP: desvio padrão
 Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

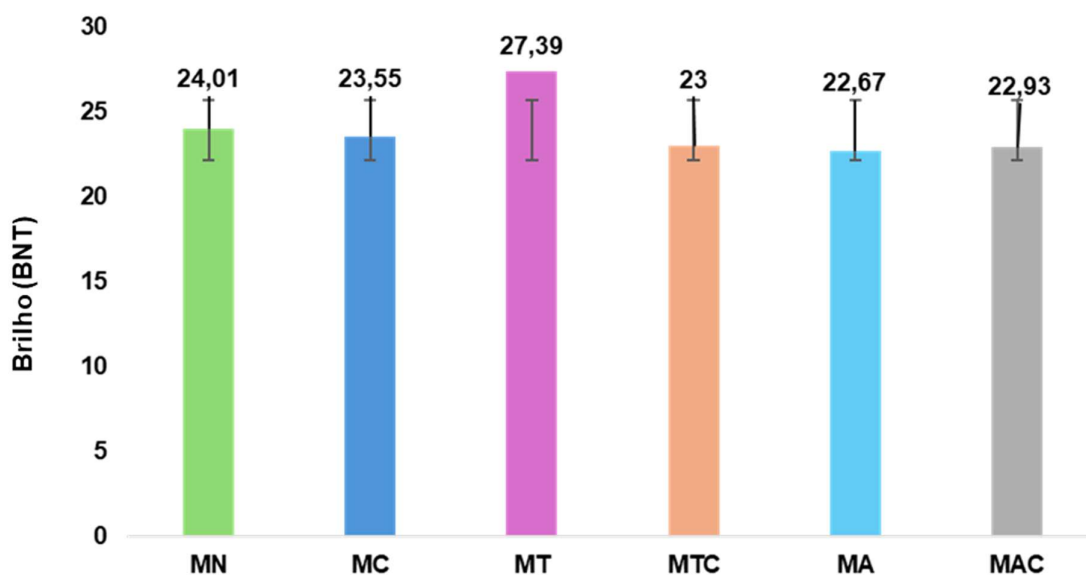
A Figura 50 apresenta os valores médios do brilho das fibras capilares, onde as mechas alisadas com tioglicolato de amônio (MT) apresentaram maior valor, 27,39 BNT em relação a todos os grupos de mechas, inclusive, às naturais (MN), 24,01 BNT, com aumento de 14% no brilho.

Esta característica, como dito antes, está relacionada à justaposição e coesão das células cuticulares, então, é possível que o efeito de alisamento tenha promovido dois eventos importantes: o ajuste das cutículas pelo alisante com a ferramenta térmica (chapinha), mesmo que em temperatura branda, além dos adjuvantes da formulação que podem ficar aderidos à superfície da fibra.

O alisante à base de tioglicolato de amônio apresenta formulação complexa - Produto A, como detalhada na Tabela 6, com presença de ceras, agentes condicionantes, silicones e óleos vegetais fixos, por exemplo, o que pode contribuir para o alinhamento das cutículas, mesmo apresentando alto pH (7,00 a 9,50) (Dias, 2015). Com isso, pode-se sugerir futuro estudo da ação dos adjuvantes nas características físicas de cabelos processados por alisantes alcalinos, derivados dos tiois.

Figura 50: Valores de brilho (BNT) das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.

*MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Comparando as médias numéricas, observou-se que as mechas alisadas com tioglicolato de amônio apresentaram 19,08% a mais de brilho quando comparadas às

mechas alisadas com o mesmo alisante e, posteriormente, coloridas (MTC) e 16,31% em relação às mechas apenas coloridas (MC).

Estes dados podem ser explicados pela diferença dos componentes das formulações alisantes e colorantes, o que pode ter contribuído para o maior valor do brilho para mecha apenas alisada.

O que nos mostra que o alisante, por melhorar as disposições das cutículas, de forma que fiquem mais planas, gera aumento de brilho, mesmo que seu pH seja alcalino e próximo dos colorantes, além do possível depósito de substâncias condicionantes sobre as cutículas.

Aliado a isso, exclusivamente nas mechas alisadas (MT, MTC, MA e MAC) houve o uso de instrumentos térmicos de secagem (secador e chapinha a 150°C), segundo a técnica proposta no rótulo do produto (modo aplicação indicado pelo fabricante), o que não foi utilizado nas mechas apenas coloridas. Este fator pode ter gerado uma superfície mais lisa (maior alinhamento) e, desta forma, ter aumentado a reflectância da luz incidida pelo equipamento (Bolduc; Shapiro, 2001; He; Wang; Wang, 2021).

Esses achados corroboram com o descrito por Dias (2015) que também verificou que o alinhamento das cutículas de amostras de cabelo promoveu aumento de brilho, ou seja, alisamentos capilares podem deixar os cabelos mais brilhantes em relação ao cabelo natural (controle).

Bloch *et al.* (2020), estudaram por meio de dados quantitativos e sensorial de mechas capilares tratadas quimicamente. Um destes tratamentos de transformação química foi o alisamento com tioglicolato de amônio, onde observaram um aumento do brilho nessas amostras. Desta forma, os dados obtidos neste trabalho corroboram os dados obtidos por Bloch (2020).

Ao comparar as mechas natural (24,01 BNT) e colorida (23,55 BNT), observa-se uma discreta diminuição no valor de brilho de 0,48 BNT, menos de 2% (1,99%).

Os cosméticos utilizados (mistura de emulsão colorante e emulsão com peróxido de hidrogênio) para colorir as amostras avaliadas, apresentam pH alcalino que varia entre 9,00 a 10,50. De acordo com a literatura, os fios submetidos a esta faixa de pH tendem a se tornar mais espessos e volumosos, porosos e opacos (Velasco, *et al.*, 2009; Halal, 2012).

Os dados aqui encontrados corroboram estes relatos, mostrando que a coloração, com seu potencial de dilatação (pH alcalino), promoveu essa diminuição

no valor do brilho. Este valor de pH é necessário, pois as cutículas precisam ser intumescidas para que as moléculas dos corantes e do peróxido possam difundir até o córtex e gerar o efeito de alteração de cor de forma permanente (Halal, 2016; Pinheiro, *et al.*, 2002).

Além disso, o uso da coloração pode ter causado a solubilização do CMC presente entre as células cuticulares, causando maior rugosidade e diminuindo o brilho (Bolduc; Shapiro, 2001; He; Wang; Wang, 2021).

Quanto as mechas que foram submetidas à formulação alisante com o tioglicolato de amino metilpropanol, como descrito na Tabela 8 (Produto C) é de 7,50 a 8,00, ou seja, mais suave que a coloração (pH 9,50 a 10,00) e que o alisante à base de tioglicolato de amônio (pH 8,80 a 9,50).

No entanto, os dados de brilho nas mechas alisadas com AMP (MA) e as mechas alisadas com AMP e coloridas (MAC) mostraram diminuição em relação às mechas naturais (MN).

É válido salientar que esses são os primeiros relatos de medição de brilho em mechas que foram submetidas a este alisante em cabelos de cor natural e coloridos.

Os dados das medições do brilho (BNT) das amostras das mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol (MA), as alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol e coloridas (MAC) e as mechas coloridas (MC), indicam que os valores de brilho foram, respectivamente, 22,67, 22,93 e 23,55 BNT. Isso significa uma diminuição de 3,73% entre mechas coloridas (MC) e as alisadas com AMP (MA), já em comparação com aquelas alisadas e coloridas (MAC) a diminuição foi ainda menor (2,63%).

Goshiyama (2020), em seus estudos avaliou o brilho em mechas capilares submetidas ao alisamento ácido (com derivados do ácido glioílico), obtendo um aumento no valor do brilho. A autora correlaciona este resultado ao pH extremamente ácido da formulação de alisamento utilizada (1,00) e também à possível formação de filme de poliacetal sobre as cutículas.

É importante destacar a diferença do mecanismo de ação entre os alisantes utilizados por Goshiyama (2020) dos alisantes utilizados nesta pesquisa, o que acarreta nesta diferença de dados obtidos.

5.4. Espectroscopia na região do infravermelho por Transformada de Fourier com Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR)

A literatura relata esta técnica como sendo uma importante ferramenta de avaliação de alterações na conformação estrutural das proteínas (Barton, 2011).

Mujeeb e Zafar (2017) e Barton (2011), avaliando amostras de cabelo por FTIR-ATR, relataram que esta técnica se limita na caracterização das estruturas mais superficiais (cutícula) e periféricas do córtex. Os mesmos pesquisadores também identificaram regiões importantes e distintas na interpretação das bandas dos espectros de infravermelho em estudos realizados com cabelos, as quais identificamos neste trabalho.

As ligações na estrutura primária da conformação proteica podem originar diferentes bandas no espectro infravermelho: amida I, II e III; estrutura secundária (α -helicoidal, de folha β e espiral aleatória ou amorfas); os grupamentos R dos aminoácidos da queratina que geram bandas de $-\text{CH}$, $-\text{CH}_2$ e $-\text{CH}_3$ (anéis alifáticos e aromáticos) e dos intermediários oxidativos do aminoácido cistina (Barton 2011). A Tabela 14 apresenta as principais bandas de amostras de cabelo humano natural (Lima, *et al*, 2016; Marrafa, 2022) e as obtidas nas amostras analisadas.

Tabela 14 - Atribuição vibracional (IR - cm^{-1}) das principais bandas de amostras de cabelo natural

Grupo funcional	N.º de onda (cm^{-1})	Amostras
Amida A	3290	3276
Amida B	3072	3070
CH_3 Assimétrico	2959-2963	2960
CH_2 Assimétrico	2919-2920	2924
CH_2 Simétrico	2849-2851	2868
Amida I	1690-1600	1633
Amida II	1575-1480	1523
CH_2 (lipídios)	1451	1450
Amida III	1320-1210	1235
Monóxido de Cistina	1071-1072	1076
Ácido sulfônico	1040-1042	1048

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024). Adaptado de Lima, 2016; Marrafa, 2022.

Pela composição proteica da haste capilar ser, na sua maioria, queratina, a ligação peptídica (Figura 5) é a mais presente, pois promove a ligação entre os aminoácidos e dão origem a algumas bandas de vibração.

As proteínas organizadas na cutícula e córtex podem sofrer alterações na sua conformação e isto pode ser um indício de denaturação, o que afeta as ligações de Hidrogênio, modificando a interação com água (Zhou *et al.*, 2011; Robbins, 2012; (Lehninger, *et al.*, 2014; Lima, 2016; Maurício, 2019; Barton, 2021).

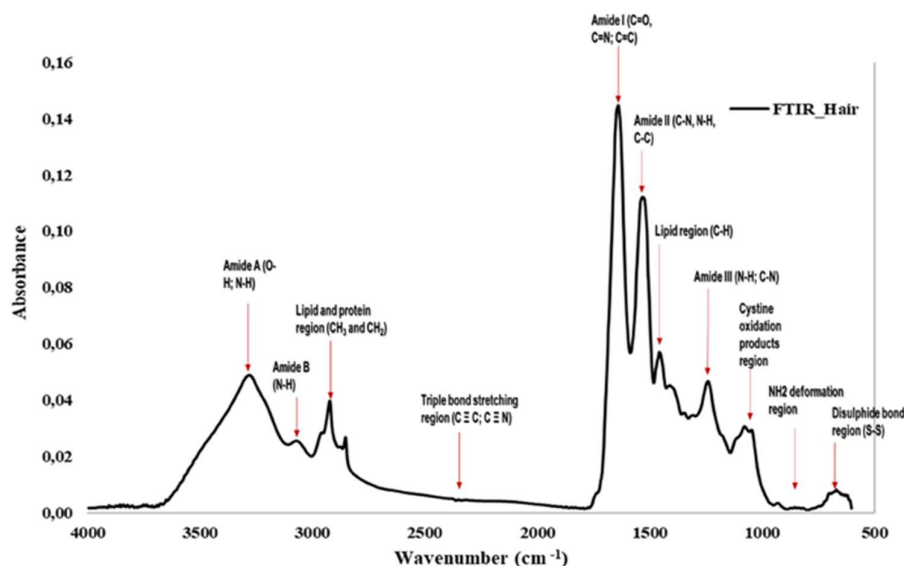
Os grupos funcionais podem ser identificados quando seus dados são organizados em gráficos e eles são comparados aos dados já conhecidos e publicados, como:

- 1300 a 800 cm^{-1} : ligações C-C, C-O e C-N,
- 1900 a 1500 cm^{-1} : ligações C=O, N=O, C=N e C=C
- 2300 a 2000 cm^{-1} : ligações C $\equiv$ N e C $\equiv$ C
- 3800 a 2700 cm^{-1} : ligações CH, OH e NH (Al-Kelani; Buthelezi, 2024).

Recentemente, Al-Kelani; Buthelezi (2024), publicaram dados sobre a análise de diferentes tecidos biológicos utilizando FTIR e relacionaram as principais bandas observadas em espectro de cabelo humano natural.

Suas principais observações estão descritas na Tabela 15, além do espectro de um cabelo humano natural, onde podemos identificar as bandas importantes desse biopolímero (Figura 51).

Figura 51: Espectro (FTIR) padrão de cabelo humano natural



Fonte: Al-Kelani; Buthelezi, 2024.

Tabela 15 - Atribuição vibracional (IR - cm^{-1}) das principais bandas de amostras de cabelo.

N.º de onda (cm^{-1})	Grupo funcional	Moléculas
3294 - 3328 - 3330	Amida A: estiramento N-H por ligações H intermoleculares.	Proteínas
3060 - 3065	Amida B: estiramento de proteínas C-N, N-H.	Proteínas
2957 - 2962	Estiramento assimétrico de CH_3	Lipídios
2920 - 2929	Estiramento assimétrico de CH_2	Lipídios
2850 - 2858	Estiramento assimétrico de CH_2	Lipídios, com baixa presença de proteínas
1630 - 1640 1684 - 1656	Amida I: C = O (80%) e C-N (10%) Estiramento N-H (10%)	proteínas folha- β
1540 - 1550 1452 - 1388	Amida II: vibrações de flexão N-H (60%) e de estiramento C-N (40%)	proteína α -hélice
1530 - 1535	Amida II: vibrações de flexão N-H (60%) e estiramento C-N (40%):	proteínas folha- β
1370 - 1400 1452 - 1455	Vibrações de deformação de CH_2 e CH_3 devido à contribuição de lipídios	lipídios e proteínas

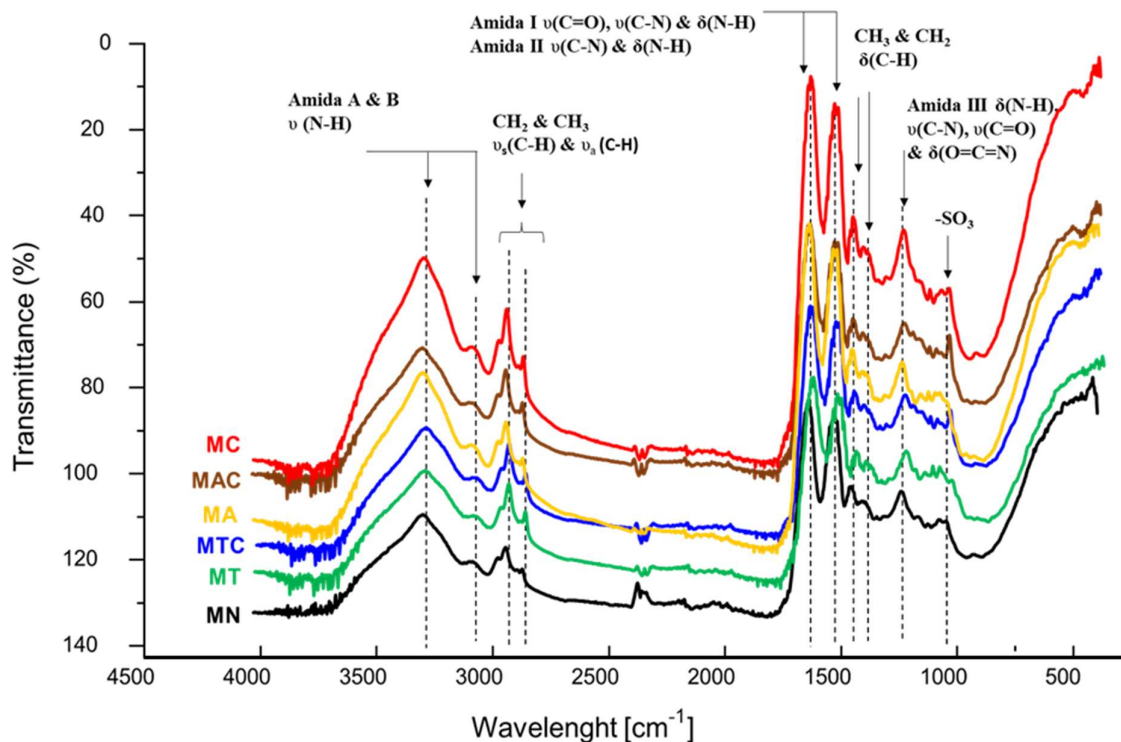
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024). Adaptado de Al-Kelani; Buthelezi, 2024

A Figura 52 apresenta os espectros no infravermelho das amostras analisadas de cabelo natural (MN), colorido (MC), alisado com tioglicolato de amônio (MT), alisado com tioglicolato de amônio e colorido (MTC), alisado com tioglicolato de amino metilpropanol (MA) e alisado com tioglicolato de amino metilpropanol e colorido (MAC) na faixa de 4000 até 1000 cm^{-1} .

É possível observar que as mesmas bandas de absorção presentes nas amostras de cabelo avaliadas neste trabalho corroboram os resultados encontrados na literatura (Lima, 2016; Marrafa, 2022; Al-Kelani; Buthelezi, 2024).

Comparando as bandas obtidas por Al-Kelani; Buthelezi (2024) (Figura 51) com as mesmas bandas obtidas nesta pesquisa (Figura 52), quatro delas estão localizadas entre 3500 e 2800 cm^{-1} , que são as bandas amida A, amida B, $-\text{CH}_2$ e $-\text{CH}_3$.

Figura 52: Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).



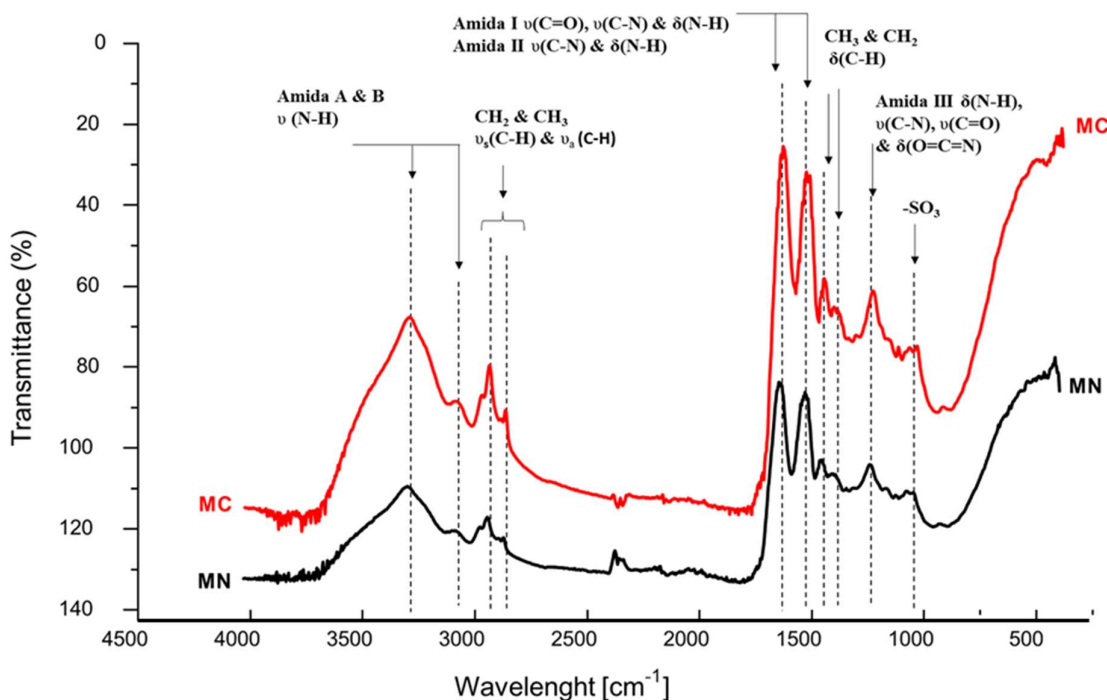
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

As bandas das amidas A e B estão relacionadas com o resultado da interação das moléculas de água com as amidas dos aminoácidos da queratina, por meio do estiramento de ligação N-H, responsáveis pelo união entre as proteínas e -CH₂ e -CH₃, que pontuam alterações nos grupamentos R dos aminoácidos e oxidação da cistina.

As típicas bandas de proteínas de estrutura secundária Amida A (3000-3700 cm⁻¹) e Amidas I, II e III (1200-1700 cm⁻¹) foram observadas em todos os espectros das amostras analisadas (Kim; Park, 2013; Lima, 2016, Marrafa, 2022).

Figura 53: Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN e MC.

*MN (mecha natural) e MC (mecha colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Na Figura 53, a amostra das mechas colorida (MC) apresentou pico mais intenso na banda da amida A, ao compará-la à amostra de cabelo natural (MN) e a literatura relata que esta região é resultante do estiramento dos grupos N-H (ligações intermoleculares), que são sensíveis às ligações de hidrogênio (moléculas de água e proteínas) (Kim; Park, 2013).

