

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Eliete Moreira dos Reis



CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS CAPILARES: UM ESTUDO
DO POTENCIAL EFEITO PROTETOR DE INGREDIENTES
ATIVOS PROTEICOS À DANOS MECÂNICOS, TÉRMICOS E
QUÍMICOS

RIO DE JANEIRO

2024

Eliete Moreira dos Reis

CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS CAPILARES: UM ESTUDO DO POTENCIAL EFEITO
PROTETOR DE INGREDIENTES ATIVOS PROTEICOS À DANOS MECÂNICOS,
TÉRMICOS E QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Químico Industrial.

Orientador(es): Adriana dos Anjos Silva

Rio de Janeiro

2024

Gerar a página da ficha catalográfica em <http://fichacatalografica.sibi.ufrj.br/> e substituir esta página por ela, no documento final.

Se o documento vier a ser impresso, esta página deverá ser impressa no verso da anterior (folha de rosto).

Eliete Moreira dos Reis

CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS CAPILARES: UM ESTUDO DO POTENCIAL EFEITO
PROTETOR DE INGREDIENTES ATIVOS PROTEICOS À DANOS MECÂNICOS,
TÉRMICOS E QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Químico Industrial.

Aprovado em 18 de julho de 2024.

Adriana dos Anjos Silva, D.Sc, UFRJ

Camila Guindani, D.Sc, UFRJ

Ana Lúcia do Amaral Vendramini, D.Sc, UFRJ

Rio de Janeiro
2024

Dedico este trabalho à:

Meu pai José e mãe Raimunda, que apesar de não estarem mais aqui presentes, sempre foram meus principais incentivadores e me direcionaram nas principais decisões.

Aos meus irmãos Elizabeth, Rodrigo e César pelo apoio de sempre e para sempre.

Ao pai do meu filho, John, por toda paciência e compreensão.

E principalmente ao meu filho Nycolas, que acompanha minha luta desde a barriga e por diversas vezes foi ele o motivo de eu não desistir e criar forças novamente para continuar e superar todas as dificuldades enfrentadas no percurso, especialmente durante a graduação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar um agradecimento especial à querida Professora Adriana dos Anjos, pelo interesse à orientação, pela disponibilidade e pela paciência, contribuindo substancialmente para meu aprimoramento científico.

À também querida Professora Verônica Calado, pelo imenso incentivo e confiança e por ceder o laboratório e sua equipe para tantos experimentos.

Ao Professor Daniel Barreto e a ASSESSA, pela oportunidade, parceria e ajuda.

À querida Camila Adão, a grande incentivadora para a realização deste trabalho. Obrigada pela paciência, disponibilidade e solicitude.

À amiga Marina Berlim, pelo compartilhamento de tantos conhecimentos, disponibilidade, incentivo e discussões do trabalho.

À Nathália Corado, que primeiramente confiou seu trabalho a mim e posteriormente me ofereceu a oportunidade de fazer parte do seu time. Obrigada pelas trocas que tanto contribuíram para a realização deste trabalho.

À professora Ana Lúcia Vendramini que disponibilizou seu Laboratório contribuindo grandemente para este trabalho.

*“Existem coisas na vida pelas quais
valem a pena lutar até o
fim.”*

Paulo Coelho

RESUMO

REIS, Eliete Moreira dos;. **Caracterização de fibras capilares: Um estudo do potencial efeito protetor de ingredientes ativos proteicos à danos mecânicos, térmicos e químicos.** Rio de Janeiro, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

A fibra capilar está exposta à danos diários como radiação solar, poluição, ato de pentear, higienização e fatores endógenos, e também aos tratamentos químicos que são responsáveis por significativas alterações da estrutura capilar, diminuindo a resistência do fio à quebra e impactando na sensação ao toque e brilho (MIRANDA-VILELA; BOTELHO; MUEHLMANN, 2014). A descoloração por exemplo, pode causar vários danos à fibra capilar, devido a sua composição e mecanismo de ação. Dentre eles, pode-se citar as reduções da resistência mecânica e térmica, do conteúdo proteico e do brilho das fibras. Contudo, a reparação da fibra capilar possui pequena importância diante da quantidade limitada de artigos científicos que discutem os efeitos mecânicos, térmicos e químicos maléficos aos cabelos. Por conseguinte, neste trabalho buscou-se desenvolver um ativo cosmético a partir de fontes proteicas de farelo de soja e farelo de arroz a fim de repor nutrientes essenciais à saúde das fibras capilares, os quais foram perdidos em processos de descoloração. Para avaliar possíveis alterações estruturais e morfológicas sofridas pelas hastes capilares por processos de descoloração, diversas técnicas foram utilizadas para caracterizar as fibras capilares. Após o tratamento, as fibras das mechas Virgem e descoloridas foram analisadas por Espectroscopia no infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Análise Térmica Dinâmico-Mecânica (DMTA). A caracterização das mechas através das análises realizadas apontou eficácia do ativo cosmético desenvolvido. A mecha tratada com o ativo apresentou visualmente menos quebra de fios durante o processo de descoloração mantendo a resistência mecânica e adquirindo maior abertura de tom, mantendo características inerente da fibra natural.

Palavras-chave: fibra capilar tratada; FTIR; MEV; DSC; DMA.

ABSTRACT

REIS, Eliete Moreira dos;. **Caracterização de fibras capilares: Um estudo do potencial efeito protetor de ingredientes ativos proteicos à danos mecânicos, térmicos e químicos.** Rio de Janeiro, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

The hair fiber is exposed to daily damage from factors such as solar radiation, pollution, combing, hygiene practices, and endogenous factors. Additionally, chemical treatments cause significant changes to the hair structure, reducing its resistance to breakage and affecting its texture and shine (Miranda-Vilela, Botelho, & Muehlmann, 2014). Bleaching, for example, can cause damage to the hair fiber due to its composition and mechanism of action. This includes reductions in mechanical and thermal resistance, protein content, and fiber brightness. Hair fiber repair receives limited attention in scientific literature, as few studies discuss the harmful mechanical, thermal, and chemical effects on hair. Therefore, in this study, we aimed to develop a cosmetic active ingredient from protein sources such as soybean and rice bran to replace essential nutrients lost during bleaching processes. To evaluate the structural and morphological changes in hair strands caused by discoloration, various techniques were used to characterize the hair fibers. After treatment with the cosmetic active ingredient, the fibers were analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), Differential Scanning Calorimetry (DSC), and Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMA). The characterization of the strands through the analyzes carried out showed the effectiveness of the cosmetic active ingredient developed. The strand treated with the active ingredient visually showed less strand breakage during the bleaching process, maintaining mechanical resistance and acquiring greater tone opening, maintaining the inherent characteristics of the natural fiber.

Keywords: treated hair fiber; FTIR; SEM; DSC; DMTA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Representação esquemática da seção transversal da fibra de cabelo humano (A) e imagem de microscopia eletrônica de varredura do corte transversal do fio de cabelo (B).
- Figura 2 – Disposição da cutícula do cabelo.
- Figura 3 – Microscopia Eletrônica de Varredura de fibra capilar.
- Figura 4 – O processo de descoloração do cabelo.
- Figura 5 – Estrutura hierárquica da fibra capilar humana.
- Figura 6 – Participação de cada elemento químico na constituição do cabelo.
- Figura 7 – Fórmulas estruturais dos principais aminoácidos presentes no cabelo humano.
- Figura 8 – Estrutura representativa da queratina.
- Figura 9 – Ligação de hidrogênio entre aminoácidos dos cabelos
- Figura 10 - Ligação iônica nos cabelos.
- Figura 11 - Pontes dissulfeto nos cabelos.
- Figura 12 - Estruturas secundárias da queratina, a) α -hélice (ANDRADE,2011) e b) folha e β -pregueada.
- Figura 13 - Cadeia produtiva da soja no Brasil.
- Figura 14 - Farelo de soja.
- Figura 15 - Frações do grão de arroz.
- Figura 16 – Farelo de arroz.
- Figura 17 - Processo de obtenção do farelo de arroz.
- Figura 18 - Exportações brasileiras dos principais produtos de HPPC em 2023.
- Figura 19 - Exportações brasileiras dos principais produtos de HPPC no primeiro quadrimestre de 2024.
- Figura 20 - Panorama o Brasil no mercado consumidor mundial e sua classificação por categoria.
- Figura 21 - Resumo espaço CIELAB.
- Figura 22 - Espaço de cor CIELAB.
- Figura 23 - Comparativo de cores.
- Figura 24 - Curva Tensão X Deformação característica de polímeros.
- Figura 25 - Curva Tensão X Deformação característica de fibras capilares sem tratamento

Figura 26: Obtenção do Módulo de Elasticidade de uma curva de Tensão vs Deformação.

Figura 27 - Farelo de soja e Farelo de arroz usados na fabricação do ativo. Fonte: Próprio autor.

Figura 28 - Farelos de soja e arroz usados na fabricação do ativo.

Figura 29 - Hidrolisados de Farelo de Soja e Farelo de Arroz.

Figura 30 - Esquema com as principais etapas na obtenção do Ativo X.

Figura 31 - Mechas utilizadas no teste.

Figura 32 - Mechas prontas para receber a mistura descolorante.

Figura 33 - Equipamento Colorímetro CR-400.

Figura 34 - Metalizador de ouro e porta amostras. Fonte:

Figura 36 - Equipamento Shimadzu DSC-60.

Figura 38 - Medida do diâmetro da fibra em micrômetro digital.

Figura 37 - a) DMA Q 8000 da TA Instruments, b) Clamp do DMA Q800 usado na análise.

Figura 38 - Medida do diâmetro da fibra em micrômetro digital.

Figura 39 - Amostra do Ativo X.

Figura 40 - Resultado da descoloração de cada mecha.

Figura 41 - Cor das mechas.

Figura 42 - Espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier, em a) Ativo X e b) Ativo Benchmark.

Figura 43 - Espectros de absorção no Infravermelho com Transformada de Fourier das mechas a) Virgens, b) Controle, c) Amostra contendo o Ativo X e d) Amostra contendo o Ativo Benchmark.

Figura 44 – MEV na escala de 650X para a) Amostra X e b) Benchmark.

Figura 45 - MEV na escala de 2000X para as amostras a) Virgem, b) Controle, c) Amostra X e d) Benchmark.

Figura 46 - MEV na escala de 4000X para as amostras a) Controle, b) Amostra X e c) Benchmark.

Figura 47 - Curvas de DSC obtidas das amostras de fibra capilar, a) amostra Virgem; b) amostra Controle; c) amostra Benchmark; d) amostra tratada com o Ativo X.

Figura 48 - Gráfico com as entalpias obtidas/ Fluxo de calor das fibras capilares tratadas.

Figura 49 - Entalpias na temperatura associada à desnaturação da proteína (240-250C).

Figura 50 - Temperatura de pico obtidas com a desnaturação da proteína. Fonte: próprio autor.

Figura 51 - Curvas TG/DTG obtidas a 10°C/min, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio das amostras de cabelo, sendo: a) amostra Virgem, b) amostra Controle, c) amostra que contém o Ativo X; e d) amostra Benchmark.

Figura 52 - Perda de massa de cada mecha por evento.

Figura 53 - Eventos de perda de massa por mecha.

Figura 54 - Curvas de tensão deformação para as mechas a) Virgem, b) Amostra X, c) Benchmark e d) Controle.

Figura 55 - Comportamento da tensão e deformação das mechas tratadas: Virgem, Controle, Amostra X e Benchmark.

Figura 56 - Módulos de Young Obtidos para as mechas Virgem, controle, Benchmark e Controle.

Figura 57 - Gráfico da Tensão média de ruptura das fibras capilares, $D_p = 28,4$.

Figura 58 - Gráfico do diâmetro médio das fibras capilares das mechas Virgem, Amostra X, Benchmark e Controle, $D_p = 0,00414$.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química do farelo de soja.

Tabela 2 - Composição da mistura para descoloração de cada mecha.

Tabela 3 - Valores das principais bandas obtidas para cabelos por FTIR e os valores obtidos para a amostra Virgem.

Tabela 4 - Entalpias e temperaturas de pico de perda de água e desnaturação capilares.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIHPEC	Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
DSC	Calorimetria de varredura diferencial
DTG	Termogravimetria derivada
DTMA	Análise Térmica Dinâmico-Mecânica
FC	Fibra capilar
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
HPPC	Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
pH	Potencial Hidrogeniônico
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo.

LISTA DE SÍMBOLOS

a*	Coordenada vermelho/verde
b*	Coordenada amarelo / azul
C	Carbono
H	hidrogênio
L*	Luminosidade
mg	Miligrama
N	Nitrogênio
O	Oxigênio
R	Cadeias laterais de moléculas
T	Temperatura
Tg	Temperatura de transição vítrea
α	Posição de ligação molecular
β	Posição de ligação molecular
ΔH	Variação de entalpia
μm	Micrômetro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
Mg	Miligrama

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 A FIBRA CAPILAR	19
3.1.1 Estrutura da fibra capilar	19
3.1.1.1 A cutícula	20
3.1.1.2 O córtex	21
3.1.1.3 A medula	23
3.1.2 Composição da fibra capilar	24
3.2 Matérias primas	29
3.2.1 Farelo de soja	30
3.2.2 Farelo de arroz	32
3.3 ESTUDO MERCADOLÓGICO	33
3.3.1 O mercado de cosmético capilar	33
3.4 TÉCNICA DE CARACTERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA CAPILAR	36
3.4.1 Análise colorimétrica	36
3.5 ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS, MORFOLÓGICAS, TÉRMICAS E MECÂNICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA CAPILAR	39
3.5.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	39
3.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	40
3.5.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	41
3.5.4 Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA)	42
3.5.5 Análise Térmica Mecânico Dinâmica (DMTA)	42
4 METODOLOGIA	45
4.1 PREPARO DO ATIVO PROTEICO	45
4.2 PREPARO DAS MECHAS DE CABELO	47
4.3 PROCESSO DE DESCOLORAÇÃO	48
4.4 TÉCNICA DE CARACTERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA CAPILAR	49
4.4.1 Análise colorimétrica	49
4.5 ANÁLISES ESPECTROSCÓPICA, MORFOLÓGICA, TÉRMICA E MECÂNICA PARA CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA CAPILAR	50

4.5.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	50
4.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	50
4.5.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	51
4.5.4 Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA)	52
4.5.5 Análise térmica mecânico dinâmica (DMTA)	52
5 RESULTADOS	54
5.1 PREPARO DO ATIVO PROTEICO	54
5.2 PROCESSO DE DESCOLORAÇÃO	54
5.3 TÉCNICA DE CARACTERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA CAPILAR	56
5.3.1 Análise colorimétrica	56
5.4 ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS, MORFOLÓGICAS, TÉRMICAS E MECÂNICAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA CAPILAR	57
5.4.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	57
5.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	62
5.4.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	64
5.4.4 Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA)	70
5.4.5 Análise térmica mecânico dinâmica (DMTA)	74
6 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

O cabelo é uma de poucas características físicas do corpo que podemos alterar parcial ou totalmente, de acordo com as tendências da moda, da cultura ou dos valores da sociedade (DIAS et al., 2007; CHUA; LEVELL, 2005; HARRINSON; SINCLAIR, 2004; BOLDUC; SHAPIRO, 2001). Porém processos físicos e químicos como escovação, exposição ao calor (secador e chapinha), radiação ultravioleta (luz solar), descoloração, coloração e alisamento químico conduzem a danos permanentes na fibra capilar como descrito por CRIPPA et al (1989) e podem levar à perda significativa de aminoácidos essenciais e à remoção da camada de ácidos graxos, resultando na diminuição da resistência mecânica das fibras capilares. (MIRANDA-VILELA; BOTELHO; MUEHLMANN, 2014).

Diante dos diversos prejuízos acometidos à fibra capilar, é necessário entender o impacto de variáveis físicas, químicas e térmicas nos diferentes constituintes do fio de cabelo e de que maneira seus efeitos nocivos podem ser revertidos. A busca por soluções relevantes deve focar na hidratação, nutrição e restauração capilar, visando manter a fibra íntegra e saudável.

Os cosméticos capilares são formulados para reparar a maleabilidade do cabelo, diminuir a eletricidade estática, reduzir a fricção entre os fios e recondicionar a fibra danificada, atuando tanto na prevenção quanto na reparação de danos (BOLDUC; SHAPIRO, 2001).

Assim, uma estratégia de solução para minimizar os danos sofridos pela fibra capilar é o uso de ativos naturais em tratamentos capilares em substituição aos ativos sintéticos, uma vez que a exposição contínua de alguns elementos sintéticos pode gerar danos graves à saúde e ao meio ambiente. Esses ingredientes são ricos em nutrientes e minerais e não contêm produtos sintéticos nocivos à fibra capilar. No entanto, os ativos naturais para a formulação de produtos capilares podem apresentar algumas limitações, como variações de odor e pigmentação.

Neste trabalho foi realizada a busca de um ativo cosmético natural e proteico, à base de farelo de soja e farelo de arroz que são resíduos agrícolas com alta disponibilidade no mercado e de alto valor proteico. Por conseguinte, foi necessária a investigação, por meio de técnicas de análise química e física, sobre a extensão dos danos causados pelo processo, bem como a eficácia do ativo desenvolvido, sobre a capacidade de restabelecer as estruturas e propriedades das fibras capilares perdidas com o processo de descoloração.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é desenvolver um ativo cosmético para tratar fibra capilar durante o processo de descoloração.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

*Utilizar matérias primas proteicas de origem vegetal (soja e arroz) na constituição do cosmético capilar, em comparação ao produto sintético identificado no mercado nacional;

* Correlacionar os possíveis danos do processo de descoloração às propriedades termomecânicas das fibras capilares;

* Estudar o efeito do cosmético capilar nas propriedades físicas, químicas e mecânicas da fibra capilar (FC);

* Caracterizar a faixa de desnaturação da cadeia polipeptídica por meio de análises Térmicas;

* Avaliar danos superficiais dos fios com análise morfológica (MEV);

* Avaliar o potencial do cosmético capilar proteico nas propriedades de proteção contra a quebra visual no processo de descoloração.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

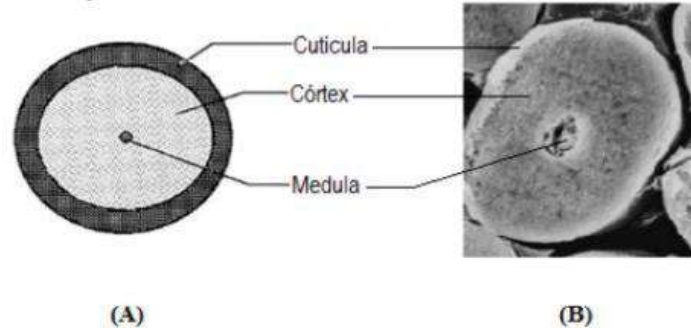
3.1 A FIBRA CAPILAR

3.1.1 Estrutura da fibra capilar

O cabelo é um polímero natural (NAKANO, 2006) cuja haste é composta por células mortas preenchidas com queratina, unidas por um material de adesão. Geralmente, os fios estão implantados em grupos de 1 a 5 dentro do couro cabeludo e folículos pilosos, que tomam uma posição ligeiramente oblíqua. Eles crescem a uma velocidade aproximada de 1 centímetro por mês e possuem diâmetro que pode variar entre 50 μm e 100 μm (Santos, 2017).

Em 1951 Linus Pauling e Robert Corey, pela primeira vez propuseram a haste capilar sendo composta principalmente por três regiões distintas: cutícula, córtex e medula, como pode ser visto na Figura 9 (ROBBINS, 2001; YANG ZHANG; RHEINSTADER, 2014).

Figura 9: Representação esquemática da seção transversal da fibra de cabelo humano (A) e imagem de microscopia eletrônica de varredura do corte transversal do fio de cabelo (B).

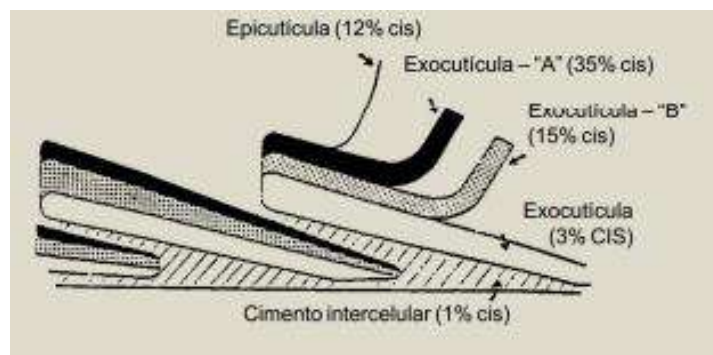


Fonte: Adaptado de ROBBINS, 2001 e WAGNER, 2006.

