



ESTUDO DE CASO: QUÍMICA CAPILAR, AVALIAÇÃO POR MICROSCOPIA ÓPTICA E INFRAVERMELHO EM PROCEDIMENTOS DE DESCOLORAÇÃO

Ana C. L. C. Vicente¹

Aloir A. Merlo²

^{1 e 2} Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ana.longoni@ufrgs.br

Palavras-Chave: Descoloração capilar, Espectroscopia FTIR, Microscopia de luz polarizada

Introdução

O mercado global de cosméticos capilares movimenta dezenas de bilhões de dólares anualmente e apresenta resiliência contínua frente a cenários de retração econômica, impulsionado pelo papel central que os cabelos exercem na identidade, autoestima e proteção biológica do couro cabeludo ^{1,5}. Contudo, a busca por transformações estéticas especialmente alterações de cor por processos de descoloração e tintura envolve reações químicas oxidativas severas que modificam a arquitetura molecular e a morfologia das fibras capilares ^{2,3,6}. A quebra de pontes dissulfeto, a degradação proteica e a lixiviação de aminoácidos estruturais fragilizam a cutícula e o córtex, comprometendo as propriedades mecânicas e a integridade do fio ^{8,12}.

Nesse contexto, o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias protetoras, como os aditivos multifuncionais comercialmente denominados *plex*, surgiram para mitigar a degradação macromolecular durante procedimentos alcalinos e oxidantes. Paralelamente, a concentração de peróxido de hidrogênio (volumagem da água oxigenada) empregada modula diretamente a cinética de oxidação da melanina e a consequente extensão dos danos colaterais à queratina ^{12,13}. Apesar da ampla disseminação comercial dessas formulações, a literatura ainda demanda elucidar análises detalhadas que correlacionem as alterações conformacionais da queratina e as discontinuidades morfológicas com a eficácia real dos agentes protetores sob diferentes condições de oxidação.

A relevância deste estudo fundamenta-se na necessidade de fornecer embasamento científico à prática cosmética, promovendo o desenvolvimento de protocolos mais seguros que minimizem riscos de corte químico, fragilização excessiva e reações adversas associadas ao uso empírico de reagentes ^{8,12}. A aplicação de ferramentas físico-químicas consolidadas, como a espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e a microscopia de luz polarizada, permite rastrear com precisão as modificações químicas nos grupamentos funcionais da fibra e o grau de birrefringência/organização microestrutural decorrentes do estresse oxidativo.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral investigar as transformações químicas e morfológicas em fibras capilares submetidas a processos de descoloração, avaliando



o efeito protetor de formulações do tipo *plex* e a influência da volumagem de peróxido de hidrogênio empregada. Como objetivos específicos, busca-se: (a) caracterizar as alterações nos grupamentos químicos estruturais da queratina por meio de espectroscopia no infravermelho (FTIR); (b) avaliar as modificações morfológicas e a birrefringência das fibras antes e após a oxidação via microscopia de luz polarizada; e (c) correlacionar os parâmetros reacionais com a preservação da integridade do córtex e cutícula capilar.

Material e Métodos

O estudo adotou uma abordagem quantitativa experimental para avaliar a degradação oxidativa e o efeito protetor de aditivos *plex* em fibras capilares. Foram selecionadas nove amostras de mechas de cabelo humano (A1 a A9) abrangendo diferentes históricos: naturais, coloridos, descoloridos e quimicamente transformados por alisamentos (progressivas e definitivas). O estado inicial de cada fibra sem tratamento prévio de bancada foi padronizado como S0.

Os ensaios de descoloração foram conduzidos variando-se sistematicamente o tempo de exposição — S1 (30 min), S2 (60 min) e S3 (120 min) —, a concentração do oxidante em peróxido de hidrogênio H_2O_2 nas volumagens V10, V20, V30 e V40, a formulação comercial do pó descolorante e a adição de agente protetor (*plex*). A amostra A1 foi avaliada no intervalo S1 sob a influência de dois pós descolorantes distintos na presença e ausência de *plex*. A amostra A2 foi submetida a um planejamento experimental cruzando os três tempos reacionais (S1, S2 e S3) com as quatro volumagens oxidantes (V10 a V40). As amostras A3 a A9 foram empregadas no estado inicial ou submetidas ao tratamento padrão S1.