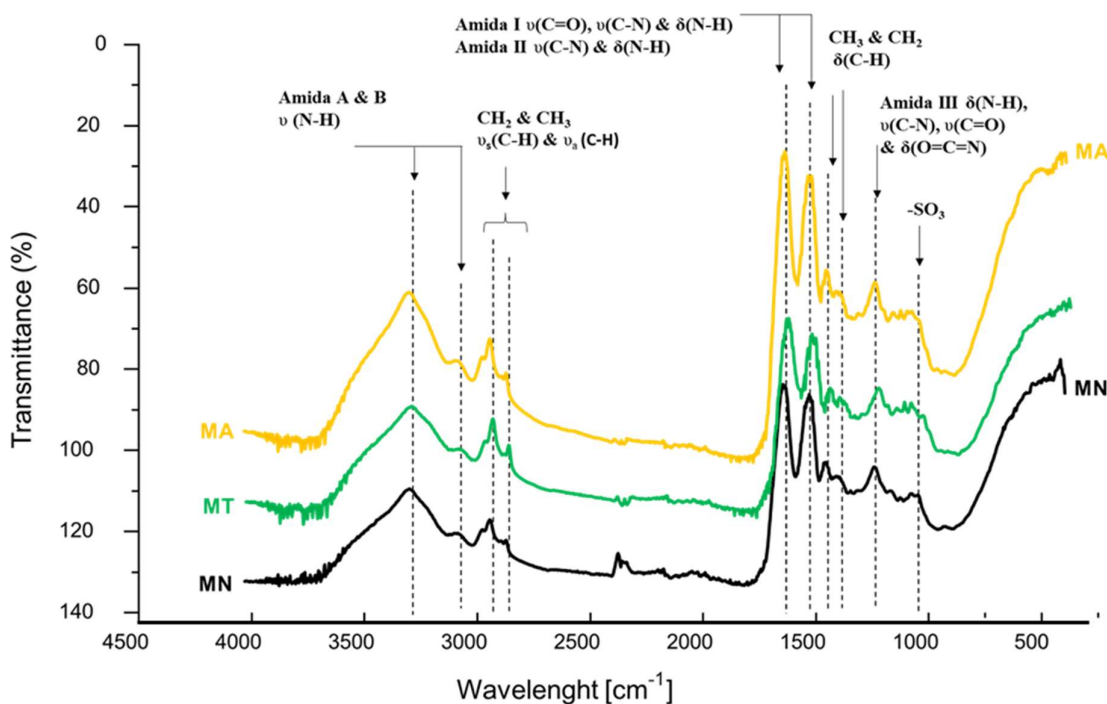
Por se tratar de uma técnica que revela as propriedades mais externas da fibra capilar, podemos relembrar que na descrição das cutículas (item 2.1.2.2.), as camadas proteicas exocutícula e endocutícula apresentam menor quantidade do aminoácido cistina e possuem características mais hidrofílicas quando comparadas à Camada A (mais externa e lipofílica), então, nota-se possível interação dos cosméticos colorantes com as proteínas presentes nessa região cuticular, alterando sua hidrofilicidade.

As amostras que foram tratadas com cosméticos alisantes à base de tiol MT (alisadas com tioglicolato de amônio) e MA (alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol) também apresentaram picos mais intensos na banda amida A, como

ocorrido na amostra de cabelos coloridos (MC), discutido anteriormente. Porém o alisante com tioglicolato de amino metilpropanol (MA), demonstrou gerar maior alteração e comprometer a integridade das cutículas nas ligações entre as moléculas de água e a queratina (Kim; Park, 2013).

Figura 54: Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MT e MA.

*MN (mecha natural), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

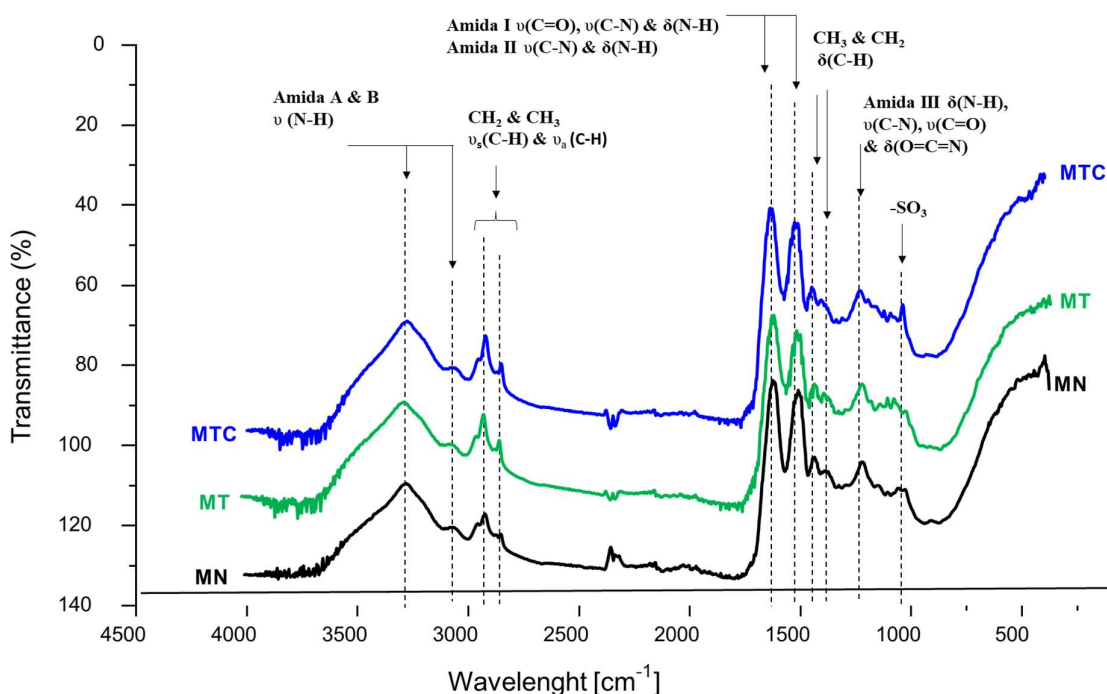
Em relação ao brilho, os resultados deste ensaio indicaram que as alterações nas bandas 2922 e 2853 cm^{-1} (Figura 52), relacionadas aos grupos alifáticos de CH (ácidos graxos insaturados, saturados, álcoois e ésteres) da degradação de lipídeos da região cuticular da haste capilar (Barton, 2011), o que pode gerar porosidade da fibra, e a alteração do brilho.

Esses resultados estão em consonância com os obtidos por medida do brilho, já que as mechas coloridas (MC) apresentaram alterações nas bandas Amida A (estiramento N-H por ligações H intermoleculares, nas moléculas de proteína), Amida I (proteínas folha- β) e Amida II (proteína α -hélice), ou seja, a coloração altera a

estrutura proteica do cabelo. Nas imagens microscópicas de MEV das amostras de mechas coloridas (MC), que apresentaram esse pico mais intenso, nota-se maior porosidade ao serem comparadas com as mechas de cabelo natural (MN) e menor brilho, no ensaio realizado com o SAMBA Hair®, também comparadas às mechas de cabelos naturais.

Figura 55: Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MT e MTC.

*MN (mecha natural), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

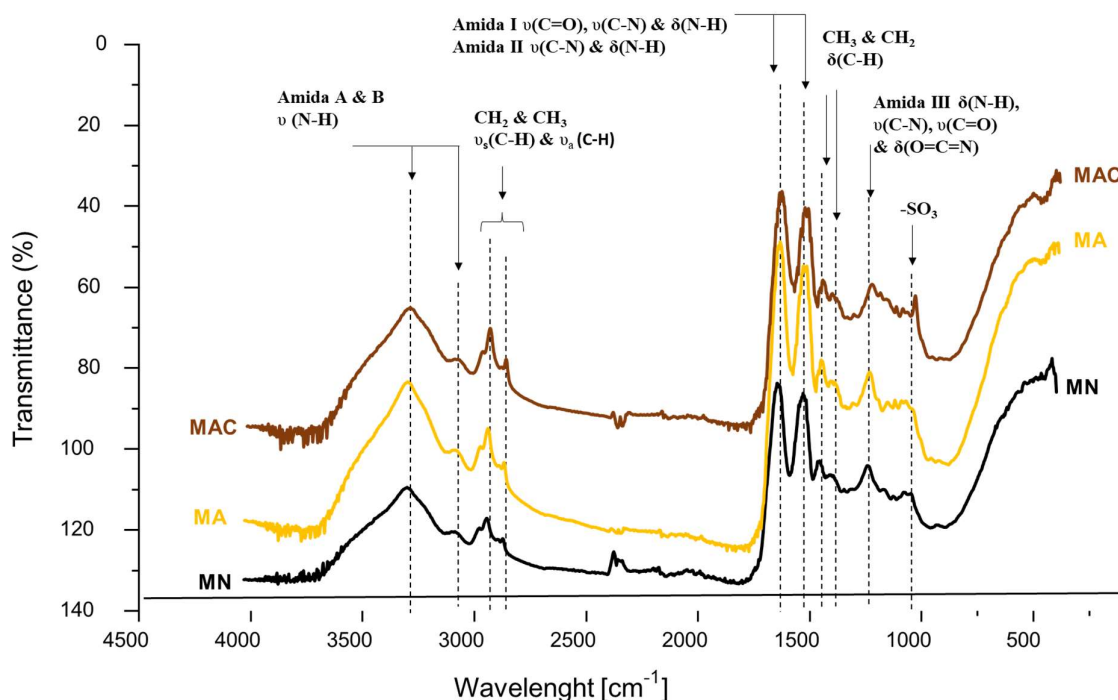
Em continuidade à análise dos picos da região da amida A, os espectros das amostras de cabelo alisado com tioglicolato de amônio (MT) e alisado com tioglicolato de amônio e colorido, em seguida (MTC) mostram baixa variação de intensidade em relação à amostra de cabelo natural (MN) (Figura 55).

As mechas MTC tiveram dois tratamentos cosméticos, o de alisamento seguido de coloração, e na Figura MEV, observa-se que a porosidade dos fios da amostra MT (80,85%) foi maior que a amostra MTC (63,59%), no caso da intensidade do brilho (SAMBA Hair®), as mechas MT apresentaram 27,39 BNT e as MTC, 23 BNT, ou seja o processo de coloração pós alisamento, nesse caso, diminuiu o brilho e a porosidade.

Uma possibilidade é o depósito de corante que pode aumentar a rugosidade das cutículas e diminuir brilho, como já evidenciado em literatura e o pH alcalino causando desassociação entre possíveis adjuvantes presentes na formulação e as cutículas (Bolduc; Shapiro, 2001; He; Wang; Wang, 2021).

Figura 56: Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MN, MA e MAC.

*MN (mecha natural), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Na Figura 56, a amostra MA (alisada com tioglicolato de amino metilpropanol), apresentou um pico mais intenso da banda amida A, o que evidencia que o tratamento somente com este alisamento pode causar maior alteração nas ligações de moléculas de água e a proteína presente na região externa dos fios (Kim; Park, 2013).

As bandas -CH_2 ($2920 - 2929 \text{ cm}^{-1}$) e -CH_3 ($2957 - 2962 \text{ cm}^{-1}$) que pontuam alterações nos grupamentos R dos aminoácidos e oxidação da cistina. Barton (2011) relacionou estas bandas aos grupos alifático CH de ácidos graxos saturadas e insaturados de cadeia longa, álcoois e ésteres.

Estes resultados eram esperados, uma vez que, estes tratamentos de ação química degradam lipídeos presentes nas estruturas capilares, como por exemplo, o 18-MEA. Todas as amostras apresentaram picos importantes nestas bandas, porém a amostra MC (mecha colorida) também teve picos mais evidentes, mostrando a possível degradação da estrutura cuticular, devido ao alto pH (9,00 a 10,50) (Figura 52). Em sequência, as bandas que aparecem nos espectros são as bandas amida I ($1630 - 1656 \text{ cm}^{-1}$) e amida II ($1540 - 1388 \text{ cm}^{-1}$), que representam as ligações C=O e C-N e estiramento N-H e vibração e flexão em N-H e estiramento em C-N, respectivamente. A amida I (amida primária) está relacionada às proteínas com conformação folha- β e a amida II (amida secundária) em α -hélice o que se relaciona diretamente com os dados em literatura e evidencia que estas bandas são de grande importância na identificação de alterações na estrutura proteica da haste (Zhou *et al.*, 2011).

A próxima banda que aparece nos espectros em 1240 cm^{-1} atribui-se à amida III com o estiramento C-N e deformação no plano do N-H (30%) da conformação folha β , proteína presente na cutícula. De todas as amostras avaliadas, as mechas coloridas (MC) foram as que apresentaram aumento na intensidade desta banda (Figura 52).

Existe uma banda típica em torno de 1044 cm^{-1} que se refere à vibração de estiramento assimétrico da ligação S=O, dos grupos $-\text{SO}_3^-$ e $-\text{S}-\text{SO}_2^-$, subprodutos da oxidação da cistina (MOITA, 1989).

Das mechas avaliadas, aquelas que foram submetidas ao alisamento com tioglicolato de amônio e coloração (MTC) e as mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol e coloração (MAC) apresentaram um aumento nesta banda, isto significa dizer que os respectivos cosméticos oxidaram as ligações de cistina (ligações dissulfeto), presentes em grande quantidade nas cutículas, região importante para proteção de toda haste e para difusão dos ativos cosméticos (Robbins, 2012.; Pinheiro *et al.*, 2013). No trabalho de Maurício (2019), a análise de FTIR em mechas de cabelos naturais alisados com tioglicolato de amônio identificou as mesmas bandas apresentadas na presente pesquisa, evidenciando o padrão do espectro.

Relacionando os resultados de medição de diâmetro, brilho e FTIR-ATR das amostras estudadas, podemos reforçar que os tratamentos cosméticos de alisamento e coloração alteram as estruturas proteicas da fibra capilar, como descrito em literatura.

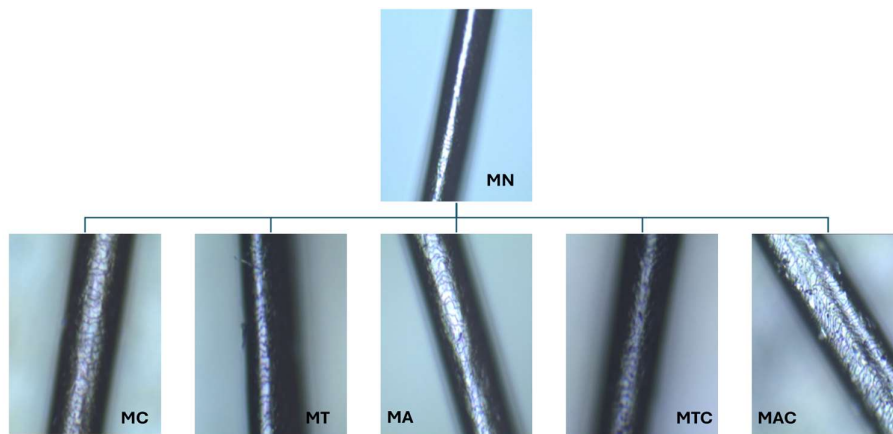
5.5. Imagem de microscopia confocal

As imagens da superfície feitas em microscópio confocal é outra ferramenta laboratorial muito utilizada, inclusive na observação de tecidos biológicos como pele e cabelo, auxiliando no diagnósticos de disfunções inflamatórias capilares cicatriciais ou não, além de possibilitar identificar e qualificar, mesmo que forma menos sensível, as alterações que os processos cosméticos aplicados aos cabelos podem causar e o estudo do crescimento capilar induzido por cosméticos e medicamentos (Lagarde, *et al.*, 1994; Ardigo, *et al.*, 2016; Cinotti, *et al.*, 2016; Makhoulf; Elnawawy, 2023).

A Figura 57 mostra as imagens das amostras de cabelo elencadas nesta pesquisa, onde a mecha natural (MN) é comparada com todas as outras mechas tratadas com alisantes e colorante. As informações relevantes das imagens de microscopia confocal das amostras avaliadas foram compiladas no Quadro 3.

Ao avaliarmos as medições de diâmetro descritas na Figura 49, nota-se que as amostras das mechas coloridas (MC) e das mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol apresentaram maior diâmetro ao serem comparadas com a mecha natural, que não sofreu qualquer ação cosmética de alisamento e coloração (MN). Estas informações corroboram com o descrito em literatura sobre o aumento de diâmetro em cabelos alisados, como discutido no item 5.2 deste trabalho.

Figura 57: Imagens coletadas com microscopia confocal usando a lente objetiva 20x das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Quadro 3: Descrições qualitativas das imagens coletadas com espectroscopia confocal usando lente objetiva 20x das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).

Amostra	Descrições qualitativas observadas nas imagens de espectroscopia Raman
MN	Bordas definidas e menor diâmetro.
MC	Bordas rugosas e maior diâmetro.
MT	Bordas rugosas, com provável depósito superficial de cosméticos e maior diâmetro.
MA	Bordas definidas e maior diâmetro.
MTC	Bordas rugosas, com provável depósito superficial de cosméticos e maior diâmetro.
MAC	Bordas rugosas, com provável depósito superficial de cosméticos e maior diâmetro.

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

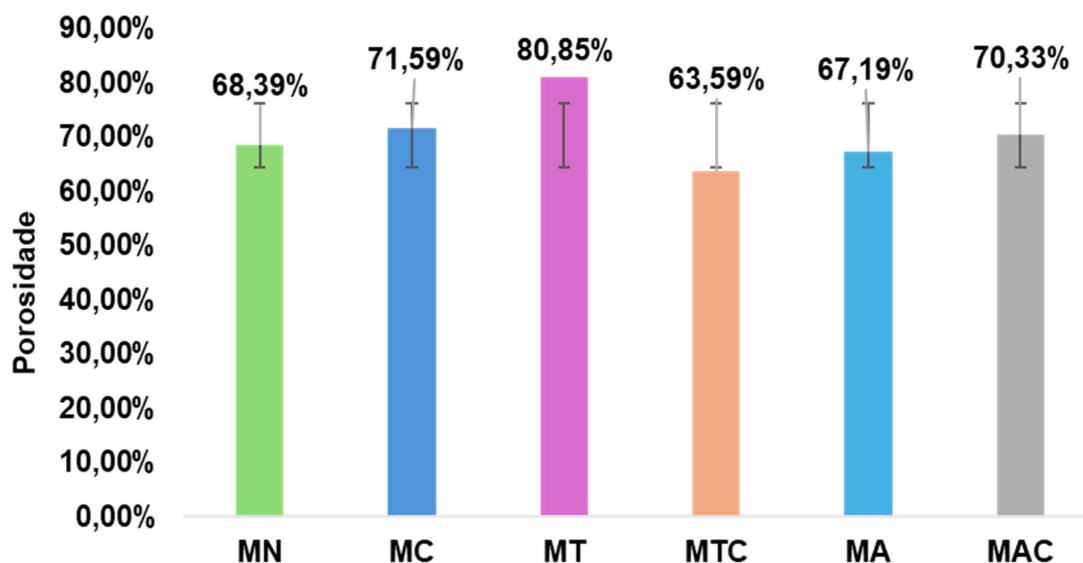
5.6. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A cutícula se destaca como estrutura de grande importância para a integridade da fibra capilar (Robbins, 2012; Bufoli, *et al.*, 2014; Gama, *et al.*, 2011). As imagens das amostras pesquisadas foram feitas em triplicata com aumento de 1000x e 2000x. A Tabela 16 e a Figura 58 mostram as medidas de porosidade total (fração porosa) apresentadas nas amostras.

A extensão ou área do dano foi calculada utilizando o *software* ImageJ e o valor está em porcentagem. Pode-se observar que a amostra das mechas alisadas com tioglicolato de amônio (MT) apresentou maior fração porosa superficial e ao avaliarmos o quesito brilho, esta mesma amostra mostrou com maior índice quando comparada à todas as outras.

Logo, as imagens aqui auxiliam em apurar melhor esta informação e definir que as amostras apresentaram comportamento semelhante ao descrito em literatura para os usos de cosméticos alisantes à base de tiol.

Figura 58: Porosidade (fração porosa) total média das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

A Figura 59 mostra alguns resíduos superficiais que podem ser considerados resíduos ambientais, pois elas não foram processadas cosmeticamente (MN), como pode-se ver na imagem MN1 com aumento de 2.000 vezes.

Nota-se as cutículas organizadas, sem projeção de sombra significativa, o que pode demonstrar certa integridade, em relação às imagens das mechas processadas com alisamentos e coloração, o que está descrito na literatura.

Em relação ao diâmetro, as imagens mostram uniformidade e há poucas cutículas apresentando desprendimentos. Por se tratar de um cabelo caucasiano, do tipo IV (cacheado) é esperado que apresente, naturalmente, certa porosidade e assim, a indústria cosmética desenvolve tantas linhas distintas, quanto às necessidades (Daniels, *et al.*, 2013; Lima, 2016).