3.1.1.1 A cutícula

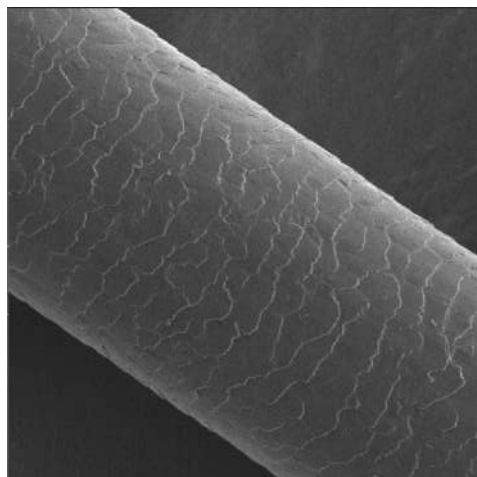
A cutícula é a camada mais externa da haste capilar, mede de 350 a 450 nm de espessura e compõe cerca de 10%, em massa, da fibra capilar. Suas células têm forma de “escamas” regulares que se sobrepõem, formando de 6 a 10 cutículas sobrepostas (Pinheiro A. S. et al., 2013) em um ângulo de 1 a 3 graus com o córtex, como mostrado na Figura 10 e 11. Nas Figuras é possível visualizar a disposição das cutículas na fibra capilar por diagrama e MEV.

Figura 10: Disposição da cutícula do cabelo.



Fonte: Pinheiro A. S., et. al., 2013.

Figura 11: Microscopia Eletrônica de Varredura de fibra capilar.



Fonte: De autoria própria.

Essa disposição cuticular é importante pois propriedades como brilho e resistência ao penteado são influenciadas diretamente pela orientação das escamas da cutícula.

A superfície hidrofóbica da cutícula protege o córtex e a medula que são estruturas internas mais frágeis, funcionando como uma barreira para moléculas maiores e processos agressivos químicos e físicos. No entanto, essa barreira não é impenetrável pois pH alcalino e temperaturas elevadas podem abrir a cutícula, permitindo que produtos químicos penetrem no córtex e causem danos às fibras.

3.1.1.2 O córtex

O córtex está localizado abaixo da cutícula e confere resistência à tração e elasticidade à fibra capilar devido à presença da proteína α -queratina cristalizada. Ele é o componente majoritário, em massa, da fibra capilar pois constitui cerca de 88% do fio de cabelo (SAKAI; KIKUCHI; FUJII, 2013).

Esta camada é rica em cistina, um aminoácido que contém enxofre, importante estruturalmente por promover ligações dissulfeto nesta porção da fibra capilar.

A célula cortical contém grânulos de melanina dispersos, estruturas responsáveis pela coloração do cabelo. Há dois tipos de Melanina: a eumelanina e a feomelanina. A eumelanina é o tipo mais comum de melanina, é encontrada nas pessoas morenas e varia da cor marrom à negra. Absorve e dispersa a luz ultravioleta, garantindo a diminuição dos efeitos nocivos do Sol. Já a feomelanina é a melanina que varia do amarelo ao vermelho e garante menos proteção quando comparado com a eumelanina. Está presente nas pessoas loiras e ruivas.

A combinação entre estes os dois tipos de melanina oferece uma paleta infinita de cores, do loiro mais claro ao negro.

Os melanócitos, células produtoras de melanina, podem deixar de produzir esses pigmentos, fazendo com que a fibra perca sua coloração, surgindo então o cabelo branco. A aparência dos fios conhecida como grisalha, é produto da mistura de um cabelo colorido com um cabelo branco (TORRES, 2005; RICHENA, 2014).

É no córtex que agem os processos como coloração e descoloração. O processo de descoloração por exemplo, clareia o cabelo pela oxidação dos pigmentos capilares eumelanina e feomelanina, presentes nessa porção da fibra capilar (GRAY 2007). Ela apresenta dois principais objetivos: dar uma aparência mais clara ao cabelo ou, mais frequentemente, prepará-lo para a aplicação de tintura, geralmente produzindo um tom mais claro ou mais brilhante do que o natural (ZVIAK et al. 2005).

Segundo Lima (2016) e Nakano (2006), o processo de descoloração é dividido em três etapas (Figura 12). A primeira é a abertura das cutículas. Essa etapa é promovida pelos agentes alcalinizantes amônia ou potássio na base de persulfato, contidos no pó descolorante. A segunda etapa consiste em uma etapa morosa onde o agente descolorante oxigênio, presente na água oxigenada ou do peróxido de hidrogênio, permeia o córtex para a descoloração dos fios.

Figura 12: O processo de descoloração do cabelo.



Fonte: LEFT, 2020.

Por último, ocorre uma reação de oxidação em que a dissolução dos grânulos de melanina descaracteriza a cor natural dos cabelos.

A reação de oxidação não somente altera a melanina, como também destrói as ligações de dissulfeto no interior da queratina, o qual vai enfraquecendo a fibra capilar. Além disso, a descoloração provoca um aumento na quantidade de ácido cistéico e assim das interações iônicas. Os danos também ocorrem nas cutículas, tornando os fios mais porosos

A descoloração utiliza como principais agentes o peróxido de hidrogênio e os persulfatos que destroem os pigmentos naturais dos cabelos. Para que a mistura descolorante penetre na fibra capilar é necessário que haja um levantamento das cutículas que somente ocorre em pH alcalino, porém esse processo repetidamente faz com que as cutículas não retornem à posição inicial e permaneçam levantadas, resultando em um cabelo mais poroso, fraco, frágil e com pouquíssimo brilho (GRAY, 2007).

Após a descoloração a fibra capilar exibe uma textura diferenciada (seca e inchada), quebra facilmente e pode ser suscetível à umidade, conforme descrito por (PUDNEY et al, 2013; KOJIMA et al, 2014). O ideal seria a quebra da melanina sem que afetar a estrutura da queratina.

Cabelos que foram descoloridos se tornam vulneráveis e suscetíveis às agressões químicas do meio ambiente ou aos cuidados diários. Em geral, a diminuição no conteúdo de ligações cruzadas afeta a taxa de difusão de espécies (cosméticos, água) para o interior das fibras, sendo que essa taxa tende a aumentar conforme aumenta o grau de deterioração dos cabelos (COLOMBERA, 2004).

A concentração do descolorante, o tempo de contato com o cabelo e o pH da solução influenciam no grau de descoloração e nos efeitos degradativos causados à estrutura capilar.

3.1.1.3 A medula

A medula é uma fina camada cilíndrica no centro do fio de cabelo, contendo de duas a cinco fileiras de células lado a lado. Sua presença ao longo do cabelo geralmente é descontínua ou até ausente e não interfere significativamente na estrutura do cabelo (Torres et al., 2005).

Quimicamente, a medula possui um alto conteúdo de lipídeos em comparação com o restante da fibra capilar, mas contém pouca cistina. Por isso, as ligações de enxofre são substituídas por ligações peptídicas que mantêm sua estrutura coesa.

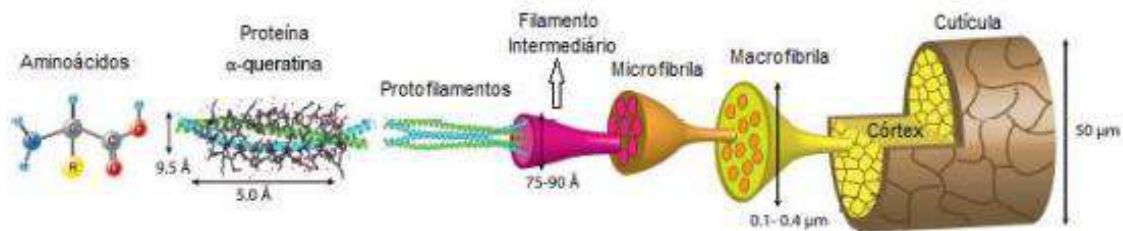
A função da medula ainda não está completamente elucidada. Suas células podem se desidratar e seus espaços podem ser preenchidos com ar, o que afeta tanto a cor quanto o brilho

dos cabelos brancos e castanhos claros. A medula tem um pequeno efeito sobre a maioria dos aspectos dos tratamentos cosméticos capilares (Robbins, 1991; Oliveira, 2000).

3.1.2 Composição da fibra capilar

O cabelo humano é um tecido complexo que consiste em uma série de componentes morfológicos (Figura 13). Cada um desses componentes é formado por diferentes espécies químicas que constituem um sistema integrado, capaz de atuar em conjunto ou individualmente. Por exemplo, a resistência à fricção está relacionada principalmente às propriedades da cutícula, enquanto a maciez pode estar associada às características integradas da cutícula e do córtex, conectadas por componentes intercelulares (Robbins, 1991).

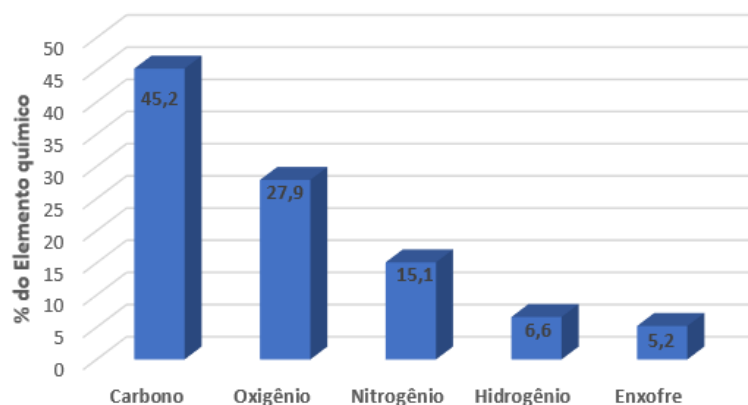
Figura 13: Estrutura hierárquica da fibra capilar humana.



Fonte: ZANG, et. Al., 2014.

A Figura 13 mostra a composição estrutural de uma fibra capilar. A proteína é componente principal do cabelo humano e sua estrutura é composta por aminoácidos. Os aminoácidos, por sua vez, são formados por cinco elementos químicos: Carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e enxofre. As concentrações dos elementos químicos principais presentes na fibra capilar estão explicitadas na Figura 14 a seguir:

Figura 14: Participação de cada elemento químico na constituição do cabelo.

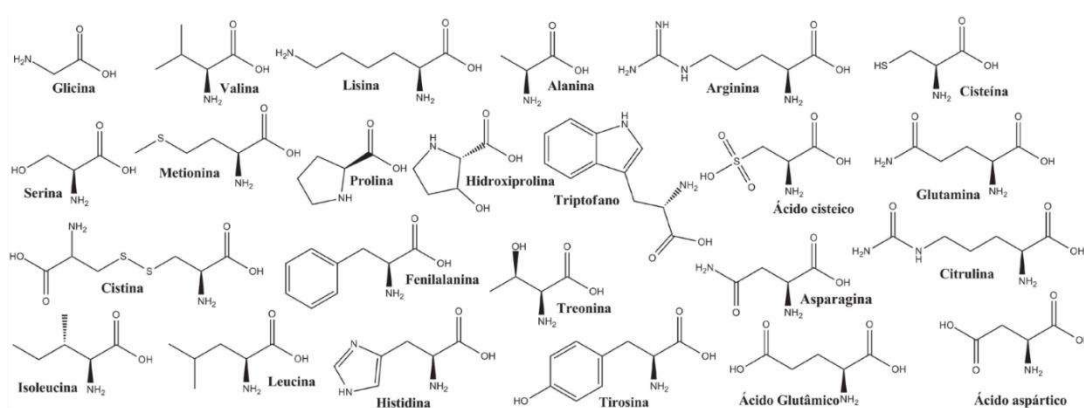


Fonte: Adaptado de HALAL, 2011.

A Figura 14 mostra que o componente majoritário presente na fibra capilar é o Carbono, seguida por oxigênio e nitrogênio. No entanto, há baixos teores de minerais como cobre, ferro e zinco que são importantes, pois sua ausência pode também provocar queda e alterações da cor.

As combinações de alguns elementos químicos formam os aminoácidos. Entre os aminoácidos existentes na natureza, a maioria está presente na fibra capilar (Figura 15), formando uma extensa estrutura polimérica condensada, conhecida como polipeptídios, devido à ligação do grupo ácido de um aminoácido com o grupo amino do outro.

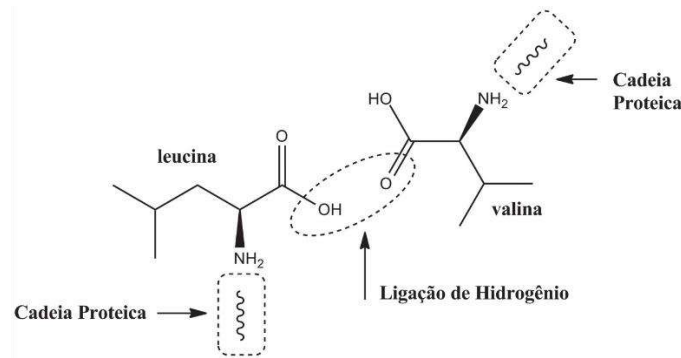
Figura 15: Fórmulas estruturais dos principais aminoácidos presentes no cabelo humano.



Fonte: Química Nova Interativa, 2024.

O polipeptídio mais abundante nos cabelos é a queratina (Figura 16), presente em aproximadamente 85% da fibra capilar.

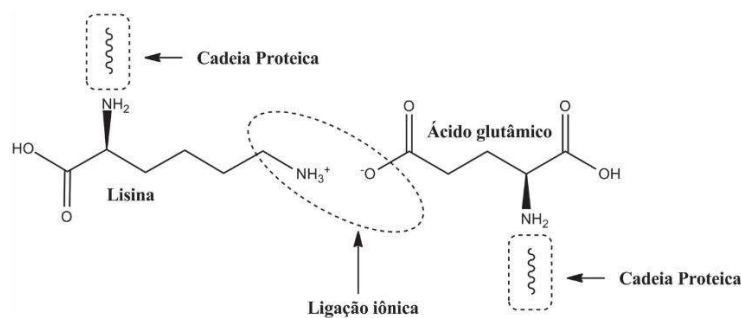
Figura 17: Ligação de hidrogênio entre aminoácidos dos cabelos.



Fonte: Química Nova Interativa, 2024.

- Ligações iônicas (eletrostáticas): desencadeiam fios estáticos. Esse efeito é intensificado em cabelos extremamente danificados. Esse tipo de ligação é mostrado na Figura 18 abaixo.

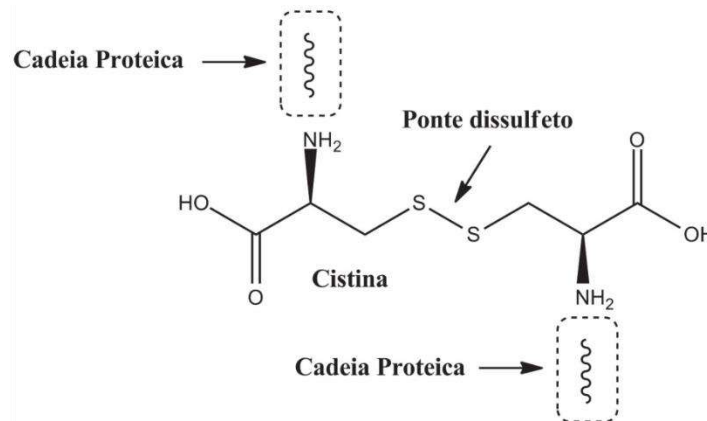
Figura 18: Ligação iônica nos cabelos.



Fonte: Química Nova Interativa, 2024.

- Ligações dissulfeto: são responsáveis pela forma do cabelo e são sensíveis à ação de redutores e oxidantes. Essa qualidade das ligações dissulfeto (Figura 19) permite que o cabelo mude de crespo para liso e vice-versa. Nesta situação, as ligações mudam de posição contra as cadeias de queratina próximas. É conhecido como processo de redução (amolecimento da queratina).

Figura 19: Pontes dissulfeto nos cabelos.

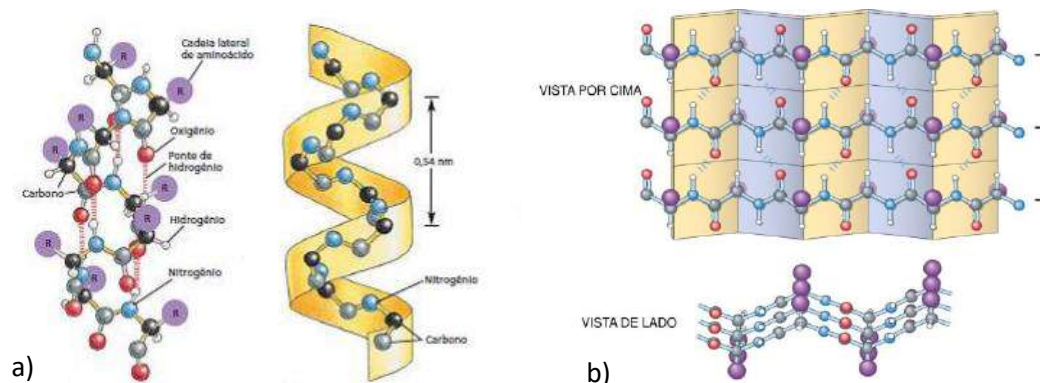


Fonte: Química Nova Interativa, 2024.

A extrema solidez e a insolubilidade da queratina do cabelo são atribuídas ao conteúdo do aminoácido cistina. Este aminoácido é composto por grupos amino e carboxílico do aminoácido cisteína, que se unem por meio da ligação entre os enxofres, como descrito por FRANÇA (2014).

Os diferentes tipos de queratina dependem de como estão distribuídos os aminoácidos, além das diferenças estruturais e morfológicas (MOITA, 1989). A estrutura das proteínas é extraordinariamente complexa e o seu estudo requer o conhecimento dos vários níveis de organização. As Proteínas secundárias são proteínas que apresentam arranjos tridimensionais com dobramentos regulares. Esta estrutura é estabilizada por pontes de hidrogênio e oxigênio de uma ligação peptídica próxima (-NH...O=C-). A presença de numerosas pontes de hidrogênio entre as ligações peptídicas tem grande significado na estabilização da estrutura secundária. Existem dois tipos de estruturas secundárias: α – hélice e folha β pregueada (YAO et al., 2006), como mostrados na Figura 20.

Figura 20: Estruturas secundárias da queratina, a) α -hélice e b) folha β pregueada.



Fonte: PARANHOS, A. G., 2018.

Na estrutura α – hélice a molécula polipeptídica se apresenta como uma hélice orientada como se estivesse em torno de um cilindro, mantida por pontes de hidrogênio arranjadas entre os grupos C=O e o H–N das ligações peptídicas. As cadeias laterais R dos aminoácidos projetam-se para fora da hélice. Já na Folha β -pregueada é uma estrutura resultante da formação de pontes de hidrogênio entre duas ou mais cadeias polipeptídicas adjacentes. Estas pontes de hidrogênio ocorrem entre os grupos C=O e N–H de ligações peptídicas pertencentes a cadeias polipeptídicas vizinhas.

A principal característica da queratina é a existência do alto conteúdo de enxofre, as ligações dissulfeto são as principais responsáveis pela estrutura capilar, são ligações extremamente fortes, que se caracterizam pela ligação entre dois átomos de enxofre no aminoácido cistina (ligação covalente) (MONTEIRO, 2003).

Os outros componentes da fibra são os lipídeos e a água, além de outros elementos em quantidades menores, como substâncias hidrossolúveis (pentoses), fenóis, ácido úrico, glicogênio e também os elementos traços, como os nove metais, conforme mencionado por (PUDNEY et al, 2013).

Os danos causados pelos tratamentos à fibra capilar são inúmeros e de grande intensidade. Independente do tratamento, como a coloração ou o alisamento, são empregados produtos químicos e ações que enfraquecem a resistência mecânica da fibra capilar, bem como alteram o aspecto físico do fio. Desta forma, é importante caracterizar os fios submetidos aos produtos de HPPC desenvolvidos para descoloração. Diante da demanda de desenvolvimentos de produtos HPPC voltados para a fibra capilar, podemos citar as técnicas de avaliação da resistência mecânica e térmica. Além destas, podemos citar as técnicas de caracterização visual e morfológica. Por conseguinte, adiante serão apresentados os fundamentos e aplicações das técnicas de caracterização usuais para avaliação do desempenho da fibra capilar.

3.2 Matérias primas

Os cosméticos capilares podem apresentar na sua constituição ativos de origem natural para cumprir duas motivações: econômica e sustentável. Adicionalmente, os princípios ativos naturais presentes nos cosméticos capilares são utilizados para nutrir o cabelo independente do seu estado de deterioração. Com estes intuitos, pode-se destacar duas fontes proteicas capazes

de atingir os objetivos de nutrição aliado a baixo custo para serem incorporados nas formulações de tratamento capilar. Estes ativos naturais para cosméticos capilares são os farelos de soja e arroz.

3.2.1 Farelo de soja

O Brasil é o segundo maior produtor do grão de soja no mundo, ficando atrás somente dos Estados Unidos (EMBRAPA, junho/2024). A Figura 4 mostra a cadeia produtiva do grão e o seu destino no agronegócio.

Figura 4: Cadeia produtiva da soja no Brasil.



Fonte: (EMBRAPA, junho/2024).

