



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Química – IQ

PATRÍCIA AFFIUNE

**DESCOLORAÇÃO CAPILAR: ESTUDO TEÓRICO PARA O
DESENVOLVIMENTO DE NOVAS FORMULAÇÕES COSMÉTICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BRASÍLIA – DF
Julho de 2023

PATRÍCIA AFFIUNE

**DESCOLORAÇÃO CAPILAR: ESTUDO TEÓRICO PARA O
DESENVOLVIMENTO DE NOVA FORMULAÇÃO COSMÉTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Química Tecnológica.

Orientadora: Profa. Dra. Andressa Regina Vasques Mendonça.

BRASÍLIA – DF
Julho de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso a quem interessar, da área ou não.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a mim mesma, por não desistir no meio do caminho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Imagem MEV de seção transversal de fio de cabelo. A imagem superior apresenta as macroestruturas do fio (cutícula, córtex e medula). A imagem inferior apresenta as camadas que compõem a cutícula.

Figura 2 — Imagens MEV de fibras capilares de diferentes mamíferos: A: bigode de gato (1.510x). B: cabelo humano (1.000x). C: lã (2.000x). D: rabo de cavalo (400x).

Figura 3 — Representação estrutural das formas alfa e beta de queratina. (a) combinação de estruturas a partir da alfa queratina formando filamento intermediário. (b) filamento intermediário de alfa queratina em chifre de ovelha. (c) estrutura beta pregueada da queratina.

Figura 4 — Representação do folículo piloso e suas estruturas.

Figura 5 — Representação de fio de cabelo evidenciando as estruturas que compõem a cutícula.

Figura 6 — Exemplo de produto à venda no mercado com referência ao vinagre de maçã.

Figura 7 — Imagens MEV de quatro estágios de degradação das cutículas da fibra capilar. A: Estágio 1, fibra intacta. B: Estágio 2, fibra quebradiça. C: Estágio 3, perda total das células da cutícula capilar. D: Estágio 4, interior exposto, quebra total do fio.

Figura 8 — Imagem MEV de grânulos de melanina.

Figura 9 — Representação das estruturas pilosas onde se encontram os melanócitos.

Figura 10 — Proposta de estruturas químicas para a eumelanina e a feomelanina.

Figura 11 — Imagem de pessoa com cabelo originalmente afro.

Figura 12 — Imagem de pessoas com cabelo originalmente asiático.

Figura 13 — Imagem de pessoa com cabelo originalmente caucasiano.

Figura 14 — Imagem de pessoa com cabelo e barba grisalhos.

Figura 15 — Imagens MEV de fios de cabelo caucasiano (C) e afro (A): Natural (1C, 1A) e com tratamento descolorante (2C, 3C, 2A, 3A).

Figura 16 — Proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por agente oxidante.

Figura 17 — Superior: proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por agente oxidante. Inferior: proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por foto oxidação.

(Tradução: Figura 4-31. Proposta de mecanismo para degradação de melaninas.)

Figura 18 — Proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por agente oxidante.

Figura 19 — Imagem MEV de fibra capilar, comparando a deterioração da cutícula ao longo do fio. Superior: cutícula próxima à raiz do cabelo. Inferior: Cutícula próxima às pontas.

Figura 20 — Representação do processo fotofísico e fotoquímico do dano causado à estrutura interna do fio após incidência de luz UV e visível.

Figura 21 — Imagem MEV de fibra capilar completamente danificada. Perda total da cutícula, fio partido e córtex exposto.

Figura 22 — Representação do processo de fissão das ligações entre enxofres quando em meio alcalino oxidante (descoloração).

Figura 23 — Superior: Mecanismo de reação de adição sulfa-Michael para reestruturação das ligações entre enxofres. Inferior: ativos que podem ser aplicados como nucleófilos e inseridos pela reação (ácido chiquímico e bis-aminopropil diglicol dimaleato).

Figura 24 — Representações simplificadas, respectivamente, da molécula principal que atua como nova ponte entre resíduos de cisteína que sofreram fissão após processo químico de descoloração, e do mecanismo de reação de adição sulfa-Michael criando nova ponte entre enxofres.

Figura 25 — Reação de reestruturação da ligação entre enxofres, fornecida pela empresa na patente.

Figura 26 — Reações do processo de rancificação oxidativa.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Comparativo do efeito do pH na dissolução de melanina em peróxido de hidrogênio 1% a 25°C.

Tabela 2 — Comparativo da atividade de diferentes agentes oxidantes na descoloração de melanina solubilizada.

Tabela 3 — Comparativo da presença de diferentes agentes oxidantes quando há alteração nas condições experimentais, relativas à presença ou não de peróxido de hidrogênio e ácido etilendiamino tetra-acético — EDTA e mudança de pH, no processo de descoloração de sépia melanina em solução de H₂O₂ e amônia.

LISTA DE REAÇÕES

Reação 1 — Relação de agentes oxidantes ($OH \cdot$, HOO^- , NH_3) que realizam ação descolorante na melanina.

Reação 2 — Reações de decomposição do peróxido de hidrogênio catalisadas por, respectivamente, ânion hidroxila e íon metálico, formando ânion peróxido e radicais hidroxila.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. METODOLOGIA.....	16
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
5.1 Composição capilar	16
5.1.1 Cutícula.....	21
5.1.2 Córtex	24
5.1.3 Medula	25
5.2 Tipos de cabelo.....	25
5.2.1 Cabelo afro/negroide.....	27
5.2.2 Cabelo asiático/oriental	27
5.2.3 Cabelo caucasianos.....	28
5.2.4 Cabelo grisalho	29
5.3 Descoloração capilar	30
5.3.1 Água oxigenada	30
5.3.2 Aprofundamento na composição da descoloração com amônia.....	31
5.3.3 Reações envolvidas no processo de descoloração	33
5.3.4 Reação do fio com a descoloração	38
5.3.5 Problemas da descoloração.....	40
5.3.5.1 Corte químico.....	40
5.3.5.4 Problemas para saúde.....	41
5.3.5.5 Problema ambiental	42
5.3.6 Tratamentos existentes	44
5.4 Busca por substitutos.....	47
5.4.1 Insumos para degradação de melanina	47

5.4.2 Insumos para reestruturação capilar	49
5.4.3 Abertura e selagem de cutícula.....	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
7. CONCLUSÃO	52
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

RESUMO

A descoloração capilar consiste na aplicação de produtos oxidantes nos fios de cabelos para remoção de sua coloração original. Contudo, esse procedimento traz consigo riscos, pois os componentes utilizados na formulação dos cosméticos que são aplicados possuem características tóxicas podendo causar reações alérgicas e irritação das vias aéreas. Esse processo quando realizado de forma inadequada, seja por profissionais ou amadores, pode causar queimaduras e cortes químicos. Diante disso, este trabalho de conclusão de curso visa realizar uma análise teórica das formulações cosméticas existentes para descoloração capilar, assim como suas desvantagens, riscos à saúde e ecotoxicidades, com o intuito de propor, de maneira teórica, uma nova formulação cosmética e estratégia de aplicação que combine a eficácia na remoção da coloração dos fios e a minimização dos danos causados à saúde, à estrutura capilar e ao meio ambiente. A pesquisa envolverá a análise da estrutura do fio de cabelo, dos compostos químicos utilizados nos produtos para descoloração e suas propriedades, e as reações relacionadas a esse processo, a partir de uma revisão da literatura abarcando artigos, livros, teses, dissertações etc. buscando contribuir para avanços na indústria cosmética e oferecer uma alternativa eficiente e mais segura aos consumidores, com produtos naturais, fácil acesso e baixo custo.

Palavras-chave: Descoloração capilar; Cabelo; Água oxigenada; Persulfato de amônio; Corte químico; Queimadura química.

ABSTRACT

Hair bleaching consists of applying oxidizing products to hair strands to remove their original color. However, this procedure carries risks, as the components used in the formulation of applied cosmetics have toxic characteristics that can cause allergic reactions and irritation of the airways. When performed inadequately, whether by professionals or amateurs, it can lead to burns and chemical cuts. Considering this, this thesis aims to conduct a theoretical analysis of existing cosmetic formulations for hair bleaching, as well as their disadvantages, health risks, and ecotoxicities, with the intention of proposing a new cosmetic formulation and application methodology that combines efficacy in color removal and minimization of the damage caused to health, hair structure, and the environment. The research will involve the analysis of hair strand structure, chemical compounds used in bleaching products and their properties, and the reactions associated with this process, based on a literature review encompassing articles, books, theses, dissertations, etc., seeking to contribute to advancements in the cosmetic industry and offer consumers a more efficient and safer alternative with natural, easily accessible, and low-cost products.

Key words: Hair bleaching; Hair; Hydrogen peroxide; Ammonium persulfate; Chemical haircut; Chemical burn.

1. INTRODUÇÃO

A vontade de se embelezar, perfumar e alterar a aparência é comum a toda a raça humana ao longo da história e em diferentes civilizações (SNYDER, 1995). Desde 10.000a.c. há evidências da utilização de cosméticos no Egito e na Roma Antiga, tanto como forma de cuidado pessoal, quanto de expressão cultural de diversas comunidades. Há evidências de descoloração capilar e tingimento em pelos do corpo e da cabeça de homens e mulheres. Antes de estudos aprofundados na ciência, havia crenças acerca dos benefícios médicos dos cosméticos, de higiene pessoal e também estéticas atreladas a classes sociais e, para isso, eram usadas, principalmente, tintas e misturas de óleos naturais. Na China, também foram encontradas evidências atrelando as cores dos cosméticos utilizados às representações das divisões socioeconômicas, além de muitas outras ao redor do mundo (CHAUDHRI, 2009).

Uma grande influência das estéticas de cabelo como forma de expressão foi a indústria cinematográfica em *Hollywood*. Nessa época, começaram a ser comercializadas formas de alisamento sem danificações e crescimento capilar, além de condicionadores. No entanto, oficialmente, a criação sintética da descoloração capilar, similar à que usamos hoje, foi inventada por Eugene Schueller, fundador da *L'oreal*, em 1907 (CHAUDHRI, 2009). Desde então novas pesquisas sobre o mercado de cosméticos e descoloração capilar têm sido desenvolvidas a fim de aprimorar as formas de utilização e profissionalização na área.

Em 2022, o setor de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos gerou mais de 169 bilhões de reais, oferecendo oportunidades a mais de 5,6 milhões de trabalhadores no Brasil. O consumo dos brasileiros em cuidados capilares e produtos para banho está em 4º lugar, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Japão, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC, 2023). Além disso, em cerca de 20 anos, de 1996 a 2015, esse mercado teve um crescimento médio de 11,4% (SANTOS, dos. 2017). Esses dados indicam o país como um polo importante de geração de renda, emprego e consumidores interessados em produtos de cabelo.

A descoloração capilar é um procedimento amplamente performado atualmente, o qual consiste na remoção da cor natural dos fios de cabelo. Essa prática ganhou destaque ao longo da história e evoluiu ao longo do tempo até chegar às formulações cosméticas modernas. O estudo teórico acerca do desenvolvimento de uma nova formulação cosmética para descoloração capilar apresenta-se como uma oportunidade de substituir a metodologia hoje aplicada, buscando uma solução mais eficiente e menos agressiva aos cabelos.

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é analisar, por meio de um estudo teórico embasado em referências da literatura específica, as formulações cosméticas existentes para descoloração capilar, assim como seus riscos e toxicidades, e por meio dessas referências, pretende-se obter um embasamento teórico sólido para o possível desenvolvimento de uma nova formulação cosmética para descoloração capilar. A proposta é buscar uma alternativa que preserve a eficácia na remoção da cor dos fios, minimizando os danos causados à estrutura capilar. A pesquisa envolverá a análise de compostos químicos, suas propriedades e reações envolvidas na descoloração, bem como os efeitos adversos que podem ser causados pelos agentes descolorantes atualmente disponíveis no mercado.

Ao final deste trabalho, espera-se contribuir para o avanço da área de Química Tecnológica, fornecendo subsídios teóricos e científicos para o futuro desenvolvimento de uma nova formulação cosmética de descoloração capilar. Acredita-se que esse estudo possa trazer benefícios tanto para a indústria cosmética, proporcionando produtos mais eficazes e seguros, quanto para os consumidores, que poderão contar com uma opção menos prejudicial aos seus cabelos.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura e, a partir dos conhecimentos adquiridos, propor uma nova tecnologia de descoloração capilar para uso profissional e amador, buscando novas formulações e insumos sustentáveis, que assegurem a saúde do usuário e do meio ambiente.

2.2 Específicos

- Estudo sobre obtenção de radicais (ou de agentes oxidantes) para degradação da melanina capilar.
- Estudo sobre a substituição da amônia por agentes capazes de realizar a degradação em meio ácido ou que forneçam um meio reacional básico no qual a remoção da cor do cabelo não altere a estrutura do fio.
- Estudo sobre a obtenção de ativos que reestabeleçam a estrutura interna do fio de cabelo após a despigmentação.

- Estudo sobre procedimentos e produtos que sejam capazes de abrir e selar a cutícula capilar sem afetar a estrutura dos fios.
- Propor, com base nos estudos teóricos, uma nova estratégia de uso de produtos substitutos para o processo de descoloração capilar.

3. JUSTIFICATIVA

A descoloração capilar é um procedimento ao qual cada vez mais pessoas aderem e cujo objetivo principal é a alteração da aparência do cabelo. Contudo, ao recorrer a esse processo, tanto a pessoa que efetua a ação de descoloração quanto a que terá os fios descoloridos estão se expondo a diversas consequências. Além disso, acabam expondo também o ambiente aos malefícios inerentes ao processo.

É possível perceber os previsíveis riscos de realizar a descoloração capilar por meio da leitura dos rótulos dos produtos envolvidos. Os componentes principais dos produtos de descoloração que vão reagir com a composição dos fios e remover sua coloração são o persulfato de amônio e o peróxido de hidrogênio, compostos químicos que têm como base para a ação descolorante, respectivamente, amônia e radicais livres. Esses dois princípios ativos citados entram em contato quando ocorre a mistura do pó descolorante e com a emulsão reveladora (água oxigenada). O persulfato fornece um ambiente de altíssimo pH, propício para que os radicais provindos do hidróxido possam degradar a melanina (cromóforo que configura a coloração do cabelo) presente nos fios por meio de um processo chamado de oxidação.

Fica clara a relação entre a descoloração e o risco à saúde quando se coloca esses pontos em evidência, pois a amônia e o peróxido (radicais livres), que serão mais profundamente abordados na fundamentação teórica, são dois componentes que causam vermelhidão, coceira e reações alérgicas, e sua combinação pode, inclusive, causar queimaduras graves, falta de ar, irritação na pele e olhos, entre outros efeitos. Contudo, muitos profissionais e amadores que realizam esse procedimento não se atentam a isso, ou até mesmo não possuem o conhecimento acerca dessa composição e quais os reais efeitos para a saúde dos envolvidos, principalmente quando há contato excessivo a longo prazo. De tal modo, ao apresentar a composição desses produtos a um profissional da química a visão será outra, pois, devido ao seu histórico e conhecimento da área, é possível, com facilidade, fazer uma previsão das reações que irão ocorrer ao realizar essa mistura e indicar os riscos associados.

Outro ponto extremamente importante de se ressaltar é a questão ambiental. Além da composição desses produtos ser prejudicial à saúde, é também prejudicial ao meio ambiente.

Alguns componentes presentes tanto na água oxigenada quanto no pó descolorante, tais como os chamados agentes quelantes, causam diversos efeitos na vida aquática, pois formam emulsões que se dispersam como uma película sobre a água, evitando a passagem de luz e oxigênio, formam complexos com diversos elementos químicos essenciais e liberam excessos de outros elementos que alteram o equilíbrio do habitat aquático. O que causa o efeito de eutrofização e, por consequência, a morte da vida aquática.