A integridade morfológica e a orientação supramolecular dos microfilamentos de queratina (cutícula, córtex e medula) foram investigadas por Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP), monitorando-se a perda de birrefringência induzida pela oxidação. As alterações conformacionais nos grupamentos funcionais da queratina e a quebra de ligações químicas estruturais foram analisadas por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) em espectrômetro Nicolet 6700 (Thermo Scientific), operando com 32 varreduras e resolução espectral de 4 cm^{-1} . Foram analisadas por FTIR as mechas virgens e processadas (séries A1, A2 e A3), além dos padrões espectroscópicos dos aminoácidos valina, prolina, isoleucina e alanina para fins de correlação e identificação molecular. A seguir na figura 1 encontra-se o esquema metodológico.

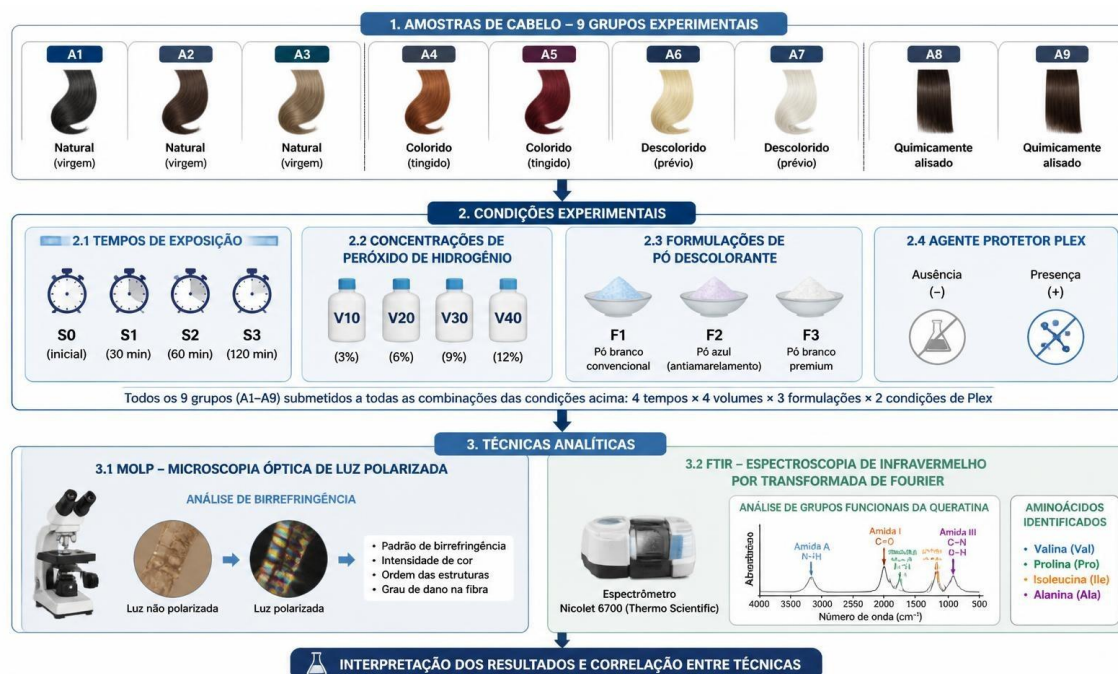


Figura 1: Representação esquemática da metodologia experimental empregada para avaliar a degradação oxidativa e o efeito protetor de aditivos *plex* em fibras capilares. Foram analisadas nove amostras de cabelo humano (A1–A9), com diferentes históricos, submetidas a diferentes condições de descoloração, variando tempo de exposição (S1–S3), volumagem de H_2O_2 (V10–V40), formulação do pó descolorante e presença de *plex*. As alterações morfológicas e supramoleculares foram avaliadas por Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP), enquanto as modificações químicas e conformacionais da queratina foram investigadas por FTIR, incluindo a análise de padrões de aminoácidos para correlação molecular.

Resultados e Discussão

Avaliação Morfológica e Estrutural por MOLP

A Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP) permitiu monitorar a integridade cuticular e o ordenamento dos microfilamentos de queratina no córtex (birrefringência) em função da concentração oxidante e da ação de sistemas protetores (*plex*).

A amostra tratada previamente por alisamento (A1S0) exibiu desgaste cuticular inicial e baixa birrefringência. Após descoloração com H_2O_2 a 20 volumes por 30 min (S1), as fibras processadas (A1S1-1, A1S1-2 e A1S1-3) demonstraram redução adicional na birrefringência. Contudo, o uso de pó descolorante com tecnologia Fibre Plex (A1S1-1) atenuou a degradação cuticular em relação aos tratamentos sem aditivação integrada (A1S1-2 e A1S1-3).



Figura 2: Registro fotográfico e micrografias obtidas por Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP) das fibras capilares da série A1 no estado inicial (A1s0) e após 30 min de descoloração com H_2O_2 a 20 volumes: sob tecnologia Fibre Plex (A1s1-1), com Hacker Protection (A1s1-2) e sem sistema de proteção (A1s1-3). Os encartes microscópicos ilustram o perfil de integridade da camada cuticular e o grau de birrefringência/orientação macromolecular dos microfilamentos de queratina no córtex para cada condição avaliada.