O farelo de soja é o subproduto que resta após a extração do óleo de soja. É um alimento proteico importante, pois contém todos os aminoácidos essenciais necessários para a nutrição humana e animal. O farelo de soja é utilizado como alternativa às proteínas de cereais em diversas aplicações, incluindo a indústria de ração animal, produtos de panificação, alimentos saudáveis, cosméticos e fabricação de antibióticos. Em cosméticos, o farelo de soja (Figura 5) pode ser utilizado em formulações para proporcionar benefícios de hidratação e nutrição à pele e ao cabelo. Essas aplicações mostram a versatilidade e a importância do farelo de soja como um subproduto valioso da indústria de alimentos e agrícola.

Figura 5: Farelo de soja.



Fonte: Agrocerec Multimix, 2021.

A composição nutricional do farelo de soja é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição Química do farelo de soja.

Proteína	45% (*)
Gordura	1%
Extrato não nitrogenado	30% (*)
Fibra	8%

(*) Dados aproximados

Fonte: ZANGELMI et al., 1982.

A Tabela 1 mostra que o componente majoritário do farelo de soja desengordurado é proteína, apresentando 45% desse teor. Este nutriente é essencial para o tratamento das fibras capilares após o processo de descoloração. A grande abundância da proteína no farelo de soja é a motivação para sua utilização na formulação do ativo capilar.

De acordo com o relatório de maio do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a China importa grandes quantidades de grãos para esmagar internamente, principalmente para atender à sua crescente demanda por farelo de proteína. É previsto que a China se torne o maior produtor mundial de farelo de soja em um futuro próximo. A Argentina é o maior exportador de farelo de soja, seguida pelo Brasil, Estados Unidos e Índia. Esses dados destacam a importância estratégica desses países na produção e no comércio global de farelo de soja.

3.2.2 Farelo de arroz

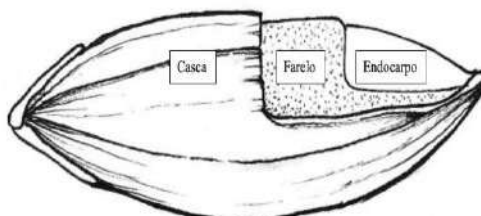
O arroz é uma cultura significativa globalmente, sua produção é superada apenas pelo milho e trigo. O arroz é cultivado e consumido em todos os continentes e participa com aproximadamente 28% da produção mundial de cereais. A Ásia lidera a produção com 89,9% da média mundial. (Embrapa, 2023).

Nas Américas, destacam-se o Brasil e os Estados Unidos da América. O arroz do Brasil representa 31,0% da produção das Américas. Já na classificação mundial, o país situa-se em 9º lugar, com uma participação de 1,5% do total de arroz produzido no planeta (Embrapa, 2023).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), na safra 2022/2023, o Brasil produziu pouco mais de 10 milhões de toneladas de arroz. A expectativa da Companhia é que o país cultive 10,7 milhões no ciclo 2023/2024, com um aumento esperado de 7,2%.

O farelo de arroz (Figura 7) é a camada intermediária do grão de arroz, uma película entre o grão e a casca (Figura 6). Este subproduto é obtido durante polimento do grão descascado para transformá-lo em arroz branco.

Figura 6: Frações do grão de arroz.



Fonte: Tomaz Ayres, 2021.

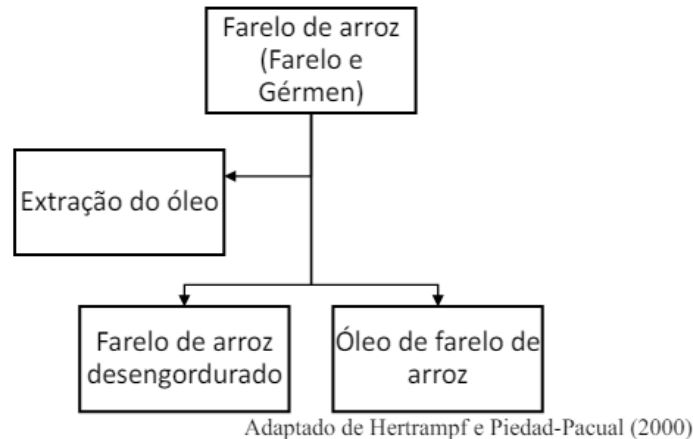
Figura 7: Farelo de arroz.



Fonte: [JPAAgro](#).

É possível separar a fração de óleo do farelo de arroz, obtendo-se o óleo de farelo de arroz e o farelo de arroz desengordurado (Figura 8).

Figura 8: Processo de obtenção do farelo de arroz.



Fonte: Tomaz Ayres, 2021.

O aproveitamento do farelo de arroz é importante como forma de agregar valor e minimizar o impacto ambiental, considerando sua grande disponibilidade, uma vez que a geração deste subproduto é inevitável no setor agroindustrial.

Este subproduto pode ser aproveitado como fonte de nutrientes, tais como lipídios, proteínas, minerais e carboidratos, além de vitaminas do complexo B, E e K (IAFFD, 2020). Além destes nutrientes, o farelo possui compostos como fenóis, tocoferóis e γ -orizanol que estão concentrados principalmente no farelo e em sua fração de óleo (CHATCHAWAN; SOOTTAWAT; NATTIGA 2008; BHATNAGAR et al. 2014). Tais nutrientes do farelo de arroz são importantes para suprir as necessidades da fibra capilar destruída após o processo de coloração.

Como o farelo de arroz representa 8% do grão inteiro, considerando que a expectativa da Conab de que o Brasil cultive 10,7 milhões no ciclo 2023/2024, a produção brasileira de farelo de arroz pode ser algo próximo de 856 mil toneladas.

3.3 ESTUDO MERCADOLÓGICO

3.2.1 O mercado de cosmético capilar

O período entre 2014 e 2023 apresentou baixos índices econômicos. Com crescimento médio de 0,4% ao ano, essa taxa ficou aquém do crescimento populacional, resultando em queda da renda per capita (Exame, 2023).

No entanto, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC), o setor de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos fechou 2023 com um valor recorde de exportações, alcançando US\$ 911,2 milhões. Esse valor representa um aumento de 14,5% sobre 2022 e um crescimento de 130,2%, marcando o melhor desempenho do setor na última década.

Segundo essa Associação, é o quarto ano consecutivo que a indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos apresenta superávit comercial, se destacando como o único segmento dentro do setor químico a manter este desempenho.

No ano de 2023, os Produtos para Cabelos foram os grandes destaques em exportações como pode ser visto pela Figura 1 a seguir:

Figura 1: Exportações brasileiras dos principais produtos de HPPC em 2023.



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC).

A exportação de Produtos para cabelos corresponde a 22% do total exportado de janeiro a dezembro. Sabonetes e produtos de Higiene Oral completam o pódio.

Já no acumulado do primeiro quadrimestre de 2024, as exportações do setor de HPPC atingiram o valor de US\$ 284,1 milhões, representando uma redução de 1,2% em relação ao

mesmo período de 2023. Isso se deve porque neste quadrimestre, as relações comerciais com a Argentina tiveram uma retração de 24,3% em valor de exportação, em consequência da crise econômica que este país enfrenta e por sua necessidade de buscar a recomposição de reservas em dólares, uma vez que a Argentina, ainda vem impondo barreiras que dificultam o pagamento de importação de produtos brasileiros, incluindo bens do setor de HPPC (ABIHPEC,2024).

No quadrimestre, as categorias que mais se destacaram nas exportações foram novamente os produtos para cabelos, seguidos pelos sabonetes e produtos de higiene oral como se pode observar pela Figura 2 abaixo:

Figura 2: Exportações brasileiras dos principais produtos de HPPC no primeiro quadrimestre de 2024.

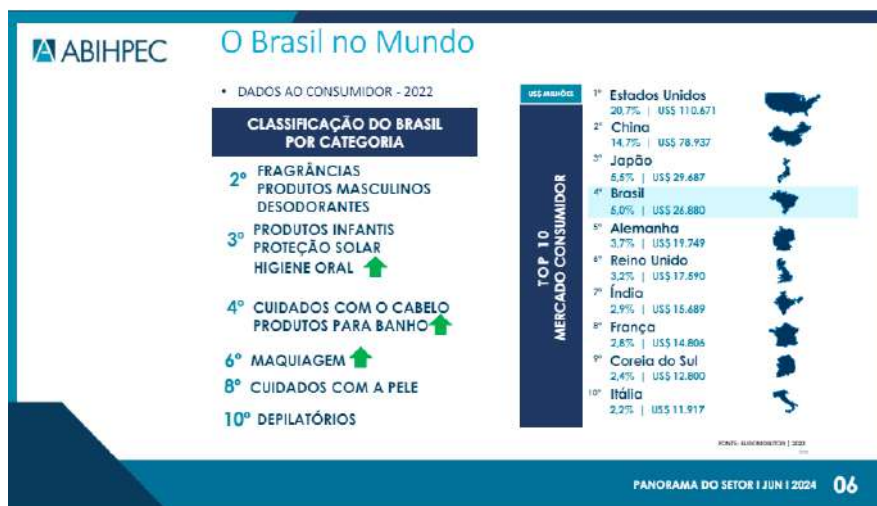


Fonte: Adaptado de Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC).

Apesar de positivos, os resultados estão abaixo das expectativas setoriais. No entanto, as exportações do setor de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (HPPC) vêm demonstrando um desempenho forte ao longo dos últimos períodos. Esse fato é observado quando se comparam as exportações setoriais de HPPC, que cresceram 7,7%, com as exportações da indústria de transformação como um todo, que cresceram 4,3% (ABIHPEC,2024).

Em relação ao mercado consumidor, o Brasil ocupa a 4ª posição mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Japão. No país, a categoria de Cuidado com Cabelo também ocupa a 4ª posição, como pode ser visto na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Panorama o Brasil no mercado consumidor mundial e sua classificação por categoria.



3.4 Técnica de caracterização visual da fibra capilar

3.4.1 Análise colorimétrica

O olho humano é capaz de perceber milhões de cores, mas a percepção diferente para cada indivíduo pode resultar em problemas, normalmente custosos, para fabricantes e fornecedores. O equipamento que faz a caracterização das cores é o colorímetro. Este equipamento realiza a quantificação dos atributos de cor medindo a luz refletida dos objetos em cada comprimento de onda ou em faixas específicas. O colorímetro determina as concentrações de cores primárias refletidas pelo objeto criando uma assinatura de cor exata para manter o controle de qualidade da cor e garantir que as amostras estejam nas tolerâncias definidas pelo usuário.

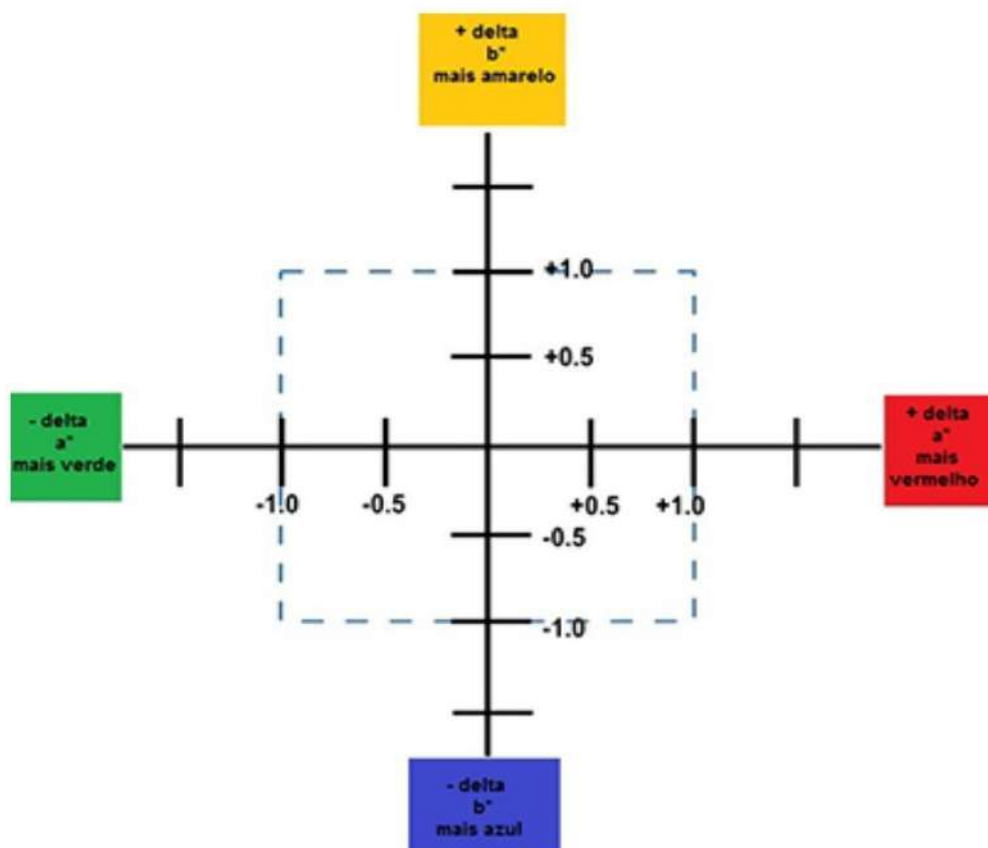
O colorímetro possui três filtros que têm resposta similar aos receptores de cor presentes na retina do olho humano e que são sensíveis ao vermelho, verde e azul. O instrumento possui uma fonte de luz que ilumina o objeto, após a luz ser refletida pelo objeto ela passa por esses três filtros coloridos. Os valores gerados por esses três filtros determinam a cor do objeto. Nesse

contexto, o Espaço de Cor se apresenta como um método eficaz para uniformizar e padronizar a linguagem obtida em análises colorimétricas e expressar a cor de um objeto.

A CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) é uma organização sem fins lucrativos que atua na ciência de luz e cor, definiu três espaços de cor, CIE XYZ, CIE L*C*h e CIE L*a*b*, para a comunicação e expressão das cores.

O espaço de cor L*a*b*, também conhecido como espaço de cor CIELAB (Figura 21), é atualmente o mais popular dos espaços de cores uniformes usados para avaliar as cores. Esse espaço de cor é amplamente utilizado pois correlaciona consistentemente os valores de cor com a percepção visual. Indústrias como as de plástico, tintas, impressão, alimentos e têxtil, além de universidades, utilizam este espaço para identificar, comunicar e avaliar os atributos da cor além das inconsistências ou desvios de uma cor padrão (Konica Minolta,

Figura 21: Resumo espaço CIELAB. 2024).



Fonte: Konica Minolta, 2024.

Quando as cores são ordenadas, elas podem ser expressas em termos de tonalidade, luminosidade e saturação. Com a criação de escalas para esses atributos pode-se expressar as cores de forma precisa.

O espaço de cor $L^*a^*b^*$ foi criado após a teoria de cores opostas, onde duas cores não podem ser verdes e vermelhas ao mesmo tempo, ou amarelas e azuis ao mesmo tempo. Como mostrado abaixo, o L^* indica a luminosidade e o a^* e b^* , são as coordenadas cromáticas.

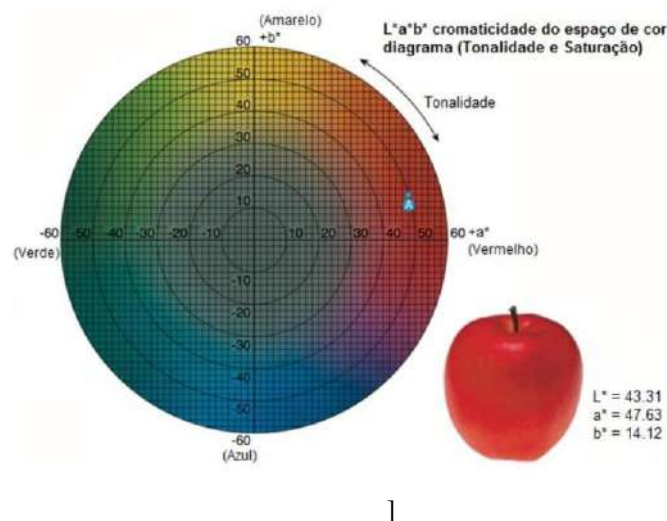
L^* = Luminosidade

a^* = coordenada vermelho/verde (+a indica vermelho e -a indica verde)

b^* = coordenada amarelo / azul (+b indica amarelo e -b indica azul)

O colorímetro quantifica os dados espectrais para determinar as coordenadas de cor do objeto no espaço de cor $L^*a^*b^*$ e apresenta a informação em termos numéricos. Quando medimos a cor de uma maçã, por exemplo, o instrumento de medição, mostra os valores de $L^*a^*b^*$, apresentados na Figura 22 a seguir:

Figura 22: Espaço de cor CIELAB.



Fonte: Konica Minolta, 2024.

Pequenas diferenças podem ser encontradas por um instrumento de medição de cor, mesmo quando duas cores parecem iguais para uma pessoa. Se a cor do produto não atende as especificações do padrão, a satisfação do cliente é comprometida e a quantidade de reprocesso e custos aumenta. Por isso é importante identificar as diferenças entre uma amostra do produto e o padrão, antes de se iniciar uma produção em alta escala. As diferenças de cor são definidas pela comparação numérica entre a amostra e o padrão. Ela indica as diferenças absolutas nas coordenadas de cor entre a amostra e o padrão e são conhecidas como Deltas (Δ). Os Deltas para L^* (ΔL), a^* (Δa) e b^* (Δb) podem ser negativas (-) ou positivas (+). A diferença total, Delta E (ΔE), todavia, é sempre positiva. Elas são expressas como:

ΔL^* = diferença em mais claro e escuro (+ = mais claro, - = mais escuro)

Δa^* = diferença em vermelho e verde (+ = mais vermelho, - = mais verde)

Δb^* = diferença em amarelo e azul (+ = mais amarelo, - = mais azul)

ΔE^* = diferença total de cor

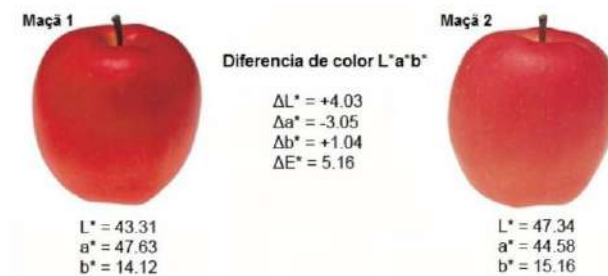
Para determinar a diferença total de cor entre as três coordenadas é utilizada a seguinte fórmula: $\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2}$.

Comparando a maçã na Figura 23 para a segunda maçã através dos valores de $L^*a^*b^*$ de cada maçã, podemos determinar objetivamente que as maçãs não têm cores iguais. Esses valores nos dizem que a Maçã 1 é levemente mais escura, vermelha e menos amarela que a Maçã 2. Se colocarmos os valores de $\Delta L^* = +4.03$, $\Delta a^* = -3.05$ e $\Delta b^* = +1.04$ na fórmula de diferença de cor, podemos determinar que a diferença total de cor é de 5.16.

$$5.16 = [4.03^2 + (-3.05)^2 + 1.04^2]^{1/2}$$

Após a identificação das diferenças de cor utilizando $L^*a^*b^*$, podemos então decidir se a amostra é aceitável ou não.

Figura 23: Comparativo de cores.



Fonte: Konica Minolta, 2024.

3.5 ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS, MORFOLÓGICAS, TÉRMICAS E MECÂNICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA CAPILAR

3.5.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR) é utilizada para a identificação e caracterização de compostos químicos. A região do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho tem número de onda entre 4000 a 667 cm^{-1} .

A radiação na região do infravermelho é passada através da amostra e parte absorvida corresponde à energia necessária para promover a vibração das ligações químicas existente na amostra. A radiação absorvida é comparada com aquela transmitida na ausência de amostra. O resultado da interação radiação-amostra gera um espectro molecular de absorção e transmissão, ou seja, a criação de uma impressão digital molecular do alvo estudado. Os espectros produzidos terão diferenças, mesmo que mínimas, tornando desta forma a espectroscopia no infravermelho útil para vários tipos de análise (SILVERSTEIN et al., 1991; SMITH, 1998; SOLOMONS, 2001).

A espectroscopia de absorção no infravermelho é uma ferramenta útil nos estudos de cabelos, pois fornece as principais bandas das fibras capilares logo, é utilizada para determinar as alterações estruturais no cabelo quando exposto a vários tratamentos (MOITA, 1989).

A espectroscopia na região do infravermelho pode ser utilizada para identificar estruturas secundárias de proteínas, como é o caso da queratina, maior constituinte de materiais contendo moléculas biológicas como lã, unhas e cabelos (SMITH, 1998).

Vários estudos na literatura têm utilizado a FTIR como ferramenta para a identificação de grupos funcionais em amostras de cabelo. Colenci (2007) estudou o efeito de uma formulação cosmética em amostras de cabelo caucasiano por FTIR e obteve os espectros das principais bandas presentes na queratina do cabelo bem como a presença de picos relacionados a compostos da formulação utilizada (COLENCI, 2007).