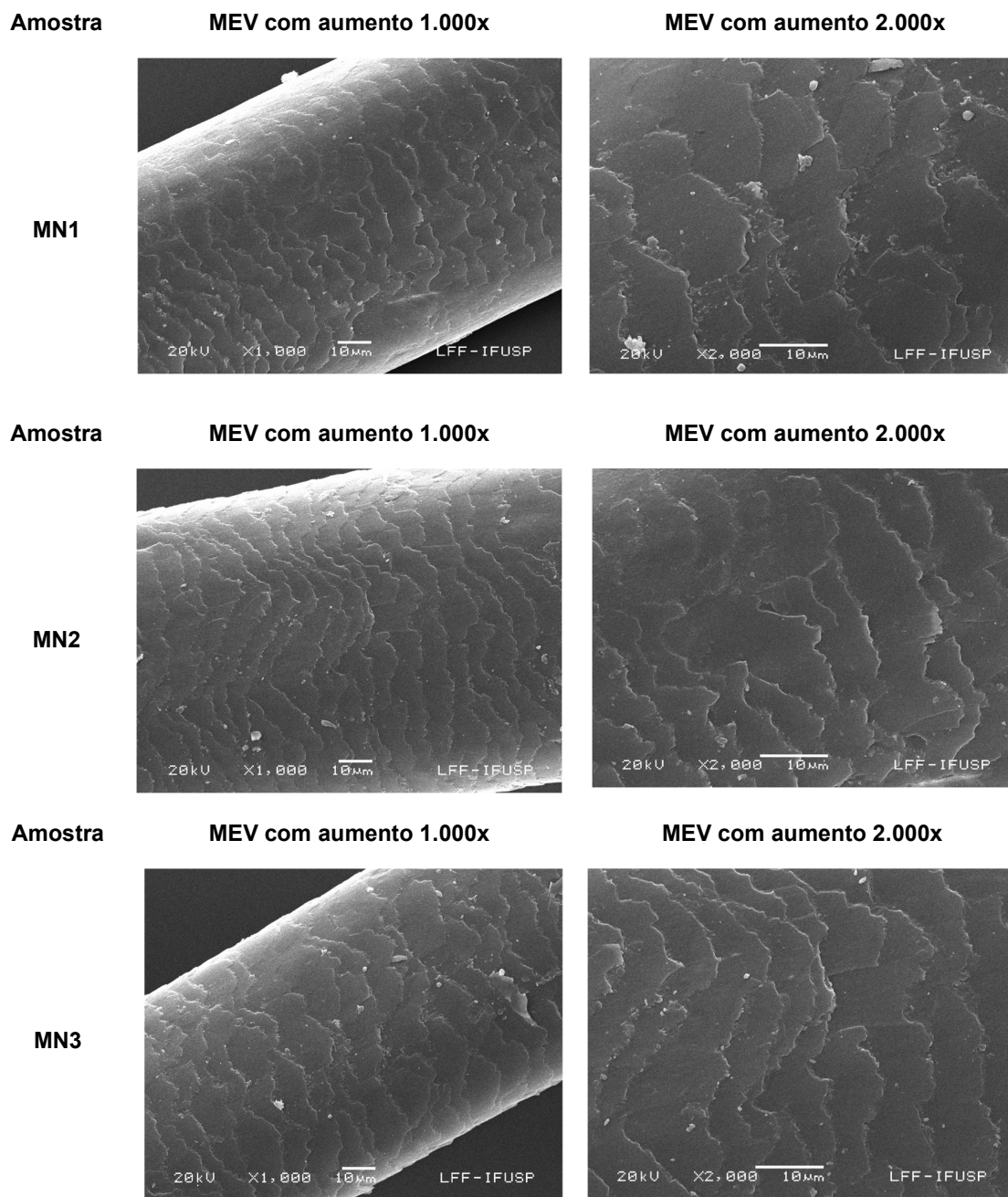
Tabela 16 - Porosidade (fração porosa) total média das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.

*MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)

Amostras	Porosidade total	Porosidade total média
MN1	67,101%	68,39%
MN2	71,734%	
MN3	66,339%	
MC1	64,012%	71,59%
MC2	72,147%	
MC3	78,611%	
MT1	73,956%	80,85%
MT2	85,312%	
MT3	83,290%	
MTC1	62,953%	63,58%
MTC2	61,473%	
MTC3	66,332%	
MA1	69,227%	67,19%
MA2	67,927%	
MA3	64,416%	
MAC1	61,737%	70,32%
MAC2	75,421%	
MAC3	73,82%	

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024) (ImageJ)

Figura 59: Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo natural (MN).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

As imagens apresentadas na Figura 60 são das mechas de cabelo colorido (MC) e observamos as cutículas fragmentadas, com a liberação de pequenas porções deste material, e na MC2, sinais de abrasão, como orifício.

Como discutido no item 2.3, as colorações são alcalinas e promovem intumescimento da fibra e, possíveis danos, dependendo da qualidade do cabelo. Na análise do diâmetro médio do fio, observou-se que os fios coloridos (MC) apresentaram maior diâmetro quando comparados às outras mechas pesquisadas, com diâmetro médio de 47,50 μm (Figura 49).

No ensaio de brilho, vimos que as mechas que foram aplicadas apenas à coloração apresentaram brilho semelhante às mechas naturais, o que foi corroborado pelas imagens de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura).

O alinhamento das cutículas mostra-se determinante para o brilho, conforme discutido anteriormente, e, nas imagens das amostras coloridas (MC), nota-se uma baixa variação, que esse processo não gerou porosidade nos fios. Os resultados entre o sistema SAMBA Hair® e as imagens de MEV mostraram-se consistentes.

O ensaio de FTIR-ATR realizado nas mesmas mechas coloridas (MC) permite-nos observar que a coloração alterou as estruturas cuticulares como a endocutícula e exocutícula, devido apresentarem maior afinidade à água e a região da banda apresentada no espectro está relacionada a amida A (Wolfran, 2003; Barton, 2011; Robbins, 2012; Lima 2016).

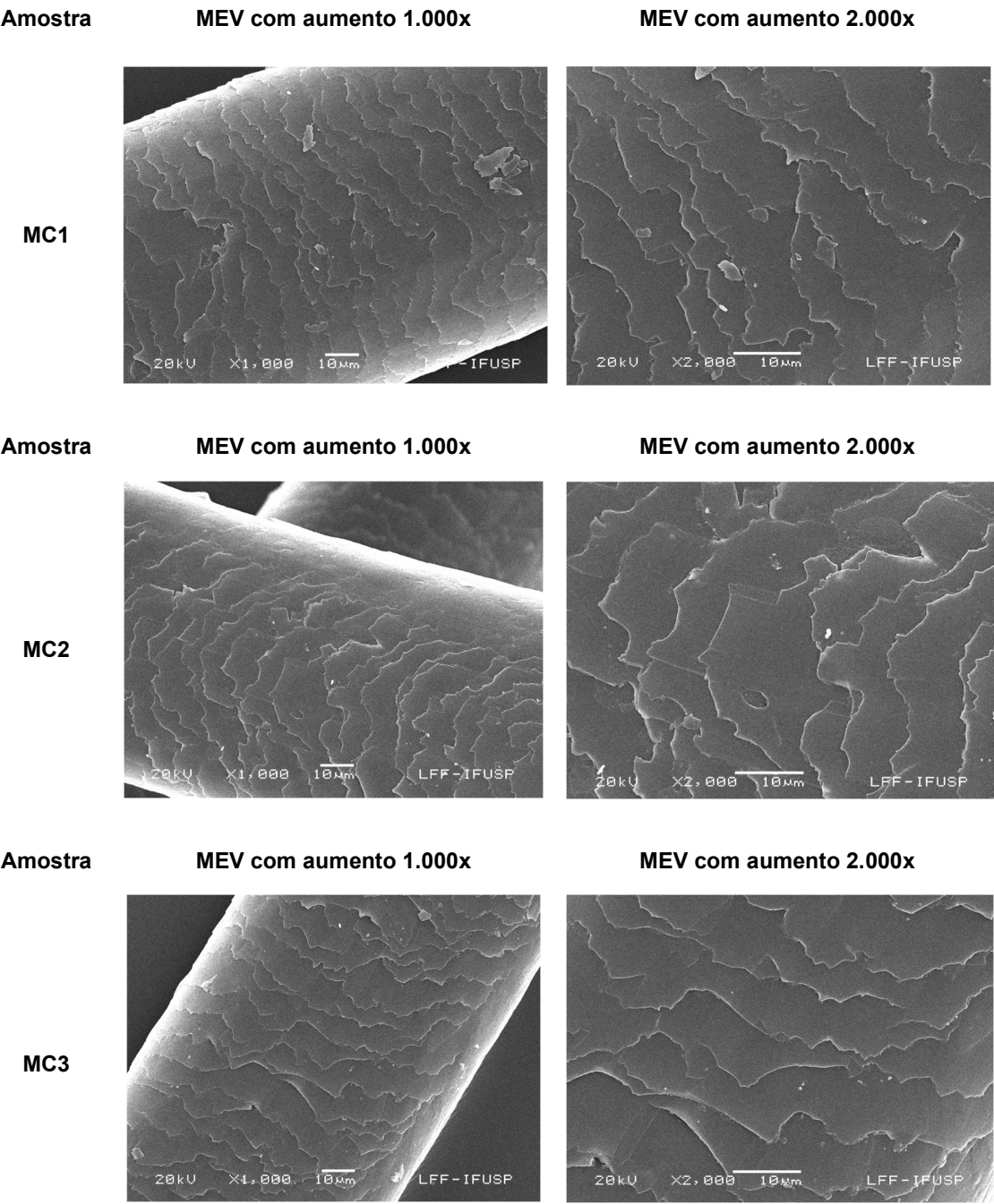
A fragmentação das cutículas como observamos nas imagens da mecha MC, aqui está mais intensa e na amostra MC3, percebemos além desse dano, o possível desprendimento e intumescimento das cutículas, gerando porosidade, como descrito nas literaturas quando se utiliza alisantes alcalinos (Robbins 2012; Madnani; Khan, 2013; França, 2014; Hatsbach; Basílio; Mulinari-Brenner, 2022).

Em relação às mechas que foram alisadas com tioglicolato de amônio (MT) (Figura 61), as imagens mostram MT1, MT2 e MT3, nos dois aumentos de mil e duas mil vezes, fragmentação da cutícula com despedimento de tecido.

Nas imagens MT1, observa-se uma região com perda de cutícula, o que gerou porosidade. Esse aspecto mostrado na Figura 59 indica que esta amostra apresentou uma maior fração porosa entre as evidências, indicando que a superfície da mecha sofreu alterações e desgaste físico.

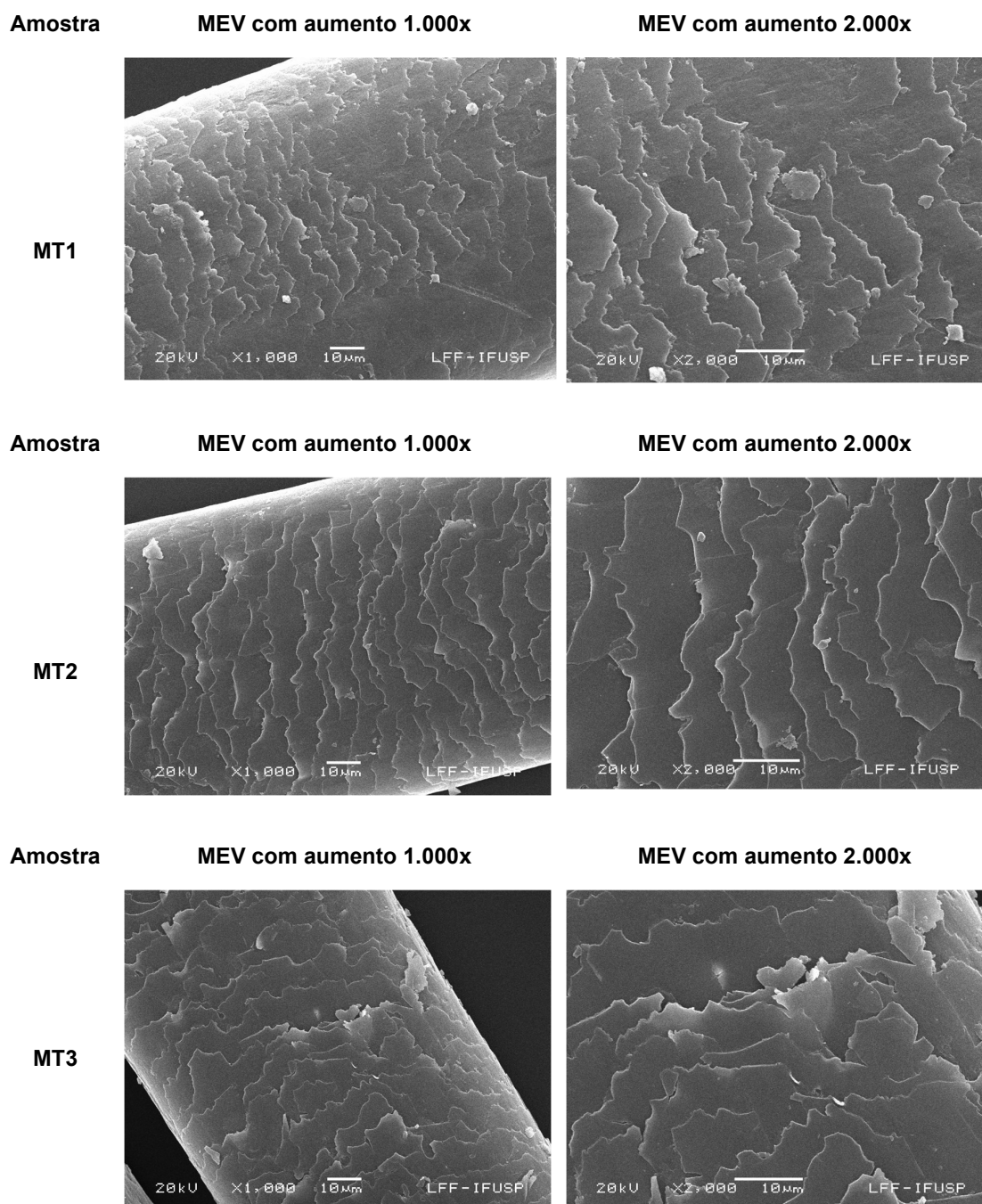
Nas imagens MT3, os danos nas cutículas são ainda mais intensos, com maior desprendimento de material superficial. Embora se trate de uma mecha tratada com alisante alcalino, o teste de brilho mostrou foi a amostra com maior intensidade, dando aspecto de fio íntegro e belo, o que é traduzido pela percepção do brilho.

Figura 60: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo colorido (MC).



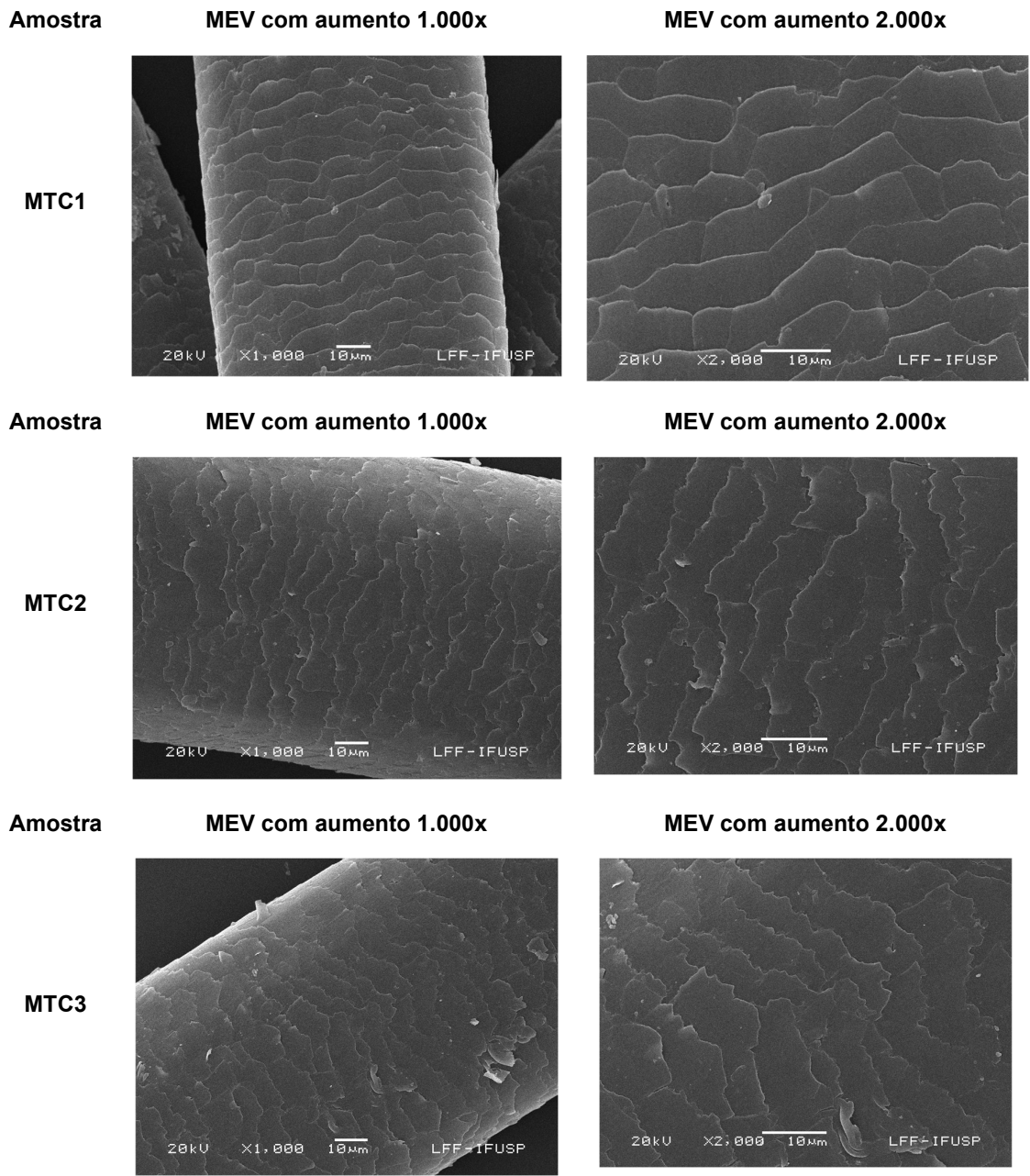
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Figura 61: Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado com tioglicolato de amônio (MT).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Figura 62: Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado com tioglicolato de amônio e colorido (MTC).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

A Figura 62 ilustra as imagens dos fios da mecha tratada cosmeticamente por alisante à base de tioglicolato de amônio, seguida de coloração (MTC) e podemos destacar estruturas cuticulares fragmentadas, porém, como houve depósito de corante, a aparência externa da fibra está homogênea.

Pelas imagens MTC1, MTC2 e MTC3, percebe-se certa integridade em relação à mecha de cabelo natural (MN), mostrando que os alisantes e colorantes podem ajustar as cutículas sem causar perda significativa do brilho.

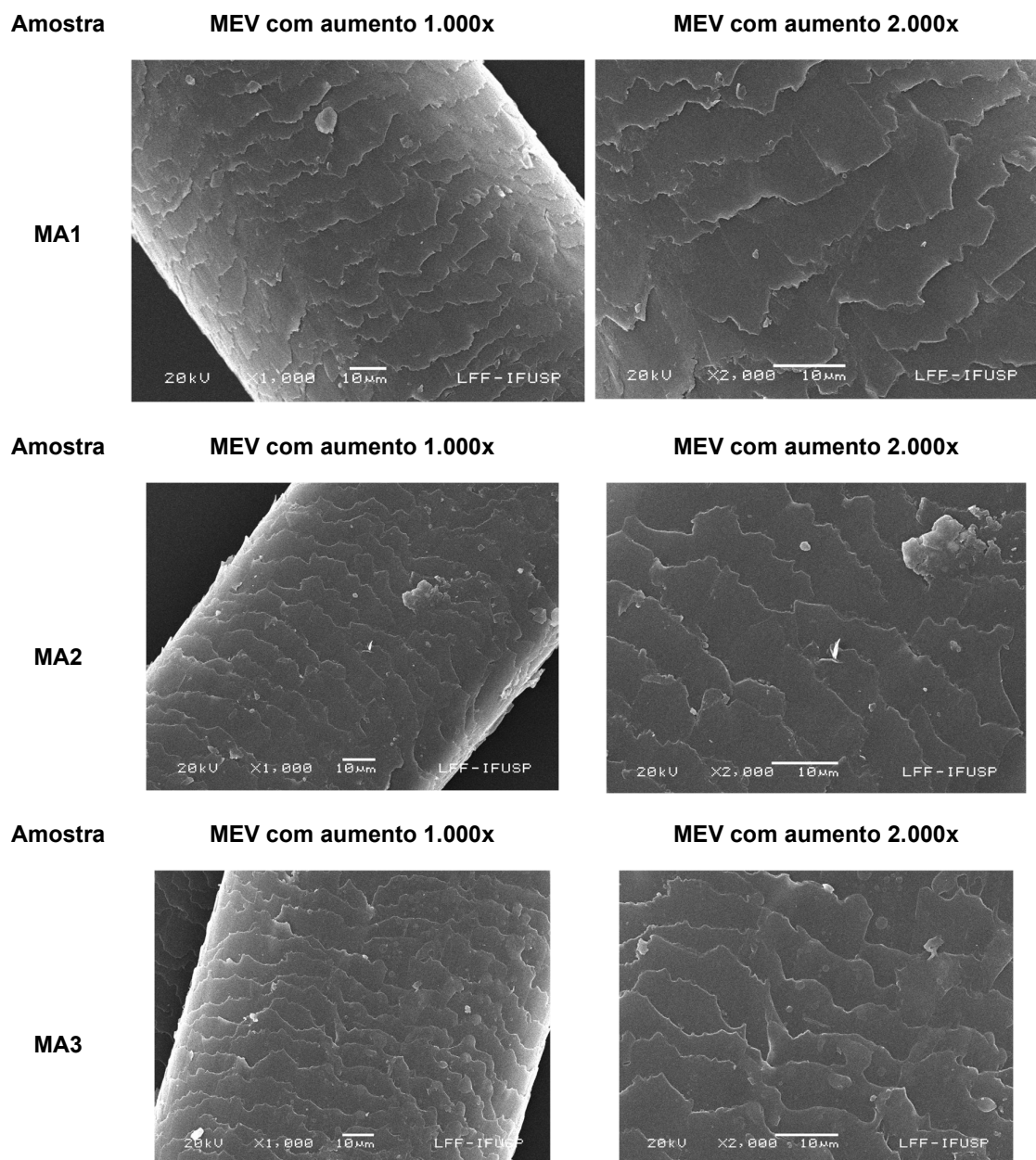
Este resultado indica a possibilidade do desenvolvimento de formulações cosméticas que ao mesmo tempo que danificam as estruturas proteicas da fibra capilar nas porções superficial (cutícula) e interna (córtex), no momento do alisamento ou da coloração também podem doar brilho e diâmetro, conquistando ainda mais o olhar dos consumidores dos serviços estéticos capilares.