Na série A2 (cabelo colorido, tom 7/8), inicialmente íntegra e com intensa birrefringência (A2s0), a variação sistemática de tempo e volumagem de oxidante revelou diferentes regimes de degradação:

- **Tempo S1 (30 min):** O fundo de clareamento foi equivalente entre as volumagens, porém com decréscimo progressivo da birrefringência de V10 a V40; a condição com 20 volumes (A2S1V20) apresentou o melhor equilíbrio entre nível de clareamento e preservação superficial.



Figura 3: Registro fotográfico macroscópico e micrografias de Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP) das fibras capilares da série A2 no estado inicial (A2s0) e após

descoloração por 30 minutos (tempo S1) utilizando peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações: 10 volumes (A2s1v10), 20 volumes (A2s1v20), 30 volumes (A2s1v30) e 40 volumes (A2s1v40). Os encartes microscópicos destacam a evolução do desgaste cuticular e a redução progressiva da birrefringência cortical em função do aumento do potencial oxidante.

- **Tempo S2 (60 min):** O aumento do tempo de exposição provocou erosão acentuada nas escamas cuticulares e queda uniforme na birrefringência cortical.



Figura 4: Registro fotográfico e micrografias de Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP) das fibras capilares da série A2 no estado inicial (A2s0) e após descoloração por 60 minutos (tempo S2) utilizando H_2O_2 em diferentes volumagens: 10 volumes (A2s2v10), 20 volumes (A2s2v20), 30 volumes (A2s2v30) e 40 volumes (A2s2v40). Os encartes microscópicos ilustram a erosão acentuada do relevo cuticular e a redução generalizada da birrefringência cortical induzida pelo estresse oxidativo prolongado.]

- **Tempo S3 (120 min):** A extensão severa do processo oxidativo resultou na degradação crítica da fibra capilar, com supressão completa da birrefringência na amostra submetida a 40 volumes (A2S3V40), evidenciando o colapso da anisotropia óptica e a clivagem massiva das ligações dissulfeto da queratina.



Figura 5: Registro fotográfico macroscópico e micrografias obtidas por Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP) das fibras capilares da série A2 no estado inicial (A2s0) e após descoloração severa por 120 minutos (tempo S3) sob diferentes concentrações oxidantes: 10 volumes (A2s3v10), 20 volumes (A2s3v20), 30 volumes (A2s3v30) e 40 volumes (A2s3v40). Os encartes microscópicos evidenciam a desestruturação crítica da fibra capilar e a supressão progressiva da birrefringência cortical, culminando na perda total da anisotropia óptica e degradação massiva na condição de 40 volumes.

Na amostra A3 (colorida, tom 7), o protocolo oxidativo em 20 volumes confirmou a ação protetora: a fibra tratada com Fibre Plex (A3S1-1) conservou birrefringência expressivamente maior e relevo cuticular superior às condições A3S1-2 (Hacker Protection) e A3S1-3 (sem proteção), as quais manifestaram opacidade óptica pronunciada e dispersão irregular sob luz polarizada.





Figura 6: Registro fotográfico e micrografias de Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP) das fibras capilares da série A3 no estado inicial (A3s0) e após 30 min de descoloração com H_2O_2 a 20 volumes: sob sistema Fibre Plex (A3s1-1), com Hacker Protection (A3s1-2) e sem aditivo de proteção (A3s1-3). Os encartes microscópicos evidenciam a conservação superior do relevo cuticular e da birrefringência cortical na condição protegida por Fibre Plex frente à opacidade e desorganização dos microfilamentos nas demais formulações.

Análise Molecular por Espectroscopia FTIR

Os espectros de FTIR das séries A1 e A3 (estados S0 e tratamentos S1-1 a S1-3) mantiveram os perfis característicos das bandas peptídicas fundamentais da queratina capilar: Amida A (3300 cm^{-1}), Amida I (1650 cm^{-1} , estiramento $\text{C}=\text{O}$), Amida II (1540 cm^{-1} , deformação N-H) e Amida III (1240 cm^{-1}). A preservação do envelope espectral global indica que o esqueleto da cadeia polipeptídica permanece estável nas condições avaliadas, concentrando-se os danos oxidativos em clivagens de pontes cistínicas superficiais e transições conformacionais detectáveis com maior sensibilidade óptica pela MOLP.