3.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica é a técnica destinada para a observação de detalhes nas superfícies das amostras e pode atingir um aumento de 900.000 vezes, superior ao aumento permitido na microscopia ótica, de 2.000 vezes.

Na microscopia eletrônica a amostra é irradiada por um fino feixe de elétrons e não pela radiação da luz como na microscopia ótica. A MEV pode ser aplicada na visualização de organismos inteiros, órgãos, tecidos e até mesmo organelas presentes nas células.

Na microscopia eletrônica de varredura a interação do feixe de elétrons com a superfície da amostra resulta na emissão de radiações de elétrons secundários e retroespalhados, que permite melhor resolução na imagem e fornecem dados a respeito da composição do material em estudo. Há também emissão de outras radiações, como raios x específicos, fótons e elétrons Auger.

Na MEV o feixe de elétrons fica dentro de uma pequena sonda que passa por toda a amostra durante a varredura e dura apenas alguns segundos. As diferenças na topografia da amostra alteram o padrão com o qual os elétrons são dispersos, portanto buracos ou demais depressões apresentam-se escuras e as elevações mais claras, estes fatores permitem obter imagens tridimensionais.

Para a observação na MEV as amostras têm que estar secas e ao serem colocadas no porta amostra do microscópio. Além disso, é necessário que o material fixado seja condutor, por isso comumente são utilizadas colas condutoras, fitas adesivas metálicas ou materiais que recobrem as amostras como filme fino de ouro.

A MEV é uma ferramenta muito utilizada para analisar a superfície do cabelo uma vez que pode fornecer uma ideia sobre a extensão dos danos da cutícula bem como o número de escamas visíveis. A partir das micrografias obtidas, é possível visualizar algum espaço (se existir) entre as células que se sobrepõem (BELLARE et al., 2001). Portanto, é uma técnica muito utilizada na observação da estrutura de cabelos em diversas situações com o objetivo de avaliar a saúde e nutrição das fibras capilares.

3.5.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) está incluída em um grupo de técnicas denominada análise térmica. Consiste em calcular a diferença de energia fornecida à referência e à amostra, em função da temperatura de forma controlada. São utilizados dois cadinhos, que podem ser de materiais diferentes (platina, alumínio), fechados, abertos ou semiabertos, um com a amostra a ser analisada e outro com a referência (geralmente o cadinho vazio).

Portanto, a técnica quantifica a energia térmica que deve ser transferida a um material para induzir mudanças físicas e permite medir o calor de vaporização, fusão e transição de fase de diferentes materiais.

Os danos no cabelo fazem com que o cabelo se comporte de forma diferente do seu estado natural e isso inclui propriedade umectante e retenção de água na fibra capilar.

Por isso, a técnica tem se mostrado eficaz para avaliar o comportamento térmico da água no cabelo pois permite determinar a força de ligação da água nas fibras capilares. Através da técnica de DSC é possível avaliar a integridade dos filamentos intermediários através da quantidade de energia necessária (Entalpia) em cada evento, como a desnaturação da α -hélice, por exemplo. Desta forma a variação desta energia demonstra o estado da haste do cabelo, como foco no córtex.

Estudos anteriores identificaram duas faixas de temperatura características na DSC: uma de 0°C a 200°C, para a água presente no cabelo, e outra de 250°C a 280°C, para a transição de fase cristalina da α -queratina.

3.5.4 Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA)

A Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA) é uma caracterização térmica na qual as variações de massa da amostra (perda ou ganho) são determinadas em função da temperatura e/ou tempo enquanto amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura.

Há três tipos de termogravimetria. Na termogravimetria isotérmica o estudo é realizado em uma temperatura constante por um tempo definido. Na termogravimetria quase isotérmica a amostra é aquecida numa razão linear enquanto apresenta-se termicamente estável e a partir do momento em que se inicia a perda de massa a temperatura é constante. Já na termogravimetria dinâmica, a temperatura da amostra é programada para variar, preferencialmente, a uma razão de aquecimento ou resfriamento linear (WENDLANDT, 1986; MATOS & MACHADO, 2004).

A Termogravimetria derivada é aplicada para a melhor avaliação e visualização das etapas de perdas de massa e demais eventos presentes na curva TG, além de permitir a determinação rápida da temperatura (T_{max}), onde a velocidade de perda ou ganho de massa é máxima, a temperatura inicial (T_i ou T_{onset}) e final (T_f ou T_{endset}) nas variações de massa da amostra. A curva DTG é obtida pela derivada primeira da curva TG, e auxilia na determinação das variações de massa, no caso de reações sobrepostas. Além disso, é usada para definir o final da primeira perda de massa e o início da segunda. A soma das áreas dos picos da DTG é proporcional ao total da variação de massa da amostra (perda ou ganho de massa) (WENDLANDT, 1986; MATOS; MACHADO, 2004; PAULIK; ARNOLD; 1990).

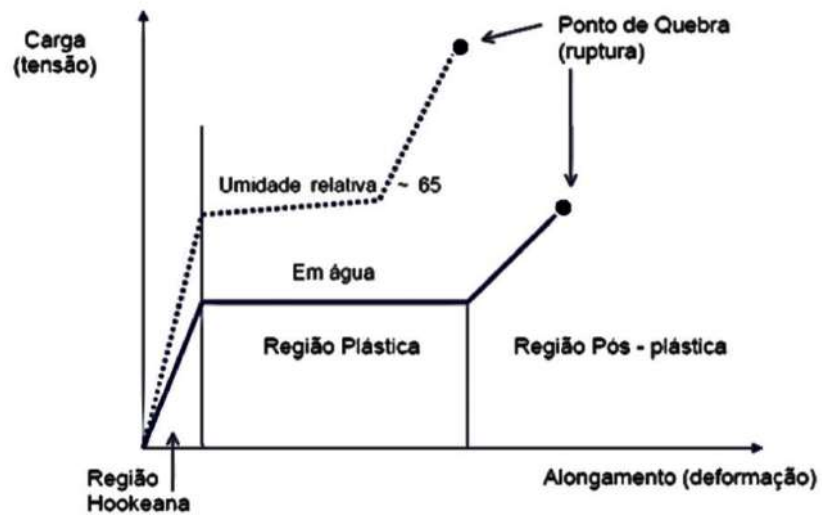
3.5.5 Análise Térmica Mecânico Dinâmica (DMTA)

A Análise Térmica Mecânico Dinâmica (DMA ou DMTA) é uma técnica usada para medir propriedades não somente mecânicas, mas viscoelásticas, de uma ampla gama de materiais como os poliméricos, dentre eles do cabelo, um polímero natural.

O instrumento DMTA aplica deslocamento ou força específica a uma amostra e quantifica com muita precisão sua força versus resposta de deslocamento. Portanto, submetidas

à técnica, as fibras capilares apresentam três regiões características como mostrado na Figura 24 a seguir:

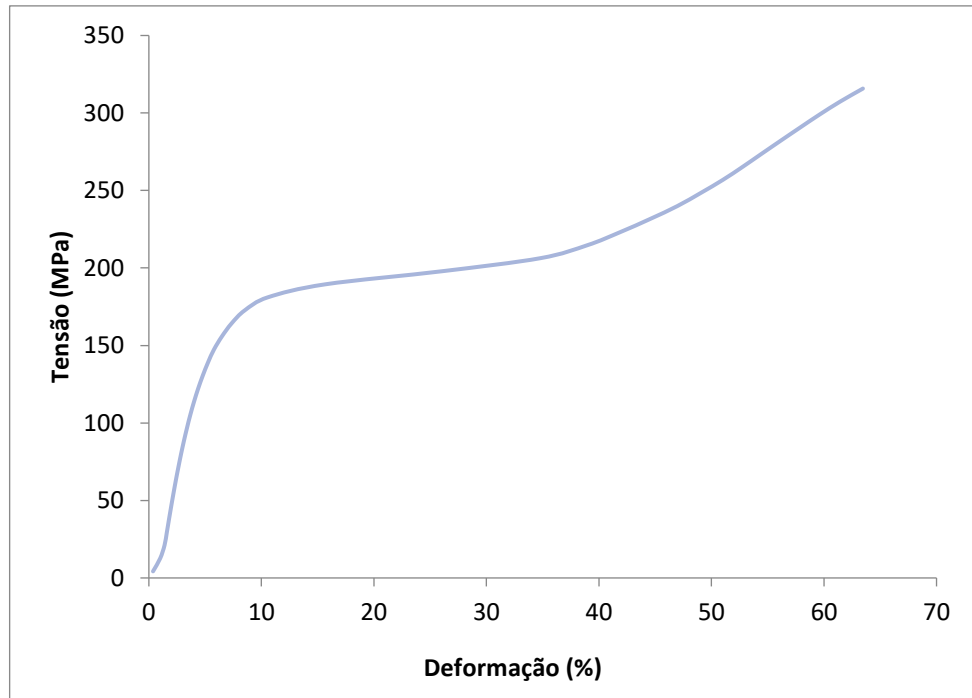
Figura 24: Curva Tensão X Deformação característica de polímeros.



Fonte: GARCIA e DIAZ (1976).

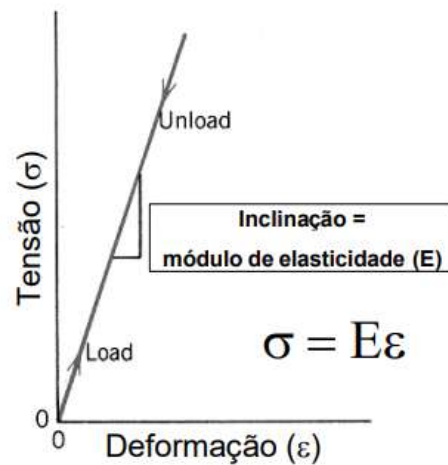
Nela é possível visualizar uma região inicial linear chamada Elástica, observada também na Figura 26. Na prática as curvas obtidas pela DMTA são mostradas como na Figura 25 a seguir.

Figura 25: Curva Tensão X Deformação característica de fibras capilares sem tratamento.



Fonte: De autoria própria.

Figura 26: Módulo de Elasticidade de uma curva de Tensão vs Deformação.



Fonte: USP, 2024.

As medidas obtidas pela DMTA vão além de simplesmente quantificar a magnitude da força dividida pela magnitude do deslocamento, o instrumento mede com precisão a relação de fase entre os sinais. Isso permite a quantificação dos componentes elásticos (semelhantes a molas) versus viscosos (semelhantes a pistão) da resposta da amostra, o que é crucial para a caracterização confiável e completa das propriedades viscoelásticas, como Módulo de Armazenamento, Módulo de Perda e Tan delta em função da temperatura, do tempo, da frequência e/ou da combinação destes parâmetros.

A técnica DMTA difere de outros dispositivos de teste mecânico porque os dispositivos de teste de tração típicos se concentram apenas no componente elástico e em muitas aplicações, o componente inelástico ou viscoso é crítico, sendo ele o determinante de propriedades como resistência ao impacto.

A DMA é comumente usada para medir temperaturas de transição vítrea (T_g) e transições secundárias e fornece uma medida precisa do módulo do material e rigidez do produto, além de outras propriedades mecânicas importantes, como amortecimento, fluência e relaxamento de tensão. Neste trabalho foi realizado ensaios pela técnica de DMTA para obter uma medida da resistência das fibras capilares e tração de ruptura.

4 METODOLOGIA

A metodologia experimental foi realizada em cinco etapas:

- (1) Preparação do Ativo X
- (2) Obtenção da fibra capilar
- (3) Preparação das mechas de cabelo
- (4) Realização da descoloração
- (5) Caracterização das amostras

4.1 PREPARO DO ATIVO PROTEICO

A primeira etapa para obtenção do ativo proteico envolveu a obtenção das matérias primas Farelo de Soja e Farelo de Arroz. Elas foram adquiridas na rede Casas Pedro.

Os dois farelos foram pesados e seguiram para a etapa de extração enzimática à pH específico, separadamente, resultando na obtenção de hidrolisados de Farelo de Soja e Farelo de Arroz. Estes hidrolisados foram centrifugados e o sobrenadante seguiu para uma etapa de filtração simples.

Em seguida, os dois hidrolisados obtidos passaram por um misturador e à mistura foi adicionada um agente gelificante. A mistura teve pH ajustado e foi preservado, obtendo-se assim o Ativo X.

Os parâmetros de extração do processo de obtenção dos hidrolisados assim como as especificações dos equipamentos utilizados e as condições e agentes reacionais não puderam ser revelados devido ao sigilo de tecnologia de processo da empresa ASSESSA.

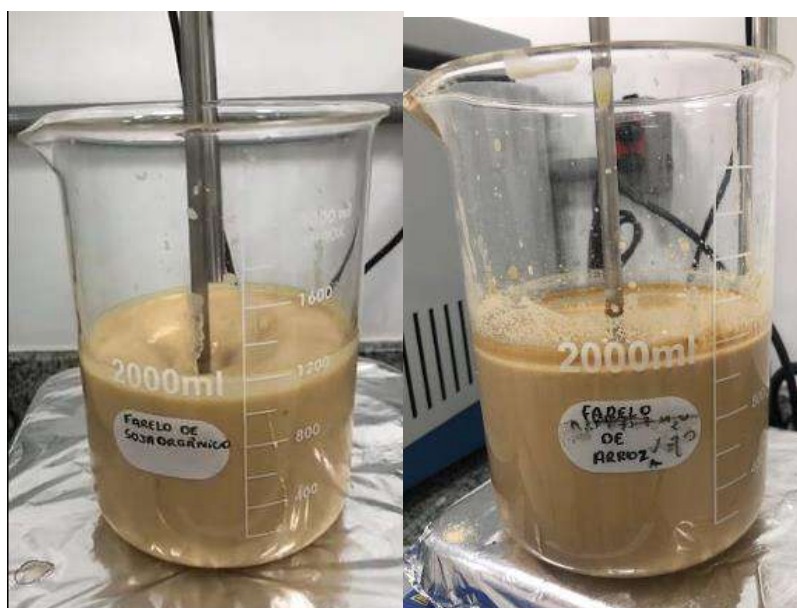
Na Figura 27 abaixo há uma representação dos farelos usados como matérias primas para a preparação dos hidrolisados. Na Figura 28 é representado o processo de extração e na Figura 29 a representação se refere aos hidrolisados obtidos.

Figura 27: Farelo de soja e Farelo de arroz usados na fabricação do ativo.



Fonte: De autoria própria.

Figura 28: Farelos de soja e arroz usados na fabricação do ativo.



Fonte: De autoria própria.

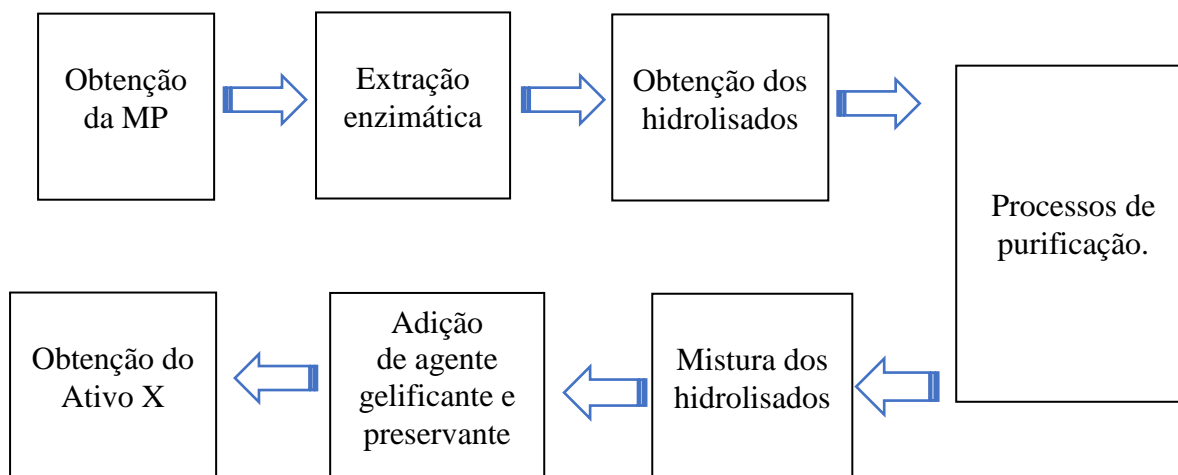
Figura 29: Hidrolisados de Farelo de Soja e Farelo de Arroz.



Fonte: De autoria própria.

A seguir a Figura 30 esquematiza as principais etapas envolvidas nesse processo.

Figura 30: Esquema com as principais etapas na obtenção do Ativo X.



Fonte: Elaboração própria.

4.2 PREPARO DAS MECHAS DE CABELO

Para este estudo, foram usadas 4 mechas cabelo caucasiano virgens, de tom 4.0, com 5g e 25 cm de comprimento, como mostrado na figura 31 abaixo.

Figura 31: Mechas utilizadas no teste.



Fonte: De autoria própria.

As mechas passaram por pré-lavagem com solução de Lauril éter sulfato de sódio (10% v/v), foram secas com o auxílio do secador e receberam a seguinte nomenclatura e classificação:

Mecha V: Virgem

Mecha C: Controle, somente descolorida

Mecha X: Descoloridas com 10% do Ativo X (Ativo em estudo)

Mecha B: Descoloridas com 10% do Ativo Benchmark (Produto de Mercado)

4.3 PROCESSO DE DESCOLORAÇÃO

O protocolo padrão do fabricante do descolorante indica uma proporção de uso, composta por 1:2, de pó descolorante/ água oxigenada. Essa proporção foi seguida para cada mecha de 5 g, onde foi usado 10g de pó descolorante e 20g de OX (40 volumes), sendo misturados manualmente, e a mistura aplicada na mecha, com auxílio de pincel. Assim, cada amostra apresentou uma composição de mistura descolorante, mostrada a seguir:

Mecha Virgem: mecha sem mistura descolorante.

Mecha Controle: mecha na qual foi aplicada mistura descolorante contendo pó descolorante (*Probelle Ultra Blonde*) e Água Oxigenada (40V *Probelle*). A mistura foi aplicada em toda a extensão da mecha. Em seguida, a amostra foi embrulhada em papel alumínio e mantida em repouso por 50 minutos. Posteriormente, a mecha foi enxaguada em água corrente, até que toda

a mistura fosse completamente removida da mesma. Depois, a mecha foi lavada com 1g de shampoo neutro Johnson's Baby.

Mecha X: mecha com a mesma composição de mistura aplicada na *Mecha Controle*, incluindo 3g do Ativo X. Posteriormente, o preparo da mecha seguiu o protocolo descrito para a Mecha Controle.

Mecha Benchmark: mecha com a composição de mistura semelhante a da amostra Mecha X, diferenciando Ativo x, o qual foi substituído por 3g do Ativo Benchmark. Posteriormente, o preparo da mecha seguiu o protocolo descrito para a Mecha Controle.

A preparação para descoloração está representada na Figura 32 a seguir:

Figura 32: Mechas prontas para receber a mistura descolorante.



Fonte: De autoria própria.

4.4 TÉCNICA DE CARACTERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA CAPILAR

4.4.1 Análise colorimétrica

Após o processo de descoloração, as três mechas descoloridas e a mecha virgem foram submetidas ao colorímetro (Figura 33). Para a leitura, cada uma das mechas foi ajustada à saída do tubo de projeção de luz e passou por três leituras, na parte superior, na parte intermediária e na parte inferior da mecha.

Figura 33. Equipamento Colorímetro CR-400.



Fonte: Konica Minolta, 2024.

As leituras forneceram valores de L^* , a^* e b^* que correspondem à luminosidade e coordenadas cromáticas.

4.5 ANÁLISES ESPECTROSCÓPICA, MORFOLÓGICA, TÉRMICA E MECÂNICA PARA CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA CAPILAR

4.5.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier foi realizada no Laboratório de Análise Térmica (LabTer) da UFRJ. O modelo do equipamento utilizado foi o Frontier FT-IR/NIR do fabricante PE, com detector LiTaO₃, Fonte MIR e Separador de feixe OptKBr que opera em uma faixa de varredura padrão de 1.5500 a 435 cm^{-1} .

4.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Nesta análise cinco fios de cada uma das quatro mechas foram escolhidos randomicamente e fixados no porta amostras padrão. Estes fios foram previamente submetidos à metalização com ouro (Figura 34). Em seguida, foram inseridas ao Microscópio Eletrônico de Varredura (Figura 35) do Núcleo Multidisciplinar de Pesquisa da UFRJ.

Figura 34: Metalizador de ouro e porta amostras.



Fonte: De autoria própria.

Figura 35: Microscópio Eletrônico de Varredura e porta amostras.



Fonte: De autoria própria.

4.5.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Para essa análise, foi usado o equipamento Shimadzu DSC-60 do Laboratório de Análise Térmica (LabTer) da UFRJ. Uma representação do mesmo é exposta abaixo (Figura 36):

Figura 36: Equipamento Shimadzu DSC-60.



Fonte: Shimadzu, 2024.