No ensaio de determinação do brilho, as mechas MT apresentaram cerca de 20% a mais de brilho do que as mechas MTC, mesmo que o MEV tenha mostrado imagens com mais fragmentos.

O aumento do brilho pode ser devido ao alinhamento das cutículas causado pelo alisante, uso do secador e chapinha e a presença de tratamento cosmético nas formulações (Bouillon; Wilkinson, 2005; Goshiyama, 2019; Schueller; Romanowski, 1999; Halal, 2012).

Em relação à medição do diâmetro médio, as mechas MTC tiveram, ao lado das mechas naturais o segundo menor diâmetro (Figura 49).

Figura 63: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado AMP (MA).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

A Figura 63 ilustra as imagens MEV obtidas das mechas MA, ou seja, mechas que foram alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol. Este alisante foi produzido na forma de emulsão com pH mais brando (pH 7,5 a 8,0) que a formulação

com o tioglicolato de amônio (pH 7,00 a 9,50), por isso, há hipótese de menor alteração química.

Na Figura 54, que mostra o ensaio de FTIR-ATR comparando as ações desses dois alisantes, vimos que as bandas que indicam a oxidação da cistina são mais intensas no ensaio evidenciado no espectro das amostras de cabelo alisadas com o tioglicolato de amônio (MT) e a região das bandas que amidas A e B, indicam a relação das proteínas com as moléculas de água, onde o espectro indicou maior alteração nas amostras alisadas com o tioglicolato de amino metilpropanol (MA).

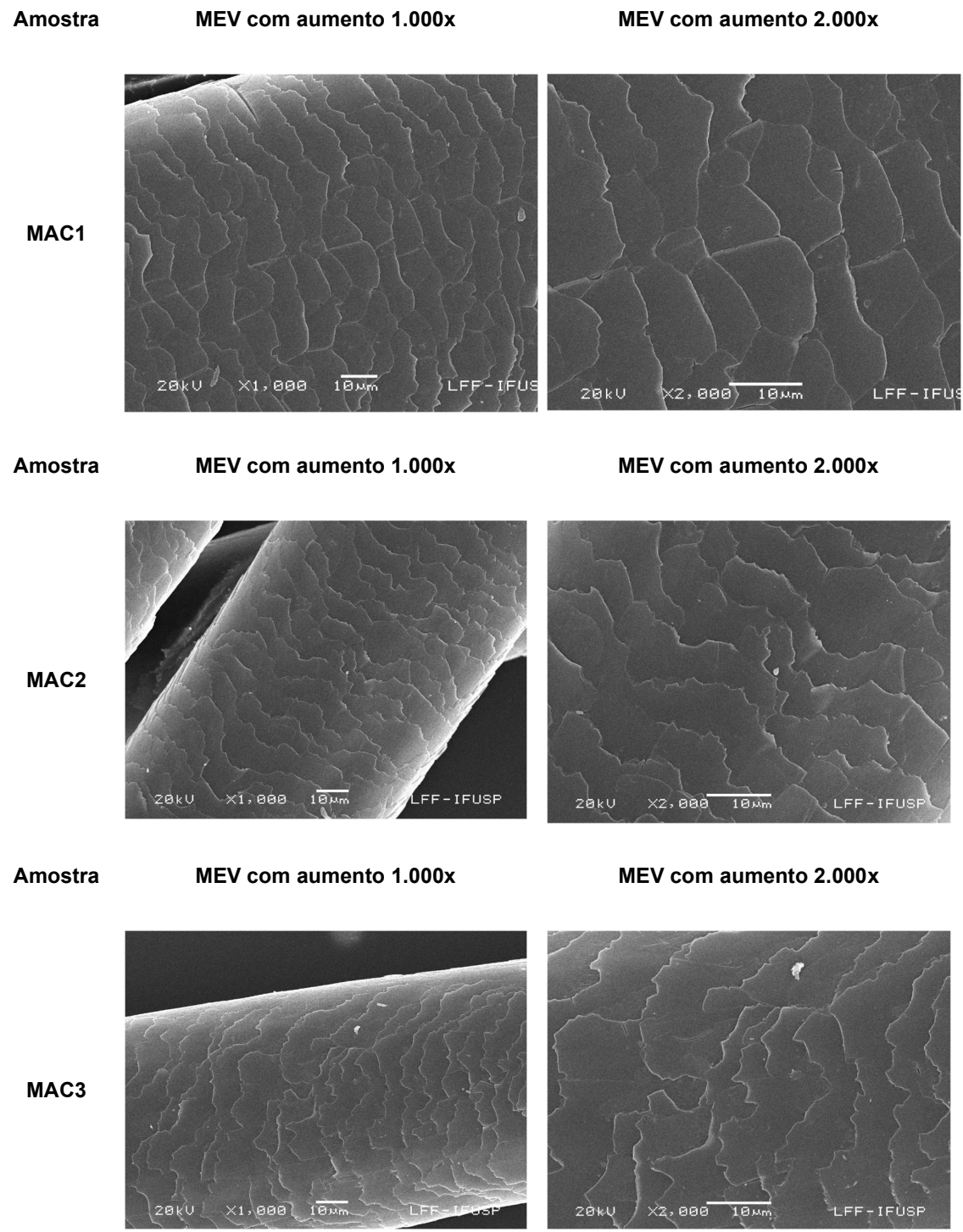
Não há na literatura ensaios descritos de MEV para mechas capilares alisadas com o tioglicolato de amino metilpropanol, evidenciando aqui a importância desses dados. Por ser um alisante com menor pH, espera-se que a difusão cuticular também seja menor e seu depósito seja mais na região periférica, mesmo apresentando menor fração porosa, quando comparada à mecha de cabelos naturais (MN).

As imagens MA2 mostram certa lesão cuticular com descolamento de pequenas partes da cutícula da haste capilar, e esta amostra mostrou menor brilho ao compará-la às mechas alisadas com tioglicolato de amônio (MT) e às mechas naturais (MN).

A imagem (Figura 64) das mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol e coloridas (MAC) mostram as cutículas organizadas, com bordas mais delimitadas sem projeção de sombra, o que pode demonstrar certa integridade, e similar às imagens das mechas processadas com alisamento à base de tioglicolato de amônio e coloridas (MTC).

Importante salientar que, assim como na avaliação das imagens das mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol (MA), as mechas MAC também apresentam ausência de literatura.

Figura 64: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de mechas de cabelo alisado AMP (MA).



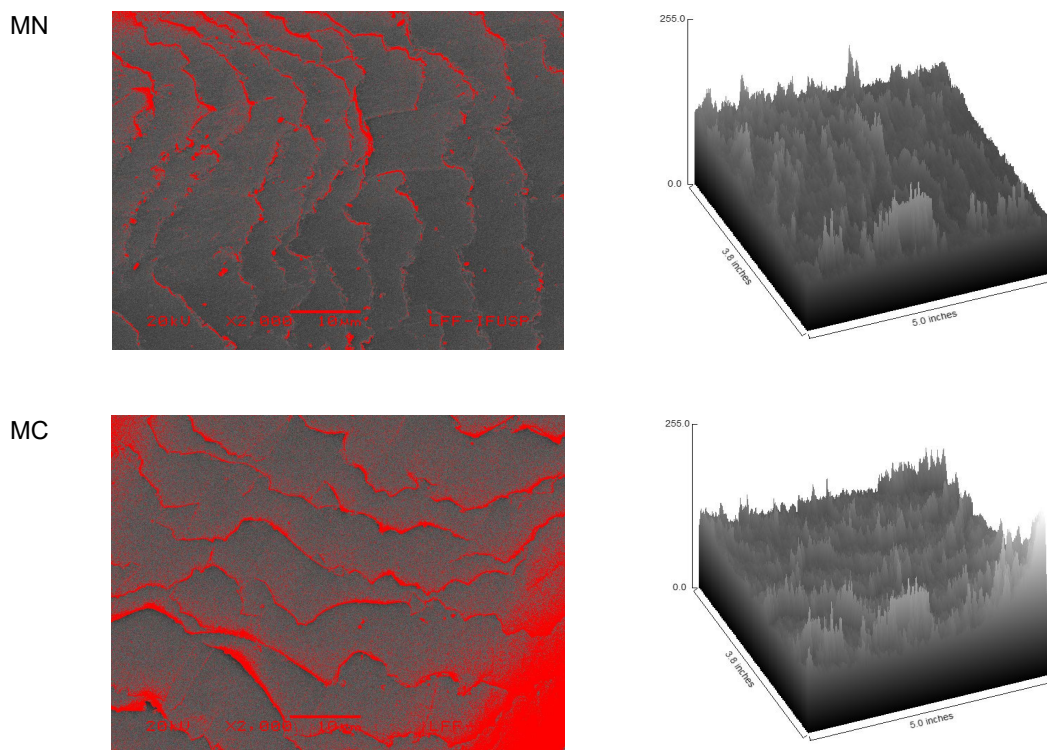
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

organizadas nas Figuras 65, 66 e 67 foram tratadas pelo *software* ImageJ para facilitar a visualização das diferenças nas estruturas cuticulares e a análise de superfície das amostras das mechas de cabelo natural e as mechas tratadas cosmeticamente por alisamento e coloração. Na coluna da esquerda observamos as mechas tratadas na cor vermelha evidenciando a formação de sombra, onde interpretamos que quanto maior a intensidade da cor vermelha, maior a possibilidade de formação de sombra entre as camadas cuticulares, ou seja, maior a porosidade. Por essas imagens, verifica-se que as mechas MT e MAC foram as mais vermelhas, assim, as mais porosas de acordo com os dados da Figura 58.

A coluna da direita mostra a interação entre as imagens MEV e o *software* ImageJ, gerando uma nova imagem evidenciando a superfície cuticular e, assim, percebe-se as alterações superficiais causadas sobre as amostras tratadas cosmeticamente, nesta pesquisa. Vale ressaltar que as mechas alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol também apresentaram as alterações semelhantes, porém, em menor grau, mostradas nas mesmas imagens.

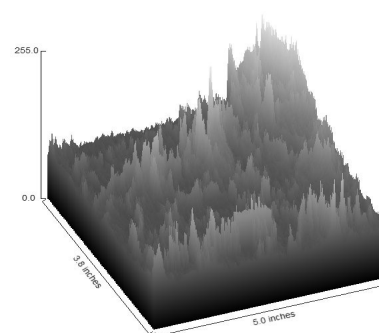
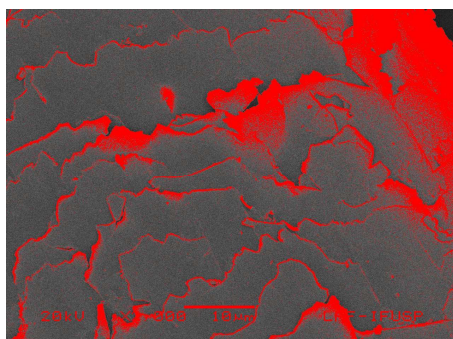
Figura 65: Imagens (MEV) das mechas MN (mecha natural) e MC (mecha colorida), tratadas com o *software* ImageJ mostrando sombras das cutículas e mostrando a superfície dos fios das mechas.



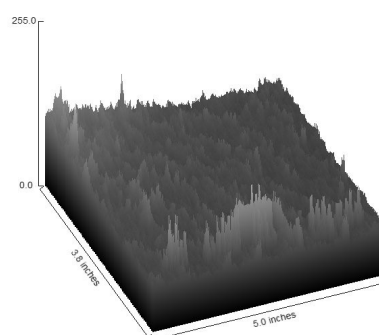
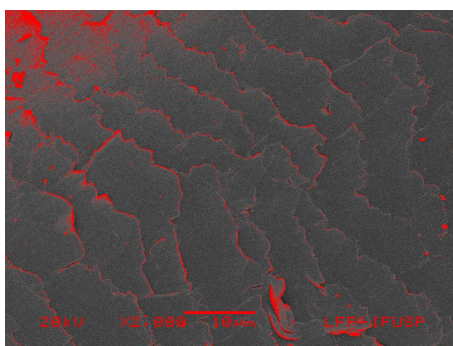
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Figura 66: Imagens (MEV) das mechas MT (alisada com tioglicolato de amônio) e MTC (alisada com tioglicolato de amônio e colorida), tratadas com o *software* ImageJ mostrando sombras das cutículas e mostrando a superfície dos fios das mechas.

MT

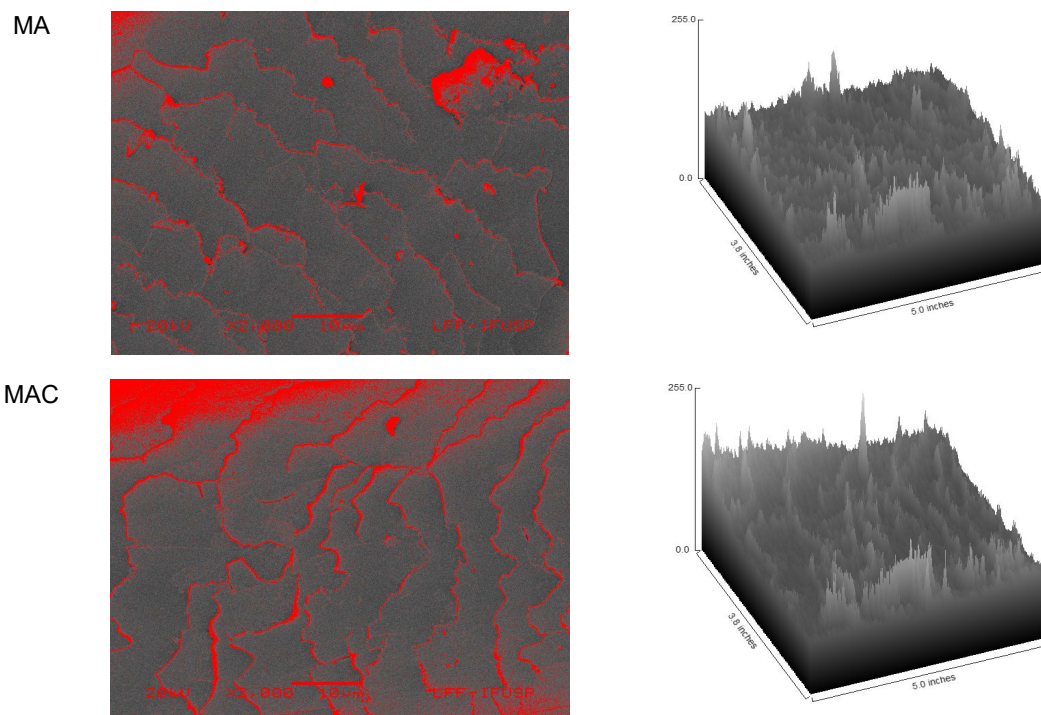


MTC



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Figura 67: Imagens (MEV) das mechas MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida), tratadas com o *software* ImageJ mostrando sombras das cutículas e mostrando a superfície dos fios das mechas.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

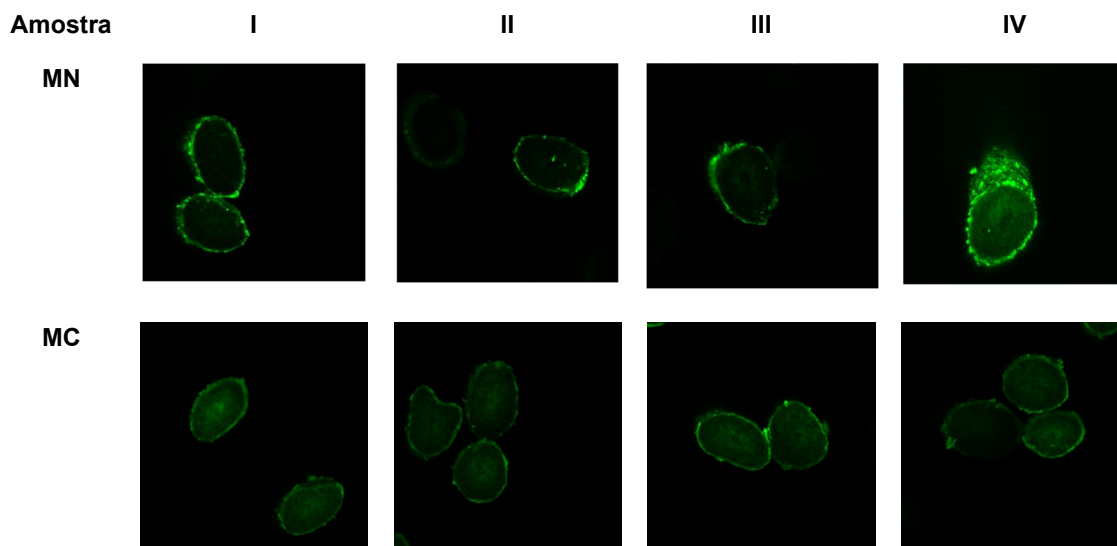
5.7. Imagem de microscopia confocal de fluorescência

Este ensaio teve como objetivo analisar o comportamento das mechas de cabelo natural e tratadas com cosméticos alisantes e colorantes quanto à difusão da solução aquosa do corante fluorescente de Rodamina 123, e assim, contribuir para a discussão deste trabalho, dando possibilidade de entender se as transformações de forma e de cor alteram significativamente esta característica atribuída à cutícula capilar.

As Figuras 68 (MN e MC), 69 (MT e MA) e 70 (MTC e MAC) mostram as imagens do ensaio de fluorescência feito com a solução de Rodamina 123 aplicada em todas as mechas. A cor verde intensa mostra a presença de Rodamina, ou seja, a presença do fluoróforo indicando comportamento diferenciado das amostras de mechas de cabelo.

Em todas as quatro amostras das mechas de cabelos naturais (MN) observa-se que a solução colorante difundiu por toda cutícula e atingiu partes do córtex, sendo que nas mechas II e IV houve difusão até a medula (Figura 68).

Figura 68: Imagens de microscopia confocal de fluorescência das mechas MN (mecha natural) e MC (mecha colorida).

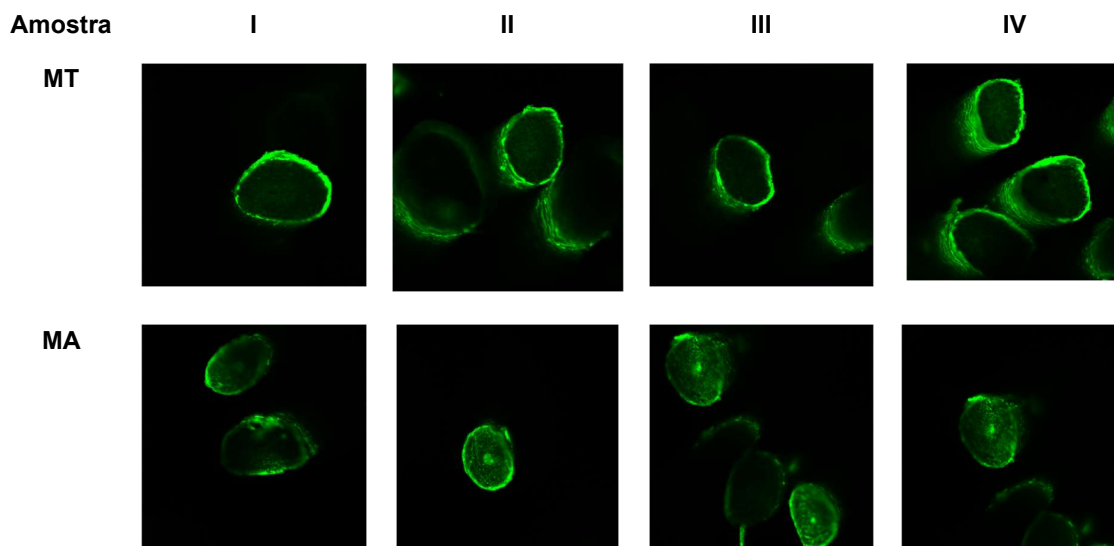


Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Nas mechas que sofreram os alisamentos alcalinos com tioglicolato de amônio (MT) e tioglicolato de amino metilpropanol (MA) (Figura 69) nota-se que as imagens estão mais claras evidenciando maior presença do corante fluorescente e nas mechas MA II, III e IV, o corante difundiu até a região medular, o que não foi observado nas mechas MT.