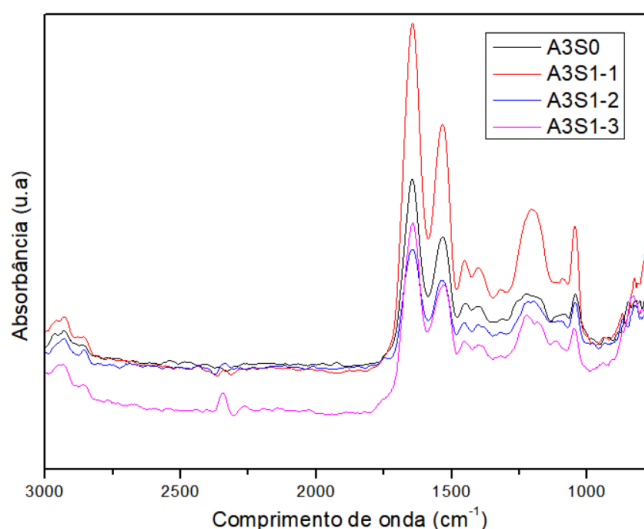


Figura 7: Espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) das fibras capilares da série A3 no estado inicial (A3S0) e após descoloração por 30 minutos sob diferentes condições de proteção: com Fibre Plex (A3S1-1), com Hacker Protection (A3S1-2) e sem agente protetor (A3S1-3). Observa-se a conservação das bandas amídicas características da queratina: Amida I (1650 cm^{-1}), Amida II (1540 cm^{-1}) e Amida III (1240 cm^{-1}).

Conclusões



Este estudo demonstrou a sensibilidade e eficácia da microscopia óptica de luz polarizada (MOLP) e da espectroscopia FTIR no rastreamento das alterações morfológicas e moleculares induzidas por processos oxidativos em fibras capilares. Os ensaios revelaram que a cinética de degradação é fortemente modulada pelo tempo de contato e pela volumagem do peróxido de hidrogênio, culminando na perda total da birrefringência cortical e em severa erosão cuticular sob a condição extrema avaliada (120 min, 40 volumes). Os espectros de FTIR indicaram a conservação das bandas amídicas fundamentais da queratina (Amidas I, II e III), evidenciando que a degradação sob condições moderadas concentra-se na clivagem de pontes dissulfeto e na desordem conformacional secundária/terciária, sem destruição massiva do esqueleto polipeptídico. Por fim, o emprego de sistemas protetores do tipo *plex*, com destaque para o *Fibre Plex*, comprovou sua viabilidade técnica na mitigação do estresse oxidativo, promovendo preservação superior do relevo cuticular e retenção da anisotropia óptica da queratina frente aos procedimentos convencionais sem proteção.

Agradecimentos

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

Referências:

1. RATHI, S. K.; D'SOUZA, P. Shampoo and conditioners: What a dermatologist should know? Indian Journal of Dermatology, v. 60, n. 3, p. 248, 2015.
2. HALAL, John. Tricologia e a química cosmética capilar. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 304 p.
3. ROBBINS, C. R. Chemical and physical behavior of Human Hair. 5th ed. New York: Springer, 2012.
4. VICENTE, Evelyn Daniele Bergamo. Estética capilar. UNIASSELVI, 2017.
5. Vendas de HPPC crescem 4,7% em 2020 e totalizam R\$ 122,4 bilhões. Disponível em: <<https://abihpec.org.br/vendas-de-hppc-crescem-47-em-2020-e-totalizam-r-1224-bilhoes/>>.
6. Números mostram a pujança dos negócios de beleza - Sebrae. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/numeros-mostram-a-pujanca-dos-negocios-de-beleza,dc88327896a76810VgnVCM1000001b00320aRCRD>>. Acesso em: 26 dez. 2023.
7. MORIN, Edgar. Cultura de Massas no século XX. volume 1. Neurose, . editora Forense Universitária. Rio de Janeiro: 1997
8. MANNING, J. The Sociology of Hair: Hair Symbolism Among College Students, Social Sciences Journal, v. 9, p. 35-48, 2011.
9. BANKHEAD, T.; JOHNSON, T. Self-Esteem, Hair-Esteem and Black Women with Natural Hair. International Journal of Education and Social Science. v. 1, n. 4, p; 92-102, 2014.
10. SILVA, B. G. F.; FARIAS, S. A. DE; SOUSA JÚNIOR, J. H. DE. O significado do sacrifício nos rituais de alisamento capilar e autoimagem feminina. Revista de Ciências da Administração, v. 22, n. 58, p. 8–21, 2021.
11. Popescu C, Gummer C. DSC of human hair: a tool for claim support or incorrect data analysis? Int J Cosmet Sci. 2016 Oct;38(5):433-9. doi: 10.1111/ics.12306. Epub 2016 Feb 15. PMID: 26780578.



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