A análise de DSC foi realizada com cerca de 2 mg e 10 mg de cada tipo de mecha. As especificações de análise foram:

- 10mL/min de nitrogênio
- Taxa de calor de 10°C/min
- Faixa de temperatura: 25°C a 280°C
- Ciclo de aquecimento único.

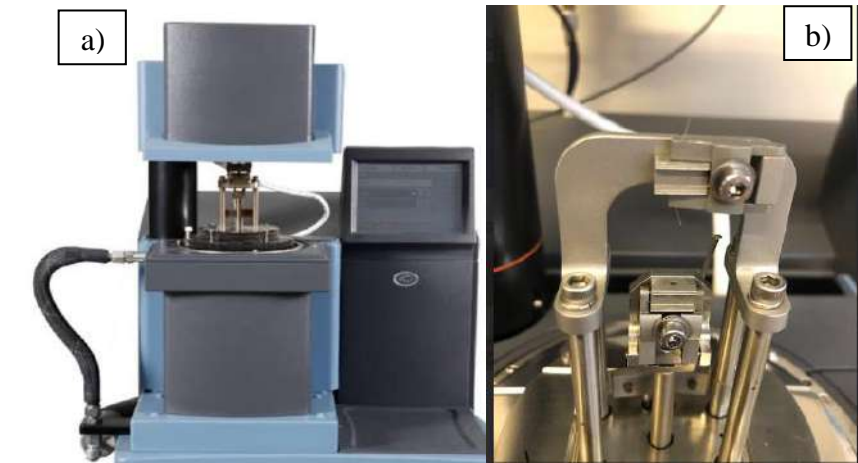
4.5.4 Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA)

A Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA) possui as mesmas especificações do DSC pois o equipamento usado realiza análise térmica simultânea (TG-DTA/DSC).

4.5.5 Análise Térmica Mecânico Dinâmica (DMTA)

A Análise Térmica Dinâmico Mecânica foi realizada no Laboratório de Análise Térmica (LabTer) da UFRJ. Foi utilizado o equipamento DMA Q 8000 da TA Instruments (Figura 37 a) usando uma garra de tensão para fibra (Figura 37 b) como mostrado a seguir:

Figura 37: a) DMA Q 8000 da TA Instruments, b) Clamp do DMA Q800 usado na análise.



Fonte: TA Instruments, 2024.

As especificações de realização da análise foram:

- Equilíbrio em 30,00°C
- Isotérmico por 1,00 min
- Rampa de Força de 1000 N/min para 18000 N/min.

A análise teve início com a medição do diâmetro da fibra capilar por um micrômetro digital de 0-25 mm (Figura 38), sendo tomados 20 fios de cada mecha, escolhidos aleatoriamente.

Figura 38: Medida do diâmetro da fibra em micrômetro digital.



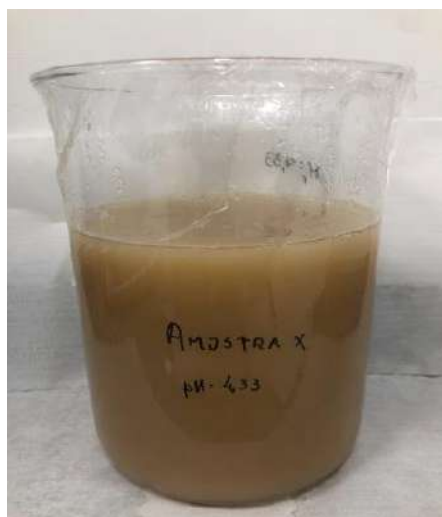
Fonte: De autoria própria.

5 RESULTADOS

5.1 PREPARO DO ATIVO PROTEICO

O Ativo X obtido ficou com aspecto final de gel fluido, cor amarelo acastanhado, odor característico e ausência de precipitados, apresentando, portanto, boa estabilidade. Esse produto foi armazenado em condição ambiental e condições extremas, de baixa e alta temperaturas (10°C e 45°C), e seguiu com boa estabilidade. Na Figura 39 abaixo é possível verificar algumas das características mencionadas.

Figura 39: Amostra do Ativo X.



Fonte: De autoria própria.

5.2 PROCESSO DE DESCOLORAÇÃO

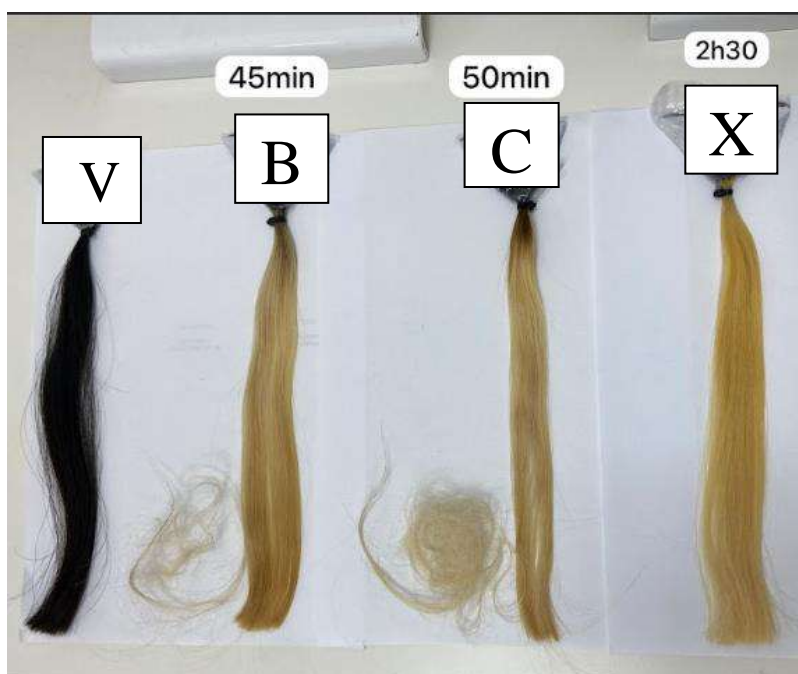
As mechas com as misturas descolorantes estão descritas pela Tabela 2. Na mecha tratada com o Ativo Benchmark, o descolorante foi removido em um tempo de 45 minutos, (indicado pelo fornecedor) e além de moderada queda de cabelo (0,17g), a mecha apresentou manchas. Este mesmo comportamento da FC ocorreu para a mecha Controle após o tempo de 50 minutos, porém em maior escala. Para esta mecha, notou-se o aquecimento do papel alumínio logo após a aplicação da mistura descolorante e na remoção desta 0,97g de cabelo foram quebrados. Estes resultados estão demonstrados na Figura 40.

Tabela 2: Composição da mistura para descoloração de cada mecha.

Mechas	Descolorante	Ativo adicionado
Controle	10 g de pó + 20 g de água oxigenada 40V	-
Mecha X	10 g de pó + 20 g de água oxigenada 40V	3 g de Ativo X
Mecha B	10 g de pó + 20 g de água oxigenada 40V	3g de Ativo Benchmark

Fonte: Elaboração própria.

Figura 40: Resultado da descoloração de cada mecha.



Fonte: De autoria própria.

Já a mecha na qual a mistura descolorante continha o Ativo X, o produto permaneceu nas FCs por duas horas e meia, sob monitoramento constante. A Mecha X não apresentou emborrachamento e a descoloração das fibras ocorreu de forma homogênea. Na remoção do descolorante essa mecha não apresentou quebra capilar.

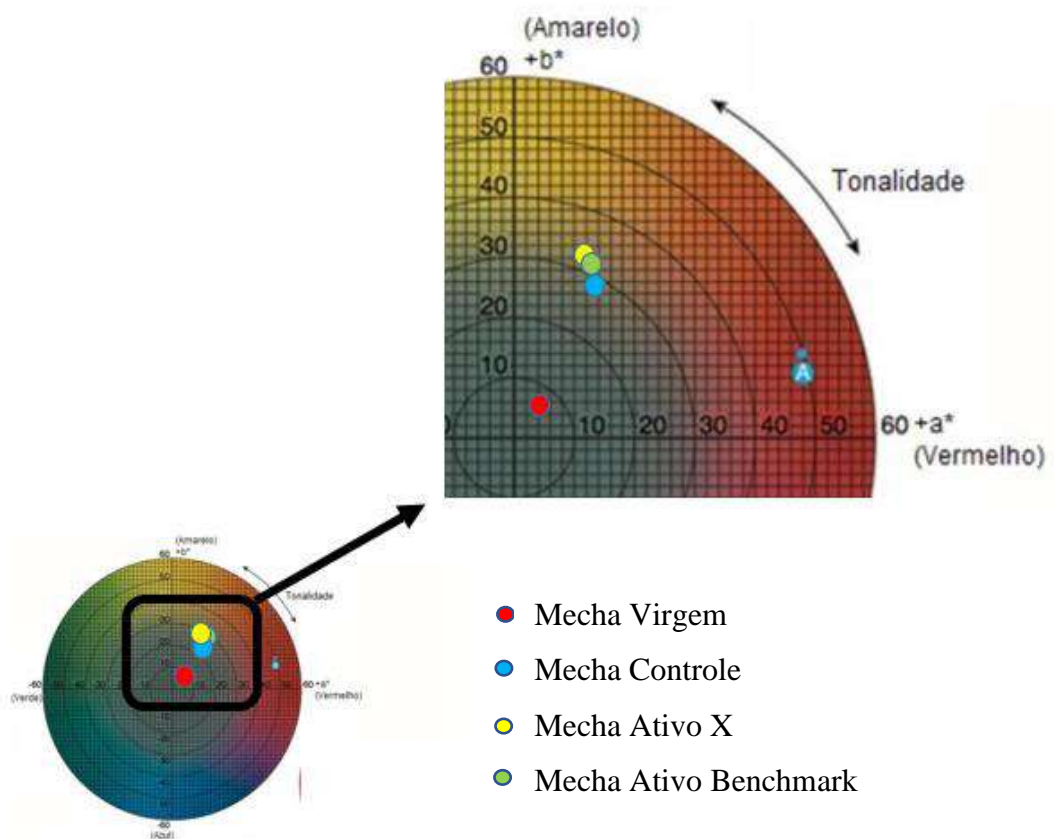
5.3 TÉCNICA DE CARACTERIZAÇÃO VISUAL DA FIBRA CAPILAR

5.3.1 Análise colorimétrica

A análise colorimétrica foi realizada com o objetivo de identificar os atributos de cores das fibras antes e após o tratamento.

Os valores de luminosidade (L^*) e valores das coordenadas indicadoras de cores (a^* e b^*) obtidos com as análises foram plotados no globo de cores e apontaram para um tom amarelado mais intenso na amostra tratada com o Ativo X, indicando uma boa eficácia do ativo desenvolvido em alcançar tons mais altos em processos de descoloração.

Figura 41: Cor das mechas.



Fonte: Elaboração própria.

5.4 ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS, MORFOLÓGICAS, TÉRMICAS E MECÂNICAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA CAPILAR

4.4.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

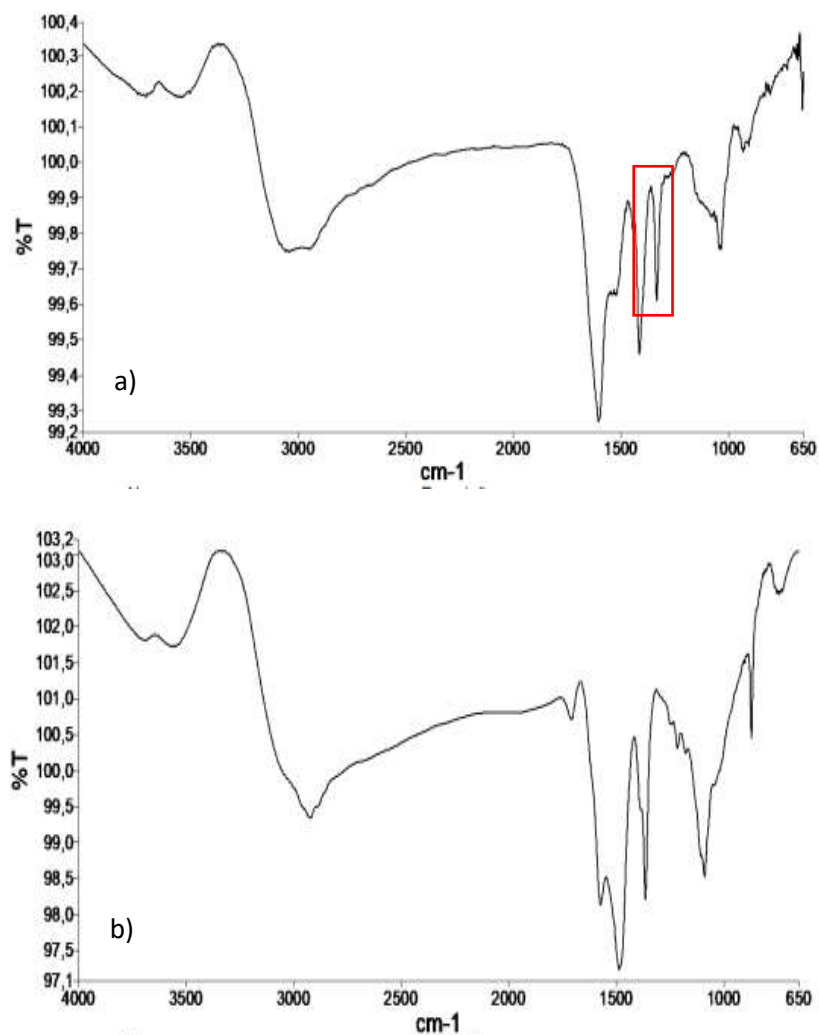
A análise do espectro da FTIR é normalmente dividida em três regiões:

1. Região 1 (4000 a 1300 cm^{-1}): Relaciona-se aos estiramentos de ligações dos principais grupos funcionais. Nesta região, é possível identificar grupos como álcoois, ácidos carboxílicos e aminas (Barbosa, 2008).
2. Região 2 (1300 a 900 cm^{-1}): Conhecida como a região da impressão digital, é a mais complexa do espectro. Essa faixa é crucial para confirmar a identidade dos compostos, devido às suas bandas únicas e específicas.
3. Região 3 (900 a 500 cm^{-1}): Apresenta bandas fortes, particularmente em compostos aromáticos, heteroaromáticos e alquenos. As bandas nesta região ajudam a confirmar atribuições feitas nas bandas da região 1.

Essa divisão permite uma análise detalhada e precisa da composição química dos materiais estudados.

Para a análise inicial, foi realizado a FTIR dos ativos utilizados, a fim de identificar as principais bandas de absorção correspondentes aos componentes químicos presentes nos tratamentos de proteção. Essa investigação permite entender a função dos elementos químicos, tanto no ativo desenvolvido quanto no ativo disponível no mercado. Estes espectros estão ilustrados na Figura 44. Essa análise é essencial para determinar as propriedades e a eficácia dos tratamentos aplicados.

Figura 42: Espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier, em a) Ativo X e b) Ativo Benchmark.



Fonte: De autoria própria.

Na Figura 44, o Ativo X mostrou um espectro semelhante ao Ativo Benchmark, com pequenas variações em algumas bandas de absorção.

Na Região 1, o espectro do Ativo X apresentou uma banda de absorção forte e larga na faixa de 3500 a 3000 cm^{-1} , associada às vibrações de deformação axial da ligação OH. No Ativo Benchmark, essa banda foi deslocada para a Região 2, indicando possíveis diferenças nas interações moleculares ou na composição química do ativo.

Na banda de 1641 cm^{-1} , há uma banda de média intensidade relacionada às vibrações de deformação axial do C-H. Essa banda amida II está associada principalmente ao estiramento C=O da amida, com pequenas contribuições das vibrações de estiramento assimétrico CN e da deformação angular NH_2 . Essas bandas se evidenciam tanto na amostra com o Ativo X quanto no Benchmark. A amostra Benchmark apresentou pico deslocado para a Região 2 novamente.

No cabelo humano, a ligação peptídica é a mais abundante e gera várias bandas de vibração no espectro FTIR. Três grupos específicos da queratina contribuem para diferentes bandas de absorção vibracional:

Ligação peptídica (estrutura proteica primária): Formada pela condensação entre grupos ácido carboxílico e amina de aminoácidos adjacentes, originando as bandas amida I, II e III (Barton, 2011).

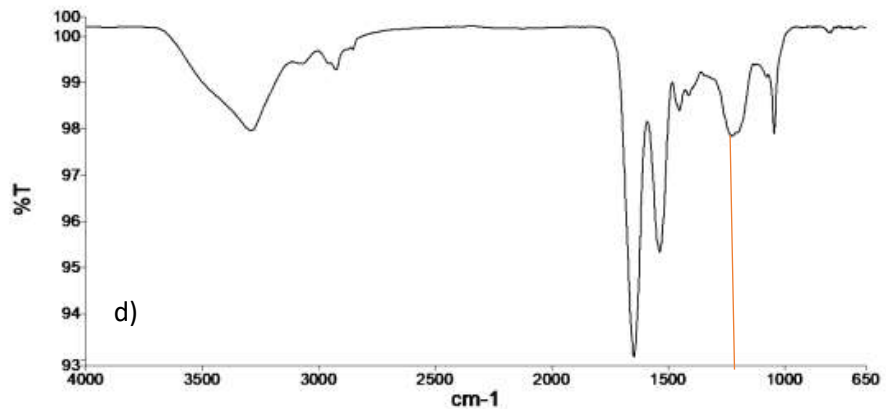
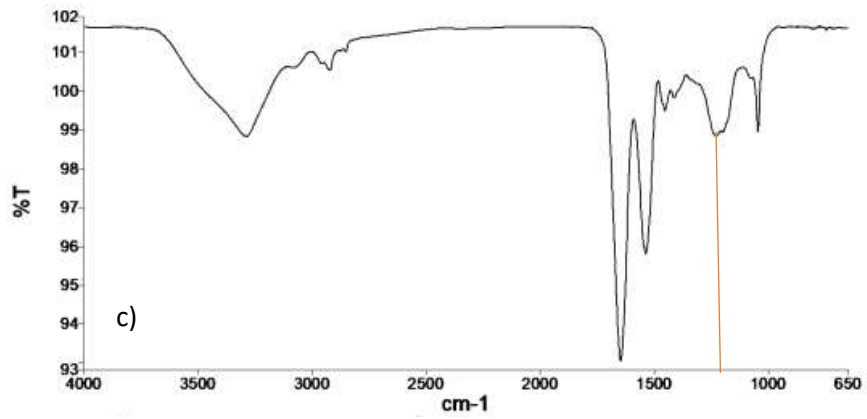
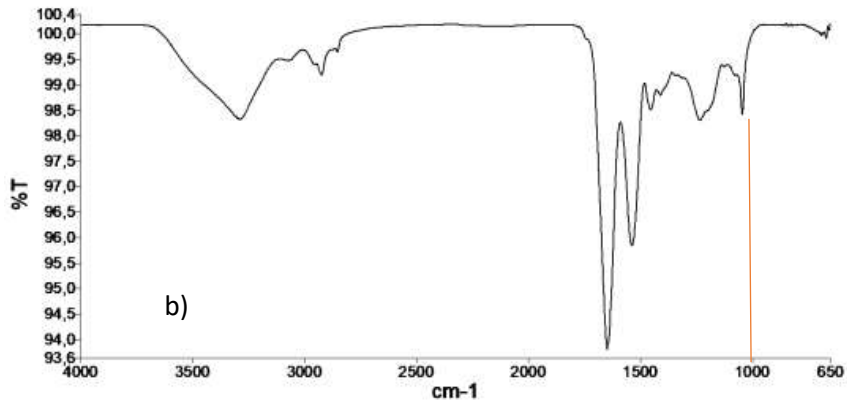
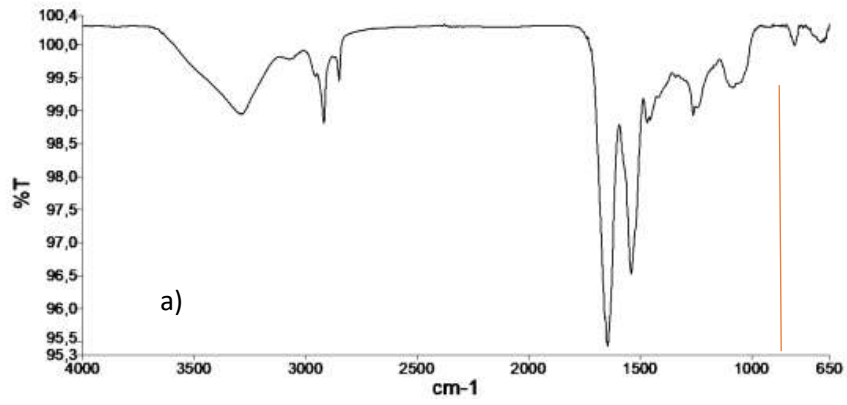
Cadeia polipeptídica (estrutura secundária): Relacionada às ligações C-C do esqueleto dorsal, com padrões conformacionais como α -hélice, folha β e espirais aleatórias, que se conectam às bandas de amida (Barton, 2011).