Nestes casos (MT e MA), a solução aquosa fluorófora se comportou de forma distinta nas amostras capilares, ou seja, na amostra MT, o corante se concentrou na região cuticular e na amostra MA, o corante teve a possibilidade de difusão até regiões mais centrais das fibras, atingindo a medula.

Figura 69: Imagens de microscopia confocal de fluorescência das mechas MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol)



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

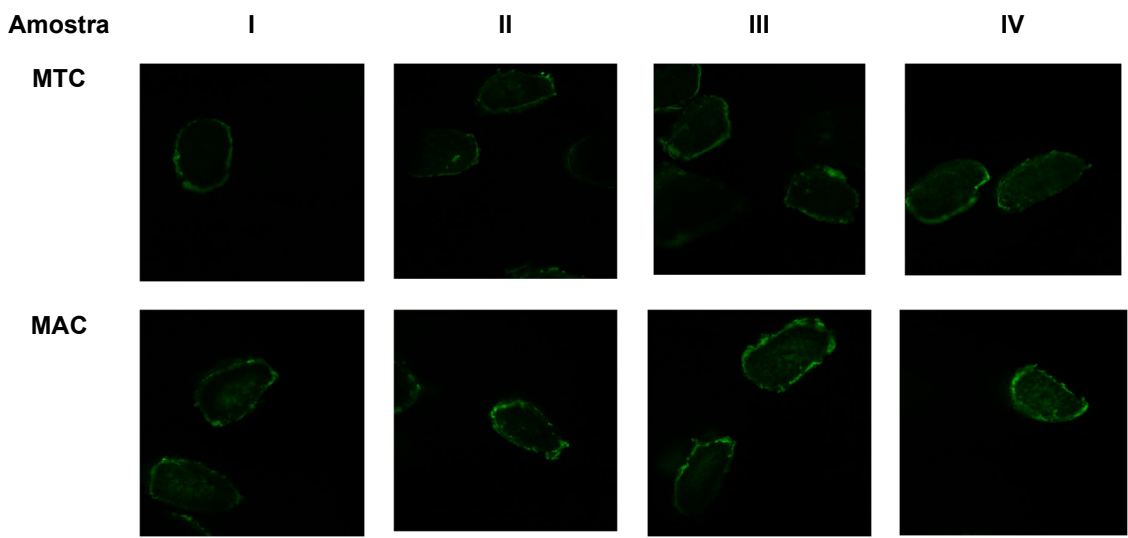
Ao analisarmos o teste de brilho, vimos que a amostra alisada com tioglicolato de amônio teve maior número (27,39 BNT) (Figura 50), ou seja, possibilidade de que esse cosmético tenha promovido um ajuste cuticular para a maior reflectância da luz e deposição externa de substâncias (adjuvantes) que possuem a finalidade de aumentar o brilho como silicones, ceras e óleos vegetais fixos presentes na formulação em questão (Tabela 6).

O processo de coloração realizado nas amostras das mechas colorida (MC) (Figura 68), alisada por tioglicolato de amônio e colorida (MTC) e alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida (MAC) (Figura 70) mostrou ter efeito redutor em relação a difusão da solução aquosa com o corante Rodamina 123, ao serem comparadas com as imagens da amostra de mecha de cabelo no seu estado natural (MN, sem processamento cosmético).

Este efeito aconteceu, inclusive, nos fios que foram coloridos e não alisados (MC), indicando que o processo de deposição de pigmento realizado em pH alcalino pode alterar a difusão ativos cosméticos.

As mechas processadas com o tioglicolato de amino metilpropanol (MA e MAC) não podem ser avaliadas com dados em literatura, devido a ausência de ensaios similares.

Figura 70: Imagens de microscopia confocal de fluorescência das mechas MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

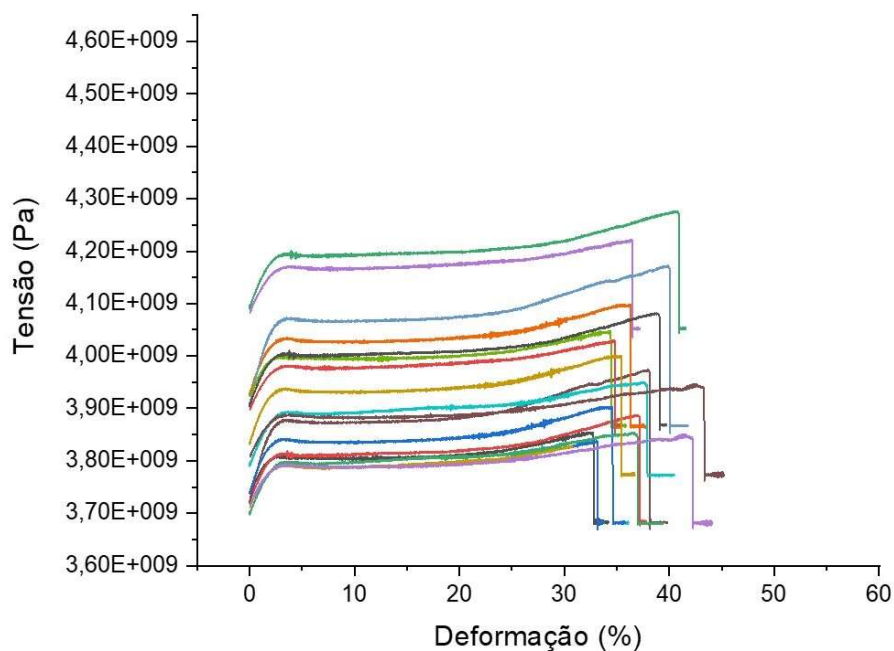
5.8. Resistência à Tração

Os ensaios de resistência à tração foram todos realizados seguindo as mesmas condições experimentais de temperatura e umidade do ambiente.

Na figura 71 pode ser notado um gráfico exemplificando a tensão, em MPa, versus a deformação, em porcentagem de alongamento até a quebra, obtido após o ensaio de resistência mecânica realizado nas amostras das mechas de cabelo natural (MN), contendo 20 fios de cabelo (Velasco, *et al.*, 2009; Sureka, *et al.*, 2022).

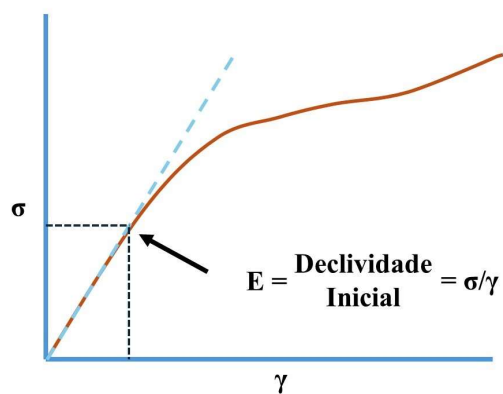
Para uma melhor caracterização do material é feito o cálculo do Módulo de Young, que consiste no *slope* da curva de tensão x deformação na região linear inicial, conforme demonstrado na figura 71.

Figura 71: Gráfico representando a tensão versus deformação de 20 amostras do grupo de cabelo natural (MN) submetidas ao ensaio de resistência mecânica.



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Figura 72: Ilustração representando curva tensão (σ) versus deformação(γ).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

A partir destes dados foram obtidas duas informações importantes sobre as propriedades mecânicas das amostras estudadas. Sendo elas o módulo de elasticidade, ou módulo de young, e a deformação das amostras até o rompimento. Estas informações foram disponibilizadas na tabela 17.

Tabela 17 - Medidas de tensão-deformação das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.

*MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)

Amostras		Módulo de Young (MPa)	Alongamento até Quebra (%)	Tensão Máxima (MPa)
MN	Média	53,1	42,4	3893,2
	Desvio Padrão	8,7	8,6	55,6
MA	Média	59,3	48,7	3902,8
	Desvio Padrão	7,9	10,0	29,1
MT	Média	61,0	61,0	3904,1
	Desvio Padrão	10,6	9,8	11,8
MC	Média	47,7	47,7	3896,3
	Desvio Padrão	5,9	7,4	32,5
MAC	Média	68,8	51,3	3916,8
	Desvio Padrão	12,6	9,2	39,7
MTC	Média	61,8	52,7	3934,7
	Desvio Padrão	9,5	6,1	38,6

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

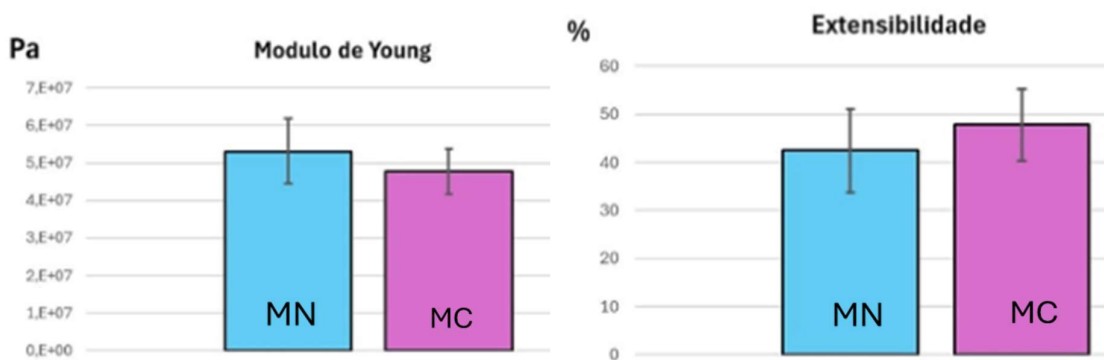
Na pesquisa realizada por Cloete, Khumalo e Ngoepe (2021), os resultados da investigação sobre a compreensão da mecânica do fios cacheados, indicaram que todos os tipos de cabelo são formados por dois componentes principais a região

plástica e a região elástica, onde os cabelos naturalmente lisos a maior parte da resistência à tração é derivada de região elástica, enquanto que para os maior curvatura (cacheados), que é caso desta pesquisa, a resistência à tração geral da fibra é aumentada pela região plástica e a região elástica continua representando o item de maior importância.

A elasticidade dos fios de cabelo se relaciona com o potencial de energia mecânica armazenada em sua própria estrutura e com o aumento da curvatura há também um aumento proporcional no módulo de elasticidade, então, as fibras com curvatura brandas ou lisas não se colocam no estado retraído e oferecem resistência nula ao serem puxadas (Cloete; Khumalo; Ngoepe, 2021)

Ao comparar os grupos de mechas de cabelo natural (MN) com cabelo colorido (MC), é possível notar variação no Módulo de Young e na extensibilidade até a quebra dos fios, em que o primeiro sofreu perda de valores, enquanto o segundo teve aumento (Figura 73).

Figura 73: Módulo de Young e Extensibilidade das amostras MN (mecha de cabelo natural) e MC (mecha de cabelo colorido)



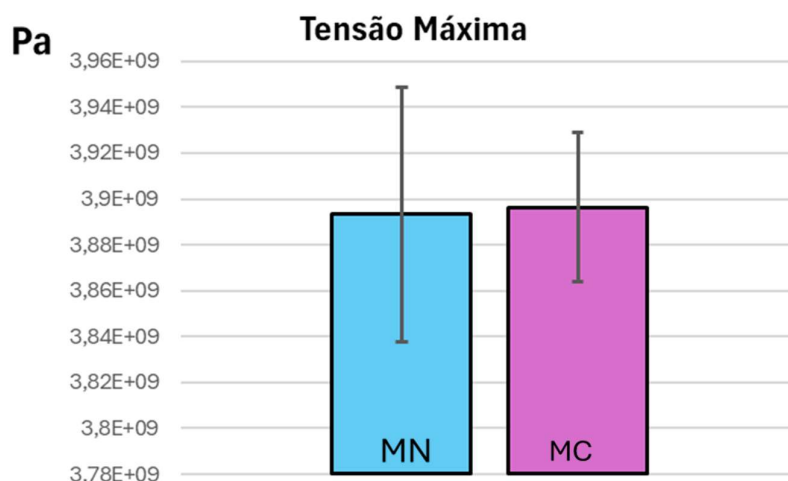
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

A coloração promoveu um ligeiro aumento da extensibilidade da fibra ao compararmos com a fibra natural e na tensão máxima, ou seja, na força exercida para o rompimento dos fios, de 3893,20 (MN) para 3896,30 (MC).

Gama (2010) comparou, em sua pesquisa, a ação de cosméticos coloridos e a resistência à tração de fibras capilares e obteve resultado diferente desde (Figuras 73 e 74), porém, a coloração utilizada tiva formulação diferenciada e a tonalidade é o loiro claro, ou seja, maior poder oxidativo.

Um dado importante a ser discutido que se relaciona diretamente à resistência à tração é o diâmetro dos fios. No item 5.2., onde discutiu-se sobre esta característica, nota-se que a coloração promoveu um aumento no diâmetro das mesmas amostras avaliadas no ensaio presente. As amostras de mechas coloridas (MC) apresentaram um aumento de, aproximadamente, 40% na medida do diâmetro médio (Figura 49).

Figura 74: Tensão máxima das amostras MN (mecha de cabelo natural) e MC (mecha de cabelo colorido)



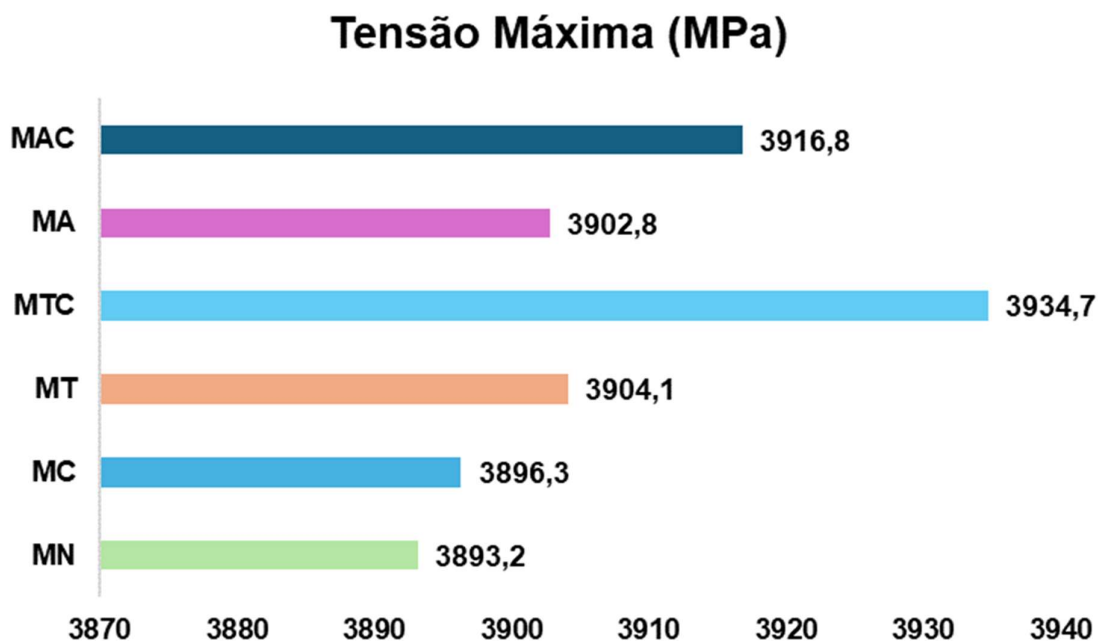
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Tal padrão pode estar relacionado a uso de cosmético oxidativo com a coloração e, somado a isso, temos um pH elevado que, como já descrito em literatura, atinge diretamente as áreas cuticulares e corticais, gerando um aumento da porosidade e fragilidade dos fios (Halal, 2012; Velasco 2009).

Porém, no ensaio de determinação do diâmetro médio, podemos observar que os fios coloridos (MC) apresentaram maior diâmetro, provavelmente devido ao depósito dos corantes e intumescimento devido ao pH (9,00 a 10,50).

Fios mais expressos podem não ser mais resistentes, o que mostra coerência com os escritos. (Robbins 2012; Weathersby; Mcmichael, 2013; Madnani; Khan, 2013; França, 2014; Hatsbach; Basílio; Mulinari-Brenner, 2022).

Figura 75: Tensão máxima (MPa) das mechas MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. *MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)

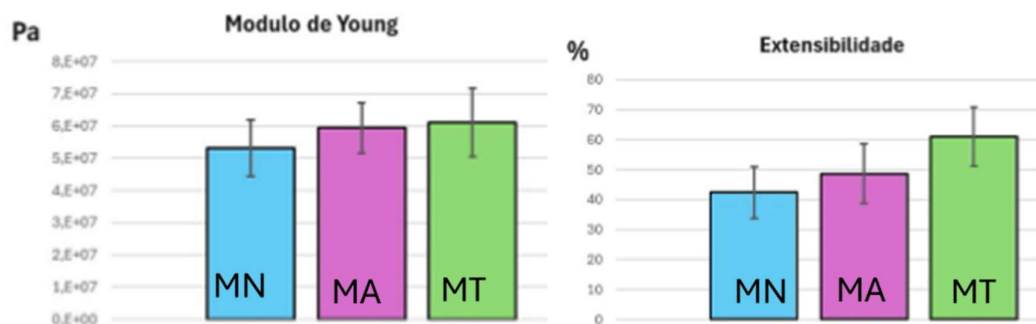


Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

No que diz respeito às amostras MT e MA (Figuras 76 e 77), os alisamentos das mechas de cabelo natural (MN) mostraram um padrão de alteração similar entre o módulo de Young e a Extensibilidade, onde o grupo MT apresentou maior alteração, embora o módulo de Young de ambos os grupos MA e MT tenham valores bem próximos (Figura 76), com maior diferença na extensibilidade dos fios, provavelmente por serem formulações cosméticas que apresentam na sua composição ativos como silicones, ceras e óleos vegetais que podem reduzir os danos estruturais, como descrito no item 2.2 sobre a evolução cosmética de alisantes.

Figura 76: Módulo de Young e Extensibilidade das amostras MN, MA e MT.

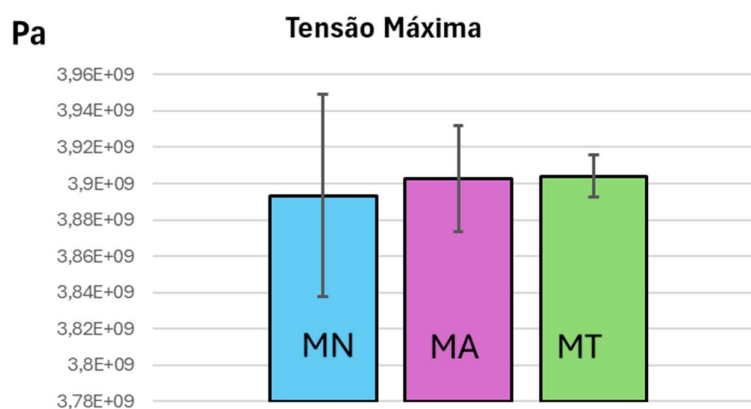
*MN (mecha natural), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Figura 77: Tensão máxima das amostras MN, MT e MA.

*MN (mecha natural), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Figura 78: Módulo de Young e Extensibilidade das amostras MN, MAC e MTC.

*MN (mecha natural), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)

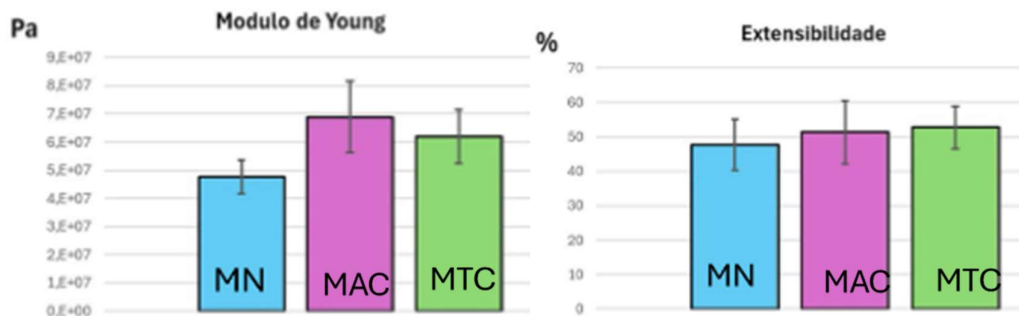
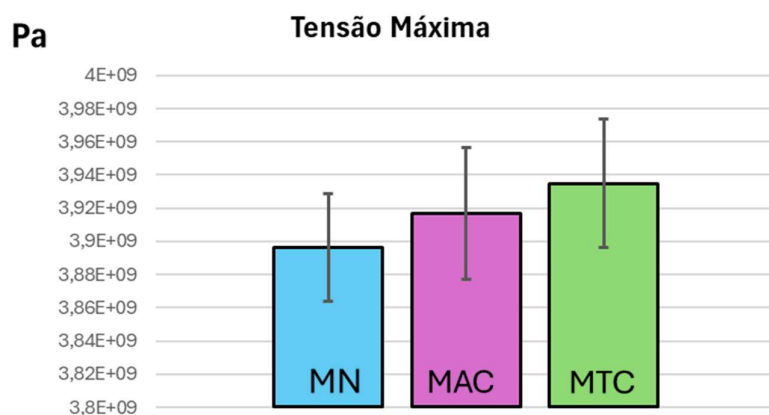


Figura 79: Tensão máxima das amostras MN, MAC e MTC.

*MN (mecha natural), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Já os grupos alisados com posterior descoloração (Figuras 78 e 79) apresentaram comportamento diferente, onde a alteração de módulo de Young do grupo MAC foi mais evidente, enquanto a mudança de extensibilidade entre esse grupo e o grupo MTC foi bem próxima, não sendo tão distantes do grupo MN, provavelmente pelas mechas MAC terem sido alisadas por um tiol mais suave, em relação ao pH, desta forma ter menor interferência estrutural, seguido de depósito dos corantes, pela coloração.