Dessa forma, pelo contexto geral e específico apontados, vê-se a necessidade de estudar e explorar a fundo a questão de descoloração capilar, buscar novas fontes de insumos e princípios ativos e desenvolver novas tecnologias que possam substituir a metodologia que hoje é utilizada, para que, então, seja realizado um processo mais seguro para as pessoas e para o meio ambiente.

4. METODOLOGIA

Neste trabalho, será realizada uma revisão da literatura voltada para o estudo da composição dos produtos utilizados no processo de descoloração capilar, assim como a composição do cabelo e suas estruturas, os mecanismos das reações envolvidas no processo, as possibilidades de novas fontes de princípios ativos e, por fim, a escolha de insumos específicos que farão parte da elaboração teórica de uma nova tecnologia química de descoloração capilar.

A metodologia de revisão de literatura tem como objetivo compilar e avaliar a teoria presente em todo o arcabouço teórico publicado acerca de um determinado tema, a fim de formar uma base conceitual que sustentará e guiará o decorrer da pesquisa e a solução para o problema abordado. Como parte da literatura abordada nessa revisão, foram incluídos artigos, livros e literatura cinzenta, na qual constam dissertações, teses, relatórios técnicos, informações governamentais, entre outros.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Composição capilar

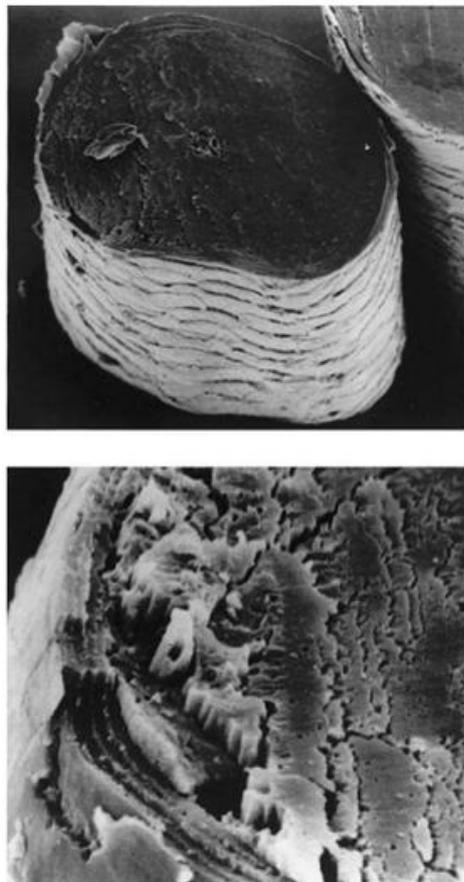
Para compreender como ocorre o processo de descoloração capilar, é essencial haver um entendimento prévio acerca da estrutura do fio de cabelo, assim como dos diferentes tipos de cabelo existentes. A compreensão desses aspectos permitirá uma análise mais aprofundada

das reações de descoloração e, conseqüentemente, buscar de maneira mais assertiva por novas fontes de insumos capazes de realizar esse processo de forma eficaz.

O fio de cabelo é composto por células denominadas queratinócitos e pode ser dividido em três partes distintas: cutícula, córtex e medula (KUZUHARA, 2013). Essas estruturas estão dispostas em camadas concêntricas e podem ser visualizadas com o auxílio de microscópios especiais (Figura 1), como os microscópios eletrônicos de varredura (MEV).

A cutícula é a camada mais externa e tem como função formar uma "capa protetora" nos fios. O córtex, localizado na camada intermediária do fio, é responsável pela resistência, elasticidade e coloração natural do cabelo. Já a medula, camada central, desempenha um papel menos significativo na estrutura do cabelo (BOUILLON; WILKINSON, 2005).

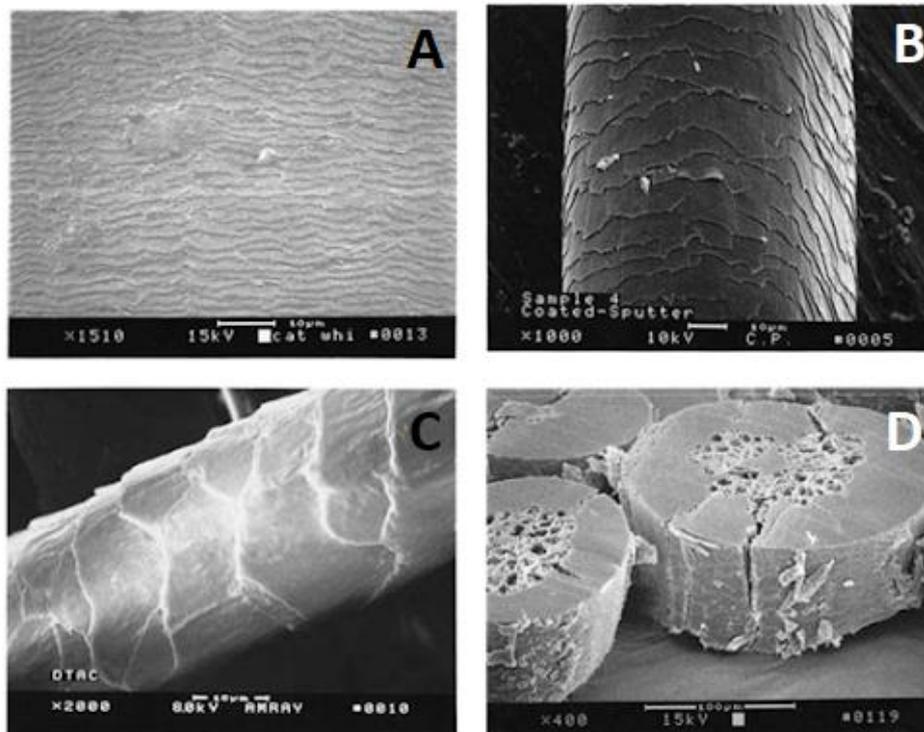
Figura 1 — Imagem MEV de seção transversal de fio de cabelo. A imagem superior apresenta as macroestruturas do fio (cutícula, córtex e medula). A imagem inferior apresenta as camadas que compõem a cutícula.



Fonte: ROBBINS, 2002.

A Figura 2 apresenta imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) de amostras de fios de pelo de diferentes espécies de mamíferos, permitindo a comparação das estruturas que os compõem.

Figura 2 — Imagens MEV de fibras capilares de diferentes mamíferos: A: bigode de gato (1.510x). B: cabelo humano (1.000x). C: lã (2.000x). D: rabo de cavalo (400x).



Fonte: ROBBINS, 2002.

Os queratinócitos são células que produzem proteínas estruturais fibrosas, conhecidas como queratinas. Essas células são encontradas em estruturas chamadas folículos pilosos, que são invaginações presentes na epiderme, onde os pelos do corpo humano são formados. Quando o fio está sendo produzido pelo corpo, essas queratinas se empilham em um processo denominado queratinização, que será abordado mais à frente. Essas estruturas estão representadas na Figura 4 (BOUILLON; WILKINSON, 2005).

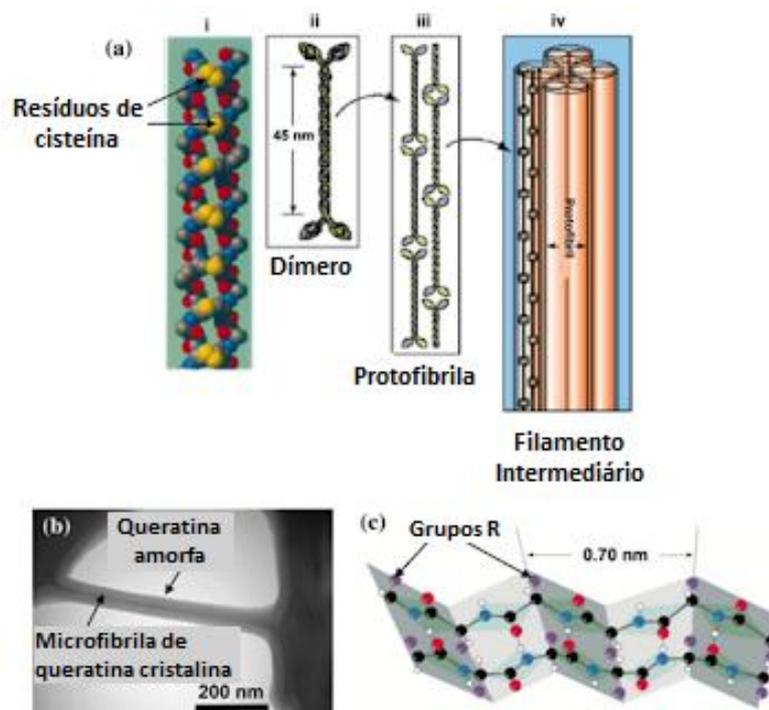
Grande parte dessas queratinas presentes na estrutura capilar se encontra na conformação de alfa-hélice, denominadas, portanto, de alfa-queratinas. As alfa-queratinas têm como função fornecer resistência, maleabilidade e impermeabilidade aos pelos, criando uma estrutura semelhante a um esqueleto para os fios. Essa conformação alfa se dá devido às

ligações iônicas entre sais, por meio de pontes de hidrogênio e dissulfeto entre os átomos de enxofre presentes (BOUILLON; WILKINSON, 2005).

Existe outra conformação de queratina além da alfa, denominada beta queratina. Enquanto a alfa queratina se dispõe tridimensionalmente como uma alfa hélice, a beta-queratina possui forma plana, como folhas. A essas estruturas planas como folhas dá-se o nome de beta pregueadas. As beta-queratinas se encontram em menor quantidade na composição dos fios e fornecem uma estrutura mais rígida, em contrapartida à maleabilidade da alfa queratina (BOUILLON; WILKINSON, 2005).

A Figura 3 apresenta as estruturas queratinosas alfa e suas interações que compõem o filamento intermediário do fio de cabelo; e as estruturas beta.

Figura 3 — Representação estrutural das formas alfa e beta de queratina. (a) combinação de estruturas a partir da alfa queratina formando filamento intermediário. (b) filamento intermediário de alfa queratina em chifre de ovelha. (c) estrutura beta pregueada da queratina.



Fonte: Adaptado de McKITTRICK *et al.* 2012.

As queratinas são compostas por até 20 diferentes aminoácidos, sendo o mais relevante para a estrutura dos fios de cabelo a Cistina. A Cistina consiste na dimerização do aminoácido Cisteína, ou seja, a ligação de um aminoácido de Cisteína a outro por uma ponte entre enxofres.

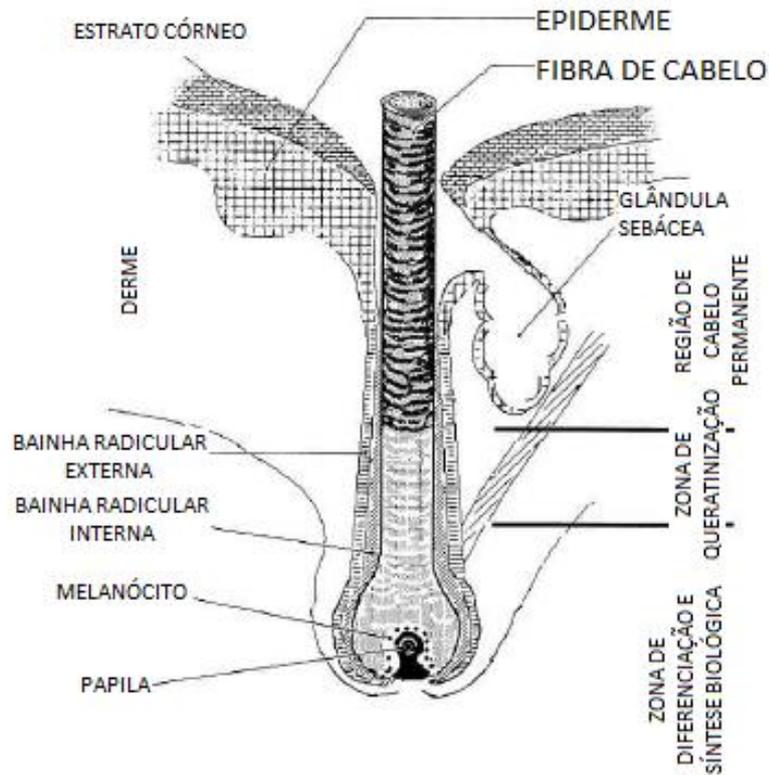
Essa ligação existe devido a uma reação de oxidação entre dois resíduos de Cisteína, que se juntam formando o aminoácido de Cistina no processo de maturação da proteína nas células. Essa ligação de dissulfeto (ligação cisteídica) é importante, pois é a mais forte presente no fio e determina a forma dele (SNYDER, 1995).

De acordo com informações coletadas por Leeder *et al* (1983), Bradbury (1970) e Swift (1965), a composição em porcentagem dos aminoácidos presentes nos espaços intercelulares dos fios de cabelo humano é de, aproximadamente, 8,2% arginina, 6,0% lisina, 1,7% histidina, 5,8% ácido aspártico, 8,0% ácido glutâmico e 0,8% meia cistina, sendo o conteúdo proteico de 35,4% (ROBBINS, 2002).

Quando o fio está em estágio inicial de crescimento no folículo piloso (Figura 4), ocorre o processo de queratinização. Nesse momento, o fio toma forma, ligações entre os enxofres presentes nos resíduos de Cisteína são criadas, gerando o aminoácido de Cistina, e gravam se o cabelo será cacheado, ondulado ou liso (BOUILLON; WILKINSON, 2005). Acreditava-se que a forma do fio poderia ser definida pela seguinte hipótese: o formato do folículo piloso atua como molde para a formação do fio, ou seja, se for mais alinhado, o cabelo será liso, e caso contrário, haverá variações de onda e cachos (DRAELOS, 2000; MIRANDA-VILELA, 2014).

Contudo, estudos apontaram a descoberta de um gene que define variantes de uma proteína chamada *Trichohyalin*, essas variantes que vão conferir ao fio sua forma lisa, ondulada ou cacheada. A proteína *Trichohyalin* está presente na derme, especificamente na bainha radicular interna do folículo piloso e na parte granulosa da epiderme, ela atua em arranjos regulares nos filamentos intermediários de queratina, realizando um *cross-linking* de ligações isopeptídicas entre cabeça e cauda das cadeias, assim definindo a forma dos fios (FIETZ, 1993; MEDLAND; *et al.* 2009).

Figura 4 — Representação do folículo piloso e suas estruturas.



Fonte: Adaptado de ROBBINS, 2002.