Cadeias laterais de aminoácidos (grupos R): Incluem vibrações de -CH, -CH₂ e -CH₃ em anéis alifáticos e aromáticos de aminoácidos como fenilalanina, tirosina, e triptofano, além das vibrações de intermediários oxidativos da cistina (Barton, 2011).

Essas características ajudam na identificação e análise da estrutura química da queratina no cabelo.

Portanto, a análise de FTIR foi feita também para as fibras capilares virgens, descolorida sem tratamento (Controle) e descolorida com tratamento (Ativo X e Ativo Benchmark) (Figura 45).

Figura 43: Espectros de absorção no Infravermelho com Transformada de Fourier das mechas a) Virgens, b) Controle, c) Amostra contendo o Ativo X e d) Amostra contendo o Ativo Benchmark.



Fonte: De autoria própria.

As bandas de absorção dos principais grupos funcionais presentes na queratina do cabelo e os valores encontrados na Amostra Virgem estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores das principais bandas obtidas para cabelos por FTIR e os valores obtidos para a amostra Virgem.

Bandas de absorção	Valores característicos (cm⁻¹)	Valores aproximados encontrados para a Amostra Virgem (cm⁻¹)
Amida A (estiramento O-H)	3000-3700	3300
CH ₂ Assimétrico (estiramento)	3200-2500	2800-3040
Amida Primária (C=O, C-N, C-C-N)	1680-1620	1680
Amida Secundária (deformação angular NH)	1575-1480	1575-1480
Amida Terciária (deformação angular C=O)	1225	1250
SO ₃ (estiramento Ácido Cisteico)	1040	1040

Fonte: Adaptado (MONTEIRO, 2003; BARBOSA, 2008; PUDNEY, 2013).

Na tabela 3 foi observado bandas de absorção com comprimentos de onda semelhantes presentes nas amostras de cabelo Virgem com aquelas citadas na literatura (ZHOU et al, 2011; KIM; PARK, 2013). Esse fato estende-se às outras amostras com algumas discrepâncias.

As bandas de Amidas I, II e III (1200-1700 cm⁻¹) (WOJCIECHOWSKA et al, 1999; ZHOU et al, 2011) foram observadas em todos os espectros das amostras analisadas. As bandas na região de 1480-1700 cm⁻¹ são sensíveis às alterações na conformação estrutural secundária da proteína. Portanto, esta região é a mais importante para a identificação de mudanças estruturais em amostras de cabelo (ZHOU et al., 2011; KIM; PARK, 2013).

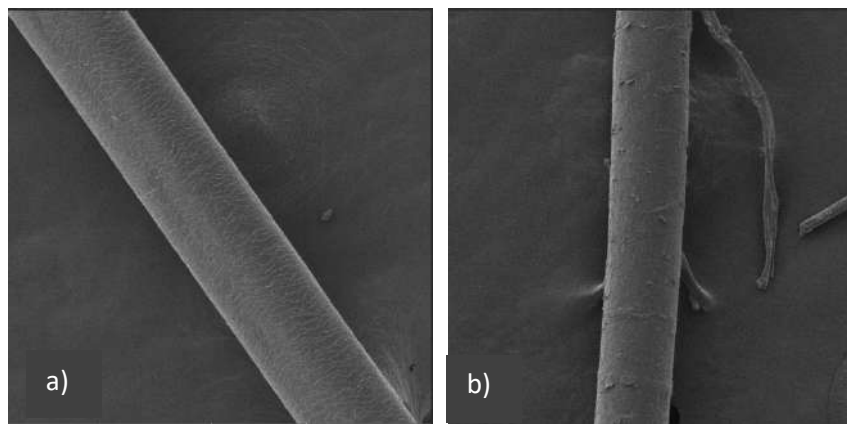
Analisando especificamente a região 2 (faixa de 1300 a 900 cm⁻¹), os ativos não apresentam diferença significativa uma vez que os dois ativos apresentaram uma única banda de intensidade semelhante, deslocada para maiores comprimentos de onda referente ao estiramento do ácido cisteico de uma ligação de enxofre (S=O). Já no cabelo Controle essa banda apresentou menor intensidade e maior deslocamento para maiores comprimentos de onda em comparação às demais.

Isso sugere que a ambos os ativos apresentam o ácido cisteico derivado da cisteína e uma amida secundária. Esses componentes são fundamentais para as estruturas secundárias das proteínas, o que pode influenciar significativamente na qualidade e eficácia do tratamento químico oferecido pelos produtos.

5.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

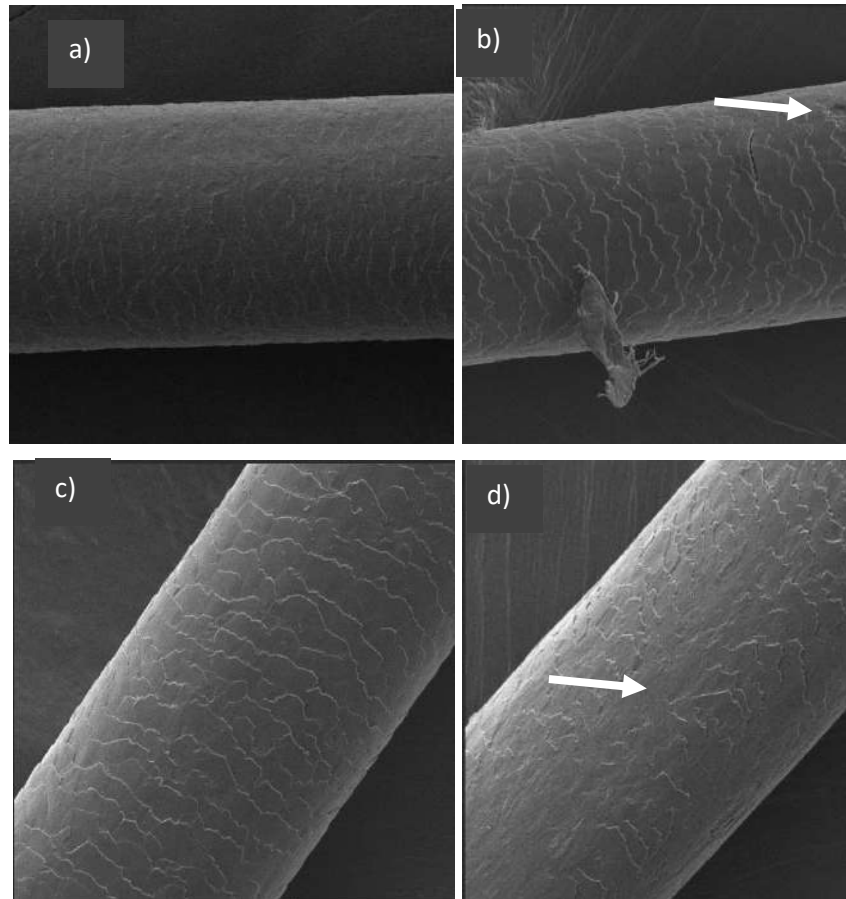
Esta técnica foi utilizada com o intuito de avaliar a eficácia dos ativos cosméticos na superfície de fios de cabelos quando estes foram submetidos a processo de descoloração. Foram utilizadas para comparação as imagens obtidas das amostras Virgem, Controle, Amostra X e Benchmark em diversas ampliações (Figuras 46,47 e 48).

Figura 44: MEV na escala de 650X para a) Amostra X e b) Benchmark.



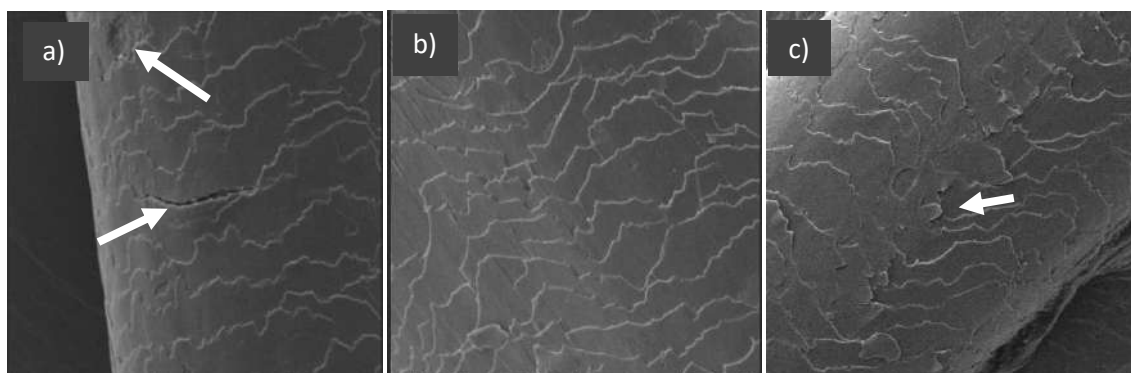
Fonte: De autoria própria.

Figura 45: MEV na escala de 2000X para as amostras a) Virgem, b) Controle, c) Amostra X e d) Benchmark.



Fonte: De autoria própria.

Figura 46: MEV na escala 4000X para as amostras a) Controle, b) Amostra X e c) Benchmark.



Fonte: De autoria própria.

Nas figuras acima é possível observar que tanto a mecha controle quanto a mecha Benchmark sofreram danos irreversíveis com descamação das cutículas e o efeito nocivo do descolorante ocasionou fratura na mecha Controle expondo o córtex da fibra capilar.

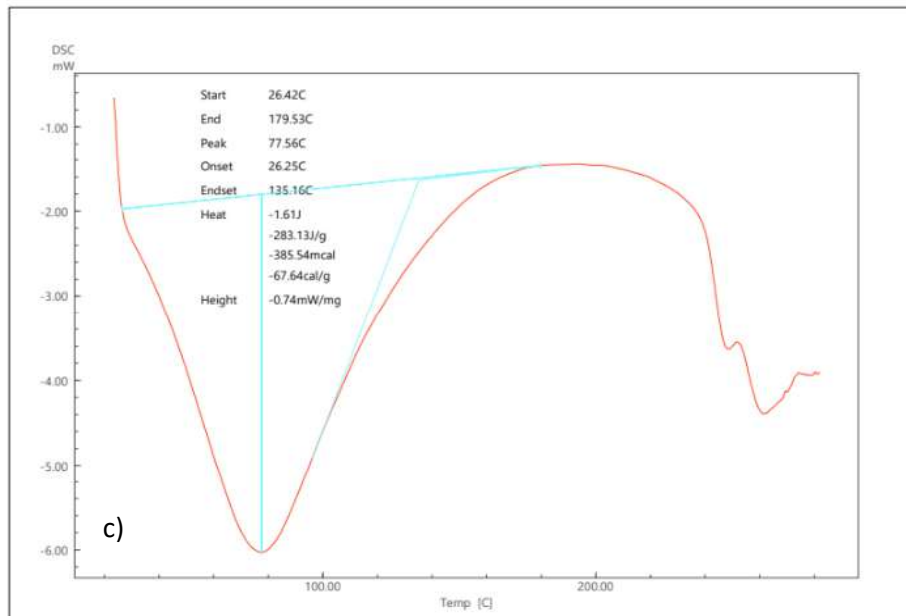
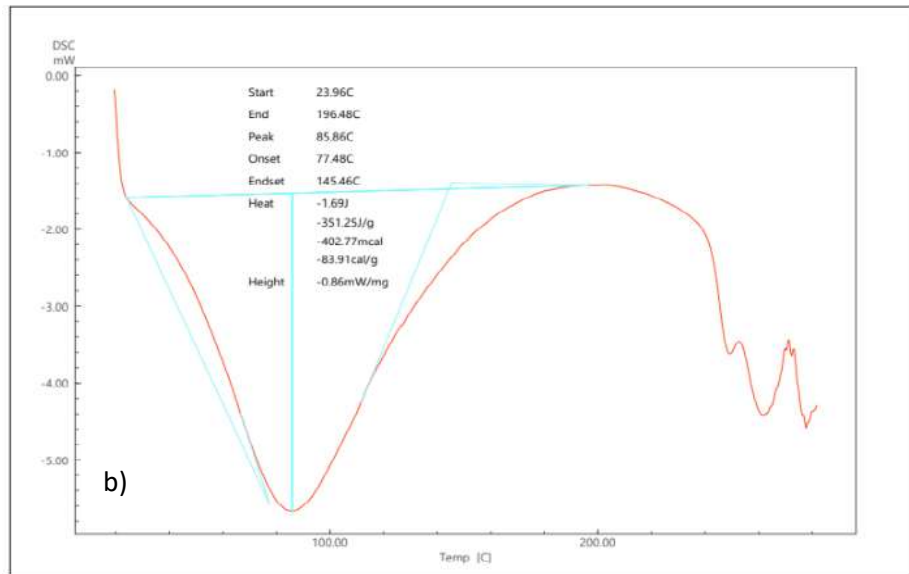
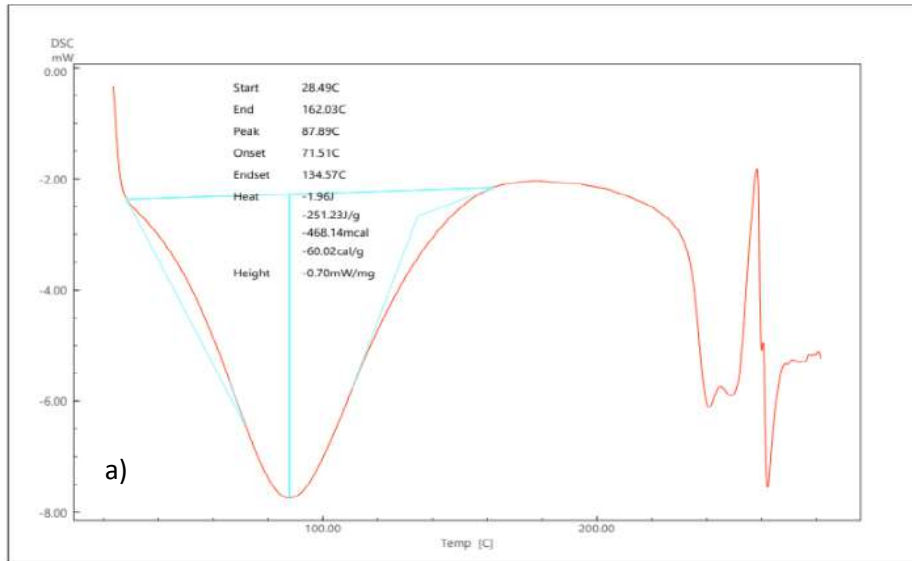
5.4.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

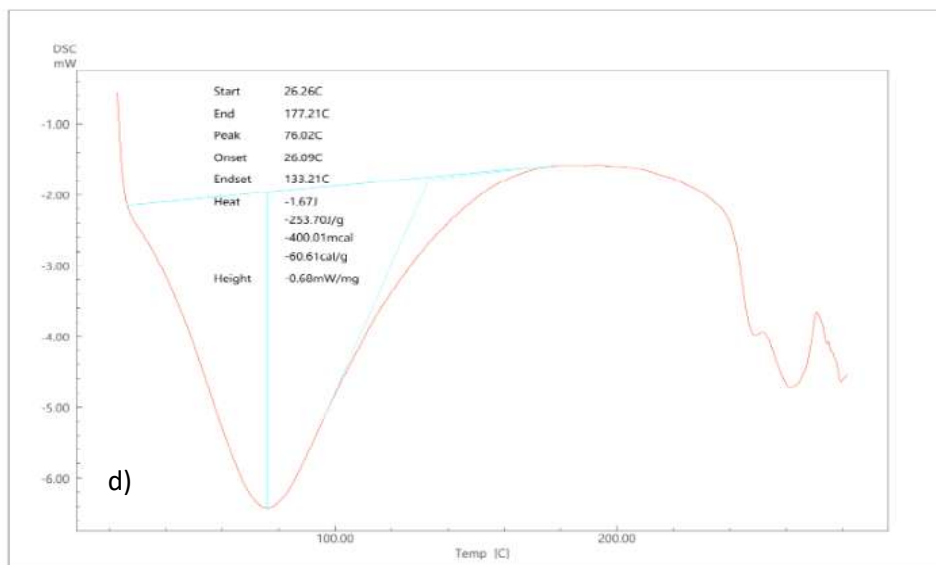
A Calorimetria Exploratória Diferencial foi realizada com o intuito de identificar as transições térmicas nas fibras capilares tratadas com as fórmulas, ou seja, a intensidade da energia de ligação da água ao cabelo. Com isso espera-se quantificar a necessidade energética para retirar a quantidade de água presente nas fibras capilares em decorrência de um tratamento cosmético e determinar se os valores resultantes correspondem à integridade da fibra e à porosidade do cabelo.

A literatura relata que em DSC são normalmente observados dois picos endotérmicos característicos, um entre 80 e 140°C, relativo à evaporação da água livre e fortemente ligada à fibra capilar e outro por volta de 230 °C, referente a desnaturação da α -queratina do cabelo.

As curvas de DSC são mostradas abaixo com os diferentes tratamentos (Figura 49). A Tabela 4 descreve os valores de interesse.

Figura 47: Curvas de DSC obtidas das amostras de fibra capilar, a) amostra Virgem; b) amostra Controle; c) amostra Benchmark; d) amostra tratada com o Ativo X.





Fonte: De autoria própria.

Tabela 4: Entalpias e temperaturas de pico de perda de água e desnaturação capilares.

Amostras	$ \Delta H $ Evaporação de água (J/g)	T de pico Evaporação de água(°C)	T de Desnaturação da α -queratina
Virgem	251	88	240
Ativo X	254	76	244
Benchmark	283	78	246
Controle	351	86	250

Fonte: Elaboração própria.

Os valores de temperatura de pico (T) dos dois eventos, perda de água e desnaturação da α -hélice e a variação de entalpia (ΔH), do primeiro evento, indicam que as mechas descoloridas passaram por mudanças significativas destes parâmetros quando comparados com a mecha virgem, demonstrando que ocorreu alguma modificação na estrutura interna de suas hastes capilares. Cabe destacar, que o início da desidratação em temperatura inferior a 100 °C pode ser relacionado a evaporação de compostos voláteis hidrofílicos, como moléculas pequenas, as quais interagem fortemente com as moléculas livres de água, antecipando a evaporação, a perda de água.

No primeiro evento, a entalpia associada à evaporação da água nos cabelos tratados com o Ativo X é semelhante à entalpia da mecha Virgem e menor em comparação à mecha tratada com Benchmark e à mecha que não recebeu tratamento.

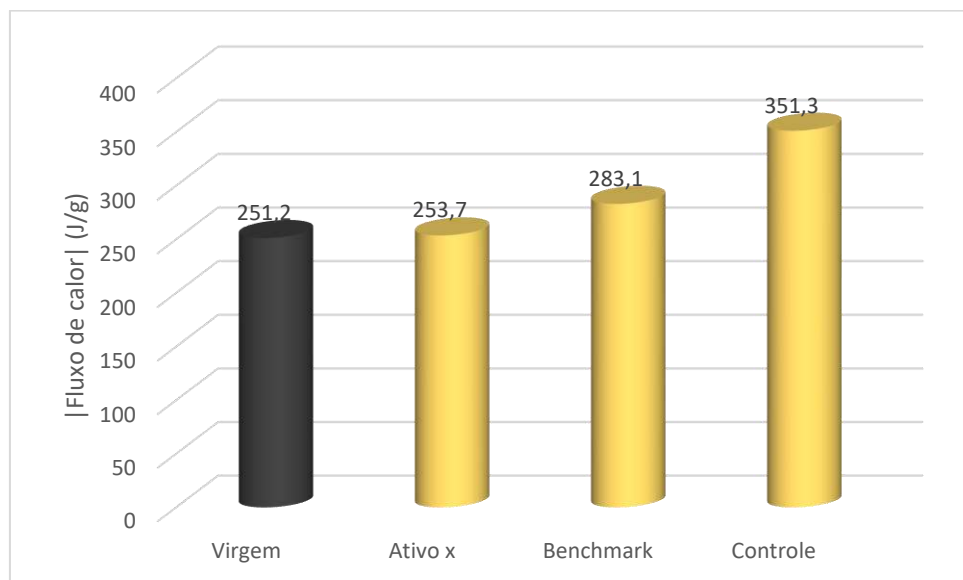
A perda de água pode ser associada com a porosidade das fibras. A fibra capilar natural apresenta porosidade em torno de 20%, permitindo que em contato com água o seu peso aumente de 12 a 18%. A absorção de água ocorre em uma velocidade rápida, em aproximadamente 4 minutos, cerca de 75% da capacidade máxima de água no cabelo já foi atingida, levando ao entumescimento da fibra capilar que desfaz várias ligações presentes nas fibras (ROBBINS, 2012).

Quando as cutículas estão mais abertas e o córtex está menos protegido, a porosidade do cabelo aumenta (GOMES, 1999). O cabelo poroso é resultado, dentre outros fatores, de procedimentos químicos feitos em excesso, como a descoloração por exemplo.