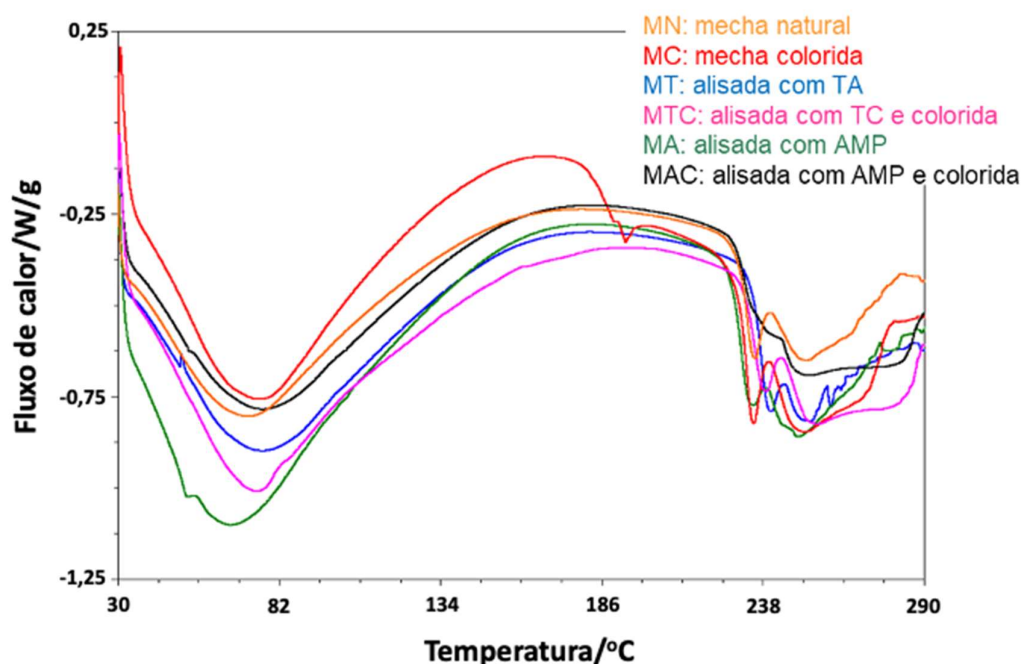
5.9. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Todas as amostras das mechas de cabelo avaliadas foram submetidas a DSC para avaliar os eventos de transição de fase e degradação ou não após os tratamentos de transformação química. Isto porque procedimentos de transformação química como coloração, descoloração e alisamento causam denaturação de cadeias de α -queratina (mudança na conformação da proteína com transição de fase sem perda de massa), degradação de estruturas da fibra capilar com perda de massa, como lipídeos e proteínas.

Nas medidas de DSC, existem quatro parâmetros principais que indicam se houve alterações nas fibras capilares, que são (Istrate, 2011): temperatura de desidratação (T_d), entalpia de remoção de água (ΔH_{H_2O}), temperatura de denaturação (T_D) e a entalpia de denaturação de cadeias de α -queratina (ΔH_D).

Em nossa pesquisa, foram realizadas medidas a seco (dry-DSC) e, desta forma, obtivemos os valores de entalpia de desidratação de todas as amostras. A Figura 79 e a Tabela 18 apresentam estes resultados.

Figura 80: Curvas DSC obtidas a $10^\circ\text{C min}^{-1}$ das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Tabela 18 - Resultados das temperaturas e entalpias obtidos por DSC nas amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC. MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)

Amostra	Parâmetro 1 Desidratação		Parâmetro 2 Denaturação/Pirólise	
	Td	$\Delta H_{H_2O}/Jg^{-1}$	TD	$\Delta H_D/Jg^{-1}$
MN	73,47°C	146,81	234,57°C	8,6022
MC	77,13°C	83,44	247,36°C	8,1710
MT	78,02°C	189,66	238,88°C	7,8266
MTC	75,27°C	193,14	237,30°C	7,8939
MA	68,48°C	202,95	232,50°C	7,9826
MAC	78,49°C	174,85	233,49°C	4,9332

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Pode-se observar que apenas a amostra da mecha MC (83,44 Jg⁻¹) apresentou diminuição na ΔH_{H_2O} quando comparada à MN (146,81 Jg⁻¹).

Estes dados nos indicam que esta mecha apresenta menor teor de água em sua matriz, o que pode ser explicado pela possível alteração nas bandas de amida A e B (Figura 51) nos ensaio de FTIR, que identifica (bandas típicas de proteínas de estrutura secundária) a interação dos grupamento amida dos aminoácidos com as moléculas de água (Barton, 2011; Mujeeb; Zafar, 2017).

Em relação ao parâmetro 2 (TD), as amostras das mechas alisadas com AMP e coloridas (MAC) apresentaram menores temperaturas de denaturação/pirólise.

Já as amostras das mechas coloridas (MC), mechas alisadas com tioglicolato de amônio (MT) e mechas alisadas com tioglicolato de amônio e colorida (MTC), apresentaram aumento da TD, conforme pode ser observado na Tabela 18.

Estas alterações nos valores de T_D de mechas quimicamente processadas corroboram a literatura e demonstram os diferentes comportamentos associados aos tratamentos químicos aplicados nas fibras. Por exemplo, segundo Lima *et al.* (2019), esta variação de T_D tem sido muito discutida e interpretada de formas diferentes na literatura.

O aumento ou diminuição da T_D depende de alguns fatores e entre eles o meio em que as medidas de DSC são realizadas (úmido - wet-DSC ou seco - dry-DSC) (Lima *et al.*, 2019, Istrate, 2011).

Conforme indicado, a literatura, este aumento na T_D se deve ao novo ambiente reativo que pode ter aumentado a concentração de ácido cisteico, produzido pela oxidação da cistina e como consequência deslocando a temperatura de denaturação para valores mais elevados (Monteiro *et al.* 2005).

Em todas as amostras avaliadas percebe-se uma alteração na entalpia de denaturação das cadeias de α -hélice (ΔH_D)/pirólise quando comparadas com a amostra MN (8,6022 Jg⁻¹).

Isto demonstra que os tratamentos de transformação química causam uma diminuição nas cadeias de α -hélice (e pirólise) de estruturas dentro do intervalo de temperatura do pico TD.

A mecha que apresentou menor ΔH_D foi a mecha MAC (4,93 J.g-1), o que demonstra que a associação destes tratamentos impactou mais para a denaturação/pirólise das cadeias de alfa-hélice.

5.10. Termogravimetria

Ao sofrer aquecimento, em ambiente controlado e sobre uma balança com alta sensibilidade, as amostras passam por transformações de estado físico. Todo processo é registrado e os dados são organizados em gráficos para que possamos interpretá-los.

Esta técnica é utilizada de forma intensa na busca do entendimento do comportamento térmico (desidratação, hidratação e a fusão proteica) da haste capilar, bem como os fios processados por inúmeros tipos de formulações cosméticas e a perda de massa (Lima, 2016; Maurício, 2019; Oliver, *et al.*, 2020).

Pode-se verificar que os gráficos obtidos com o ensaio de termogravimetria (TG) realizado em todas as amostras destacam curvas com três eventos distintos (Gama, 2010; Monteiro; Maciel; Longo, 2015)

- perda de água (25 a 150°C);
- perda de massa proteica (acima de 200°C);
- carbonização com completa degradação do cabelo (350 a 550°C).

A Tabela 19 resume todas as amostras com os três eventos de perda de massa especificando a temperatura de pico e a massa em %.

Tabela 19 - Resultados de TG das amostras MN, MC, MT, MTC, MA e MAC.

MN (mecha natural), MC (mecha colorida), MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio), MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida), MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol e colorida)

Amostra	Evento	T pico DTG (°C)	Massa (%)
MN	1	88,06	6,39
	2	276,63	62,22
MC	1	78,16	5,75
	2	313,65	70,33
MT	1	87,13	5,62
	2	312,46	69,06
MTC	1	78,90	6,31
	2	308,7	67,46
MA	1	88,06	5,16
	2	316,7	71,03
MAC	1	88,60	6,36

Fonte: Elaborada pela própria autora (2024)

Os resultados da termogravimetria das amostras de cabelo natural servem como parâmetro de comparação para analisarmos as possíveis alterações causadas pelos cosméticos de alisamento e coloração nas mechas capilares.

Para as mechas MN, afirma-se que o evento 1 (desidratação) aconteceu na temperatura de pico de 88,06°C, o evento 2 (perda de massa) com temperatura de pico de 168,72°C e o evento 3 (pirólise) em 300,61°C.

Os resultados da TG das mechas de cabelo colorido (MC) são: evento 1 (desidratação) aconteceu na temperatura de pico de 78,16°C, com diferença de 10°C, ou seja, aproximadamente, 11% inferior.

Isso mostra que a estrutura proteica dos fios foi alterada com o uso da coloração, facilitando a perda de água, em porcentagem menor, a denaturação

proteica também aconteceu em temperatura menor (164,09°C), cerca de 2,74%. Já a pirólise aconteceu em temperatura de pico de 313,65°C, esse aumento necessário de energia pode ser devido à composição das formulações cosméticas utilizadas no processo de coloração.

Os resultados da termogravimetria (TG) das amostras de cabelo natural servem como parâmetros de comparação para analisarmos as possíveis alterações causadas pelos cosméticos de alisamento e coloração das mechas capilares.

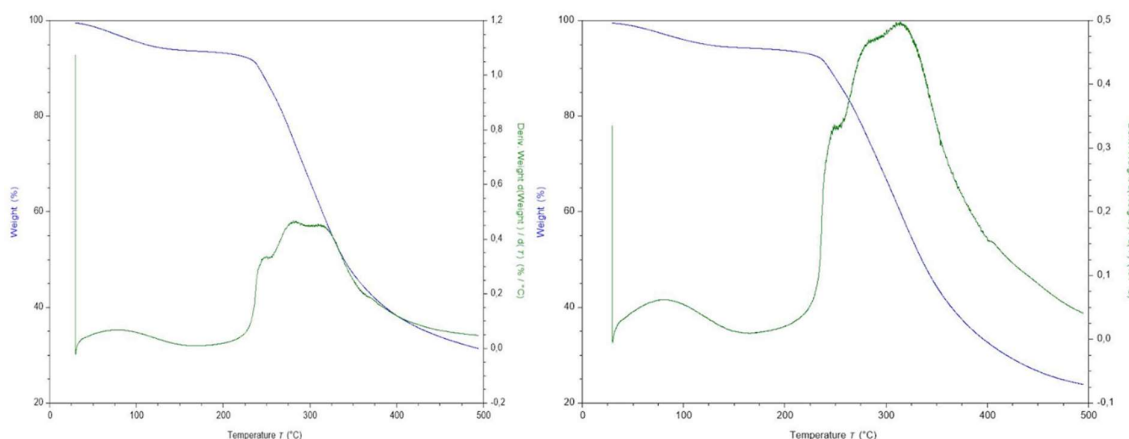
Focamos na avaliação das temperaturas de pico dos dois primeiros eventos de perda de massa: desidratação e degradação, medidas por meio da derivada da curva termogravimétrica (Tpico DTG - Tabela 19).

Para as mechas MN (mechas de cabelo natural), o evento 1 (desidratação) apresentou temperatura de pico de 88°C e o evento 2 (degradação) com temperatura de pico de 277°C.

Os resultados da TG (Figura 81) das mechas de cabelo colorido (MC) são: evento 1 (desidratação) apresentou temperatura de pico de 78°C, com diferença de 10°C, ou seja, aproximadamente, 11% inferior em relação ao cabelo natural (MN).

Isso mostra que a estrutura dos fios foi alterada com o uso da coloração, facilitando a perda de água, em porcentagem menor, sendo que foi constatado por DSC que a denaturação proteica também aconteceu em temperatura menor em relação a todas as outras amostras.

Figura 81: Curvas TG obtidas das amostras MN (mecha natural) e MC (mecha colorida).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

Já a pirólise/degradação apresentou temperatura de pico de 314°C.

Importante lembrar que os cabelos coloridos de forma permanente possuem em sua estrutura complexos macromoleculares de corante aprisionados na estrutura proteica cortical.

Com os resultados da espectroscopia de infravermelho FTIR (item 5.4.), comparando exatamente essas duas mechas (MN e MC), as bandas foram as mesmas, porém mais intensas no cabelo colorido (MC), indicando alterações tanto nas ligações entre moléculas de água e proteína (bandas amidas A e B) quanto em relação às bandas relacionadas a oxidação de cistina.

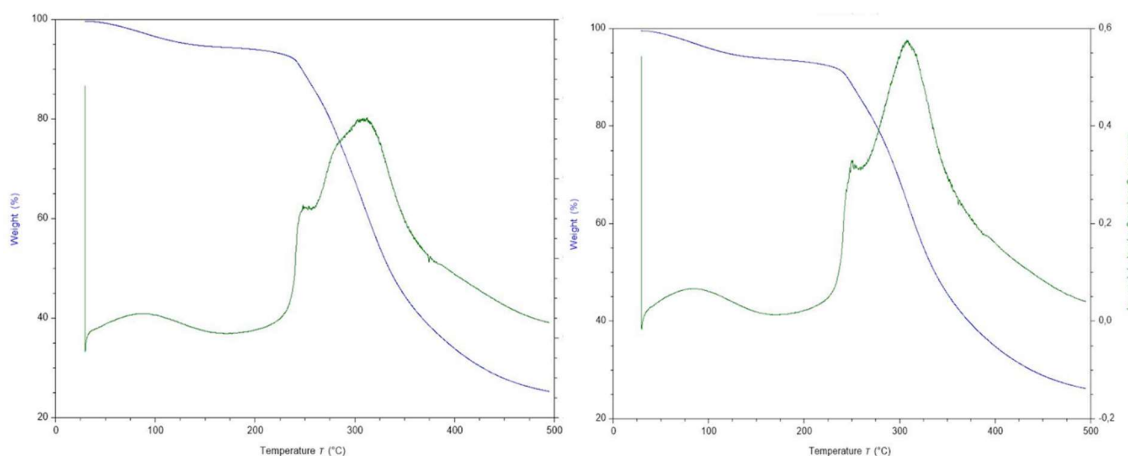
No item 5.8. sobre a resistência à tração, as mesmas mechas (MN e MC) apresentaram o módulo de Young menor, ou seja, menos resistentes, porém da extensibilidade, mostrou-se mais intensa.

As mechas alisadas com tioglicolato de amônio (MT), apresentaram os seguintes resultados: evento 1 (desidratação) apresentou temperatura de pico de 87°C, com muita semelhança à mecha de cabelo natural (88°C).

No caso das mechas alisadas com tioglicolato de amônio e coloridas (MTC), apresentaram resultados diferentes nos das mechas naturais (MN) sendo, na perda de água (desidratação) a temperatura de pico (Tpico DTG) foi de 79°C, cerca de 13% menor (Figura 81).

A temperatura de pico dos cabelos alisados foi de mais de 4°C acima, indicando que as mechas alisadas e coloridas tiveram menor resistência à temperatura, indicando que estes procedimentos cosméticos causaram alterações nos cabelos.

Figura 82: Curvas TG obtidas das amostras MT (mecha alisada com tioglicolato de amônio) e MTC (mecha alisada com tioglicolato de amônio e colorida).



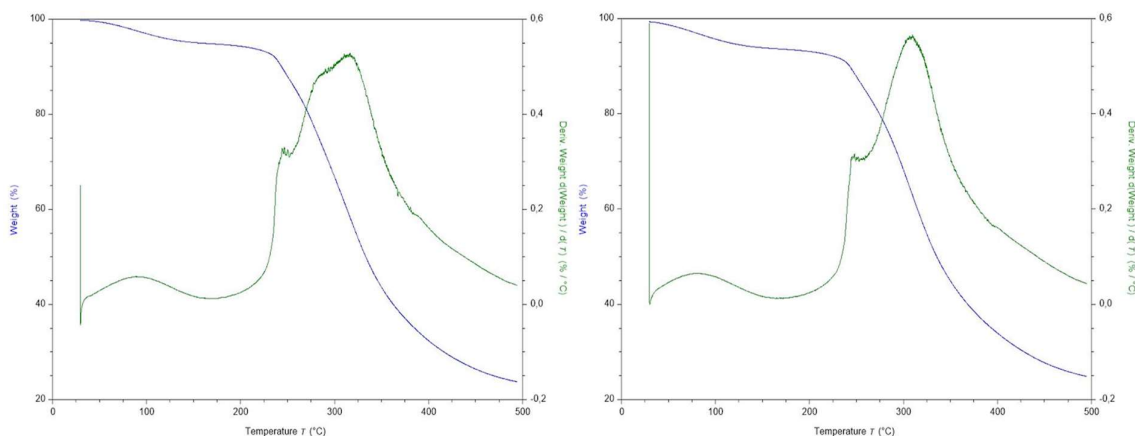
Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

A figura 83 mostra as curvas TG das amostras de cabelos alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol (MA) e as alisadas com tioglicolato de amino metilpropanol e coloridas (MAC), onde vemos que a desidratação (evento 1) aconteceu praticamente na mesma temperatura de 88°C e 89°C, respectivamente.

Ao comparar estes valores com aqueles das mechas de cabelo natural (MN) (88°C), observamos resultados semelhantes, indicando que estes procedimentos de alisamento e coloração não apresentaram, nestas condições do estudo, alterações na fibra capilar relacionadas à perda de água.

É válido salientar que não há na literatura atual medidas de TG e DSC em cabelos alisados com tioglicolato de amino metilpropanol, seguido ou não de coloração.

Figura 83: Curvas TG obtidas das amostras MA (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol) e MAC (mecha alisada com tioglicolato de amino metilpropanol).



Fonte: Elaborada pela própria autora (2024).

6. CONCLUSÕES

Os dados obtidos indicam que a combinação dessas técnicas proporcionou uma análise abrangente das modificações estruturais e químicas nas fibras capilares resultantes dos processos de alisamento e coloração.

A revisão da literatura revelou a ausência de estudos que explorem a associação entre alisamento com amino metilpropanol e coloração oxidativa, sublinhando a originalidade e a importância do presente estudo.

Esses resultados podem oferecer informações valiosas para a indústria de cuidados capilares, na qual o Brasil ocupa a quarta posição global em termos de mercado. Portanto, esta pesquisa tem o potencial de abrir novas possibilidades para investigações futuras e aplicações práticas na área.

Este estudo preenche uma lacuna significativa na base de conhecimento sobre procedimentos capilares e fornece uma base sólida para a criação de materiais educacionais.

Ao oferecer informações atualizadas e precisas, a pesquisa facilita a aplicação de melhores práticas e promove um entendimento mais profundo das técnicas químicas. Assim, os resultados têm o potencial de enriquecer a formação educacional na tricologia, apoiar o desenvolvimento profissional e elevar o padrão de conhecimento na área, beneficiando profissionais e pacientes.

Os resultados de FTIR, DSC, resistência à tração e TG evidenciaram que tanto a coloração quanto o alisamento promoveram alterações à cutícula quanto ao córtex das fibras capilares, como a oxidação de bandas características da superfície quanto a desnaturação das cadeias de alfa-queratina presentes no córtex. Enquanto os resultados de MEV, diâmetro, microscopia confocal, de fluorescência e brilho, evidenciaram alterações na região mais externa dos fios (cutícula). Sendo assim, esta associação de técnicas permitiu investigar as mudanças físico-químicas que ocorrem em fibras capilares submetidas a estes procedimentos.

REFERÊNCIAS

ABU-AMER, N.; SILBERSTEIN, N.; KUNIN, M.; MINI, S.; BECKERMAN, P. Acute Kidney Injury following Exposure to Formaldehyde-Free Hair-Straightening Products. **Case Reports in Nephrology and Dialysis**, v. 12, n. 2, p. 112-116, 2022. DOI: 10.1159/000525567.

ACCORSI, D. X., et al. COVID-19 Stress on Mental and Hair Health: A Marker for Diseases in the Post-Pandemic Era. **Bentham Science Publishers**, v. 3, n. 3, p. 65-75, 2022. DOI: 10.2174/2666796703666220408120226.

ALBUQUERQUE, S. O. F. *Cacheadas - O movimento de retorno e valorização dos cabelos cacheados e crespos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sociologia) – Instituto de Ciências Humanas e Filosofia, Departamento de Sociologia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

AL-KELANI, M.; BUTHELEZI, N. Advancements in medical research: Exploring Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy for tissue, cell, and hair sample analysis. **Skin Research and Technology**, v. 30, n. 6, e13733, 2024. DOI: 10.1111/srt.13733.

ALONSO, L.; FUCHS, E. The hair cycle. **Journal of Cell Science**, v. 119, Pt. 3, p. 391-393, 2006. DOI: 10.1242/jcs.02793.

ANDL, T.; ZHOU, L.; ZHANG, Y. The dermal papilla dilemma and potential breakthroughs in bioengineering hair follicles. **Cell and Tissue Research**, v. 391, n. 2, p. 221-233, 2023. DOI: 10.1007/s00441-022-03730-w.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Instrução Normativa - IN Nº 220, de 14 de abril de 2023. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6520444/IN_220_2023_.pdf/fef0ae94-be1b-4d82-9503-19dc1c954508. Acesso em: 1 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 409, de 15 de março de 2020. Disponível em: <www.anvisa.gov.br/legis>. Acesso em: 22 mar. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 48, de 25 de outubro de 2013. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0048_25_10_2013.html. Acesso em: 22 mar. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 752, de 19 de setembro de 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5738443/RDC_752_2022_.pdf/66ee0d82-4641-441b-b807-109106495027. Acesso em: 22 mar. 2022.