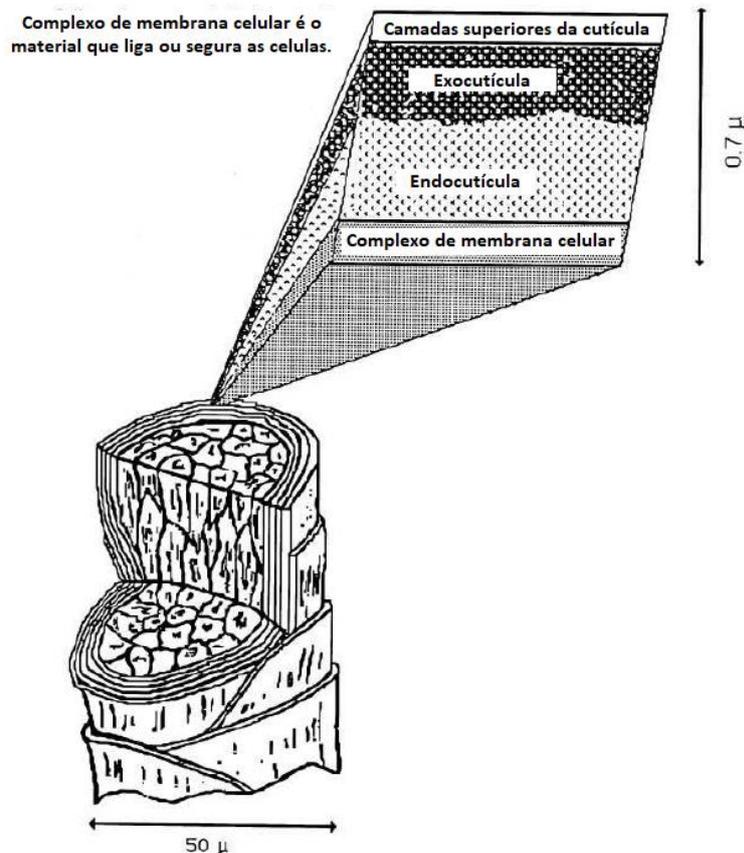
5.1.1 Cutícula

A cutícula do fio de cabelo apresenta uma estrutura amorfa e incolor, ou seja, não possui uma forma definida e não possui cor. Suas células se encontram sobrepostas, formando uma espécie de "escama" e, assim, constituem uma película protetora semipermeável que tem como objetivo resguardar o interior do fio contra possíveis danos de agentes externos (ARAÚJO, 2015). A cutícula é subdividida em camadas: complexo de membrana celular (epicutícula, camada A, camadas beta inertes e camadas delta), endocutícula, exocutícula e camadas superiores (ROBBINS, 2002; VELASCO; *et al.* 2009). A divisão das camadas da cutícula está representada na Figura 5.

Quando a cutícula do fio está "aberta", significa que essa camada de "escamas" está permeável, permitindo um acesso mais fácil ao interior do fio. Algumas características perceptíveis a olho nu permitem avaliar se a cutícula está aberta, sem a necessidade de análises microscópicas, tais como cabelo opaco, sem brilho, com "frizz", aspecto e textura ressecados, além de apresentar pontas duplas (ARAÚJO, 2015).

Por outro lado, quando a cutícula do cabelo está "fechada", ocorre o oposto do descrito anteriormente. Os fios tornam-se mais sedosos, com brilho, sem "frizz", com aspecto e textura hidratados e pontas bem estruturadas. Essa condição indica que a cutícula está íntegra, protegendo de forma eficiente o interior do fio contra agressões externas (BRITO, 2018).

Figura 5 — Representação de fio de cabelo evidenciando as estruturas que compõem a cutícula.



Fonte: Adaptado de ROBBINS, 2002.

A configuração da cutícula capilar é afetada por diferentes faixas de pH. Em pH mais alcalino, as cutículas se abrem, permitindo maior penetração de produtos nos fios. Por outro lado, em pH mais ácido, as cutículas se fecham, protegendo o fio e preservando sua integridade interna. Isso ocorre porque o ponto isoelétrico – quando as cargas elétricas são iguais a zero – da proteína queratina presente nas cutículas se encontra em um pH mais ácido. Assim, em pH mais básico, as proteínas começam a se expandir e separar (ROBBINS, 2002).

É possível abrir ou "selar" a cutícula capilar alterando o tipo e a quantidade de cargas presentes na superfície do cabelo. Cargas negativas ajudam a selar a cutícula, enquanto cargas positivas a abrem. Por essa razão, muitas chapas alisadoras são projetadas com íons específicos,

dependendo do resultado desejado, por exemplo, as chapas de cerâmica. A cerâmica que compõe essas chapas é rica em micelas de íons, cuja superfície é positiva e seu interior negativo¹ (KRAUSE; RUST, 2015; ROBBINS, 2002).

A aplicação de íons com cargas opostas neutraliza as cargas presentes ao longo do fio, chegando ao ponto isoelétrico (JUEZ; GIMIER, 1983; GIACOMNI *et al.* 2017). Em uma preparação prévia dos fios para tratamentos, utiliza-se íons positivos para facilitar a penetração dos produtos, enquanto em tratamentos após a aplicação de produtos faz-se uso de íons negativos. Por esse motivo, muitas pessoas optam por toucas ou fronhas de seda em vez de algodão, uma vez que ajuda a evitar o acúmulo de cargas geradas pela eletricidade estática do atrito entre o tecido e o cabelo, resultando em cabelos com menos “frizz” e com uma textura mais sedosa² (KRAUSE; RUST, 2015).

Por esses e outros motivos, é comum ver o uso de vinagre de maçã nos cabelos danificados por descoloração capilar, ou produtos cosméticos comercializados com rótulos de marketing referenciando o vinagre de maçã, como o apresentado na Figura 6. Tendo em vista seu baixo valor de pH e características ácidas (BARVE, 2016).

Figura 6 — Exemplo de produto à venda no mercado com referência ao vinagre de maçã.



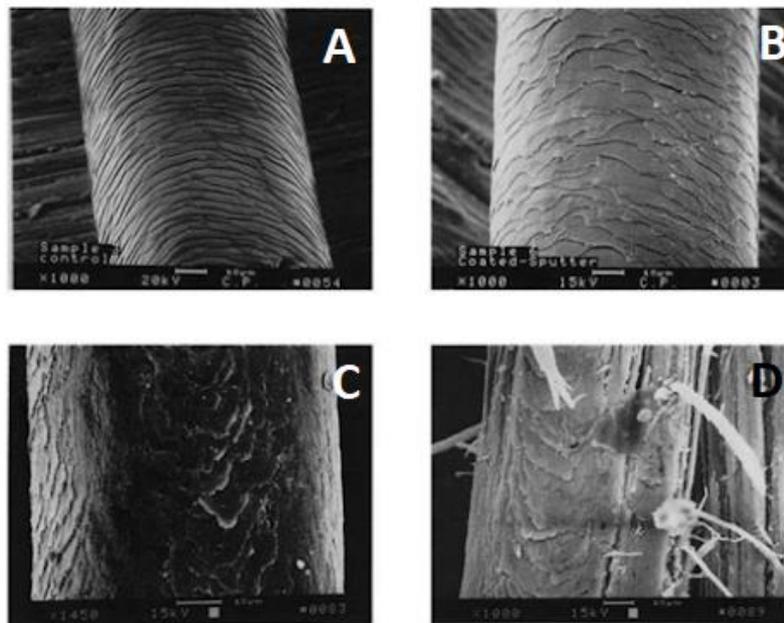
Fonte: SALON LINE, 2023.

¹ *Taming Thick Wavy Frizzy Hair: A Guide to Healthy Styling*, 2021. Disponível em: <https://hairbrushy.com/taming-thick-wavy-frizzy-hair-a-guide-to-healthy-styling/>. Acesso em: 15 jun. 2023.

² Idem.

A figura 7 apresenta quatro estágios de danificação do fio de cabelo, desde a sua integridade até completa partição.

Figura 7 — Imagens MEV de quatro estágios de degradação das cutículas da fibra capilar. A: Estágio 1, fibra intacta. B: Estágio 2, fibra quebradiça. C: Estágio 3, perda total das células da cutícula capilar. D: Estágio 4, interior exposto, quebra total do fio.



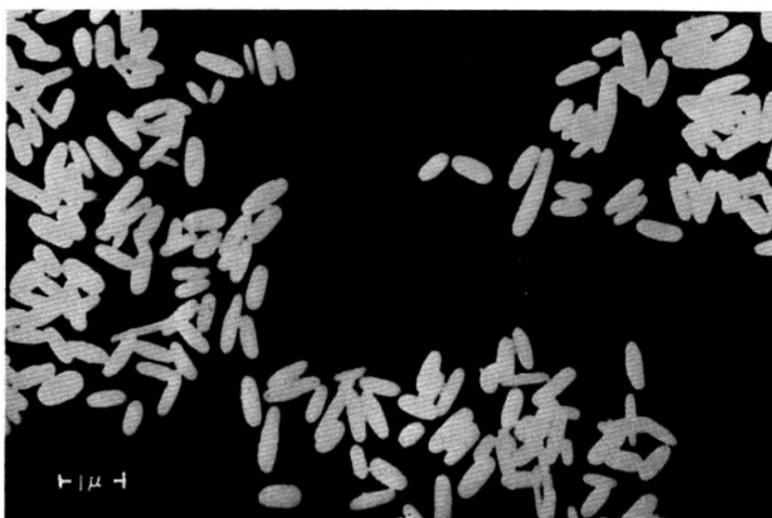
Fonte: ROBBINS, 2002.

5.1.2 CórTEX

O córtex corresponde à maior parte da estrutura dos fios de cabelo. Sua forma é alongada e paralela à direção das fibras do fio. Ele desempenha várias funções importantes que incluem propriedades mecânicas como elasticidade e resistência, coloração e fotoproteção do cabelo. Essas características variam de acordo com sua composição em cada indivíduo, a qual é definida geneticamente e envolve as porcentagens de aminoácidos, quantidade de queratina presente, quantidade e distribuição dos grânulos de melanina, conforme ilustrado pela Figura 8 (SANTOS, dos. 2017).

É no córtex onde se encontra a maior concentração dos grânulos de melanina do fio, responsáveis pela definição da cor do cabelo (SANTOS, dos. 2017). Ou seja, essa camada é a mais afetada durante o processo de descoloração.

Figura 8 — Imagem MEV de grânulos de melanina.



Fonte: WOLFRAM, 1969.

5.1.3 Medula

A medula, localizada no centro da fibra capilar, é rica em lipídeos e pode apresentar diferentes características estruturais, como uma estrutura contínua ou fragmentada, grossa ou fina, ou até mesmo estar ausente (DEEDRICK; KOCH, 2004). A medula permanece como um aspecto menos relevante na composição do fio, diversos autores da literatura se contradizem quanto à sua composição, sendo ainda objeto de estudo sua verdadeira importância para a estrutura capilar. No entanto, evidências sugerem a presença de grânulos de melanina nessa região, o que pode desempenhar um papel significativo no processo de descoloração (WAGNER, 2006).

5.2 Tipos de cabelo

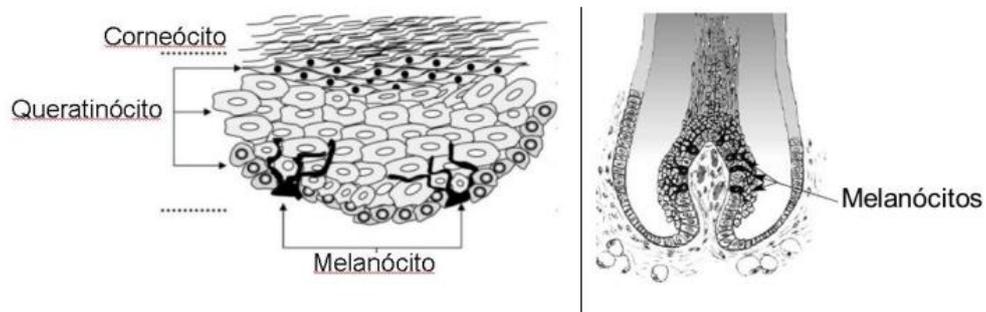
Embora a estrutura básica do fio de cabelo seja semelhante em todos os seres humanos, é importante categorizar as características observadas em cabelos de diferentes etnias, uma vez que cada tipo de cabelo responderá de forma individual ao processo de descoloração, devido à influência genética.

Cabelos com maior diâmetro dos fios e coloração mais escura tendem a apresentar uma menor abertura de tonalidade durante o processo de descoloração, ou seja, dificilmente atingem tons muito claros. Por outro lado, fios mais finos e claros têm uma maior facilidade de resposta

à descoloração. Nesse contexto, é relevante destacar os tipos de melanina que determinam a coloração dos cabelos (WAGNER, 2006; SANTOS, dos. *et al.* 2015; ROBBINS, 2002).

A melanina, presente nos fios de cabelo, é produzida por células especializadas chamadas melanócitos (Figura 9). Essas células produzem dois tipos de pigmento natural (melanina): a eumelanina, responsável por tons escuros que variam do marrom ao preto; e a feomelanina, responsável por tons mais claros que vão do avermelhado ao loiro (SNYDER, 1995). A combinação desses dois tipos de melanina em diferentes proporções resulta na ampla variedade de cores e tonalidades encontradas nos cabelos (COSTIN; HEARING, 2007; ROBBINS, 2002).

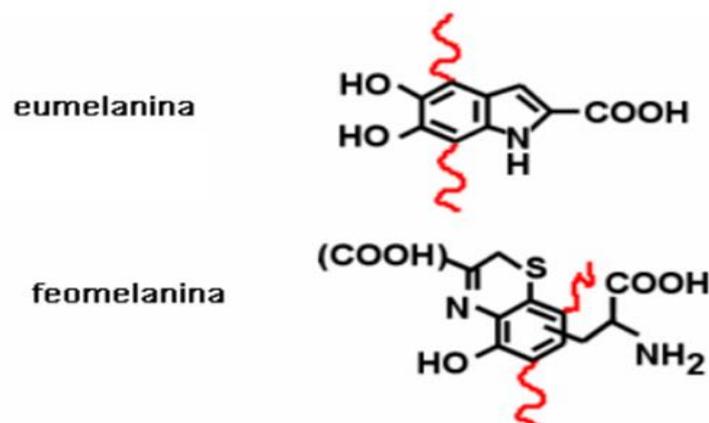
Figura 9 — Representação das estruturas pilosas onde se encontram os melanócitos.



Fonte: COSTIN; HEARING, 2007.

A figura 10 apresenta as estruturas químicas propostas para as duas melaninas citadas.

Figura 10 — Proposta de estruturas químicas para a eumelanina e a feomelanina.



Fonte: LAMOREUX; WAKAMATSU, 2001.

As tonalidades naturais dos cabelos são influenciadas não somente pela proporção, mas também pela quantidade total e distribuição da melanina nos fios. Quanto maior a concentração de pigmentos de melanina presentes no interior do fio, mais intensa e escura será sua coloração (KORYTOWSKI, 1990).

5.2.1 Cabelo afro/negroide

Cabelos de origem negroide, em geral, apresentam a espessura dos fios de grossura mediana, o que contribui para a sua resistência e durabilidade. Um dos traços mais marcantes dos cabelos afro é a sua forma naturalmente cacheada ou crespa. Essa textura é resultado da estrutura em espiral dos fios, que pode variar desde cachos mais soltos até um padrão de curvatura mais fechada. Esses cabelos têm uma tendência natural a serem mais secos devido à menor distribuição dos óleos ao longo dos fios, pois sua forma e textura dificultam a descida do sebo produzido pelo couro cabelo para o corpo do cabelo. Fatores genéticos também influenciam na oleosidade capilar, contudo essa característica varia para cada indivíduo independente de etnia. No que diz respeito à coloração, esse tipo de cabelo geralmente apresenta tonalidades que variam do marrom escuro ao marrom médio. (ROBBINS, 2002).

A Figura 11 apresenta uma pessoa com cabelo típico original afro.

Figura 11 — Imagem de pessoa com cabelo originalmente afro.



Fonte: Domínio público.

