



Nathália Ferro de Oliveira

**Flexabrasão aplicada à avaliação da fotodegradação de
fibras capilares**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Metrologia.

Orientadores: Prof. Elisabeth Costa Monteiro
Prof. Elcio Cruz de Oliveira

Rio de Janeiro
outubro de 2018



Nathália Ferro de Oliveira

Flexabração aplicada à avaliação da fotodegradação de fibras capilares

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Elisabeth Costa Monteiro

Orientador

Programa de Pós-graduação em Metrologia - PUC-Rio

Prof. Elcio Cruz de Oliveira

Co-orientador

Programa de Pós-graduação em Metrologia - PUC-Rio

Fabiana Servantes Munhoz

L'Oréal Brasil

Prof. Daniel Ramos Louzada

Programa de Pós-graduação em Metrologia - PUC -Rio

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa

Programa de Pós-graduação em Metrologia - PUC -Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 17 de outubro de 2018

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Nathália Ferro de Oliveira

Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, especializou-se em caracterização de fibras de cabelo. Hoje atua como coordenadora do laboratório de Avaliação Instrumental capilar do Centro de Pesquisa e Inovação da L'Oréal no Brasil.

Ficha Catalográfica

Oliveira, Nathália Ferro de

Flexabrasão aplicada à avaliação da fotodegradação de fibras capilares / Nathália Ferro de Oliveira ; orientadores: Prof. Elisabeth Costa Monteiro, Prof. Elcio Cruz de Oliveira. – Rio de Janeiro: PUC, Programa de Pós-graduação em Metrologia, 2018.

154 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia, 2018.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Programa de Pós-graduação em Metrologia – Teses. 3. Cabelo. 4. Radiação solar. 5. Fotoproteção. 6. Propriedades mecânicas. 7. Flexabrasão. I. Monteiro, Elisabeth Costa. II. Oliveira, Elcio Cruz de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. IV. Título.

CDD: 389.1

À minha família,
que me inspirou a SER, de maneiras impensadas:

Ao meu pai, pela paixão pelos números.
À minha mãe, pela gestão da complexidade.
Ao meu avô Bilu, por suas criações.
Ao meu avô Nadir, pelos desenhos e palavras cruzadas.
Ao meu irmão Filippe, pela paixão precoce por ferramentas e ciência.

SOMOS.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus orientadores Beth e Elcio, que embarcaram comigo no mundo da ciência capilar, me ensinando, motivando e guiando.

Às minhas companheiras de trabalho e de vida Maria, Angela e Daiane, que tiveram papel fundamental no desenvolvimento do projeto, tanto no aspecto científico, quanto no aspecto emocional.

Aos meus parceiros Anthony e Rima, por desenharem e conduzirem comigo este projeto com tanta harmonia, apesar de continentes diferentes.

À L'Oréal, pelo incentivo ao meu aperfeiçoamento como pesquisadora.

À todo o corpo docente do Departamento de Metrologia da PUC-Rio, por compartilharem seus conhecimentos tão ricos e por abrirem meus olhos para uma nova maneira de pensar.

À CAPES, pela ajuda financeira essencial nesta jornada.

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

Resumo

Ferro de Oliveira, Nathália; Costa Monteiro, Elisabeth (orientador); Cruz de Oliveira, Elcio (co-orientador). **Flexabrasão aplicada à avaliação da fotodegradação de fibras capilares.** Rio de Janeiro, 2018. 154p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A irradiação solar é vista como uma importante fonte de dano aos cabelos, contudo, medir instrumentalmente as consequências da sua interação com os diferentes constituintes da fibra capilar ainda é um desafio. Neste trabalho, investigou-se o potencial da metodologia de flexabrasão em medir as alterações nas propriedades mecânicas de fibras de cabelo decorrentes dos danos estruturais ocasionados pelas radiações solares. Para isto, desenvolveu-se um experimento in-vitro, no qual amostras de cabelo humano, simulando diferentes níveis de sensibilização química (natural, descolorido, colorido e alisado com formaldeído), foram submetidas a diferentes níveis de radiação emitida por uma lâmpada de xenônio. Após análise estatística dos dados obtidos, observou-se que a metodologia de flexabrasão é capaz de captar a influência da radiação solar na resistência mecânica de fibras de cabelo, sobretudo em cabelos naturais a partir de 60 horas de exposição à lâmpada de xenônio, o que equivale aproximadamente a 5 meses de exposição solar na cidade do Rio de Janeiro, para pessoas que ficam diretamente expostas ao sol por cerca de 1,5 h por dia. Desta forma, concluiu-se que a flexabrasão é uma possível metodologia para avaliação do fator de proteção solar oferecido por produtos cosméticos capilares.