ARDIGO, M.; AGOZZINO, M.; FRANCESCHINI, C.; LACARRUBBA, F. Reflectance Confocal Microscopy Algorithms for Inflammatory and Hair Diseases. **Dermatology Clinics**, v. 34, n. 4, p. 487-496, 2016. DOI: 10.1016/j.det.2016.05.011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS (ABIHPEC). *O Brasil no Mundo: Dados ao consumidor - Anuário de 2022*. Disponível em: https://abihpec.org.br/site2019/wp-content/uploads/2024/02/Panorama-do-Setor_Atualizado_12.04.24.pdf. Acesso em: 18 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS (ABIHPEC). *O Brasil no Mundo: Dados ao consumidor - Anuário de 2023*. Disponível em: https://abihpec.org.br/site2019/wp-content/uploads/2024/02/Panorama-do-Setor_Atualizado_16.10.24_Port.pdf. Acesso em: 18 abr. 2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). ASTM C-1557-20. Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. **Annual Book of ASTM Standard**, 2020.

BARBA, C.; MENDES, P. C. D. Influence of hair characteristics on the penetration of cosmetic products. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 40, n. 4, p. 356-362, 2018.

BARRA, D. *Ação da luz visível na oxidação da melanina e no descolorimento do cabelo*. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

BARTON, P. M. J. *A forensic investigation of single human hair fibres using FTIR-ATR spectroscopy and chemometrics*. Brisbane, 2011. 103-114 p. Tese (Doutorado) – Queensland University of Technology.

BERNARD, B. A. The human hair follicle, a bistable organ? **Experimental Dermatology**, v. 21, n. 6, p. 401-403, 2012. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2012.01457.x.

BERTRAND, K. A.; DELP, L.; COOGAN, P. F., et al. Hair relaxer use and risk of uterine cancer in the Black Women's Health Study. **Environmental Research**, v. 239, Parte 1, p. 117228, 2023. DOI: 10.1016/j.envres.2023.117228.

BHUSHAN, B. *Biophysics of human hair: structural, nanomechanical, and nanotribological studies*. Heidelberg: Springer, 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. 2020, art. e12621, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/joss.12621>. Acesso em: 18 abr. 2024.

BOGA, C.; TADDEI, P.; MICHELETTI, G., et al. Formaldehyde replacement with glyoxylic acid in semipermanent hair straightening: a new and multidisciplinary investigation. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 36, n. 5, p. 459-470, 2014. DOI: 10.1111/ics.12148.

- BOLDUC, C.; SHAPIRO, J. Hair care products: waving, straightening, conditioning, and coloring. **Clinical Dermatology**, v. 19, n. 4, p. 431-436, 2001. DOI: 10.1016/s0738-081x(01)00201-2.
- BOROWSKA, S.; BRZÓSKA, M. M. Metals in cosmetics: implications for human health. **Journal of Applied Toxicology**, v. 35, n. 6, p. 551-572, 2015. DOI: 10.1002/jat.3129.
- BREMECKER, K. D.; NATONSKI, J. L.; EACHUS, A. C. The role of primary alkanolamines in cosmetic formulation. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 13, n. 5, p. 235-247, 1991. DOI: 10.1111/j.1467-2494.1991.tb00564.x.
- BREUNING, E. E.; PAPINI, R. P. Hair straighteners: a significant burn risk. **Burns**, v. 34, n. 5, p. 703-706, 2008. DOI: 10.1016/j.burns.2007.07.019.
- BUFFOLI, B.; RINALDI, F.; LABANCA, M., et al. The human hair: from anatomy to physiology. **International Journal of Dermatology**, v. 53, n. 3, p. 331-341, 2014.
- BURNETT, C. L.; BERGFELD, W. F.; BELSITO, D. V., et al. Safety Assessment of Inorganic Hydroxides as Used in Cosmetics. **International Journal of Toxicology**, v. 40, n. 2, Suplemento, p. 16S-35S, 2021. DOI: 10.1177/10915818211018381.
- CAMPOS, G. R. B. *Revisão de discursos sobre cabelos cacheados em mídias digitais: corpo e disciplina*. Dissertação (Mestrado em Letras) – Programa de Pós-Graduação em Letras/CCH, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.
- CAO, J. Melting study of the α form crystallites in human hair keratin by DSC. **Thermochimica Acta**, v. 335, p. 5-9, 1999.
- CARVALHO, W.; RIBAS, A. E. B. *Cosmetologia aplicada à estética*. São Paulo, SP: Farmacêutica, 2019.
- CASH, T. F. The psychology of hair loss and its implications for patient care. **Clinics in Dermatology**, v. 19, n. 2, p. 161-166, 2001.
- CHAI, M.; JIANG, M.; VERGNES, L., et al. Stimulation of hair growth by small molecules that activate autophagy. **Cell Reports**, v. 27, n. 12, p. 3413-3421.e3, 2019. DOI: 10.1016/j.celrep.2019.05.070.
- CHANG, C. J.; O'BRIEN, K. M.; KEIL, A. P., et al. Use of straighteners and other hair products and incident uterine cancer. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 114, n. 12, p. 1636-1645, 2022. DOI: 10.1093/jnci/djac165.
- CHEN, N.; BHUSHAN, B. Morphological, nanomechanical and cellular structural characterization of human hair and conditioner distribution using torsional resonance mode with an atomic force microscope. **Journal of Microscopy**, v. 220, parte 2, p. 96-112, 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2818.2005.01517.x.
- CHIU, C. H.; HUANG, S. H.; WANG, H. M. A Review: Hair Health, Concerns of Shampoo Ingredients and Scalp Nourishing Treatments. **Current Pharmaceutical**

Biotechnology, v. 16, n. 12, p. 1045-1052, 2015. DOI: 10.2174/1389201016666150817094447.

CHOI, B. Y. Hair-Growth Potential of Ginseng and Its Major Metabolites: A Review on Its Molecular Mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 9, p. 2703, 2018. DOI: 10.3390/ijms19092703.

CINOTTI, E.; LABELLE, B.; CAMBAZARD, F., et al. Confocal Microscopy for Special Sites and Special Uses. **Dermatologic Clinics**, v. 34, n. 4, p. 477-485, 2016. DOI: 10.1016/j.det.2016.05.010.

CLOETE, E.; KHUMALO, N. P.; NGOEPE, M. N. Understanding Curly Hair Mechanics: Fiber Strength. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 140, n. 1, p. 113-120, 2020. DOI: 10.1016/j.jid.2019.06.141.

COSTA, F. R. T. *Microscopia eletrônica de varredura: potencialidades e aplicações*. Curso de Química Industrial. Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2016.

CUNDY, D.; GURR, P. An improved synthesis of +/- 18 methyl eicosanoic acid. **Organic Preparations and Procedures International**, v. 32, p. 461-468, 2000. DOI: 10.1080/00304940009356760.

CUNHA, J. S. *Caracterização por espectroscopias Raman no infravermelho e microscopia de cabelos tratados com produtos cosméticos*. Tese (Doutorado em Química) – Faculdade de Química, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, p. 116, 2023.

DANIEL, I. Heat induced denaturation of fibrous hard α -keratins and their reaction with various chemical reagents. 2011.

DANIELS, G.; FRASER, A.; WESTGATE, G. E. How different is human hair? A critical appraisal of the reported differences in global hair fibre characteristics and properties towards defining a more relevant framework for hair type classification. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 45, n. 1, p. 50-61, 2023. DOI: 10.1111/ics.12819.

DAWBERT, R. P. The embryology and development of human scalp hair. **Clinical Dermatology**, v. 6, n. 4, p. 1-6, 1988. DOI: 10.1016/0738-081x(88)90059-4.

DE LA METTRIE, R., et al. Use of hair dyes following chemotherapy. **Clinical Journal of Oncology Nursing**, v. 8, n. 1, p. 89-91, 2004. DOI: 10.1188/04.CJON.89-95.

DE LA METTRIE, R., et al. Shape variability and classification of human hair: a worldwide approach. **Human Biology**, v. 79, n. 3, p. 265-281, 2007. DOI: 10.1353/hub.2007.0045.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2007.

DENARI, G. B. *Princípios e aplicações de análise térmica*. São Carlos: Instituto de Química de São Carlos - IQSC, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-04042013-151955/publico/GabrielaBuenoDenari_Revisado_Anexo.pdf.

DI FOGGIA, M.; BOGA, C.; MICHELETTI, G.; NOCENTINI, B.; TADDEI, P. Structural investigation on damaged hair keratin treated with α,β -unsaturated Michael acceptors used as repairing agents. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 167, p. 620-632, 2021. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.194.

DIAS, M. F. R. G.; LOURES, A. F.; EKELEM, C. Hair Cosmetics for the Hair Loss Patient. **Indian Journal of Plastic Surgery**, v. 54, n. 4, p. 507-513, 2021. DOI: 10.2174/2666796703666220408120226.

DUVEL, L.; HERBAL, A.; DANIELS, L.; KONG, R.; HILLEBRAND, G. G. Age, lifestyle and self-perceptions of hair: Is there an association with hair diameter and tensile properties? **International Journal of Cosmetic Science**, v. 41, n. 5, p. 509-515, 2019. DOI: 10.1111/ics.12569.

EBERLE, C. E.; SANDLER, D. P.; TAYLOR, K. W.; WHITE, A. J. Hair dye and chemical straightener use and breast cancer risk in a large US population of black and white women. **International Journal of Cancer**, v. 147, n. 2, p. 383-391, 2020. DOI: 10.1002/ijc.32738.

EBLING, F. J. Hair. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 67, n. 1, p. 98-105, 1976. DOI: 10.1111/1523-1747.ep12512509.

EBLING, F. J. The biology of hair. **Dermatologic Clinics**, v. 5, n. 3, p. 467-481, 1987. DOI: 10.1016/S0733-8635(18)30728-9.

ELLIOTT, A. D. Confocal Microscopy: Principles and Modern Practices. **Current Protocols in Cytometry**, v. 92, n. 1, p. e68, 2020. DOI: 10.1002/cpcy.68.

FARIA, D. L. A. de; SANTOS, L. G. C.; GONÇALVES, N. S. Uma demonstração sobre o espalhamento inelástico de luz: repetindo o experimento de Raman. **Química Nova**, v. 20, n. 3, p. 319-323, maio 1997.

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. DOI: 10.1111/jmi.13052.

FRANÇA-STEFONI, A. S.; DARIO, M. F.; SÁ-DIAS, T. C.; et al. Protein loss in human hair from combination straightening and coloring treatments. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 14, n. 3, p. 204-208, 2015. DOI: 10.1111/jocd.12151.

FRASER, R. D. B.; PARRY, D. A. D. Trichocyte keratin-associated proteins (KAPs). **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 1054, p. 71-86, 2018. DOI: 10.1007/978-981-10-8195-8_7.

FURDON, S. A.; CLARK, D. A. Scalp hair characteristics in the newborn infant. **Advances in Neonatal Care**, v. 3, n. 6, p. 286-296, 2003. DOI: 10.1016/j.adnc.2003.09.005.

GAINES, M. K.; PAGE, I. Y.; MILLER, N. A.; et al. Reimagining hair science: a new approach to classify curly hair phenotypes via new quantitative geometric and structural mechanical parameters. *Accounts of Chemical Research*, v. 56, n. 11, p. 1330-1339, 2023. DOI: 10.1021/acs.accounts.2c00740.

GAMA, R. M. Avaliação do dano à haste capilar ocasionado por tinturas oxidativas aditivadas ou não de substâncias condicionadoras. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GAMA, R. M.; BALOGH, T. S.; FRANÇA, S.; DIAS, T. C. D.; BEDIN, V.; BABY, A. R.; MATOS, J. R.; VELASCO, M. V. R. Thermal analysis of hair treated with oxidative hair dye under influence of conditioners agents. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 106, n. 2, p. 399-405, 2011.

GAO, T.; PEREIRA, A.; ZHU, S. Study of hair shine and hair surface smoothness. **Journal of Cosmetic Science**, v. 60, n. 2, p. 187-197, 2009.

GAO, T. Z.; SAM LANDA, P. Hair color vibrance factor: a new parameter/claim combining hair shine and color strength. **Journal of Cosmetic Science**, v. 62, p. 78-79, 2011.

GASPARIN, R. M. Avaliação da retenção de fragrância em cabelos de diferentes etnias, virgens e danificados. 2019. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GAVAZZONI, D. M. F. Hair cosmetics: an overview. **International Journal of Trichology**, v. 7, n. 1, p. 2-15, 2015. DOI: 10.4103/0974-7753.153450.

GOMES, A. C.; et al. Recent advances in the use of enzymes for therapeutic strategies targeting the human hair follicle. **MedChemComm**, v. 5, n. 5, p. 569-585, 2014.

GOSHIYAMA, A. M. Avaliação das propriedades das fibras capilares tratadas com alisante ácido com diferentes valores de pH. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GOSHIYAMA, A. M.; DARIO, M. F.; LIMA, C. R. R. C.; de ARAÚJO, G. L. B.; BABY, A. R.; VELASCO, M. V. R. Impact of acid straightener's pH value in the hair fiber

properties. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 19, n. 2, p. 508-513, 2020. DOI: 10.1111/jocd.13006.

GRANT, J. E.; ODLAUG, B. L.; KIM, S. W. N-acetylcysteine, a glutamate modulator, in the treatment of trichotillomania: a double-blind, placebo-controlled study. **Archives of General Psychiatry**, v. 66, n. 7, p. 756-763, 2009.

GRIMES, P. E. Skin and hair cosmetic issues in women of color. **Dermatologic Clinics**, v. 18, n. 4, p. 659-665, 2000. DOI: 10.1016/s0733-8635(05)70217-5.

GRUBBS, H.; NASSEREDDIN, A.; MORRISON, M. Embryology, Hair. In: **StatPearls**. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing, 2023.

GUARRERA, M.; REBORA, A. Exogen hairs in women with and without hair loss. **Skin Appendage Disorders**, v. 3, n. 4, p. 193-196, 2017. DOI: 10.1159/000460300.

GUARRERA, M.; REBORA, A. Kenogen in female androgenetic alopecia. A longitudinal study. **Dermatology**, v. 210, n. 1, p. 18-20, 2005. DOI: 10.1159/000081477.

GUERRA-TAPIA, A.; GONZALEZ-GUERRA, E. Hair cosmetics: dyes. **Actas Dermo-Sifiliográficas**, v. 105, n. 9, p. 833-839, 2014. DOI: 10.1016/j.ad.2014.02.004.

GUPTA, M. A.; MYSORE, V. Alopecia areata and psychiatric morbidity: a preliminary study. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 26, n. 3, p. 404-406, 2012.

HALAL, J. *Tricologia e a química cosmética capilar*. 5.^a ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

HALAL, J. *Tricologia e a química cosmética capilar*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

HAQUE, S. M. D. S.; SAHNI, J. K.; ALI, J.; BABOOTA, S. Development and evaluation of brain targeted intranasal alginate nanoparticles for treatment of depression. **Journal of Psychiatric Research**, v. 48, n. 1, p. 1-12, 2014. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2013.10.011.

HARRIS, M. I. *Pele estrutura, propriedades e envelhecimento*. 3. ed. São Paulo: Senac São Paulo, 2009. p. 67-89.

HATSBACH, P. J. N.; BASÍLIO, F. M. A.; MULINARI-BRENNER, F. A. Effects of chemical straighteners on the hair shaft and scalp. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 97, n. 2, p. 193-, 2022.

HE, X.; WANG, J. F.; WANG, Y. Influence of cosmetic hair treatments on hair of methamphetamine abuser: Bleaching, perming and coloring. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 222, p. 112542, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112542.

HIGGINS, C. A.; RICHARDSON, G. D.; WESTGATE, G. E.; JAHODA, C. A. Exogen involves gradual release of the hair club fibre in the vibrissa follicle model.

Experimental Dermatology, v. 18, n. 9, p. 793-795, 2009. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2008.00833.x.

HIRAYAMA, T.; KANAZAWA, R.; TODA, K.; MANNARI, T.; NAKASHIMA, R.; FUCHIGAMI, I.; HOSOKAWA, H. A new approach to obtain attractive hair: Hair medulla care. **Journal of the Society of Cosmetic Chemists of Japan**, v. 57, p. 35-41, 2023. DOI: 10.5107/sccj.57.35.

HUNT, N.; MCHALE, S. Reported experiences of persons with alopecia areata. **Journal of Loss and Trauma**, v. 10, n. 1, p. 33-50, 2005.

HUNT, N.; MCHALE, S. The psychological impact of alopecia. *BMJ*, v. 327, p. 0-1, 2003.

JAHODA, C. A.; REYNOLDS, A. J. Hair follicle dermal sheath cells: unsung participants in wound healing. **Lancet**, v. 358, n. 9291, p. 1445-1448, 2001. DOI: 10.1016/S0140-6736(01)06532-1.

JEONG, M. S.; LEE, C. M.; JEONG, W. J.; KIM, S. J.; LEE, K. Y. Significant damage of the skin and hair following hair bleaching. **Journal of Dermatology**, v. 37, n. 10, p. 882-887, 2010. DOI: 10.1111/j.1346-8138.2010.00916.x.

JIANG, Y.; XU, Z.; QIU, Y.; ZHENG, X. Comparative study of instrumental measurement and sensory evaluation methods for the repairing effect of mildly damaged hair bundles. **Skin Research and Technology**, v. 29, n. 7, p. e13394, 2023. DOI: 10.1111/srt.13394.

KAMATH, Y. K.; MATOLTSY, A. G. Differential scanning calorimetric study of the thermal behavior of keratins. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 9, n. 1, p. 21-30, 1976.

KELCH, A.; WESSEL, S.; WILL, T.; HINTZE, U.; WEPF, R.; WIESENDANGER, R. Penetration pathways of fluorescent dyes in human hair fibres investigated by scanning near-field optical microscopy. **Journal of Microscopy**, v. 200, Pt 3, p. 179-186, 2000. DOI: 10.1046/j.1365-2818.2000.00756.x.

KERIMO, J.; RAJADHYAKSHA, M.; DIMARZIO, C. A. Enhanced melanin fluorescence by stepwise three-photon excitation. **Photochemistry and Photobiology**, v. 87, n. 5, p. 1042-1049, 2011. DOI: 10.1111/j.1751-1097.2011.00949.x.

KIM, K. S.; PARK, H. K. Analysis of aging effects on chemical property of human hair by Fourier transform infrared spectroscopy. **Skin Research and Technology**, v. 19, n. 1, p. e325-e331, 2013.

KOBAYASHI, T.; VOISIN, B.; KIM, D. Y.; et al. Homeostatic control of sebaceous glands by innate lymphoid cells regulates commensal bacteria equilibrium. **Cell**, v. 176, n. 5, p. 982-997.e16, 2019. DOI: 10.1016/j.cell.2018.12.031.

KOCH, S. L.; TRIDICO, S. R.; BERNARD, B. A.; SHRIVER, M. D.; JABLONSKI, N. G. The biology of human hair: A multidisciplinary review. **American Journal of Human Biology**, v. 32, n. 2, e23316, 2020. DOI: 10.1002/ajhb.23316.

LAGARDE, J. M.; PEYRE, P.; REDOULES, D.; BLACK, D.; BRIOT, M.; GALL, Y. Confocal microscopy of hair. **Cell Biology and Toxicology**, v. 10, n. 5-6, p. 301-304, 1994. DOI: 10.1007/BF00755774.

LAU, K.; HEDEGAARD, M. A.; KLOEPPER, J. E.; PAUS, R.; WOOD, B. R.; DECKERT, V. Visualization and characterization of defined hair follicle compartments by Fourier transform infrared (FTIR) imaging without labelling. **Journal of Dermatological Science**, v. 63, n. 3, p. 191-198, 2011. DOI: 10.1016/j.jdermsci.2011.05.002.

LEHNINGER, T. M.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

LEITE, M. G. A.; MAIA, P. M. B. G. C. Mechanical characterization of curly hair: Influence of the use of nonconventional hair straightening treatments. **Skin Research and Technology**, v. 23, n. 4, p. 539-544, 2017. DOI: 10.1111/srt.12368.

LEITE, M. G. A.; GARBOSSA, W. A. C.; CAMPOS, P. M. B. G. M. Hair straighteners: an approach based on science and consumer profile. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 54, n. 3, p. e17339, 2018.

LIMA, C. R. R. C.; et al. Thermoanalytical characterization study of hair from different ethnicities. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 123, p. 2321-2328, 2016.

LIMA, C. R. R. C.; COUTO, R. A. A.; FREIRE, T. B.; et al. Heat-damaged evaluation of virgin hair. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 18, n. 6, p. 1885-1892, 2019. DOI: 10.1111/jocd.12892.

LIMA, C. R. R. C.; LIMA, R. J. S.; MACHADO, L. D. B.; et al. Human hair: subtle change in the thioester groups dynamics observed by combining neutron scattering, X-ray diffraction and thermal analysis. **European Physical Journal Special Topics**, v. 229, p. 2825-2832, 2020.

LIMA, C. R. R. D.; MACHADO, L. D. B.; VELASCO, M. V. R.; MATOS, J. R. DSC measurements applied to hair studies. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 132, n. 3, p. 1429-1437, 2018. DOI: 10.1007/s10973-018-70950.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 670-673, jul. 2004.