5.2.2 Cabelo asiático/oriental

Os cabelos denominados orientais possuem espessura dos fios geralmente mais grossa em comparação a outros tipos de cabelo. Essa espessura confere aos cabelos uma sensação de

densidade e peso. Cabelos orientais têm uma tendência a serem mais brilhosos. Isso ocorre devido à forma como a cutícula, camada externa do fio de cabelo, está estruturada. A cutícula desses cabelos normalmente é mais lisa e uniforme, refletindo a luz de forma mais eficiente e resultando em um brilho característico. Dessa forma, a cutícula nesse tipo de cabelo confere um aspecto mais luminoso. Quanto à forma, esse tipo de cabelo geralmente apresenta uma textura lisa. No entanto, é importante ressaltar que existem variações dentro dessa categoria, e alguns cabelos orientais podem apresentar uma leve ondulação natural. Em relação à coloração, predominantemente possuem tonalidades entre o marrom e o preto. A maioria dos cabelos orientais é de cor preta, o que reflete a grande quantidade e distribuição de melanina nos fios. (ROBBINS, 2002).

A Figura 12 apresenta uma pessoa com cabelo típico original asiático.

Figura 12 — Imagem de pessoas com cabelo originalmente asiático.



Fonte: Domínio público.

5.2.3 Cabelo caucasianos

Os fios caucasianos apresentam características de espessura mais fina em comparação aos outros dois tipos de cabelo. Por esse motivo, cabelos caucasianos possuem uma textura mais delicada ao toque. É comum que os cabelos caucasianos sejam mais propensos a ficarem oleosos, pois, além do fator genético individual, sua forma e textura contribuem para maior dispersão dos óleos ao longo dos fios. Quanto à forma, esse tipo de cabelo pode apresentar uma textura naturalmente ondulada ou lisa. No que diz respeito à coloração, os cabelos caucasianos

apresentam uma gama de tonalidades. Essas tonalidades podem variar entre ruivo, castanho e loiro (ROBBINS, 2002).

A figura 13 apresenta uma pessoa com cabelo típico original caucasiano.

Figura 13 — Imagem de pessoa com cabelo originalmente caucasiano.



Fonte: Domínio público.

5.2.4 Cabelo grisalho

Esse tipo de cabelo consiste no aparecimento de fios de cabelo brancos (Figura 14) juntamente de fios com coloração original. Qualquer tipo de cabelo anteriormente citado pode se encaixar nessa categoria, ou seja, toda origem étnica de cabelo é predisposta a se tornar um cabelo grisalho (BOLLER, 2003).

Existem certos fatores que ocasionam o surgimento de fios brancos (sem cor) nos cabelos — alguns exemplos são velhice, doenças como vitiligo e genética. A genética desempenha um papel fundamental no desenvolvimento precoce ou tardio do cabelo grisalho. Se os pais ou outros membros da família tiverem cabelos grisalhos precocemente, é mais provável que ocorra o mesmo padrão nos descendentes (BOLLER, 2003; FAGNAN, 2014; ROSA; NATALI, 2009).

Alguns estudos sugerem que o estresse pode estar relacionado ao surgimento prematuro de cabelos grisalhos. Embora essa ligação entre estresse e despigmentação ainda seja objeto de pesquisa, é possível que fatores emocionais e hormonais desempenhem um papel na alteração da produção de melanina nos fios de cabelo (BOLLER, 2003).

Figura 14 — Imagem de pessoa com cabelo e barba grisalhos.



Fonte: Domínio público.

5.3 Descoloração capilar

Após compreender toda a estrutura do fio de cabelo, torna-se mais evidente que a descoloração capilar afeta principalmente a estrutura do córtex, pois é onde a maior parte da melanina está localizada. Portanto, conhecer a estrutura do fio de cabelo e entender como ocorrem as reações de descoloração é necessário para direcionar esforços para a pesquisa de novas fontes de insumos e desenvolvimento de nova tecnologia capazes de realizar esse processo de maneira segura sem afetar sua eficiência, levando em consideração os diferentes tipos de cabelo e minimizando os danos causados pela descoloração.

Descoloração capilar nada mais é do que remover a cor original do cabelo. Esse processo ocorre devido a uma reação exotérmica de oxidação que desencadeia a degradação das moléculas de melanina presentes, as quais conferem a cor dos fios, como já evidenciado, que acabam se difundindo no meio reacional (IMAI, 2011; WOLFRAM, 1969).

5.3.1 Água oxigenada

O agente oxidante utilizado na mistura descolorante é o peróxido de hidrogênio, encontrado em produtos popularmente conhecidos como “água oxigenada” ou “emulsão reveladora”. Esse agente tem como função realizar a degradação da melanina após se decompor em radicais hidroxila e ânions de peróxido – processo que ocorre em meio alcalino e na presença de metais de transição (SMITH, *et al.* 2017; SANTOS, dos. *et al* 2015).

No mercado encontram-se diferentes proporções da água oxigenada, como 10, 20, 30, 40 ou até mesmo 50 volumes. Essa designação define o quão concentrado o produto é em

peróxido – quantidade de oxigênio liberado a cada um litro de solução – e correspondem a, respectivamente, 3%, 6%, 9%, 12% e aproximadamente 15% (SANTOS, *et al.* 2015).

5.3.2 Aprofundamento na composição da descoloração com amônia

A reação de oxidação ocorre em pH básico devido à mudança na qualidade da ação oxidante do peróxido de hidrogênio (WOLFRAM, 1969; ROBBINS, 2002). A Tabela 1 apresenta essa variação. O acompanhamento realizado demonstrou que, quanto mais próximo de 12 o pH do meio, mais rápida se decorria a reação de dissolução da melanina.

É possível optar pelo uso de outros agentes oxidantes. Contudo, estudos realizados tiveram em seus testes oxidantes tóxicos, como o hipoclorito de sódio (NaOCl), e que possuem efeitos em faixas de pH bem distintas. O resultado dessa comparação laboratorial está evidenciado na tabela 2.

Tabela 1 — Comparativo do efeito do pH na dissolução de melanina em peróxido de hidrogênio 1% a 25°C.

pH	Tempo para completa dissolução (Min)
10.45	30
10.80	14
11.25	9
11.5	10
12.20	14
12.70	13

Fonte: Adaptado de WOLFRAM, 1969.

Tabela 2 — Comparativo da atividade de diferentes agentes oxidantes na descoloração de melanina solubilizada.

Agentes oxidantes	Habilidade descolorante	Condições, pH
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₂	Nenhuma	1-10
KIO ₃	Nenhuma	1-7

$K_2Cr_2O_7$	Nenhuma	1-7
$NaClO_4$	Nenhuma	1-7
I_2	Nenhuma	5.2
H_2O_2	+	10
$NaOCl$	++	7
$KMnO_4$	+++	<3
CH_3COOOH	++	7-8

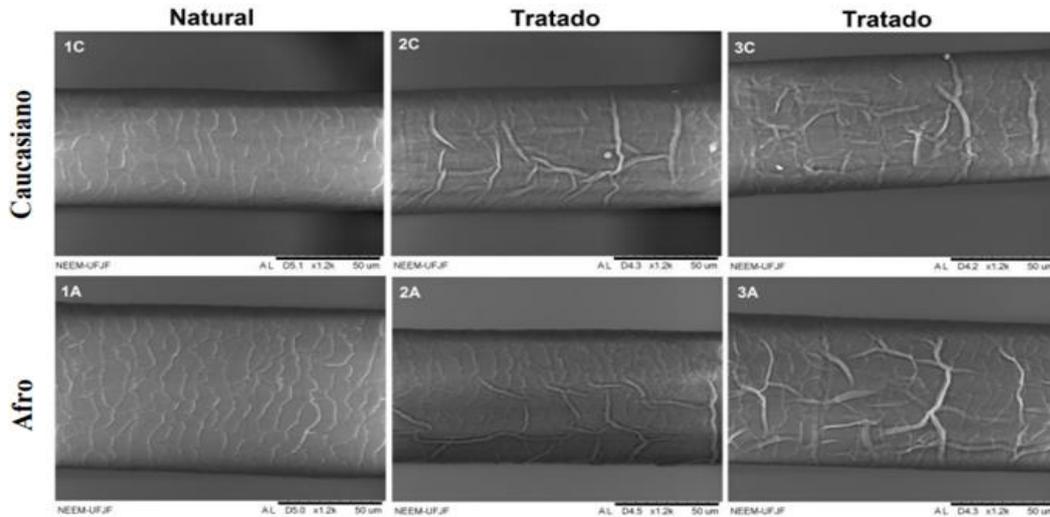
Fonte: WOLFRAM, 1969.

Por esse motivo, produtos com objetivo de remover a cor dos fios de cabelo contêm amônia em sua composição (persulfato de amônio), o que confere o cheiro forte característico bem reconhecido por aqueles que tiveram contato com a mistura. Outro fator que influencia o uso de persulfatos como agentes secundários em produtos descolorantes (outro exemplo, o persulfato de potássio) é a aplicabilidade desses diferentes agentes oxidantes para promover mais intensamente a degradação dos grânulos de melanina. Tendo em vista suas seletividades ao reagirem com partes distintas das macromoléculas de melanina, assim, a mistura desses oxidantes aumenta consideravelmente a capacidade de degradar as melaninas e remover a coloração dos fios (ROBBINS, 2002; WOLFRAM, 1969; FISHER, 1976).

O pH é extremamente importante para a saúde, limpeza e manutenção do cabelo. O pH natural dos fios é entre 4 e 5, e do couro cabeludo em torno de 5. Já o pH ótimo para o peróxido de hidrogênio é mais ou menos 10 e o pH promovido pelo persulfato de amônio é acima de 11. Ao avaliar essas faixas de pH percebe-se que submeter o cabelo à descoloração altera drasticamente seu estado natural, desestruturando-o completamente (GOSHIYAMA, 2019).

A Figura 15 apresenta imagens por MEV de fios de cabelo caucasiano e afro antes e após tratamentos químicos descolorantes. Nas imagens, é evidente a perda de textura e arranjo das células de cutícula, expondo camadas mais internas do fio.

Figura 15 — Imagens MEV de fios de cabelo caucasiano (C) e afro (A): Natural (1C, 1A) e com tratamento descolorante (2C, 3C, 2A, 3A).

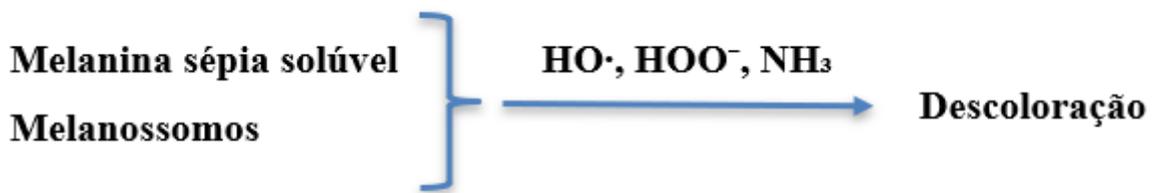


Fonte: SANTOS, dos. 2017.

5.3.3 Reações envolvidas no processo de descoloração

A degradação da melanina ocorre a partir da presença de radicais peróxido e ânions hidroperóxido, que são obtidos pela dissociação da água oxigenada, como observado na reação 1 e evidenciado na tabela 3.

Reação 1 — Relação de agentes oxidantes ($\text{HO}\cdot$, HOO^- , NH_3) que realizam ação descolorante na melanina.



Fonte: SMITH, *et al.* 2017.

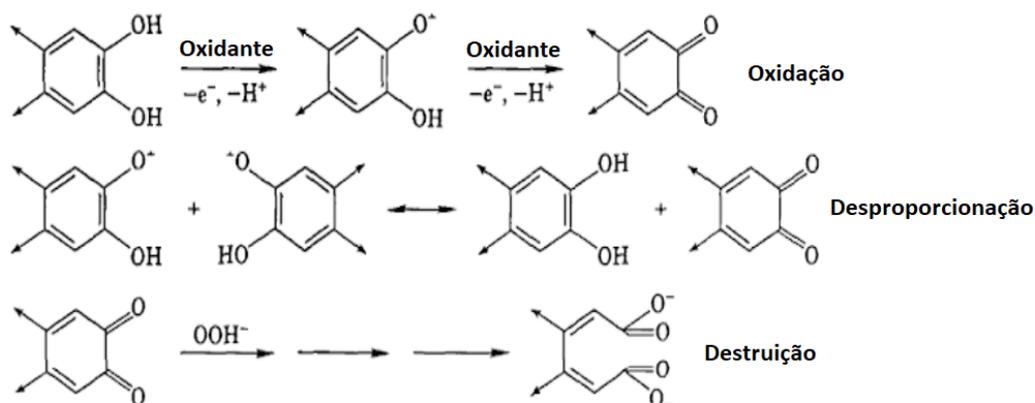
Tabela 3 — Comparativo da presença de diferentes agentes oxidantes quando há alteração nas condições experimentais, relativas à presença ou não de peróxido de hidrogênio e ácido etilendiamino tetra-acético — EDTA e mudança de pH, no processo de descoloração de melanina sépia em solução de H₂O₂ e amônia.

Condições experimentais			Espécie oxidante predominantemente presente
H ₂ O ₂	EDTA	pH	
Não	Não	9.9	Nenhuma (apenas amônia)
Sim	Sim	7.7	H ₂ O ₂
Sim	Não	7.7	HO•
Sim	Sim	9.9	HO ₂ ⁻
Sim	Não	9.9	HO• e HO ₂ ⁻

Fonte: SMITH; *et al.* 2017.

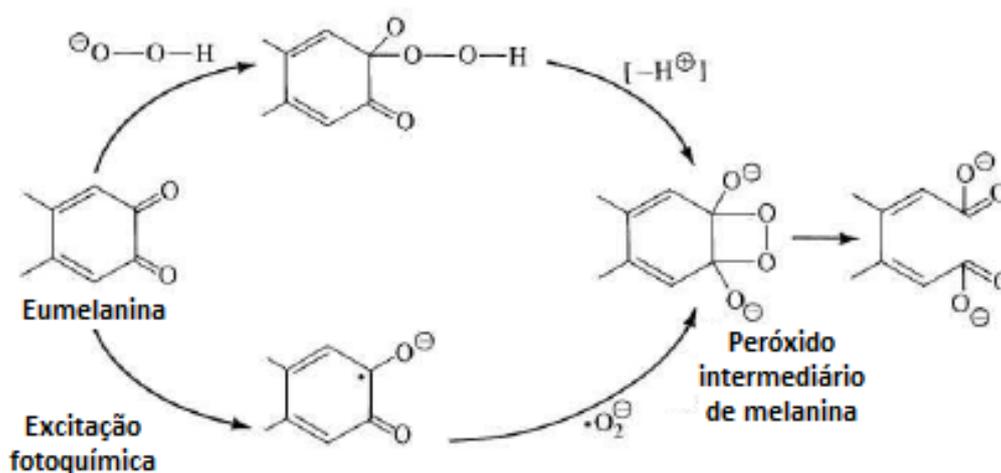
As Figuras 16, 17 e 18 apresentam propostas de mecanismo de reação para degradação da melanina. Em todas as propostas, há ação de agente oxidante, resultando em perda de hidrogênio, e, por ação do ânion hidroperóxido, quebra da ligação entre os carbonos de cetona que fecham a cadeia. Na figura 17 ainda, há uma outra representação de proposta de mecanismo para degradação da melanina, nesse caso por foto-oxidação.

Figura 16 — Proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por agente oxidante.