Palavras-chave

Metrologia, cabelo; radiação solar; fotoproteção; propriedades mecânicas; fibras; flexabrasão

Abstract

Ferro de Oliveira, Nathália; Costa Monteiro, Elisabeth (advisor); Cruz de Oliveira, Elcio (co-advisor). **Flexabrasion applied to the evaluation of the photodegradation of hair fibers.** Rio de Janeiro, 2018. 154p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Solar radiation is an important source of damage to hair fibers. However, it is still a huge challenge to instrumentally measure the consequences of its interaction with the fibers constituents. In this work, the flexabrasion methodology has been investigated as a potential tool to quantify the alterations on hair mechanical properties due to structural damages caused by solar radiation. For that, an in-vitro experiment has been developed, in which human hair samples, simulating different levels of chemical sensitization (natural, bleached, dyed and straightened with formaldehyde), were submitted to different levels of radiation from a xenon lamp source. Statistical analysis of the data obtained with the methodology showed that it is able to capture the influence of solar radiation on hair mechanical resistance, especially when using natural fibers from 60 hours of exposure onwards, what would be equivalent to around 5 months of real solar exposure at Rio de Janeiro, on people that are directly exposed to the sun during 1,5 h per day. Thus, one can conclude that flexabrasion is a methodology option to evaluate the photo protection efficacy offered by hair care products.

Keywords

Metrology, hair; solar radiation; photo protection; mechanical properties; fibers; flexabrasion

Sumário

1 Introdução	17
1.1. Objetivos	24
1.1.1. Objetivo geral	24
1.1.2. Objetivos específicos	24
2 Propriedades de fibras capilares	25
2.1. A estrutura da fibra capilar	26
2.1.1. A cutícula	27
2.1.2. O córtex	28
2.1.3. A medula	30
2.1.4. O complexo da membrana celular (CMC)	31
2.2. Melanina	32
2.3. A curvatura dos cabelos	32
2.4. O efeito dos tratamentos de transformação química	34
2.4.1. Descoloração	34
2.4.2. Coloração de oxidação	34
2.4.3. Alisamento com formaldeído	35
2.5. O efeito da exposição à radiação solar	35
3 O cenário climatológico brasileiro	38
3.1. O espectro de radiação solar	38
3.2. Dados climatológicos para diferentes regiões do território brasileiro	40
3.2.1. Tempo de insolação	41
3.2.2. Dose de radiação solar	42
4 Materiais e Métodos	48
4.1. Preparação de mechas de cabelo	48
4.2. Simulação de exposição solar	50
4.2.1. Equipamento para simulação da irradiação do sol	50
4.2.2. Correlação entre tempo de irradiação na cidade do rio de janeiro e	

tempo de irradiação pela lâmpada de xenônio do equipamento ci3000	51
4.3. Ensaio instrumental	56
4.3.1. Amostras para flexabrasão	56
4.3.2. Ensaio de flexabrasão	57
4.4. Tratamento de dados	58
4.4.1. Análise exploratória	58
4.4.2. Teste de normalidade: Shapiro-Wilk	59
4.4.3. Análise não paramétrica Kruskal-Wallis	60
4.4.4. Análise não paramétrica Mann-Whitney	61
 5 Resultados e discussão	 63
5.1. O efeito dos tratamentos químicos	77
5.2. A resistência das fibras em função do tempo de exposição	79
5.3. Correlação entre 60 h de exposição à lâmpada de xenônio com a exposição à radiação solar	86
 6 Conclusão	 88
6.1. Sugestões de trabalhos futuros	90
 7 Referências	 91