Com alta porosidade, essa cutícula absorve líquidos com maior facilidade e perde a hidratação natural com facilidade, ou seja, não é capaz de manter hidratação e nutrição em seu interior. Já em condições anormais, a permeação de água por entre as cutículas danificadas fica comprometida, logo o processo de troca térmica entre fibra e atmosfera fica comprometida e muita energia precisa ser empregada para evaporar a água presente.

Um gráfico comparativo para melhor entendimento dos resultados obtidos é exposto na Figura 50 abaixo:

Figura 48: Gráfico com as entalpias obtidas/ Fluxo de calor das fibras capilares tratadas.



Fonte: Elaboração própria.

Os altos valores de energia requerido para realizar tal evento nas mechas Controle e Benchmark sugerem além de alta porosidade, severos danos sofridos pela haste capilar. Já as fibras tratadas com o Ativo X apresentaram energia necessária para realizar esse evento

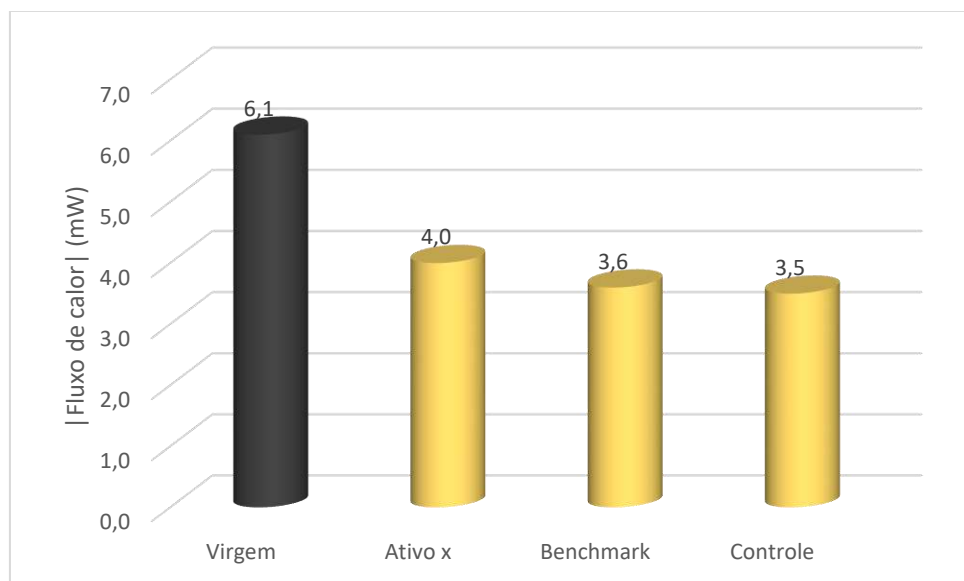
semelhante às fibras virgens evidenciando que, apesar da descoloração, suas cutículas se mantiveram íntegras e saudáveis mantendo a porosidade ideal do cabelo.

No segundo evento ocorre a desnaturação da α -queratina. O aumento do valor de temperatura de pico de desnaturação e a diminuição do valor de ΔH de desnaturação estão associados a algum dano e/ou modificação da estrutura da fibra (ISTRATE; POPESCU; MÖLLER, 2009; POPESCU; GUMMER, 2016; LIMA et al., 2018).

De fato, (POPESCU; GUMMER, 2016) demonstrou em seu estudo que o processo de descoloração afeta o córtex do cabelo, levando a danos na estrutura da queratina, o que pode ser observado na variação dos valores de temperatura e ΔH .

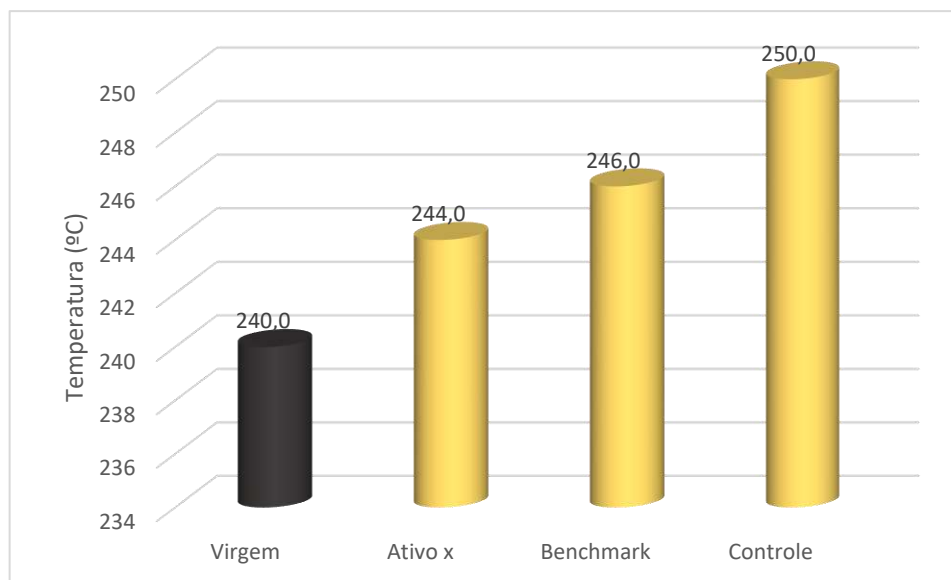
A desnaturação da proteína em relação aos valores de ΔH e à temperatura de pico estão expostos nas Figuras 51 e 52 abaixo:

Figura 49: Entalpias na temperatura associada à desnaturação da proteína (240-250C).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 50: Temperatura de pico obtidas com a desnaturação da proteína.



Fonte: Elaboração própria.

As queratinas quando sofrem danos, podem desdobrar e sofrer uma mudança conformacional na qual ocorre a conversão em cadeias proteicas estendidas ou estrutura de folha beta (ZHOU et al., 2011). Desta maneira, esse rearranjo leva a uma mudança na estrutura da fibra capilar, fazendo com que seja necessária uma energia menor para romper as ligações das queratinas presentes na fibra capilar, diminuindo assim os valores de entalpia (BOGA et al., 2014; LIMA et al., 2018). Os tratamentos aumentam o teor de água nas amostras de fibras capilar e, portanto, requerem mais energia para liberá-la.

Além disso, o processo de descoloração promove o aumento da concentração iônica e por consequência das interações, aumentando a estabilidade da estrutura da queratina e requisitando uma maior temperatura para romper tais interações. O ambiente reativo pode ter aumentado a concentração de ácido cisteico, produzido pela oxidação de cistina e, como consequência, mudando a temperatura de desnaturação para valores mais elevados,

A requisição de menor energia e maior temperatura para a desnaturação das α -hélices presente no córtex das amostras descoloridas demonstra quão agressivo foi o processo de descoloração sugerindo que as queratinas já foram degradadas ou/e modificadas com o tratamento. No entanto, foi observado um sutil aumento no valor de energia liberada na amostra tratada com o Ativo X mostrando que as ligações químicas da queratina estão mais fortemente ligadas e precisam de maior energia para serem desfeitas.

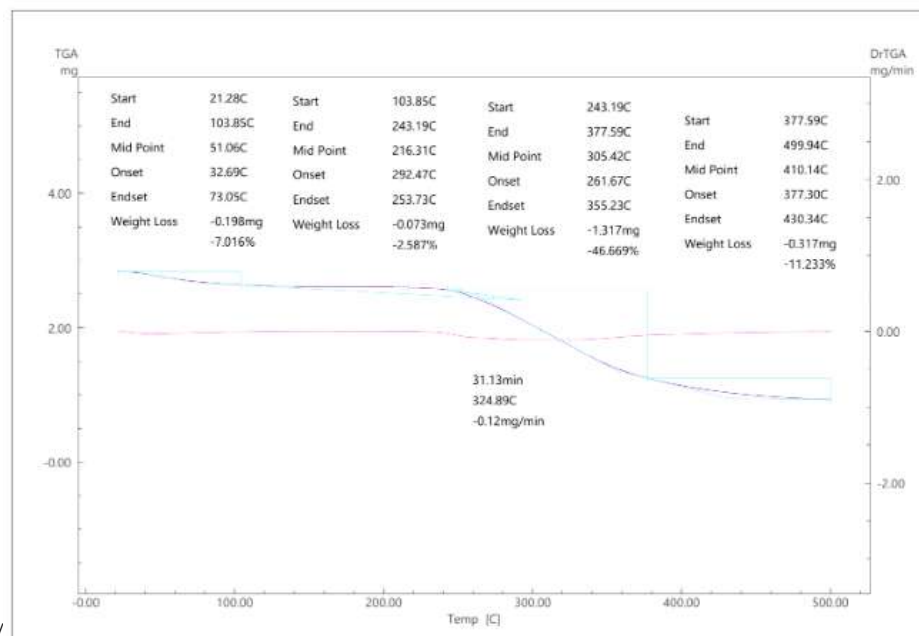
A redução da quantidade de α -queratina está intimamente relacionada com a resistência da fibra e este fato pode ser associado com o resultado obtido na tração a ruptura, um indicativo de que as queratinas perderam sua integridade.

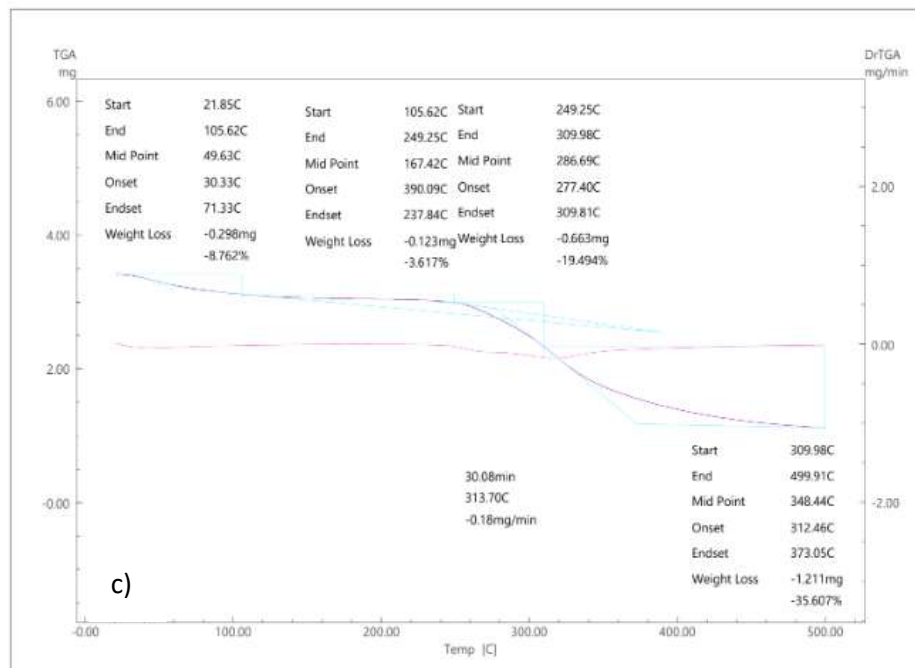
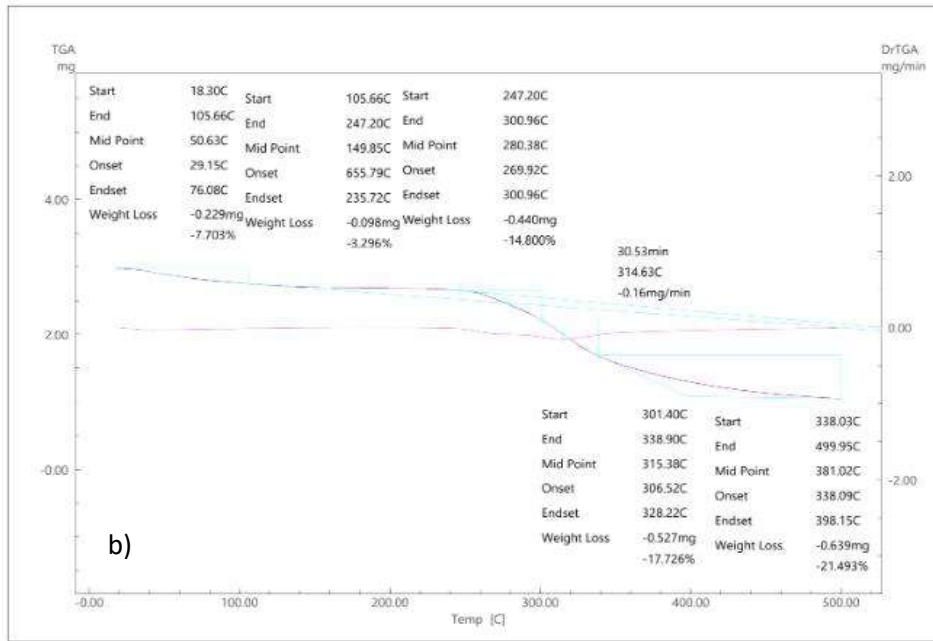
5.4.4 Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA)

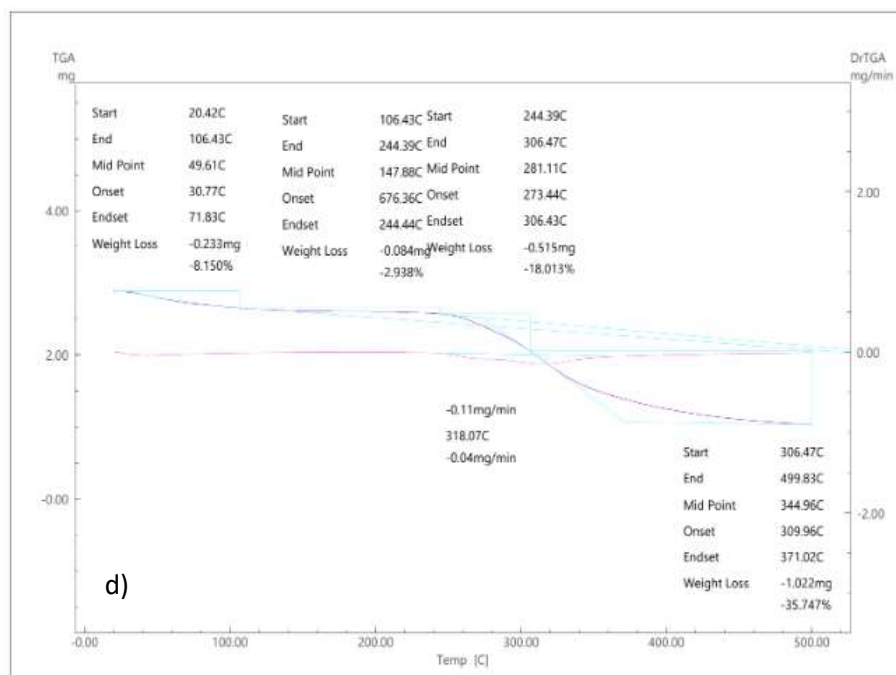
A análise termogravimétrica mede a variação de massa durante o aquecimento da amostra. (CASIMIRO et al, 2006). De acordo com as curvas TG, pode-se verificar que as amostras de cabelo normalmente apresentam três eventos principais de perda de massa correspondente à desidratação, decomposição térmica da queratina capilar e eliminação do material carbonáceo formado anteriormente.

A Figura 53 ilustra as curvas TG/DTG das amostras de cabelo Virgem, Controle, Benchmark e contendo a Amostra X.

Figura 51: Curvas TG/DTG obtidas a 10°C/min, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio das amostras de cabelo, sendo: a) amostra Virgem, b) amostra Controle, c) amostra que contém o Ativo X; e d) amostra Benchmark.







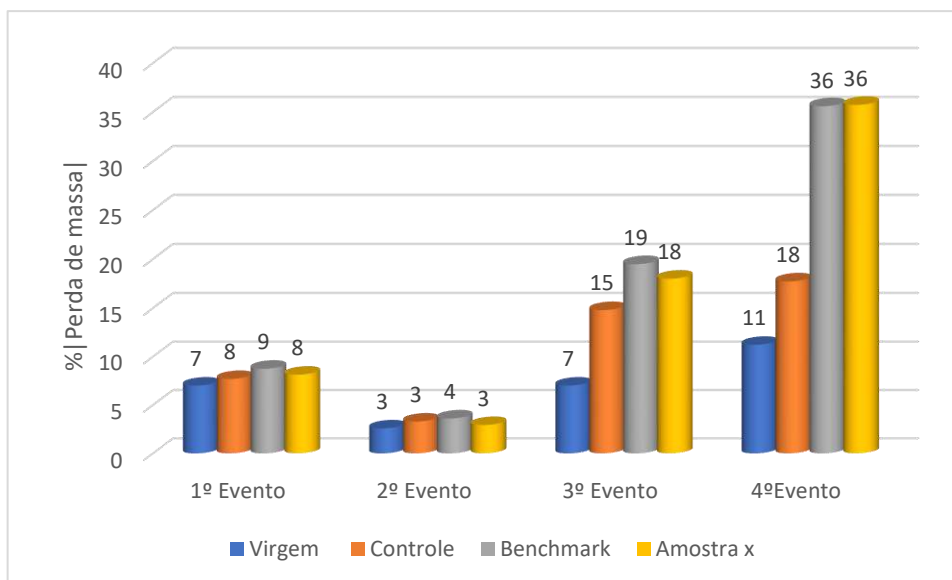
Fonte: De autoria própria.

As análises de TGA determinaram o nível de degradação de fibras capilares antes após o tratamento químico. A Figura 54 detalha a perda de massa em cada evento ocorrido.

O primeiro evento determinado pelas curvas termogravimétricas é referente à perda de água presente na fibra capilar. De modo geral, estes resultados ficaram na faixa de 18,3 a 106,4 ° C com perdas de massa variando de 7,0 a 8,8 %.

O segundo evento de perda de massa foi relacionado à desnaturação da proteína capilar queratina, conduzindo a desestruturação com degradação orgânica das macro e microfibrilas e da matriz do córtex capilar entre 106,4 e 249,2 ° C, com perdas de massa entre 2,6 a 3,6%.

Os terceiro e quarto eventos foram relacionados à completa degradação e carbonização das cadeias de queratina que ocorre na faixa de temperatura de 249,2 a 499,9 ° C, apresentando perdas de massa de 7,0 à 35,7%.

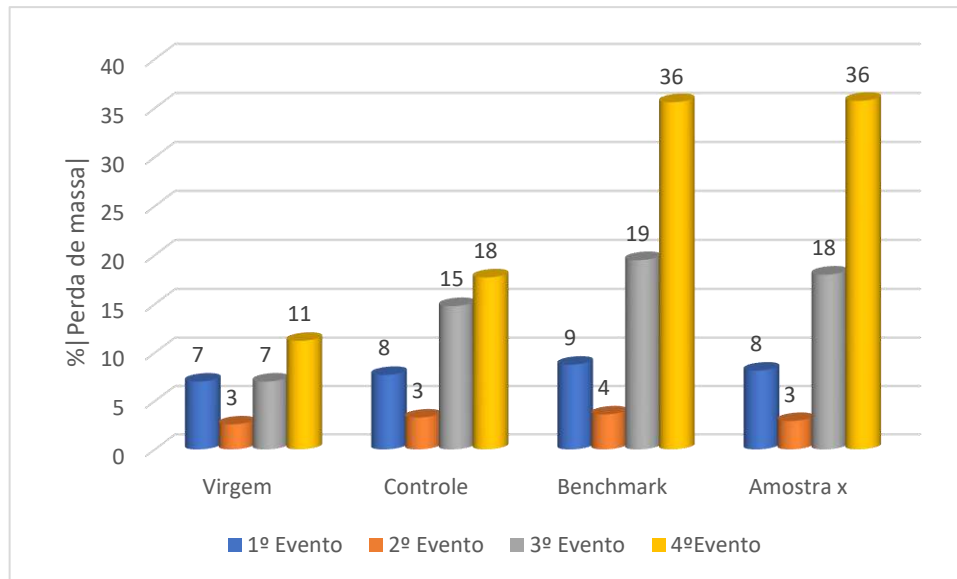
Figura 52: Perda de massa de cada mecha por evento.

Fonte: Elaboração própria.

Assim, comparando a amostra virgem com as demais na Figura 54, pode-se constatar que a amostra Benchmark e a mecha tratada com o Ativo X apresentaram maiores perda de água, 8,8 e 8,2% respectivamente, evidenciando que os tratamentos realizaram sua função de hidratar realmente o cabelo nesse processo de descoloração.

No 2º evento a amostra Virgem foi a que apresentou uma menor perda de massa, seguida pela amostra que continha o Ativo X e a mecha Controle. Neste segundo evento, a mecha Benchmark foi a amostra com queratina desnaturada, apresentando o pior desempenho.

Já no 3º evento, as amostras Virgem e Controle apresentaram a menor perda de massa comparada às demais amostras, devido à carga orgânica dos ativos incorporados às fórmulas. Este fato pode também ser observado na Figura 55 a seguir que mostra os eventos, agora por mecha.

Figura 53: Eventos de perda de massa por mecha.

Fonte: Elaboração própria.