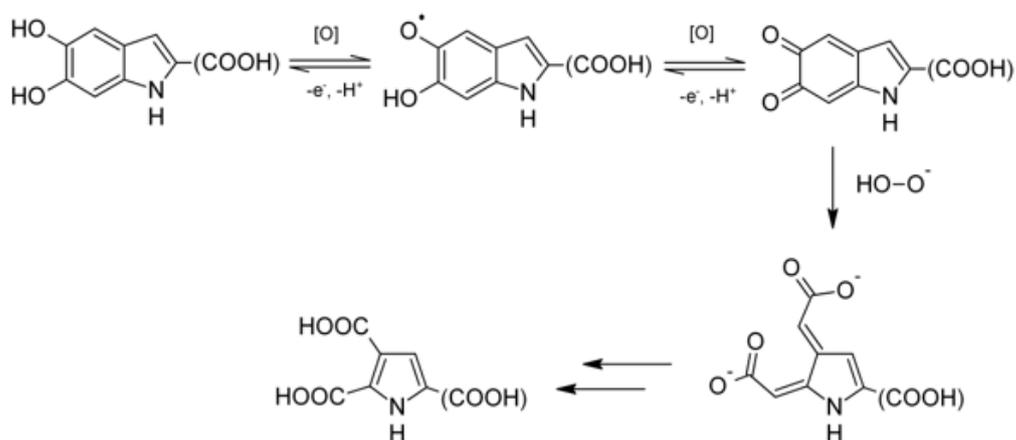
Fonte: KORYTOWSKI; SARNA, 1990.

Figura 17 — Superior: proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por agente oxidante. Inferior: proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por foto-oxidação.



Fonte: ROBBINS, 2002.

Figura 18 — Proposta de mecanismo de reação de degradação da melanina por agente oxidante.

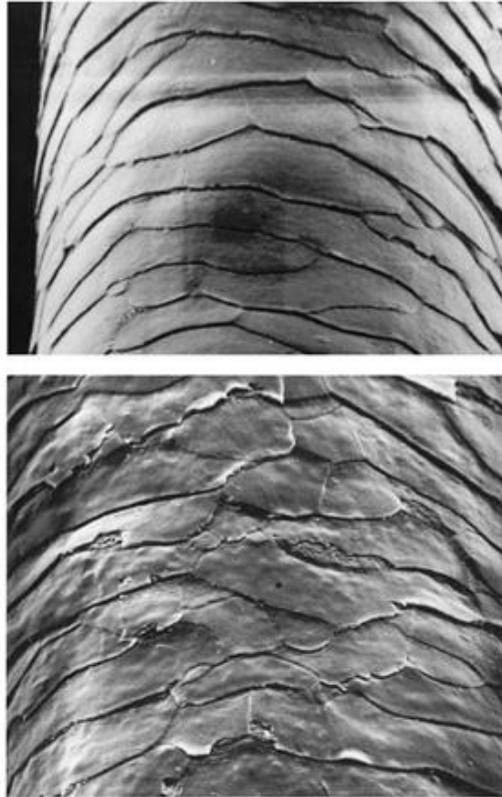


Fonte: SMITH, *et al.* 2017.

É possível realizar a descoloração dos fios sem o uso de amônia — existem no mercado produtos desenvolvidos especialmente com esse intuito. Contudo, o clareamento não é tão efetivo, pois, conforme discutido, a ação do oxidante é alterada, já que o meio não se encontra em um pH ideal e não há presença de agentes oxidantes secundários. Outro ponto relevante é a abertura da cutícula capilar, que, como explicitado anteriormente, em baixos valores de pH encontra-se mais fechada, impedindo a maior entrada dos componentes no interior dos fios (SYMANSZIK, 2023).

O fio de cabelo está sempre passível a agressões externas, como sujidades, radiação UV etc. Dessa forma, a coloração naturalmente se perde com o tempo. Por esse motivo é comum que cabelos naturais, denominados “virgens”, possuam um degradê de cores ao longo do fio, sendo mais escuros próximos à raiz e mais claros próximo das pontas. Vale ressaltar que essas agressões afetam não somente a coloração, mas também a integridade do fio, como mostrado na imagem representada pela Figura 19 (FRAZON, 2013).

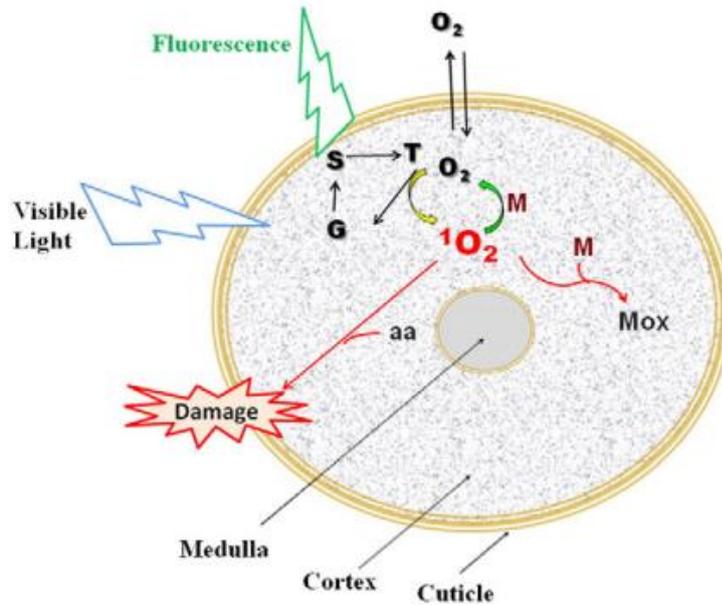
Figura 19 — Imagem MEV de fibra capilar, comparando a deterioração da cutícula ao longo do fio. Superior: cutícula próxima à raiz do cabelo. Inferior: Cutícula próxima às pontas.



Fonte: ROBBINS, 2002.

A melanina é fotossensível (BAREL; *et al.*, 2001; ROBBINS, 2002). A Figura 20 apresenta a ação da radiação incidente no fio, causando danos à estrutura. O processo acontece especialmente no córtex, onde se encontra a maior quantidade dos grânulos de melanina. A melanina em seu estado fundamental G absorve a luz e passa para o estado singlete S, que se converte em triplete T por cruzamento intersistema e reage com o oxigênio, formando oxigênio singlete $^1\text{O}_2$. Esse oxigênio singlete é suprimido por *quenching* físico e químico e reagindo com resíduos de aminoácidos aa. O *quenching* físico, pela melanina M, libera calor, o químico oxida a melanina para Mox, e a reação com aminoácidos ataca os resíduos de cisteína. Assim, ocorre a perda de cor e degradação da estrutura interna do fio por radiação (CHIARELLI-NETO, 2011).

Figura 20 — Representação do processo de fotofísico e fotoquímico do dano causado à estrutura interna do fio após incidência de luz UV e visível.

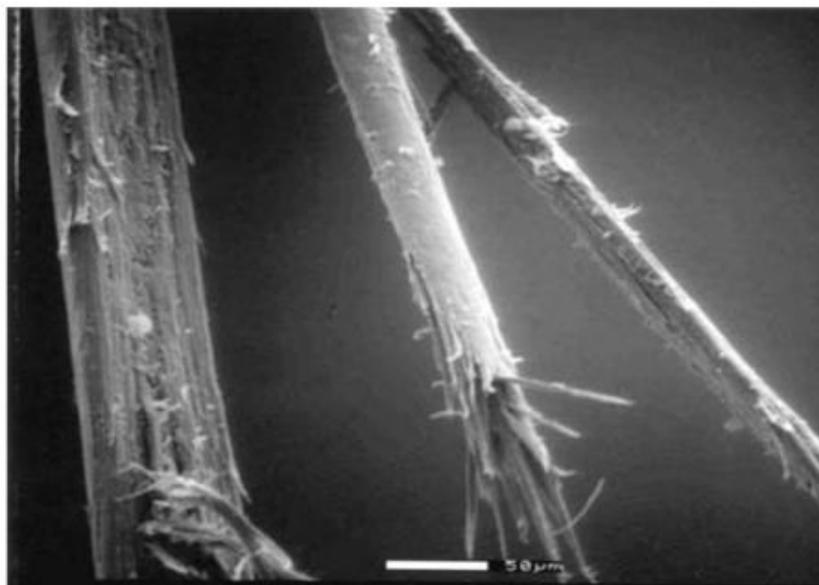


Fonte: CHIARELLI-NETO, 2011.

5.3.4 Reação do fio com a descoloração

O processo de oxidação ocorre primariamente nas melaninas (cromóforos do cabelo). Contudo, durante todo o procedimento, diversas reações secundárias acontecem e afetam as estruturas presentes no cabelo (Figura 21). Toda a composição do extrato capilar acaba sendo degradada e o majoritário “ataque” é sobre as pontes de dissulfeto. Por esse motivo o cabelo tende a perder a forma, criar mais frizz, ficar ressecado, opaco e frágil após o processo de descoloração (PAN; *et al.* 2019; ROBBINS, 2002).

Figura 21 — Imagem MEV de fibra capilar completamente danificada. Perda total da cutícula, fio partido e córtex exposto.



Fonte: BAREL; *et al.* 2001.

A Tabela 4 apresenta as estruturas derivadas dos aminoácidos que compõem as proteínas do fio de cabelo, encontradas após passar por procedimentos químicos como a descoloração capilar.

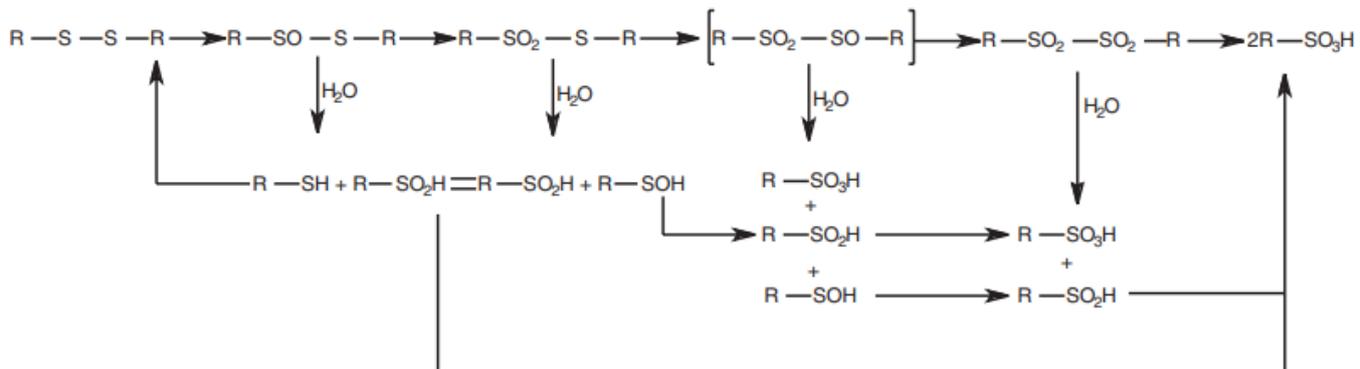
Tabela 4 — Representação das estruturas encontradas na fibra capilar após descoloração, formadas a partir da degradação dos aminoácidos.

Derivativos da cistina	
Produtos da oxidação de cistina por descoloração por peróxido	
$\text{—CH—CH}_2\text{—S—SO—CH}_2\text{—CH—}$	Monóxido de cisteína
$\text{—CH—CH}_2\text{—S—SO}_2\text{—CH}_2\text{—CH—}$	Dióxido de cisteína
$\text{—CH—CH}_2\text{—SO}_3\text{M}$	Sal de ácido cisteico

Fonte: ROBBINS, 2002.

A Figura 22 apresenta proposta de como ocorre a fissão das ligações de dissulfeto em meio aquoso oxidante alcalino.

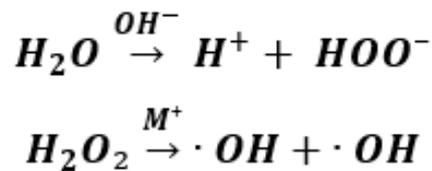
Figura 22 — Representação do processo de fissão das ligações entre enxofres quando em meio alcalino oxidante (descoloração).



Fonte: ROBBINS, 2002.

A presença de metais e um meio alcalino, catalisam a reação de decomposição do peróxido de hidrogênio, permitindo um meio propício para a despigmentação dos cabelos, pois os radicais peróxido obtidos da decomposição são componentes mais reativos (Robbins, 2002; SMITH, *et al.* 2017; KORYTOWSKI, 1990).

Reação 2 — Reações de decomposição do peróxido de hidrogênio catalisadas por, respectivamente, ânion hidroxila e íon metálico, formando ânion peróxido e radicais hidroxila.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.5 Problemas da descoloração

5.3.5.1 Corte químico

Denomina-se corte químico o corte de cabelo ocasionado por agentes químicos. Esse corte pode ser devido a alisamentos, tratamentos permanentes etc., mas é um termo

popularmente utilizado para se referir a cortes ocasionados por descoloração capilar (MORAES, de. 2019).

Como a reação de oxidação é extremamente agressiva e não é possível ser cessada enquanto a mistura está ativa, caso ela permaneça agindo sobre os fios para além do tempo necessário de realizar a abertura de tom, todas as outras estruturas e moléculas que compõem o fio ficam vulneráveis e são destruídas. É comum ver cabelos que ultrapassam o limite durante a descoloração e simplesmente se rompem, ficam com textura elástica e frágil sem forma definida, sendo impossível pentear sem que se rasguem ou, até mesmo, passar as mãos sem grande perda dos fios (MORAES, de. 2019).

Uma característica interessante de cabelos que sofreram corte químico é a retenção exacerbada de líquidos e dificuldade de secagem natural. Justamente devido à perda de todas as estruturas e nutrientes presentes dentro do fio, o cabelo age como uma esponja, sugando qualquer agente externo que entre em contato, seja água, cremes ou, inclusive, sujidades. Cabelos que passaram pelo processo de descoloração e chegaram no tom de loiro claríssimo ou branco precisam de um cuidado constante por causa dessa condição, é necessário repor o interior do fio para que ele não fique tão exposto a agentes externos e até mesmo não tenha alteração na cor e tonalidade devido à absorção desses agentes (SILVA, 2015).

5.3.5.4 Problemas para saúde

Como abordado no item 5.3, a mistura descolorante é composta por dois produtos: a emulsão reveladora (que contém como princípio ativo o peróxido de hidrogênio) e o pó descolorante (que contém como princípio ativo o persulfato de amônio). Essa mistura forma uma suspensão de pH alcalino proporcionado pelas partículas do pó descolorante. Os componentes principais que fornecem o meio ideal para a reação de descoloração e efetivamente realizam a oxidação da melanina são, respectivamente, o persulfato de amônio e o peróxido de hidrogênio (FARIAS, 2022).

O persulfato de amônio é o componente mais comum utilizado em pós descolorantes. O persulfato acelera o processo de degradação da melanina por ser um agente oxidante secundário aplicado com o peróxido de hidrogênio, catalisando a reação e mantendo a mistura em pH alcalino, em torno de 9 e 11. Já o peróxido de hidrogênio é o componente que efetivamente realiza a despigmentação da melanina capilar (SYMANZIK; *et al.* 2023; WOLFRAM, 1969; FISHER, 1976).

O peróxido de hidrogênio é uma substância cujo contato contínuo e/ou extremo pode causar lesões como queimaduras. Ele libera vapores que causam irritação e inflamação nas vias aéreas e nos olhos, sendo destrutivo para os tecidos das mucosas. Em certas concentrações, existe o risco de queima e explosão, além de servir como combustível para incêndios, ao fornecer uma fonte de oxigênio³. Segundo a RDC 79 Anexo V - Lista restritiva (2000), a quantidade permitida de peróxido de hidrogênio em contato com a pele é de até 13 volumes (4%).

O persulfato de amônio é uma substância que libera partículas e vapores que causam reações alérgicas e irritação na pele, vias aéreas, olhos e mucosas. Ele pode causar edemas pulmonares, náuseas e vômito se houver exposição excessiva e/ou intensa⁴. (HOEKSTRA, 2012). Em cosméticos capilares descolorantes, os persulfatos podem ser encontrados em concentrações de até 60% (PANG; FIUME, 2001).

5.3.5.5 Problema ambiental

Tabela 6 — Resumo de ecotoxicidade do persulfato de amônio e peróxido de hidrogênio de diferentes empresas, registrada em fichas técnicas de segurança.