Lista de figuras

Figura 1. Fadiga por flexão ao longo de um pino.	20
Figura 2. Bandas de deformação formadas no lado côncavo de uma fibra de cabelo flexionada.	21
Figura 3. Ilustração das forças exercidas em uma amostra de fibra de cabelo durante o ensaio de flexabrasão.	22
Figura 4. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de cabelos embaraçados.	23
Figura 5. As ligações químicas que ocorrem dentro da estrutura celular de um cabelo.	26
Figura 6. A estrutura do tronco capilar.	27
Figura 7. Esquema da estrutura interna dos cabelos.	30
Figura 8. Ilustração da seção longitudinal de fibras de cabelo sem medula, com medula contínua e com medula interrupta.	31
Figura 9. Imagem de microscopia eletrônica de transmissão da região cuticular da seção transversal de uma fibra de cabelo humano.	31
Figura 10. Repartição dos cabelos de diferentes origens entre os 8 graus de curvatura.	33
Figura 11. Espectro de radiação solar.	39
Figura 12. Gráfico da intensidade de radiação do sol em função do comprimento de onda da radiação.	39
Figura 13. Tempo de insolação mensal registrado em 2015 para diferentes latitudes do território brasileiro.	42
Figura 14. Dose de radiação solar no ano de 2015 para diferentes latitudes do território brasileiro.	45
Figura 15. Ilustração do posicionamento da Terra em relação aos raios solares durante o solstício de verão no hemisfério sul.	45
Figura 16. Mecha de cabelo utilizada no estudo.	48
Figura 17. Espectro relativo do sol comparado com fontes luminosas artificiais.	50

Figura 18. Mecha de cabelo plana utilizada para simulação de exposição solar.	51
Figura 19. Intensidade de radiação (irradiância) normal direta e intensidade de radiação hemisférica em função dos diferentes comprimentos de onda do espectro solar.	52
Figura 20. Ilustração de amostra utilizada para ensaio de flexabrasão.	56
Figura 21. Imagem do equipamento Fibrestress.	57
Figura 22. Fibras capilares esticadas pela força peso de uma massa de 20 g durante o ensaio de flexabrasão	57
Figura 23. Diagrama de caixas.	59
Figura 24. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo natural sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.	63
Figura 25. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo descolorido sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.	64
Figura 26. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo colorido sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.	65
Figura 27. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo alisado sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.	65
Figura 28. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo natural (NA). Valores aberrantes são indicados como pontos individuais.	68
Figura 29. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo descolorido (DE).	68
Figura 30. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo colorido (CO).	69
Figura 31. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo alisado (AL). Valores aberrantes são indicados como pontos individuais.	69
Figura 32. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo natural submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h.	72
Figura 33. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo descolorido submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h.	73

Figura 34. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo colorido submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h. 74

Figura 35. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo alisado submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h. 75

Figura 36. Número de ciclos em função do tempo de exposição à lâmpada de arco de xenônio para as amostras correspondentes ao cabelo natural (NA), descolorido (DE), colorido (CO) e alisado (AL). 77

Figura 37. Regressão linear dos dados obtidos para o grupo de cabelo natural. 79

Figura 38. Regressão linear dos dados obtidos para os grupos de cabelo descolorido e colorido. 80