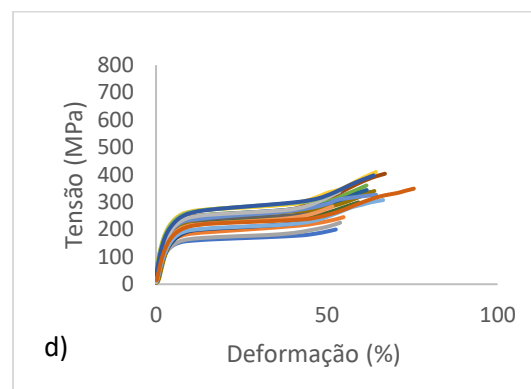
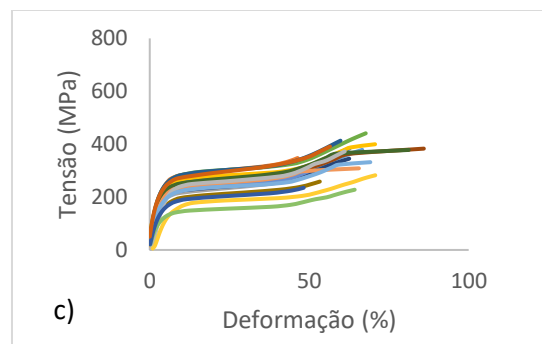
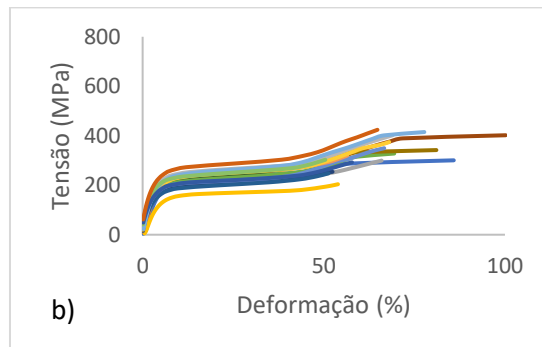
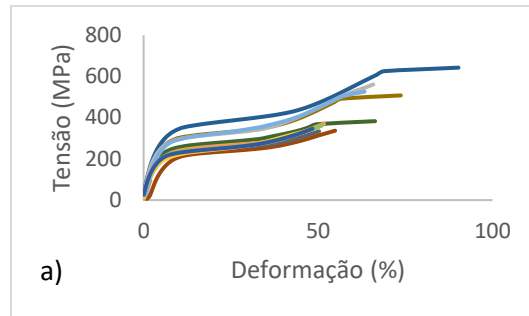
Na figura fica evidente que os eventos 3 e 4, correspondentes à degradação completa da queratina capilar e eliminação do material carbonáceo formado, estão intensificados para a mostra com o Ativo X incorporado, mostrando que essa carga orgânica de fato se aderiu às fibras, mantendo-as hidratadas e protegendo-as de danos em sua estrutura devido à degradação da queratina.

5.4.5 Análise térmica mecânico dinâmica (DMTA)

Os dados obtidos nesta análise incluem Força estática (N), Posição (mm), Comprimento (mm), Tensão (MPa), Deformação (%), Rigidez (N/m), Módulo de relaxamento (MPa), Conformidade com fluência ($\mu\text{m}^2/\text{N}$), Pressão GCA (manômetro kPa). Dentre estes, foram utilizados para este estudo, Tensão e Deformação.

Os dados de Tensão vs. Deformação foram plotados para os 20 fios de cada mecha (Figura 56).

Figura 54: Curvas de tensão deformação para as mechas: a) Virgem, b) Amostra X, c) Benchmark e d) Controle.

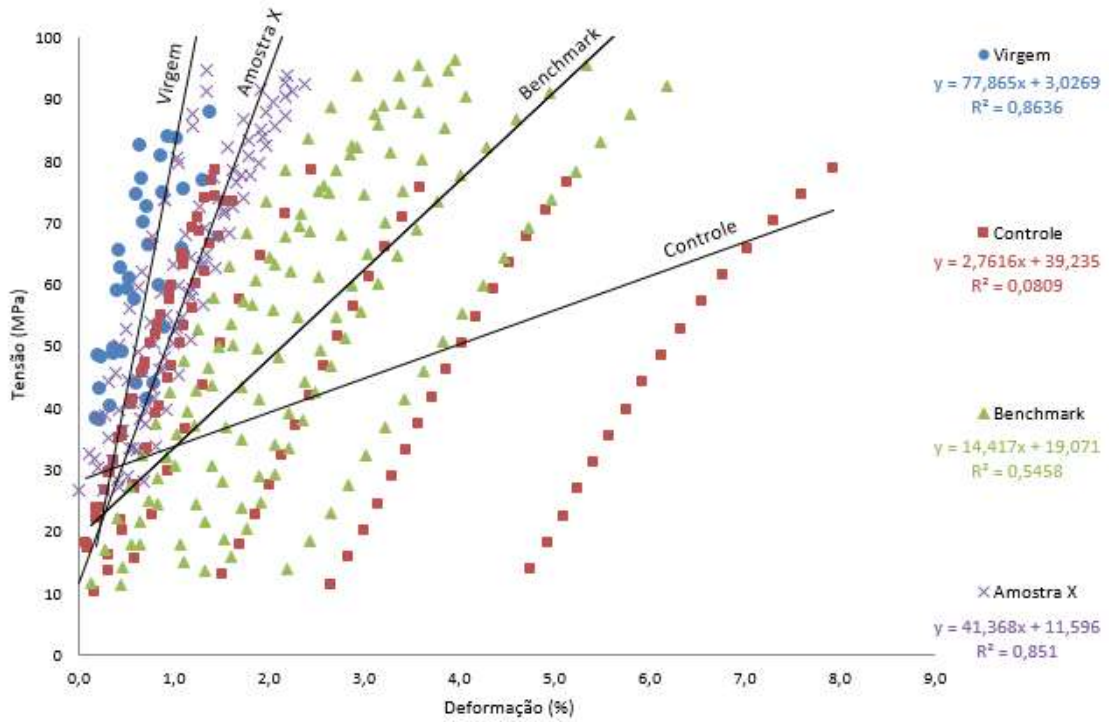


Fonte: De autoria própria.

As regiões lineares das curvas foram selecionadas para obter o Módulo de Young (Módulo de Elasticidade) de cada reta representativa de cada mecha. O Módulo de Young é o coeficiente angular da reta, conforme ilustrado na Figura 57 abaixo. Um maior coeficiente angular resulta em uma maior inclinação da reta, e conseqüentemente uma maior tensão

aplicada leva a uma pequena deformação, portanto é um indicador da resistência mecânica da fibra capilar.

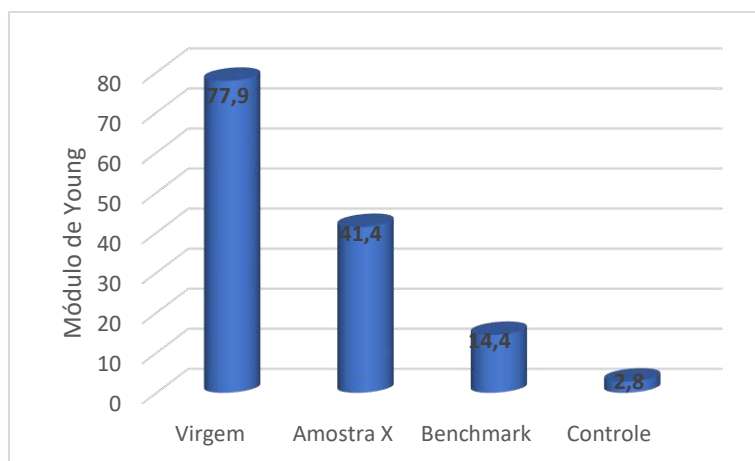
Figura 55: Comportamento da tensão e deformação das mechas tratadas: Virgem, Controle, Amostra X e Benchmark.



Fonte: Elaboração própria.

Os Módulos de Young expostos na Figura 58 demonstram a agressividade do tratamento de descoloração sem um ativo protetor para a fibra capilar.

Figura 56: Módulos de Young Obtidos para as mechas Virgem, controle, Benchmark e Controle.



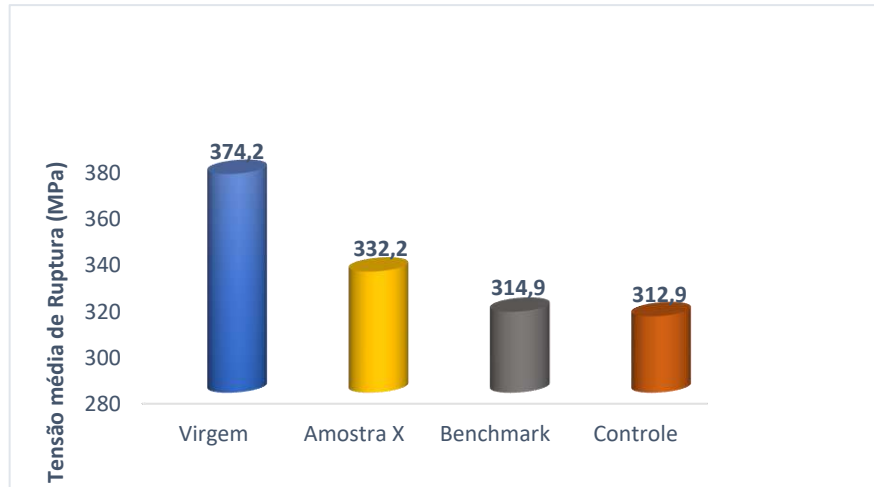
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 58 mostra que a mecha Virgem apresentou um Módulo de Young equivalente a 77,9. Já a Amostra X apresentou um Módulo de Young equivalente a 41,4, representando uma queda de aproximadamente 46% da resistência da fibra capilar. Este efeito é intensificado para mecha Controle que apresentou Módulo equivalente a 2,8 (queda de 96% da resistência mecânica da fibra capilar) e Benchmark (Módulo 14,4 e queda de resistência de 81,5%) após o processo de descoloração.

Portanto, a mecha tratada com o Ativo X apresentou um valor de Módulo de Young mais próximo da mecha Virgem, mostrando a efetividade do tratamento quando à fibra é aplicada uma tensão. A mecha tratada com o Ativo Benchmark apresentou coeficiente intermediário mostrando que sua resistência é superior à mecha Controle que não recebeu adição de nenhum ativo na fórmula descolorante apresentou o pior desempenho na propriedade de resistência mecânica da fibra capilar.

Na Figura abaixo é mostrado valores médios de Tensão de ruptura das fibras em cada mecha.

Figura 57: Gráfico da Tensão média de ruptura das fibras capilares, Dp= 28,4.



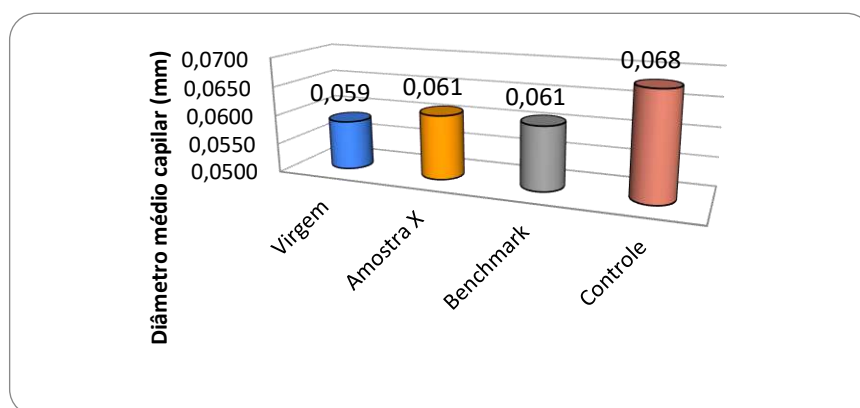
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 59 mostra que os fios de cabelo da mecha Virgem romperam em uma tensão média de 374,2 MPa. Os fios da mecha tratada com o Ativo X romperam a uma tensão de 332,2 MPa ao passo que as fibras da mecha Benchmark e Controle não apresentaram diferença significativa com 314,5 e 312,9 MPa, respectivamente. Ou seja, o Ativo X contribuiu para a proteção da fibra capilar na descoloração, de forma a manter alta a resistência mecânica do cabelo.

O diâmetro do fio de cabelo pode variar de 15 a 110 μm , dependendo do grupo étnico capilar (FRANÇA, 2015). Como o córtex compreende cerca de 90% da massa da fibra capilar, qualquer dano nessa região tem impacto direto no diâmetro do fio. No processo de descoloração, além da dissolução dos grânulos de melanina pode ocorrer também diminuição do número de camadas que compõe as cutículas e inchaço da fibra capilar, diminuindo ou aumentando o diâmetro da fibra capilar.

A análise do diâmetro médio da fibra capilar foi realizada antes e após o processo de descoloração e o resultado é demonstrado na Figura 60.

Figura 58: Gráfico do diâmetro médio das fibras capilares das mechas Virgem, Amostra X, Benchmark e Controle, $D_p=0,00414$.



Fonte: Elaboração própria.

A partir dos resultados obtidos, tomando como referência a mecha Virgem percebe-se que a mecha Controle teve um aumento de aproximadamente 15% no diâmetro do fio, sugerindo que após a descoloração ocorreu um inchaço da fibra e as cutículas não retornaram mais à posição inicial, permanecendo abertas.

Essa diferença é significativamente menor nos fios da mecha tratada com o Ativo X e o Ativo Benchmark, que apresentaram aumento de somente 3%. Ou seja, as incorporações dos Ativos na fórmula descolorante podem ter contribuído para a reestruturação das fibras capilares oferecendo-lhes proteção às cutículas.

Este resultado dos valores de diâmetro está relacionado com os resultados obtidos nos ensaios de DMA. Nas fibras da mecha Controle a quebra dos fios aconteceu com mais facilidade evidenciando que o tratamento de descoloração proporcionou a essa mecha mais porosidade e fragilidade.

6 CONCLUSÕES

Apesar dos cosméticos serem destinados a mudar positivamente a estrutura e a aparência do cabelo, acabam por gerar certos danos indesejáveis e por vezes, irreversíveis. De forma geral, os resultados das análises realizadas demonstraram que o processo químico de descoloração modificou a estrutura conformacional da queratina modificando química, física e termicamente a estrutura e composição capilar.

A MEV possibilitou a identificação de agressões, por parte do oxidante, tanto na superfície da FC quanto no córtex.

Os resultados da análise térmica de DSC e TGA foram essenciais para a determinação da hidratação das mechas após descoloração e da integridade da queratina. Por meio desses dados foi possível identificar e caracterizar a perda de água dos cabelos e como esse parâmetro afeta propriedades capilares como hidratação e nutrição dos fios de cabelo.

Já a DMTA avaliou de forma eficaz as propriedades viscoelásticas do cabelo, apresentando resultados contundentes para módulo de Young e tensão de ruptura.

Como previsto, as amostras virgens apresentaram os melhores resultados dentre as características que garantem a estética esperada. De um modo geral, o tratamento que mais danificou os fios foi a descoloração tradicional, conforme indicada pelo fornecedor. O Ativo X desenvolvido possibilitou a obtenção de tons mais claros e homogêneos, mantendo propriedades essenciais como resistência mecânica, diâmetro de fio e proteção térmica, se destacando em relação ao produto líder de mercado.

O resultado exposto acima é importante para o mercado uma vez que, assegurada a integridade da fibra capilar, o tempo não se mostrou um fator limitante no alcance de tons mais altos em um único processo de aplicação descolorante. A Análise colorimétrica confirmou os resultados observados visualmente.

7 REFERÊNCIAS

ALESSANDRINI, A., PIRACCINI, B.M., Essential of hair care cosmetics. Cosmetics, v.3, p.34, 2016.

ARAÚJO, L.A., Desenvolvimento de formulações cosméticas contendo óleos vegetais para a proteção e reparação capilar, Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, p.18, São Paulo- SP, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS.

Panorama do setor de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos – 2024. São Paulo, 2024.

BELLETTI, K. M. S. et al. Evaluation of hair fiber hydration by differential scanning calorimetry, gas chromatography, and sensory analysis. *J. Cosmet. Sci.*, 54, p. 527-535, Nov./Dec. 2003.

BOLDUC, C.; SHAPIRO, J. Hair care products: waving, straightening, conditioning, and coloring. *Clinics in Dermatology*, v. 19, n. 4, p. 431-436, jul. 2001.

CAO, J. Melting study of the α form crystallites in human hair keratin by DSC. *Thermodyn. Acta*, 335, 1999.

DIAS, T.C.S.; BABY, A.R.; KANEKO, T.M.; VELASCO, M.V.R. Relaxing/straightening of afro-ethnic hair: historical overview. *Journal of Cosmetics Dermatology*, v.6, n.1, p.2-5, 2007.

GAMA, R. M. Avaliação do dano a haste capilar ocasionado por tintura oxidativa aditiva ou não de substâncias condicionadoras. Orientador: Velasco, Maria Valéria Robles. 2010. Dissertação (mestrado em Fármaco e Medicamentos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GOSHIYAMA, A. M. Avaliação das Propriedades das Fibras Capilares Tratadas com Alisante Ácido com Diferentes Valores de pH. Dissertação (Mestrado em...), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

HAIR SCIENCE - Hair & Culture. Disponível em: <https://myhairdoctor.com/hair-science-and-biology/>. Acesso em: 17/05/2023

HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 7a edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

<https://abihpec.org.br/comunicado/corrente-de-comercio-do-setor-de-higiene-pessoal-perfumaria-e-cosmeticos-cresce-52-no-primeiro-quadrimestre-de-2024/>. Acesso em 7 julho de 2024.

<https://abihpec.org.br/release/setor-de-higiene-pessoal-perfumaria-e-cosmeticos-fecha-2023-com-valor-recorde-de-exportacoes-alcancando-us-9112-milhoes/>.

<https://exame.com/brasil/resiliencia-e-progresso-a-economia-brasileira-nos-ultimos-os/>. Acesso em junho de 2024.

https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/oleaginosas-e-biodiesel/2019/37a-ro/app_37ro_biodiesel_forca-tarefa.pdf. Acesso em 19 de maio de 2024.

<https://agrocereasmultimix.com.br/blog/importancia-do-processamento-do-farelo-de-soja/>. Acesso em 19 de maio de 2024.

https://www.cosmeticsonline.com.br/ct/painel/class/artigos/uploads/9aebd-Fisiologia-dos-Cabelos_Ed_mai_jun-2013.pdf

<https://www.canalrural.com.br/agricultura/projeto-soja-brasil/china-aumenta-venda-de-farelo-de-soja-em-5-vezes-brasil-deve-se-preocupar/>. Acesso em 19 de maio de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Normas de Apresentação Tabular. Rio de Janeiro, 1993. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23907.pdf>. Acesso em 30 ago. 2023.

LIMA, C. R. R. de et al. DSC measurements applied to hair studies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 132, p. 1429-1437, 2018. DOI: 10.1007/s10973-018-7095-0.

LIMA, C. R. R. C. Caracterização físico-química e analítica de fibras capilares e ingredientes cosméticos para proteção. 2016. 210p. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

LIMA, C. R. R. C. Caracterização físico-química e analítica de fibras capilares e ingredientes cosméticos para proteção. 2016. 210p. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

MARSH, J. M.; CLARKE, C. J.; MEINERT, K.; DAHLGREN, R. M. High pressure differential scanning calorimetry of colorant products. *Journal Cosmetic Science*, v. 58, p.621–627, 2007.

MAURICIO, L. P. A. Caracterização da integridade estrutural da fibra capilar tratada com diferentes produtos químicos. Orientador: Prof. Dr. Salete Martins Alves, 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

NAKANO, A. K. Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos. 2006, 52p. Dissertação (mestrado em físico-química), UNICAMP/ Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

QU, Wenjie, et al. Improving the Mechanical Properties of Damaged Hair Using Low-Molecular Weight Hyaluronate. *Molecules*, vol. 27, p. 7701, 2022. DOI: 10.3390/molecules27227701.

SEBASTIÃO, V. C. J. Técnicas de Caracterização de Polímeros. São Paulo: Artliber Editora, 2003. p. 341-348.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Sistema de Bibliotecas e Informação. Manual para elaboração e normalização de trabalhos acadêmicos 2022.pdf. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1WwXcjgPpsWWs8Vo6UWltWHLi9l2l6R0/view>.

Acesso em: 30 set. 2023.

VELASCO, M.V.R; DIAS, T. C. de S.; FREITAS, A. Z.; JUNIOR, N.D; PINTO, C. A. A. de.; KANEKO, T. M.; BABY, A. R. Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Braz J Pharm Sci.*; v.45(1), p.153-62, 2009.

WORTMANN, F.J.; DEUTZ, H. Characterizing keratins using high-pressure differential scanning calorimetry (HPDSC). *Journal of Applied Polymer Science*, v.48, p.137–150, 1993.

YANG, F-C.; ZHANG, Y.; RHEINSTASTER, M. C. The structure of people's hair.
PeerJ, p. 1-19,2014.