Empresa	Ecotoxicidade	
	Persulfato de amônio	Peróxido de hidrogênio
SIGMA-ALDRICH <ul style="list-style-type: none"> ● Persulfato de amônio 98+% ● Hydrogen peroxide solution 	<ul style="list-style-type: none"> ● Informações ecológicas: Toxicidade em peixes (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). Toxicidade em dáfias e outros invertebrados aquáticos (<i>Daphnia magna</i>). ● Efeitos adversos: Sem dados disponíveis. ● Eliminação do produto: Dissolver ou misturar o produto em solvente combustível e queimar em incinerador químico adequado. Produto altamente inflamável. Entregar soluções excedentes à empresas de tratamento de resíduos. ● Sem demais dados disponíveis quanto a persistência e 	<ul style="list-style-type: none"> ● Efeitos adversos: Perigoso para organismos aquáticos. ● Eliminação do produto: Queimar em incinerador químico adequado. Produto altamente inflamável. Entregar soluções excedentes a empresas de tratamento de resíduos. ● Sem demais dados disponíveis quanto a informações ecológicas.

³ LABSYNTH. *Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos*, 2021. Disponível em: <https://www.labsynth.com.br/fispq/FISPO-%20Persulfato%20de%20Amonio.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2023. SIGMA-ALDRICH. *Ficha de Dados de Segurança*, 2011.

<https://sites.ffclrp.usp.br/cipa/fispq/Persulfato%20de%20amonio.pdf>. 2023.

⁴ LABSYNTH. *Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos*, 2021. Disponível em: <https://www.labsynth.com.br/fispq/FISPO-%20Peróxido%20de%20Hidrogenio%2050.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2023.

	degradabilidade, bioacumulação, mobilidade no solo e avaliação PBT e mPmB.	
<p>Labsynth</p> <ul style="list-style-type: none"> • Persulfato de amônio • Peróxido de Hidrogênio 50% 	<ul style="list-style-type: none"> • Informações ecológicas: Toxicidade em peixes (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). Forma produtos de decomposição tóxica com a água. • Efeitos adversos: Sem dados disponíveis. • Eliminação do produto: Seguir normas locais de controle do meio ambiente ou incinerar, produto excedente recolher e armazenar adequadamente reutilização ou descarte. • Sem demais dados disponíveis quanto a persistência e degradabilidade, bioacumulação, mobilidade no solo e outros efeitos adversos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Informações ecológicas: em altas concentrações tem-se efeito tóxico para peixes e plânctons. Rápida decomposição em oxigênio e água (meio aquoso e solo). Sem potencial bioacumulativo. Sem demais dados disponíveis de efeitos adversos. • Eliminação do produto: Seguir normas locais de controle do meio ambiente, produto excedente recolher e armazenar adequadamente para reutilização ou descarte.
<p>Brisco</p> <ul style="list-style-type: none"> • Persulfato de amônio <p>Merck</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peróxido de hidrogênio 35% 	<ul style="list-style-type: none"> • Informações ecológicas: ecotoxicidade para organismos aquáticos (<i>Oncorhynchus mykiss</i>, <i>Daphnia magna</i>, Algas verdes). Apresenta baixo potencial bioacumulativo em organismos aquáticos. Devido a poucos dados disponíveis de persistência e degradabilidade espera-se que o produto apresente persistência e não seja rapidamente degradado • Sem demais dados disponíveis de efeitos adversos e mobilidade no solo. • Eliminação do produto: Devem ser consultadas legislações federais, estaduais e municipais. O descarte deve ser realizado conforme o estabelecido para o produto, de acordo com as regulamentações locais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Informações ecológicas: toxicidade para algas (<i>Chlorella vulgaris</i>). Rapidamente biodegradável. Sem dados de potencial bioacumulativo. Sem dados de mobilidade no solo. Não cumpre critérios ou não houve avaliação de PBT/vPvB. • Eliminação do produto: Se descartado adequadamente, sem efeitos nas estações de tratamento de águas residuais. O descarte no meio ambiente deve ser evitado. • Componentes: Toxicidade para peixes (<i>Pimephales promelas</i>). Toxicidade para <i>Daphnias</i> e invertebrados aquáticos (<i>Daphnia pulex</i>). Toxicidade para algas (<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>). Toxicidade para bactérias. Toxicidade crônica para <i>Daphnias</i> e outros invertebrados aquáticos (<i>Daphnia magna</i>).

Fonte: Criado pela autora, adaptado de fichas técnicas e de segurança.

Conforme apresentado na tabela 6, os produtos presentes na composição da mistura descolorante são prejudiciais ao meio ambiente, em especial à vida aquática. Contudo, não são apenas esses dois princípios ativos que trazem malefícios à fauna e à flora, outros componentes presentes nos produtos comercializados individualmente também são fatores de risco ao serem descartados despreziosamente. Surfactantes, agentes quelantes, conservantes e outros aditivos diversos afetam drasticamente a vida aquática, causando, por exemplo, morte direta de espécies de peixes e algas, e indireta por efeito de eutrofização (CHISLOCK, 2013).

A eutrofização é um efeito caracterizado pelo crescimento exacerbado de plantas e algas devido ao acúmulo de nutrientes nos sedimentos em bacias de água, como rios e lagos. Quando esse efeito ocorre de forma não natural, devido à ação humana de poluição dessas bacias, ele acontece de forma descontrolada, devido ao excesso de nutrientes — advindos de efluentes — dissolvidos na água, e, por consequência, causa o bloqueio da entrada de radiação solar e oxigênio para níveis mais profundos da água (BOAVIDA, 2001; CHISLOCK, 2013).

O Nitrogênio participa da síntese de proteínas das plantas, no processo de fotossíntese. O excesso desse nutriente corrobora para o crescimento exacerbado das plantas e algas aquáticas, que, eventualmente, criam um tapete natural na superfície da água, bloqueando a passagem de oxigênio do ar e dos raios solares. Dessa forma, a vida aquática se torna insustentável (CHISLOCK, 2013; SCHINDLER, 1971; GILBERT; *et al.* 2005).

De acordo com o estudo desenvolvido pela companhia ambiental do Estado de São Paulo — CETESB⁵, os surfactantes, tensoativos ou detergentes, por serem agentes anfifílicos — ou seja, que possuem afinidade com moléculas polares e apolares — formam espumas. Quando há grande descarte desses agentes em meios aquáticos, essas espumas se acumulam e formam camadas espessas de bolhas e emulsões que, conseqüentemente, impedem a difusão do oxigênio do ambiente e da luz solar para as camadas mais fundas da água, eliminando a vida aquática daquele ambiente. Outro fator desencadeado é a alteração da permeabilidade nas brânquias dos peixes, afetando a troca de oxigênio e levando à morte por asfixia.

5.3.6 Tratamentos existentes

Alguns produtos alegam serem capazes de restabelecer a estrutura do fio, cujas ligações proteicas foram quebradas em processos químicos fortes como na descoloração. Seja

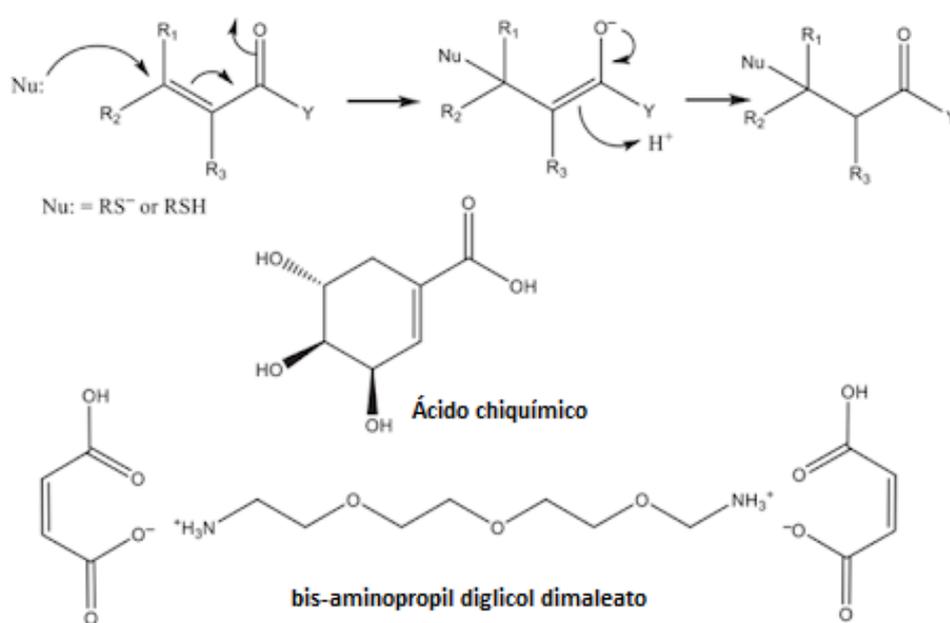
⁵ Mortandade de peixes. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/detergentes/>. Acesso em: 25 jun. 2023.

efetivamente religando as pontes de dissulfeto, utilizando aditivos que promovam que essas e outras ligações retornem ou criando novas ligações entre diferentes átomos, modelando e fortificando a queratina.

Uma linha de produtos interessante de ser abordada é a *bond building*, da empresa Olaplex. A marca tirou uma patente por desenvolver uma nova molécula em laboratório, capaz de encontrar enxofres isolados e criar uma nova ponte de dissulfeto, religando resíduos de Cisteína e reestruturando o fio de cabelo após ser danificado por procedimentos químicos.

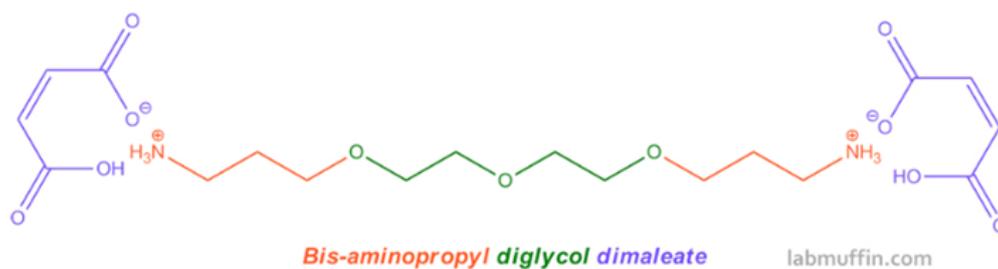
As Figuras 23 e 24 apresentam uma proposta de mecanismo de reação de como se decorre essa reestruturação. Por adição de sulfa-Michael, o grupo tiól (nucleófilo) é adicionado à uma ligação alfa-beta insaturada, cujo carbono adjacente possui um grupo retirador de elétrons, substituindo-a por uma ligação saturada entre os átomos de carbono e enxofre, e liberando \square^+ (FERREIRA, 2008).

Figura 23 — Superior: Mecanismo de reação de adição sulfa-Michael para reestruturação das ligações entre enxofres. Inferior: ativos que podem ser aplicados como nucleófilos e inseridos pela reação.

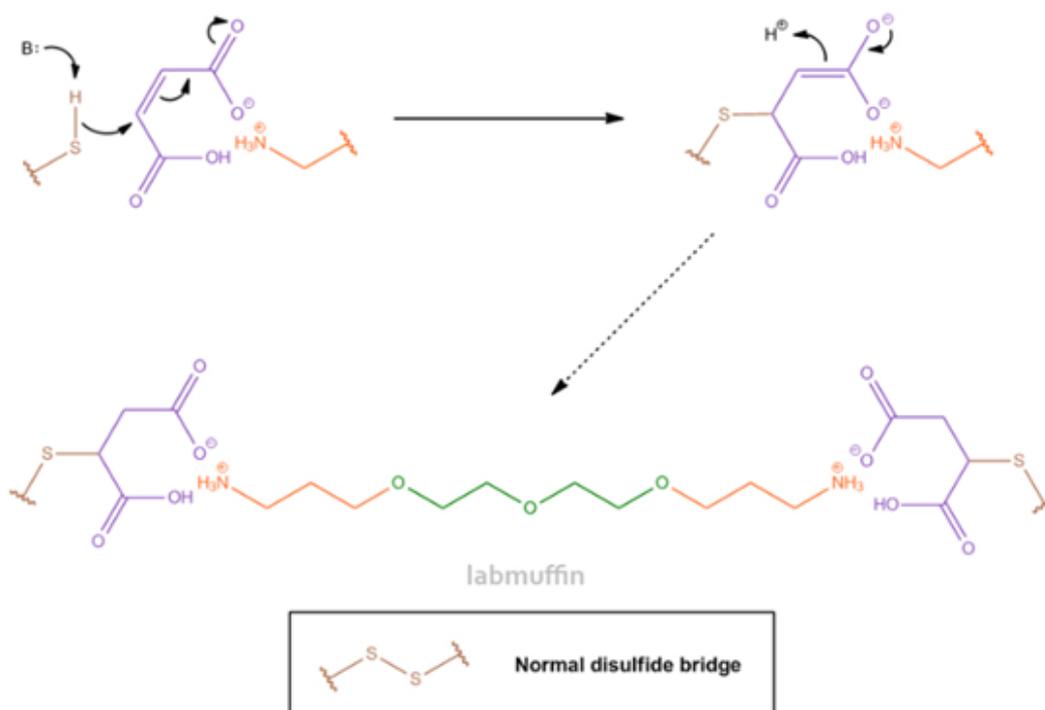


Fonte: FOGGIA; *et al.* 2020

Figura 24 — Representações simplificadas, respectivamente, da molécula principal que atua como nova ponte entre resíduos de cisteína que sofreram fissão após processo químico de descoloração, e do mecanismo de reação de adição sulfa-Michael criando nova ponte entre enxofres.



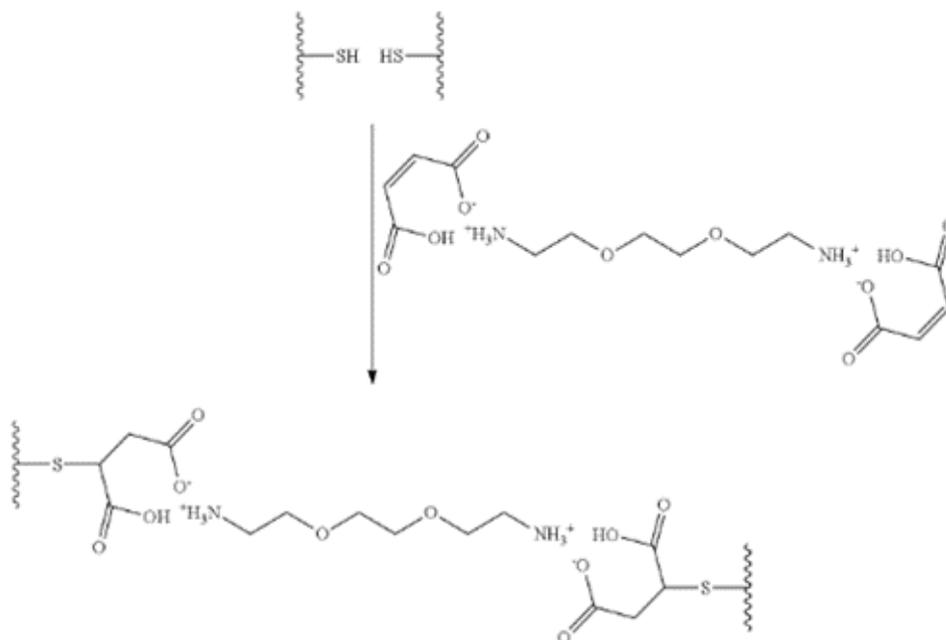
Olaplex Mechanism (2 x Michael Addition)



Fonte: WONG, 2015.