LOUREIRO, A.; et al. Variations in hair permeation according to hair type: implications for hair care product development. **Journal of Cosmetic Science**, v. 62, n. 1, p. 35-42, 2011.

LOUSSOUARN, G.; GARCEL, A. L.; LOZANO, I.; et al. Worldwide diversity of hair curliness: a new method of assessment. **International Journal of Dermatology**, v. 46, Suppl. 1, p. 2-6, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-4632.2007.03453.x.

MADAAN, A.; VERMA, R.; SINGH, A. T.; JAGGI, M. Review of Hair Follicle Dermal Papilla cells as in vitro screening model for hair growth. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 40, n. 5, p. 429-450, 2018. DOI: 10.1111/ics.12489.

MADNANI, N.; KHAN, K. Hair cosmetics. **Indian Journal of Dermatology, Venereology, and Leprology**, v. 79, n. 5, p. 654-667, 2013. DOI: 10.4103/0378-6323.116734.

MAKHLOUF, A.; ELNAWAWY, T. Hair regrowth boosting via minoxidil cubosomes: Formulation development, in vivo hair regrowth evaluation, histopathological examination and confocal laser microscopy imaging. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 634, p. 122665, 2023. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2023.122665.

MARRAFA, P. AVALIAÇÃO dos efeitos do gás ozônio em fibra capilar humana: um estudo preliminar in vitro. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Anhembi Morumbi, São José dos Campos, 2022.

MARTEL, J. L.; MIAO, J. H.; BADRI, T. Anatomy, Hair Follicle. In: STATPEARLS [Internet]. Treasure Island (FL): **StatPearls Publishing**, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470321/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

MAURÍCIO, L. P. A. Caracterização da integridade estrutural da fibra capilar tratada com diferentes produtos químicos. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MERCHANT, F. A.; PERIASAMY, A. Multispectral Fluorescence Imaging. In: Microscope Image Processing. **Academic Press**, 2023. p. 201-245.

MILLAR, S. E. Molecular mechanisms regulating hair follicle development. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 118, n. 2, p. 216-225, 2002.

MILNER, Y.; SUDNIK, J.; FILIPPI, M.; KIZOULIS, M.; KASHGARIAN, M.; STENN, K. Exogen, shedding phase of the hair growth cycle: characterization of a mouse model. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 119, n. 3, p. 639-644, 2002. DOI: 10.1046/j.1523-1747.2002.01842.x.

MIRANDA-VILELA, A. L.; BOTELHO, A. J.; MUEHLMANN, L. A. An overview of chemical straightening of human hair: technical aspects, potential risks to hair fibre and health and legal issues. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 36, n. 1, p. 2-11, 2014. DOI: 10.1111/ics.12093.

MISTRIOTIS, P.; ANDREADIS, S. T. Hair follicle: A novel source of multipotent stem cells for tissue engineering and regenerative medicine. **Tissue Engineering Part B: Reviews**, v. 19, n. 4, p. 265-278, 2013. DOI: 10.1089/ten.teb.2012.0422.

MONTEIRO, V.; MACIEL, A.; LONGO, E. Thermal analysis of caucasian human hair. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 79, p. 289-293, 2005. DOI: 10.1007/s10973-005-0051-9.

MORTIMER, P. S. Cabelo rebelde. **British Journal of Dermatology**, v. 113, n. 4, p. 467-473, 1985. DOI: 10.1111/j.1365-2133.1985.tb02362.x.

MÜLLER-RÖVER, S.; HANDJISKI, B.; VAN DER VEEN, C.; et al. A comprehensive guide for the accurate classification of murine hair follicles in distinct hair cycle stages. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 117, n. 1, p. 3-15, 2001. DOI: 10.1046/j.0022-202x.2001.01377.x.4o

NAKANO, A. K. *Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos*. 2006. Dissertação (Mestrado em Físico-Química) – Faculdade de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

NG, K. J.; LIM, J.; TAN, Y. N.; et al. Sox2 in the dermal papilla regulates hair follicle pigmentation. **Cell Reports**, v. 40, n. 3, p. 111100, 2022. DOI: 10.1016/j.celrep.2022.111100.

NOGUEIRA, A. C.; DICELIO, L. E.; JOEKES, I. About photo-damage of human hair. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 5, n. 2, p. 165-169, 2006. DOI: 10.1039/b504574f.

NWANESHIUDU, A.; KUSCHAL, C.; SAKAMOTO, F. H.; ANDERSON, R. R.; SCHWARZENBERGER, K.; YOUNG, R. C. Introduction to confocal microscopy. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 132, n. 12, p. e3, 2012. DOI: 10.1038/jid.2012.429.

OH, J. W.; KLOEPPER, J.; LANGAN, E. A.; et al. A Guide to Studying Human Hair Follicle Cycling In Vivo. [Correção publicada em **Journal of Investigative Dermatology**. 2016 abr.; 136(4):883]. *Journal of Investigative Dermatology*, v. 136, n. 1, p. 34-44, 2016. DOI: 10.1038/JID.2015.354.

OIKAWA, D.; TAKEUCHI, W.; MURATA, S.; TAKAHASHI, K.; SEKINE, Y. Measurement of concentrations of thioglycolic acid, dithiodiglycolic acid and ammonia in indoor air of a beauty salon. **Journal of Occupational Health**, v. 54, n. 5, p. 370-375, 2012. DOI: 10.1539/joh.12-0084-fs.

OLIVEIRA, L. F. C. Estudo espectroscópico de compostos policarbonílicos e de suas espécies de coordenação. 1991. Tese (Doutorado) – Faculdade de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

OLIVER, M. A.; CODERCH, L.; CARRER, V.; BARBA, C.; MARTI, M. Ethnic hair: Thermoanalytical and spectroscopic differences. **Skin Research and Technology**, v. 26, n. 5, p. 617-626, 2020. DOI: 10.1111/srt.12842.

PANTELEYEV, A. A. Functional anatomy of the hair follicle: The Secondary Hair Germ. **Experimental Dermatology**, v. 27, n. 7, p. 701-720, 2018.

PARK, A. M.; KHAN, S.; RAWNSLEY, J. Hair Biology: Growth and Pigmentation. **Facial Plastic Surgery Clinics of North America**, v. 26, n. 4, p. 415-424, 2018. DOI: 10.1016/j.fsc.2018.06.003.

PAUS, R.; COTSARELIS, G. The biology of hair follicles. **New England Journal of Medicine**, v. 341, n. 7, p. 491-497, 1999. DOI: 10.1056/NEJM199908123410706.

PEREIRA, J. M.; et al. **Tratado das doenças dos cabelos e do couro cabeludo - Tricologia**. São Paulo: Dilivros, 2016.

PIENPINIJTHAM, P.; THAMMACHAROEN, C.; NARANITAD, S.; EKGASIT, S. Analysis of cosmetic residues on a single human hair by ATR FT-IR microspectroscopy. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 197, p. 230-236, 2018. DOI: 10.1016/j.saa.2018.01.084.

PINHEIRO, A. S.; et al. Mecanismos de degradação da cor de cabelos tingidos: um novo modelo de proteção. **Cosmetic & Toiletries (Edição em Português)**, v. 14, n. 3, p. 68-77, 2002.

PLOWMAN, J. E.; HARLAND, D. P. Fibre Ultrastructure. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 1054, p. 3-13, 2018. DOI: 10.1007/978-981-10-8195-8_1.

POPESCU, C.; GUMMER, C. DSC of human hair: a tool for claim support or incorrect data analysis? **International Journal of Cosmetic Science**, v. 38, n. 5, p. 433-439, 2016. DOI: 10.1111/ics.12306.

PROTA, G. Melanins, melanogenesis and melanocytes: looking at their functional significance from the chemist's viewpoint. **Pigment Cell Research**, v. 13, n. 4, p. 283-293, 2000. DOI: 10.1034/j.1600-0749.2000.130412.x.

REBORA, A.; GUARRERA, M. Kenogen. A new phase of the hair cycle? **Dermatology**, v. 205, n. 2, p. 108-110, 2002. DOI: 10.1159/000063908.

REZENDE, H. N.; TORRES, R.; LEÃO, M. A.; et al. Hair as a marker of gender identity in cross-cultural androgynous people. **Psychology & Sexuality**, v. 9, n. 1, p. 16-30, 2018.

RISHIKAYSH, P.; DEV, K.; DIAZ, D.; QURESHI, W. M.; FILIP, S.; MOKRY, J. Signaling involved in hair follicle morphogenesis and development. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 1, p. 1647-1670, 2014. DOI: 10.3390/ijms15011647.

ROBBINS, C. **Chemical and physical behavior of human hair**. Springer Science & Business Media, 2001.

ROBBINS, C. R. **Chemical and physical behavior of human hair**. 4. ed. New York: Springer-Verlag, 2002.

ROBBINS, C. R. **Chemical and physical behavior of human hair**. Springer-Verlag, New York, 2012.

ROBERTSON, J. Forensic and microscopic examination of human hair. In: **Forensic examination of hair**. Taylor & Francis, 1999. p. 79-154.

ROBERTSON, J. Exame forense e microscópico de cabelo humano. Em J. Robertson (Ed.), **Exame forense de cabelo**. Taylor & Francis, 1999, p. 79-154. DOI: 10.1201/9780203483527.

ROGERS, G. E. Synthesis and cross-linking in the structure and growth of hair keratins. **Clinical Dermatology**, v. 6, n. 4, p. 26-31, 1988. DOI: 10.1016/0738-081x(88)90062-4.

ROGERS, M. A.; LANGBEIN, L.; PRAETZEL-WUNDER, S.; WINTER, H.; SCHWEIZER, J. Human hair keratin-associated proteins (KAPs). **International Review of Cytology**, v. 251, p. 209-263, 2006. DOI: 10.1016/S0074-7696(06)51006-X.

RUSHTON, D. H. Nutritional factors and hair loss. **Clinical and Experimental Dermatology**, v. 27, n. 5, p. 396-404, 2002.

SÁ DIAS, T. C. Análise da ação condicionadora de substâncias cosméticas adicionadas em alisante capilar à base de tioglicolato de amônio. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 106 p.

SCHLAKE, T. Determination of hair structure and shape. **Seminars in Cell and Developmental Biology**, v. 18, n. 2, p. 267-273, 2007.

SCHNEIDER, M. R.; SCHMIDT-ULLRICH, R.; PAUS, R. The hair follicle is a dynamic miniorgan. **Current Biology**, v. 19, n. 3, p. R132-R142, 2009. DOI: 10.1016/j.cub.2008.12.005.

SCHUELLER, R.; ROMANOWSKI, P. **Conditioning Agents for Hair and Skin**. New York: Marcel Dekker, 1999.

SEHGAL, V. N.; SRIVASTAVA, G.; AGGARWAL, A. K.; MIDHA, R. Hair biology and its comprehensive sequence in female pattern baldness: clinical connotation diagnosis and differential diagnosis – Part II. **Skinmed**, v. 11, n. 4, p. 227-236, 2013.

SILVA, E. C.; PAOLA, M. V. R. V.; MATOS, J. R. Análise térmica aplicada à cosmetologia. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, n. 3, p. 347-356, 2007. DOI: 10.1590/S1516-93322007000300004.

SILVA, E. M. Caracterização físico-química e termoanalítica de amostras de cabelo humano. 2012. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 112 p.

SILVA, R. A.; SANTOS, P. B. Microscopia de fluorescência na análise da permeação de substâncias nos cabelos. **Revista Brasileira de Cosmetologia**, v. 45, n. 2, p. 78-85, 2020.

SINCLAIR, R. D. Healthy hair: what is it? **Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings**, v. 12, n. 2, p. 2-5, 2007. DOI: 10.1038/sj.jidsymp.5650046.

SOUZA, W.; et al. *Técnicas de microscopia eletrônica aplicadas às Ciências Biológicas*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Microscopia, 2007.

STENN, K. S.; PAUS, R. Controls of hair follicle cycling. *Physiological Reviews*, v. 81, n. 1, p. 449-494, 2001. DOI: 10.1152/physrev.2001.81.1.449.

SUNDARAMOORTHY, K.; SETHU, G.; ETHIRAJULU, S.; RAJA, M. P. Efficacy of metformin in human single hair fibre by ATR-FTIR spectroscopy coupled with statistical analysis. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 136, p. 10-13, 2017. DOI: 10.1016/j.jpba.2016.11.057.

SUREKA, P.; AGRAWAL, T.; MAJUMDER, S.; RITAMBHARA, K. A method to measure oil penetration into hair and correlation to tensile strength. **International Journal of Trichology**, v. 14, n. 4, p. 128-134, 2022. DOI: 10.4103/ijt.ijt_122_20.

SVERSUT, R. A.; et al. Avaliação da qualidade de alisantes capilares contendo tioglicolato de amônio. **Revista Colombiana de Ciencias Químicas y Farmacéuticas**, v. 46, n. 3, p. 303-318, 2017. DOI: 10.15446/rcciquifa.v46n3.69460.

SWIFT, J. A.; SMITH, J. R. Microscopical investigations on the epicuticle of mammalian keratin fibres. **Journal of Microscopy**, v. 204, n. 3, p. 203-211, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2818.2001.00957.x.

SWIFT, J. A.; MCARTHUR, S. L.; GARDNER, K. H. The application of thermal analysis techniques to hair. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 48, n. 2, p. 633-646, 1997.

TENORE, G. C.; CARUSO, D.; BUONOMO, G.; et al. Annurca apple nutraceutical formulation enhances keratin expression in a human model of skin and promotes hair growth and tropism in a randomized clinical trial. **Journal of Medicinal Food**, v. 21, n. 1, p. 90-103, 2018. DOI: 10.1089/jmf.2017.0016.

THIBAUT, S.; BARBARAT, P.; LEROY, F.; BERNARD, B. A. Human hair keratin network and curvature. **International Journal of Dermatology**, v. 46 Suppl 1, p. 7-10, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-4632.2007.03454.x.

THIBOUTOT, D. Regulation of human sebaceous glands. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 123, n. 1, p. 1-12, 2004.

THODY, A. J.; SHUSTER, S. Control and function of sebaceous glands. **Physiological Reviews**, v. 69, n. 2, p. 383-416, 1989.

TOMES, C.; JONES, J. T.; CARR, C. M.; JONES, D. Three-dimensional imaging and analysis of the surface of hair fibers using scanning electron microscopy. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 29, n. 3, p. 293-299, 2007.

TOPOUZI, H.; LOGAN, N. J.; WILLIAMS, G.; HIGGINS, C. A. Methods for the isolation and 3D culture of dermal papilla cells from human hair follicles. **Experimental Dermatology**, v. 26, n. 6, p. 491-496, 2017. DOI: 10.1111/exd.13368.

TORKAMANI, N.; RUFAUT, N. W.; JONES, L.; SINCLAIR, R. D. Beyond goosebumps: does the arrector pili muscle have a role in hair loss? **International Journal of Trichology**, v. 6, n. 3, p. 88-94, 2014.

TSUTAE, F. M. Espectroscopia de correlação de fluorescência aplicada em estudos de sistemas moleculares, biológicos e celulares. 2016. Tese (Doutorado em Física Aplicada) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

VAN DER WALT, A. The power of hair. **Critical Arts**, 2019.33(4), 13-22.

VAN, N. D.; LEROY, T.; CONIL, S. Exogen hair characterization in human scalp. **Skin Research and Technology**, v. 13, n. 4, p. 436-443, 2007. DOI: 10.1111/j.1600-0846.2007.00248.x.

VELASCO, M. V. R.; DE SÁ-DIAS, T. C.; DARIO, M. F.; et al. Impact of Acid ("Progressive Brush") and Alkaline Straightening on the Hair Fiber: Differential Effects on the Cuticle and Cortex Properties. **International Journal of Trichology**, v. 14, n. 6, p. 197-203, 2022. DOI: 10.4103/ijt.ijt_158_20.

VELASCO, M. V. R.; DIAS, T. C. S.; FREITAS, A. Z.; et al. Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, p. 153-162, 2009.

VELASCO, M. V. R. et al. Cabelos étnicos: características estruturais e dos produtos cosméticos. **Cosmetics & Toiletries**, v. 11, p. 36-44, 1999. Tradução. Acesso em: 20 fev. 2024.

VELASCO, M. V. R. et al. Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, n. 1, p. 153–162, jan. 2009.

WAGNER, R.; JOEKES, I. Hair medulla morphology and mechanical properties. **Journal of Cosmetic Science**, v. 58, n. 4, p. 359-368, 2007.

WAGNER, R. C. C. A estrutura da medula e sua influência nas propriedades mecânicas e de cor de cabelo. 2006. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química III, Universidade Estadual Paulista de Campinas, Campinas, 2006.

WEATHERSBY, C.; MCMICHAEL, A. Brazilian keratin hair treatment: a review. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 12, p. 144-148, 2013. DOI: 10.1111/jocd.12030.

WHITE, A. J.; GREGOIRE, A. M.; TAYLOR, K. W.; et al. Adolescent use of hair dyes, straighteners and perms in relation to breast cancer risk. **International Journal of Cancer**, v. 148, n. 9, p. 2255-2263, 2021. DOI: 10.1002/ijc.33413.

WHITE, A. J.; SANDLER, D. P.; GASTON, S. A.; JACKSON, C. L.; O'BRIEN, K. M. Use of hair products in relation to ovarian cancer risk. **Carcinogenesis**, v. 42, n. 9, p. 1189-1195, 2021. DOI: 10.1093/carcin/bgab056.

WITT, S.; WUNDER, C.; PAULKE, A.; VERHOFF, M. A.; SCHUBERT-ZSILAVECZ, M.; TOENNES, S. W. Detection of oxidative hair treatment using fluorescence microscopy. **Drug Testing and Analysis**, v. 8, n. 8, p. 826-831, 2016. DOI: 10.1002/dta.1854.

WOLFRAM, L. J. Human hair: a unique physicochemical composite. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 48, n. 6 Suppl, p. S106-S114, 2003. DOI: 10.1067/mjd.2003.276.

WOLFRAM, L. J. Tensile properties of hair. In: *Non Invasive Diagnostic Techniques in Clinical Dermatology*. 2013. p. 423–429. DOI: 10.1007/978-3-642-32109-2_38.

WOODS, D. W.; FLESSNER, C. A.; FRANKLIN, M. E.; et al. The Trichotillomania Impact Project (TIP): exploring phenomenology, functional impairment, and treatment utilization. **Journal of Clinical Psychiatry**, v. 67, n. 12, p. 1877-1888, 2006. DOI: 10.4088/jcp.v67n1207.

WU, Q.; MERCHANT, F. A.; CASTLEMAN, K. R. *Microscope Image Processing*. Burlington: Academic Press, 2008. p. 247–297.

XIE, N.; DING, X.; WANG, X.; WANG, P.; ZHAO, S.; WANG, Z. Determination of thioglycolic acid in cosmetics by capillary electrophoresis. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 88, p. 509-512, 2014. DOI: 10.1016/j.jpba.2013.10.003.

YAN, L.; KAGEYAMA, T.; ZHANG, B.; et al. Electrical stimulation to human dermal papilla cells for hair regenerative medicine. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 133, n. 3, p. 281-290, 2022. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2021.12.003.

YANG, F. C.; ZHANG, Y.; RHEINSTÄDTER, M. C. The structure of people's hair. **Peer J**, v. 2, p. e619, 2014. DOI: 10.7717/peerj.619.

YANG, C. C.; LIU, H. N.; CHEN, C. H. Risk of psychiatric disorders in alopecia areata patients: A nationwide population-based matched-cohort study. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 140, n. 1, p. 186–192, 2020.

YU, J.; JIANG, J.; YE, T.; YANG, Y. Differential scanning calorimetry study on the thermal behavior of hair with a novel method of heat capacity calculation. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 119, n. 1, p. 215-222, 2015.

YU, J.; YU, D. W.; CHECKLA, D. M.; FREEDBERG, I. M.; BERTOLINO, A. P. Human hair keratins. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 101, n. 1 Suppl, p. 56S-59S, 1993. DOI: 10.1111/1523-1747.ep12362635.

ZABASHTA, Y. F.; KASPROVA, A. V.; SENCHUROV, S. P.; GRABOVSKII, Y. E. The location of the thioglycolic acid molecules in intrafibrillar unordered areas of the human hair keratin structure. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 34, n. 3, p. 223-225, 2012. DOI: 10.1111/j.1468-2494.2012.00707.x.

ZERBINATI, N.; SOMMATIS, S.; MACCARIO, C.; et al. In vitro hair growth promoting effect of a noncrosslinked hyaluronic acid in human dermal papilla cells. **Biomedical Research International**, v. 2021, p. 5598110, 2021. DOI: 10.1155/2021/5598110.

ZHOU, A. J.; LIU, H. L.; DU, Z. Q. Secondary structure estimation and properties analysis of stretched Asian and Caucasian hair. **Skin Research and Technology**, v. 21, n. 1, p. 119-128, 2015. DOI: 10.1111/srt.12169.

ZHOU, et al. The effect of various cosmetic pretreatments on protecting hair from thermal damage by hot flat ironing. **Journal of Cosmetic Science**, v. 62, p. 265–282, 2011.

ZHU, J.; XIA, H.; XU, X.; et al. FTIR spectroscopy for assessment of hair from lung cancer patients and its application in monitoring the chemotherapy treatment effect. **Spectrochimica Acta A Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 314, p. 124185, 2024. DOI: 10.1016/j.saa.2024.124185.

ZOUBOULIS, C. C. Die T. The sebaceous gland. **Hautarzt**, v. 61, n. 6, p. 467-477, 2010.