Na Figura 25 está disposta a reação fornecida pela empresa, encontrada na patente.

Figura 25 — Reação de reestruturação da ligação entre enxofres, fornecida pela empresa na patente.



Fonte: PRESSLY; HAWKER, 2015.

5.4 Busca por substitutos

5.4.1 Insumos para degradação de melanina

O objetivo deste estudo é encontrar uma nova forma de obtenção de radicais livres que são capazes de degradar a melanina capilar, realizando a substituição da água oxigenada por outro princípio ativo de fonte natural. Dessa forma, propõe-se como ideia a rancificação oxidativa de óleos e gorduras produzindo radicais peróxidos e ânions hidroperóxidos. O processo de rancificação oxidativa acontece com alimentos ricos em óleos e gorduras, podendo ser promovido por iniciadores, e é intensificado pela presença de calor, oxigênio, umidade e radiação.

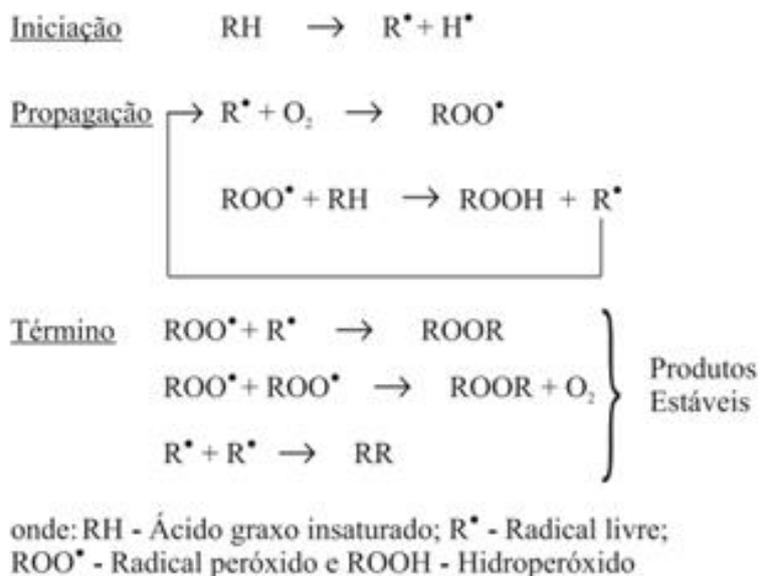
A rancificação oxidativa ocorre em 3 etapas: iniciação, propagação e terminação. Na fase de iniciação há a retirada de um Hidrogênio formando um radical livre. Após entrar em contato com oxigênio, tem-se a formação do radical de peróxido. Nessa fase intermediária, de acordo com o maior consumo de Oxigênio, decorrem reações em cadeia, aumentando a quantidade de radicais peróxidos presentes no meio. Ao final, os radicais se combinam formando novas moléculas estáveis e fechando o ciclo de propagação. Percebe-se a alteração da cor, do sabor, do aroma e da viscosidade do óleo/gordura (WANKENNE, 2014).

Íons metálicos como Cobre, Cobalto, Ferro e Molibdênio são pró-oxidantes: sua presença no meio auxilia na decomposição de hidroperóxidos, formando mais radicais livres.

Pigmentos fotossensíveis, como a melanina, também fazem parte de fatores que contribuem para a maior velocidade da oxidação (RAMALHO; JORGE, 2006).

A Figura 26 apresenta as reações envolvidas no processo de rancificação oxidativa de óleos e gorduras, dividido em três etapas (iniciação, propagação e término).

Figura 26 — Reações e etapas do processo de rancificação oxidativa de óleos e gorduras.



Fonte: RAMALHO; JORGE, 2006

Outra forma de iniciar o processo de rancificação oxidativa é aplicar ao óleo/gordura enzimas lipoxigenases. Essas enzimas catalisam a reação de propagação ao adicionar oxigênio à cadeia poliinsaturada de ácidos graxos (RAMALHO; JORGE, 2006).

Já para cessar a reação de rancificação em alimentos, é comum o uso de agentes antioxidantes sintéticos como BHA, BHT e PG, além de naturais como os tocoferóis, ácidos fenólicos e extratos de certas plantas. Outros antioxidantes bem conhecidos são o ácido ascórbico e o agente quelante de EDTA (RAMALHO; JORGE, 2006). Como o estudo visa buscar fontes naturais de insumos para o processo de descoloração, os antioxidantes biológicos são a saída para essa substituição.

Os tocoferóis (família da vitamina E) são encontrados na maioria dos óleos vegetais, atuam como ótimos agentes antioxidantes naturais e, inclusive, a depender das condições e concentração podem desencadear processos oxidativos (RAMALHO; JORGE, 2006). Ou seja, essa categoria de composto é uma boa escolha para aplicação de nova composição de produtos

para descoloração capilar, pois é um princípio ativo de fácil acesso e baixo custo que pode iniciar e cessar processos de rancificação oxidativa.

5.4.2 Insumos para reestruturação capilar

O objetivo do estudo foi encontrar uma forma de recuperar a estrutura capilar, focando nas pontes de dissulfeto, a partir de fontes naturais. A partir disso, propõe-se aqui como ideia o extrato de Cisteína a partir de alimentos que ajude a promover a recuperação das ligações entre enxofres. A cisteína é passível de extração a partir de penas e pêlos de animais, realizar essa extração a partir de alimentos é uma boa maneira de se obter um produto natural e vegano que realize os mesmos objetivos (SOUZA; GUTTERRES, 1995; ARRUDA, 2010).

Em um artigo publicado na revista *Scientific Reports*, do grupo Nature, pesquisadores estudaram a respeito do mecanismo da modulação estrutural de peroxirredoxinas. As peroxirredoxinas (Prx) são enzimas catalisadoras da reação de redução de hidroperóxidos orgânicos, peróxido de hidrogênio e peroxinitrito. Se apresentam em diferentes isoformas nas células de mamíferos, sendo classificadas em três subgrupos (2-Cys, 2-Cys atípica e 1-Cys) de acordo com o número e posição dos resíduos de cisteína que fazem parte da catálise (TAIRUM; *et al.* 2016).

A isoforma 2-Cys de Prx possui habilidade para reduzir eficientemente hidroperóxidos com considerável especificidade, sendo que a cisteína presente no sítio ativo chega a ser milhões de vezes mais rápida quando comparada à cisteína livre no ambiente proteico. As 2-cys Prx utilizam um resíduo de cisteína altamente conservado, chamado de cisteína peroxidásica (CP), para formar um ácido sulfênico (CP-SOH) a partir da redução de hidroperóxidos. No decorrer do ciclo catalítico, a CP-SOH reage com um outro resíduo de cisteína do monômero adjacente de Prx, criando uma ligação intermolecular entre enxofres de dois polipeptídeos diferentes (TAIRUM; *et al.* 2016).

As peroxirredoxinas são enzimas também encontradas em levedura, a *Saccharomyces cerevisiae*, amplamente utilizada na produção de cerveja. Quando ocorre o estresse oxidativo em processos de fermentação, como resposta do sistema da levedura, podendo ser promovido por hidroperóxidos, há o aumento da quantidade de peroxirredoxinas no meio (PEDRAJAS, 2000; PEDRAJAS, 2010; OHDATE, 2010).

Dessa forma, a outra fonte de princípio ativo para complementar a formulação de novos produtos para descoloração capilar, é a levedura de cerveja. Esse insumo teoricamente fornecerá isoformas de peroxirredoxinas que catalisam a redução dos hidroperóxidos formando

ligações de dissulfeto. Essa alternativa é uma opção viável tendo em vista sua facilidade de acesso e custo-benefício.

5.4.3 Abertura e selagem de cutícula

O objetivo do estudo foi encontrar maneiras de abertura e selagem das cutículas capilares é a etapa menos custosa do estudo de desenvolvimento de nova formulação cosmética. Tendo em vista a facilidade com que essa parte do fio pode se adaptar de acordo com o meio, como explicitado anteriormente neste trabalho. Instruir a higienização dos fios com água morna e cosméticos capilares de ação limpante, e secagem forçada com equipamentos que proporcionam um ambiente de maior temperatura – como secadores, chapinhas e vaporizadores –, antes da aplicação do(s) produto(s), já é o suficiente para abrir as cutículas a nível de permitir melhor permeabilidade da mistura para o interior da estrutura do fio.

Já para a selagem da cutícula após realização do procedimento de descoloração e reestruturação capilar, surge a ideia de aplicar argila. A argila é uma fonte natural de íons onde encontram-se micelas de interior aniônico e exterior com íons catiônicos adsorvidos (MUNDIN; *et al.* 2019; MANGONI; *et al.* 2015). A utilização da argila ao final do processo fornece um meio rico em cargas positivas que, como descrito anteriormente, ajudam a fechar a cutícula capilar e manter o fio com aparência brilhosa e sedosa. Outra fonte natural explicitada anteriormente é o uso de vinagre de maçã.

Utilizar chapas alisantes e secadores com íons é uma maneira de realizar a abertura e selagem das cutículas, conforme abordado no tópico 5.1.1. Portanto, aplicar esse procedimento nas etapas inicial e final do novo processo de descoloração capilar irá contornar o problema de maior penetração dos produtos no extrato capilar e posterior retomada da proteção dos fios.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante o esclarecimento acerca do processo de descoloração capilar, da toxicidade envolvida nos produtos utilizados atualmente e da viabilidade de novas pesquisas para substituição dos componentes base da descoloração: a água oxigenada e o persulfato de amônio. A despigmentação do fio de cabelo acontece pela degradação da melanina por uma reação oxidativa promovida por radicais peróxido e ânions hidroperóxidos em ambiente super alcalino. Esse processo causa danos, a princípio, irreversíveis à estrutura dos cabelos, danificando sua cutícula e extrato. Concomitantemente, os produtos utilizados hoje, a água

oxigenada e o pó descolorante, trazem malefícios à saúde e ao meio ambiente. Ou seja, possuem componentes cuja toxicidade fisiológica e ecológica é alta e deve ser levada em consideração. Dessa forma, vê-se necessária a substituição desses produtos. Para tanto, este trabalho de conclusão de curso buscou estudar novas fontes de insumo para obtenção dos componentes químicos base para degradação da melanina, reestruturação capilar e abertura e selagem de cutícula. A partir dos achados, foi desenvolvida uma proposta teórica de formulação e procedimento de aplicação de novos cosméticos capilares.

Observa-se então que, a partir da obtenção de radicais livres de peróxido e hidroperóxido para degradação da melanina capilar, a partir de uma nova fonte, é possível realizar a substituição da água oxigenada no processo de descoloração, assim como dos agentes oxidantes secundários. Conforme detalhado anteriormente, a rancificação oxidativa de óleos e gorduras permite maior aproximação dos objetivos finais específicos apresentados. Isso se deve ao fato dessa alternativa ser natural, acessível e de melhor custo-benefício.

Dentro das possibilidades para a pesquisa, foi percorrida uma forma: a aplicação de enzimas lipoxigenases, a qual foi escolhida por corroborar com os objetivos ambientais de sustentabilidade e por se aplicar de maneira assertiva nas necessidades de substituição. O uso dessas enzimas catalisa a segunda etapa do processo de rancificação oxidativa, a propagação, com a inserção do oxigênio às macromoléculas insaturadas de ácidos graxos.

Além disso, é possível controlar o momento de iniciação e cessão do processo reativo com adição de agentes antioxidantes naturais em diferentes concentrações, como os tocoferóis. Resgatando a importância socioeconômica, já que eles são insumos acessíveis financeiramente ao mercado e com facilidade de obtenção.

Tratando da reestruturação capilar, utilizar fontes naturais de cisteína, capazes de restabelecer ligações de dissulfeto, é a chave para desenvolver um novo produto que permita o processo de despigmentação do fio sem perder sua integridade. Extratos de cisteína a partir de alimentos foi uma ideia plausível de ser aplicada, porém, o uso de levedura *Saccharomyces cerevisiae*, as quais carregam diferentes isoformas de Prx e aumentam sua quantidade presente ao sofrer estresse oxidativo, são uma escolha interessante. Tendo em vista que o processo de degradação dos pigmentos naturais se decorre por reação de oxidação em um meio rico em hidroperóxidos (agentes que estressam a levedura).

Com foco na parte externa do cabelo, a cutícula, para etapas pré e pós processo de descoloração e reestruturação, respectivamente, apresenta-se a proposta de higienização e aquecimento dos fios, e aplicação de argila – fonte natural de íons positivos.

Por fim, a proposta de desenvolvimento de novo procedimento de descoloração e formulação cosmética é a criação de kit com 6 produtos cosméticos (em pacotinhos herméticos), que deverá ser utilizado em etapas da seguinte maneira:

Etapa I – Descoloração: Ocorrerá a mistura de dois produtos, um produto contendo enzimas e outro óleos. O de enzimas será composto por lipoxigenases, que serão utilizadas para iniciar e catalisar a rancificação oxidativa. O de óleos será composto de uma variedade de óleos naturais (a partir de vegetais, frutas e outros alimentos) que passarão pelo processo de rancificação. Os dois deverão ser acondicionados separadamente e misturados para utilização. Essa etapa deverá ocorrer em meio com alta umidade, calor e, preferencialmente, com a presença de radiação UV. Ou seja, em cabelo úmido e, após aplicação, acondicionado com touca e incidência de radiação UV, seja ela natural ou artificial. Essas especificações deverão estar descritas e devem ser seguidas para melhor resultado do procedimento.

Etapa II – Cessão do processo: Ocorrerá a aplicação de um produto rico em tocoferóis e agentes antioxidantes naturais. Esse produto será composto pela família da vitamina E e outros agentes oxidantes de origem natural, e deverá ser aplicado no momento em que se deseja cessar o processo de despigmentação. Será acondicionado separadamente dos demais.

Etapa III – Selagem de cutícula: Ocorrerá a aplicação de produto composto por pó de argila natural, ao final de todo o processo. Esse produto deverá ser de pH ácido, podendo ser desenvolvido com duas formulações que se misturam quando for utilizar (um pó de argila e uma solução ácida, por exemplo, com vinagre de maçã).

Aditivo – Reestruturação: Ao longo do processo de descoloração, adicionar em quantidade definida um produto à base de levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Assim, fomentando durante todo o procedimento o estresse dessa levedura e a propagação de Prx, que formarão novas pontes de dissulfeto, restaurando o extrato capilar. Além de fornecer metais que atuam como pró-oxidantes, auxiliando na decomposição de hidroperóxidos para formar mais radicais livres e acelerar a etapa de propagação da rancificação oxidativa.

7. CONCLUSÃO

Em conclusão, este estudo teve como objetivo fazer uma análise das estruturas que compõem o fio de cabelo, das formulações cosméticas existentes para descoloração capilar, as reações envolvidas no processo de descoloração e os riscos inerentes a esse processo em relação à saúde e ao meio ambiente, a partir do estudo teórico da literatura disponível, com o objetivo

de desenvolver uma nova formulação cosmética e procedimento de aplicação, teóricos, para descoloração capilar. Foi, então, desenvolvida como proposta a elaboração de um kit com seis produtos cosméticos cuja utilização é dividida em etapas específicas. O processo inclui a mistura de produtos com enzimas e óleos que passarão por rancificação oxidativa para realizar descoloração dos fios, aplicação de um produto com base de agentes oxidantes tocoferóis para interromper o processo, selagem da cutícula com argila natural e a adição de um produto à base de levedura para realizar a reestruturação capilar após estresse oxidativo desse fermento. O desenvolvimento dessa abordagem visou minimizar os riscos associados à descoloração capilar, tais como reações alérgicas, queimaduras químicas e danos à estrutura capilar, oferecendo uma alternativa mais segura e eficiente aos consumidores. Além disso, a proposta contribui para avanços na indústria cosmética ao utilizar ingredientes totalmente naturais, acessíveis e de baixo custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIHPEC. Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. Disponível em: https://abihpec.org.br/site2019/wp-content/uploads/2023/01/Panorama_do_Setor-Atualizacao_22-06-23.pdf. Acesso em: 28.mai.2023.

ANVISA. Agência nacional de vigilância sanitária. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/cosmeticos/pareceres/parecer-tecnico-no-5-de-22-de-marco-de-2002-atualizado-em-05-07-2011>. Acesso em: 20.mai.2023.

ARAÚJO, Lidiane Advíncula de. Desenvolvimento de formulações cosméticas contendo óleos vegetais para proteção e reparação capilar. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ARRUDA, Milena Nakagawa de. Extração, caracterização e modificação química da queratina extraída das penas de frango. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BAREL, A. O.; PAYE, M.; MAIBACH, H. (Ed.). Handbook of cosmetic science and technology. CRC press, 2001.

BARVE, K., DIGHE, A. (2016). Hair Conditioner. In: The Chemistry and Applications of Sustainable Natural Hair Products. SpringerBriefs in Molecular Science.

BIOQUÍMICA E QUÍMICA LTDA. Ficha Técnica do Produto Persulfato de Amônio PA, ACS. [Ficha de Segurança]. Minas Gerais, 2021.

BIOQUÍMICA E QUÍMICA LTDA. Ficha Técnica do Produto Peróxido de Hidrogênio. [Ficha de Segurança]. Minas Gerais, 2016.

BOAVIDA, Maria José L. Problemas da qualidade da água: Eutrofização e poluição. *www.ordembilogos/Biologias N*, v. 1, 2001.

BOLLER, Erika. Como o estresse afeta o corpo e a vida. *Revista Médica*, p. 36, 2003.

BOUILLON, Claude; WILKINSON, John. *The Science of Hair Care*. 2ª ed. New York: CRC Press, 2005.

BRADBURY, J. H. et al. Keratin Fibres III. Amino Acid Analyses of Histological Components. *Australian Journal of Biological Sciences*, v. 23, n. 3, p. 637-644, 1970.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 79, de 28 de agosto de 2000. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas de Fabricação para Medicamentos. *Diário-Oficial da União, Brasília, DF*, 28 ago. 2000. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0079_28_08_2000.html. Acesso em: 15 jun. 2023.

BRISCO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ): Persulfato de Amônio. Disponível em: <https://www.brisco.com.br/fispq/persulfato-de-amonio.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

BRITO, Daniel Santana. Desenvolvimento e caracterização de máscara capilar contendo óleo coco (*Cocos nucifera* L.). 2018.

CHAUDHRI, S. K.; JAIN, N. K. History of cosmetics. *Asian Journal of Pharmaceutics (AJP)*, v. 3, n. 3, 2009.

CHIARELLI NETO, Orlando. Efeitos da luz UV-A e visível em células da pele e no cabelo. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CHIARELLI-NETO, Orlando et al. Generation and suppression of singlet oxygen in hair by photosensitization of melanin. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 51, n. 6, p. 1195-1202, 2011.

CHISLOCK, Michael F. et al. Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge*, v. 4, n. 4, p. 10, 2013.

COSTIN, Gertrude-E.; HEARING, Vincent J. Human skin pigmentation: melanocytes modulate skin color in response to stress. *The FASEB Tjournal*, v. 21, n. 4, p. 976-994, 2007.

DEEDRICK, Douglas W.; KOCH, Sandra L. Microscopy of hair part 1: a practical guide and manual for human hairs. *Forensic science communications*, v. 6, n. 1, p. 1, 2004.

DE MORAES, Luzimara Cardoso. ESTUDO EXPERIMENTAL DE PROCEDIMENTOS CAPILARES QUE LEVAM AO CORTE QUÍMICO. *JORNAL DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS E SAÚDE*, v. 4, n. 1, p. 17, 2019.

DI FOGGIA, Michele et al. Structural investigation on damaged hair keratin treated with α , β -unsaturated Michael acceptors used as repairing agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 167, p. 620-632, 2021.

DOS SANTOS, Andreza Carneiro. Fibra Capilar, Agentes de Coloração e Descoloração: Química, Mecanismos de Ação e Danos Oxidativos. 2017.

DRAELOS, Zoe Diana. The biology of hair care. *Dermatologic clinics*, v. 18, n. 4, p. 651-658, 2000.

FAGNAN, Sandra et al. Envelhecimento cutâneo. *Revista de trabalhos acadêmicos*, 2014.

FARIAS, Ilda Lavínia Nascimento de. Avaliação de óleos vegetais sobre o brilho e resistência dos fios capilares submetidos a tratamentos químicos. 2022.

FERREIRA, Patrícia da Costa. Adição de tióis a compostos carbonílicos α , β -insaturados utilizando KF/alumina em meio livre de solvente Adição de tióis a compostos carbonílicos α , β -insaturados utilizando KF/alumina em meio livre de solvente. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

FIETZ, Michael J. et al. Analysis of the sheep trichohyalin gene: potential structural and calcium-binding roles of trichohyalin in the hair follicle. *The Journal of cell biology*, v. 121, n. 4, p. 855-865, 1993.

FISHER, Alexander A.; DOOMS-GOOSSENS, Ann. Persulfate hair bleach reactions: cutaneous and respiratory manifestations. *Archives of dermatology*, v. 112, n. 10, p. 1407-1409, 1976.

FRAZON, Monique Alves. Efeito do extrato de cascas de *Rauvolfia sellowii* Müll Arg. e de *Himatanthus lancifolius* (Müll) Arg. e dos alcaloides uleína e ioimbina na melanogênese. 2013.

GIACOMNI, Fernando et al. Importância da determinação do ponto de carga zero como característica de tingimento de fibras proteicas. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 22, 2017.

GILBERT, P. et al. The role of in the global proliferation of harmful algal blooms: new perspectives and approaches. *Oceanography*, v. 18, p. 196-207, 2005.

GOSHIYAMA, Alessandra Mari. Avaliação das propriedades das fibras capilares tratadas com alisante ácido com diferentes valores de pH. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2019.

HAIRBRUSHY. Taming Thick Wavy Frizzy Hair: A Guide to Healthy Styling. Hairbrushy, s.l., 2021. Disponível em: <https://hairbrushy.com/taming-thick-wavy-frizzy-hair-a-guide-to-healthy-styling/>. Acesso em: 19 jun 2023.

HOEKSTRA, Margriet et al. Anaphylaxis and severe systemic reactions caused by skin contact with persulfates in hair-bleaching products. *Contact Dermatitis*, v. 66, n. 6, p. 317-322, 2012.

HYDROGEN PEROXIDE SOLUTION; LABSYNTH. Ficha de informações de segurança de produtos químicos. Nome do Produto: PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO 50%; Merck. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ. Peróxido de hidrogênio 35%.

IMAI, Takehito. The influence of hair bleach on the ultrastructure of human hair with special reference to hair damage. *Okajimas folia anatomica Japonica*, v. 88, n. 1, p. 1-9, 2011.

JUEZ, J.L.; GIMIER, L. *Ciencia cosmética*. 2.ed. Madrid: Soc. Espanhola de Quim. Cosmet., p.98-119. 1983.

KORYTOWSKI, W.; SARNA, T. Bleaching of melanin pigments. Role of copper ions and hydrogen peroxide in autooxidation and photooxidation of synthetic dopa-melanin. *Journal of Biological Chemistry*, v. 265, n. 21, p. 12410-12416, 1990.

KORYTOWSKI, W.; SARNA, T. Bleaching of melanin pigments. Role of copper ions and hydrogen peroxide in autooxidation and photooxidation of synthetic dopa-melanin. *Journal of Biological Chemistry*, v. 265, n. 21, p. 12410-12416, 1990.

KRAUSE1, Thomas; RUST, Rene C. *hair styling: Technology and Formulations*. *Cosmetic Dermatology: Products and Procedures*, p. 270-279, 2015.

KUZUHARA, Akio. Analysis of internal structure changes in black human hair keratin fibers resulting from bleaching treatments using Raman spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, v. 1047, p. 186-193, 2013.

LABSYNTH PRODUTOS PARA LABORATÓRIOS LTDA. *Ficha Técnica do Produto Peróxido de Hidrogênio 50%*. [Ficha Técnica]. São Paulo, 2022.

LABSYNTH PRODUTOS PARA LABORATÓRIOS LTDA. *Ficha Técnica do Produto Persulfato de Amônio*. [Ficha Técnica]. São Paulo, 2022.

LAMOREUX, M. Lynn; WAKAMATSU, Kazumasa; ITO, Shosuke. Interaction of major coat color gene functions in mice as studied by chemical analysis of eumelanin and pheomelanin. *Pigment Cell Research*, v. 14, n. 1, p. 23-31, 2001.

LEEDER, J. D.; BISHOP, D. G.; JONES, L. N. Internal lipids of wool fibers. *Textile research journal*, v. 53, n. 7, p. 402-407, 1983.

MANGONI, Ana Paula; DIAS, Patrícia Moura; CONSTANTINO, Vera R. Leopoldo. A versatilidade das argilas e as propriedades dos sítios superficiais de interação. *Eclética Química*, v. 40, p. 192-203, 2015.

MCKITTRICK, Joanna et al. The structure, functions, and mechanical properties of keratin. *Jom*, v. 64, p. 449-468, 2012.

MEDLAND, Sarah E. et al. Common variants in the trichohyalin gene are associated with straight hair in Europeans. *The American Journal of Human Genetics*, v. 85, n. 5, p. 750-755, 2009.

MIRANDA-VILELA, Ana Luisa; BOTELHO, Adelaide J.; MUEHLMANN, Luis A. An overview of Chemical straightening of human hair: technical aspects, potential risks to hair fiber and health and legal issues. *International journal of cosmetic science*, v. 36, n. 1, p. 2-11, 2014.

MUNDIN, Helen Sandra de Sousa Laet *et al.* Caracterização e aplicação da argila expandida na absorção de íons metálicos potencialmente tóxicos. 2019.

OHDATE, Takumi; KITA, Keiko; INOUE, Yoshiharu. Kinetics and redox regulation of Gpx1, an atypical 2-Cys peroxiredoxin, in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS yeast research*, v. 10, n. 6, p. 787-790, 2010.

PAN, Heng *et al.* DMAc/H₂O/LiCl as an efficient system for bleaching human hair and subsequent use in transparent composite films. *Polymer Testing*, v. 73, p. 300-307, 2019.

PANG, S.; FIUME, M. Z. Final report on the safety assessment of Ammonium, Potassium, and Sodium Persulfate. *International journal of toxicology*, v. 20, p. 7-21, 2001.

PEDRAJAS, José Rafael *et al.* Glutaredoxin participates in the reduction of peroxides by the mitochondrial 1-CYS peroxiredoxin in *Saccharomyces cerevisiae*. *Antioxidants & redox signaling*, v. 13, n. 3, p. 249-258, 2010.

PEDRAJAS, José Rafael *et al.* Mitochondria of *Saccharomyces cerevisiae* contain one-conserved cysteine type peroxiredoxin with thioredoxin peroxidase activity. *Journal of Biological Chemistry*, v. 275, n. 21, p. 16296-16301, 2000.

PRESSLY, Eric; HAWKER, Craig. Methods for fixing hair and skin. U.S. Patent Application n. 14/459,012, 12 ago. 2015.

RAMALHO, Valéria Cristina; JORGE, Neuza. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Química nova*, p. 755-760, 2006.

ROBBINS, Clarence R. *Chemical and physical behavior of human hair*. Berlin: Springer, 2002.

ROSA, Eliane Cristina; NATALI, Maria Raquel Marçal. Vitiligo: um problema que não pode passar em branco. *Saúde e Pesquisa*, v. 2, n. 1, p. 119-126, 2009.

SANTOS, Jaelson Silva *et al.* Proposta de experimento didático utilizando a análise por injeção em fluxo com detecção espectrofotométrica para determinação de peróxido de hidrogênio. 2015.

SANTOS, Jordana Dias dos. Caracterização de fios de cabelo antes e após tratamentos químicos e físicos por espectroscopias Raman e no infravermelho e microscopia eletrônica. 2017. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Juiz de Fora Juiz de Fora. 2018.

SCHINDLER, D. W. Carbon, nitrogen, and phosphorus and the eutrophication of freshwater lakes 1. *Journal of Phycology*, v. 7, n. 4, p. 321-329, 1971.

SIGMA-ALDRICH BRASIL LTDA. Ficha Técnica do Produto Hydrogen peroxide solution. [Ficha Técnica]. São Paulo, 2011.

SIGMA-ALDRICH BRASIL LTDA. Ficha Técnica do Produto Persulfato de Amônio 98+% Reagente ACS. [Ficha Técnica]. São Paulo, 2011.

SIGMA-ALDRICH. FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA. Hydrogen peroxide solution; Labsynth. FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS. Nome do Produto: PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO 50%; Merck. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ. Peróxido de hidrogênio 35%.

SIGMA-ALDRICH. FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA. Persulfato de amônio 98+% reagente ACS; Labsynth. Ficha de informações de segurança de produtos químicos. Nome do Produto: Persulfato de amônio; Brisco. FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO PRODUTO: PERSULFATO DE AMÔNIO. Disponível em: <https://www.brisco.com.br/fispq/persulfato-de-amonio.pdf>. Acesso em: 20.mai.2023.

SILVA, André Luiz Afonso Medice. Retenção de fragrâncias em cabelos Caucasianos virgens e descoloridos. Tese de Doutorado. 2015.

SYMANZIK, Cara et al. Bleaching powders, bleaching creams and other hair lightening preparations as sources for (airborne) allergic contact dermatitis and other health effects in hairdressers: Results of an empirical study. *Contact Dermatitis*, v. 88, n. 2, p. 139-144, 2023.

SMITH, R. A. W. et al. Mechanistic insights into the bleaching of melanin by alkaline hydrogen peroxide. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 108, p. 110-117, 2017.

SNYDER, Carl H. The extraordinary chemistry of ordinary things. (No Title), 1995.

SOUZA, F.; GUTTERRES, M. Hidrólise de queratina de pelos bovinos. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1.

SWIFT, J. A.; HOLMES, A. W. Degradation of human hair by papain: Part III: Some electron microscope observations. *Textile Research Journal*, v. 35, n. 11, p. 1014-1019, 1965.

SYMANZIK, Cara et al. Bleaching powders, bleaching creams and other hair lightening preparations as sources for (airborne) allergic contact dermatitis and other health effects in hairdressers: Results of an empirical study. *Contact Dermatitis*, v. 88, n. 2, p. 139-144, 2023.

TAIRUM, Carlos A. et al. Catalytic Thr or Ser residue modulates structural switches in 2-Cys peroxiredoxin by distinct mechanisms. *Scientific reports*, v. 6, n. 1, p. 33133, 2016.

VELASCO, Maria Valéria Robles et al. Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian Journal of pharmaceutical sciences*, v. 45, p. 153-162, 2009.

WAGNER, Rita de Cássia Comis et al. A estrutura da medula e sua influência nas propriedades mecânicas e de cor do cabelo. 2006. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Instituto de Química, UNICAMP.

WANKENNE, M. A. Os tipos e os efeitos da rancidez oxidativa em alimentos. *Food Ingredients Brasil*, v. 29, p. 38-45, 2014.

WOLFRAM, Leszek J.; HALL, K.; HUI, I. The mechanism of hair bleaching. *J. Soc. Cosmet. Chem*, v. 21, n. 13, p. 875-900, 1969.