Figura 39. Regressão linear dos dados obtidos para o grupo de cabelo alisado. 80

Lista de tabelas

Tabela 1. Tempo de insolação diária média e tempo de insolação mensal medidos para cada mês de 2015.	41
Tabela 2. Intensidade de radiação média para cada mês de 2015, levando-se em consideração a janela de comprimento de onda de 300 a 3000 nanômetros.	43
Tabela 3. Dose de radiação solar calculada para cada mês de 2015, levando-se em consideração a janela de comprimento de onda de 300 a 3000 nanômetros.	44
Tabela 4. Dados climatológicos da cidade do Rio de Janeiro em 2015. Incerteza de medição dos valores de média mensal de máxima temperatura e média mensal de máxima umidade relativa do ar foram calculados considerando fator de abrangência 2 e nível de significância 95,45 %.	46
Tabela 5. Relação entre a intensidade de radiação obtida entre a faixa de comprimentos de onda de 300 nm a 3000 nm e a faixa de comprimentos de onda de 300 nm a 400 nm.	53
Tabela 6. Valores de intensidade de radiação, dose de radiação e tempo de exposição considerando a cidade do Rio de Janeiro.	55
Tabela 7. P-valor encontrado para cada amostra a partir do teste de normalidade Shapiro-Wilk com nível de significância de 5 %.	66
Tabela 8. Estatística descritiva do Intervalo interquartil (IIQ) das amostras analisadas pelo método de flexabrasão.	67
Tabela 9. Estatística descritiva das amostras analisadas pelo método de flexabrasão.	71
Tabela 10. P-valor encontrado para cada amostra a partir do teste de normalidade Shapiro-Wilk com nível de significância de 5 %.	76
Tabela 11. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes níveis de sensibilização estudados, antes da exposição à radiação.	78
Tabela 12. Coeficiente angular e coeficiente de determinação obtidos por meio da regressão linear dos dados de flexabrasão.	81

Tabela 13. Resumo da análise estatística de Mann-Whitney comparando as amostras referentes a cada tempo de exposição com as amostras não expostas à lâmpada de xenônio.	82
Tabela 14. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo natural.	83
Tabela 15. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo descolorido.	84
Tabela 16. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo colorido.	84
Tabela 17. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo alisado.	85

Lista de quadros

Quadro 1. Preparação das mechas com diferentes níveis de sensibilização antes da exposição à lâmpada de xenônio.

49

Siglas e abreviaturas

AL - Cabelo Alisado - Mechas de cabelo que passaram por processo de alisamento com formaldeído.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CMC - Complexo da Membrana Celular.

CO - Cabelo Colorido - Mechas de cabelo que passaram por processo de coloração contendo hidróxido de amônia e peróxido de hidrogênio.

CONAR - Conselho Nacional de Autorregulamentação Publicitária.

DE - Cabelo Descolorido - Mechas de cabelo que passaram por processo de descoloração contendo peróxido de hidrogênio.

DRX - Difração de Raio-X.

DSC - *Differential Scanning Calorimetry*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IIQ - Intervalo Interquartil.

IR - Radiação Infravermelha.

ISSO - *International Organization for Standardization*

NA - Cabelo Natural - Mechas de cabelo que não passaram por nenhum procedimento de transformação química

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada.

UV - Radiação Ultravioleta.

UVA - Radiação Ultravioleta para a faixa de comprimento de ondas entre 315 nm e 400 nm.

UVB - Radiação Ultravioleta para a faixa de comprimento de ondas entre 280 nm e 315 nm.

UVC - Radiação Ultravioleta para a faixa de comprimento de ondas entre 100 nm e 280 nm.

VIS - Radiação Visível.

1 Introdução

São muitas as características que os cabelos podem apresentar variando de um indivíduo para o outro. A genética dita o aspecto estrutural e morfológico da fibra. Por outro lado, hábitos diversos e condições ambientais específicas, levam a diferentes rotinas de cuidado e preparo, além de diferentes níveis de exposição à poluição, umidade, químicos e radiações, influenciando tanto a integridade, quanto a percepção sensorial (tátil e visual) dos fios.

O zelo com a beleza é um hábito cultural brasileiro. Em 2017, o mercado representou 6,9 % do consumo mundial de produtos para higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, colocando o país em quarto lugar na lista dos maiores consumidores da categoria [1]. Os cabelos atraem atenção especial de consumidores cada vez mais exigentes e que, suportados pela internet, se unem em grupos para discussão de desempenho e resenhas. Tal fato acelera ainda mais o mercado dinâmico do mundo dos cosméticos.

No Brasil, a regulamentação de produtos cosméticos é feita pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que é uma autarquia sob regime especial, criada pela lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999, e que tem sede e foro no Distrito Federal, mas está presente em todo o território nacional por meio das coordenações de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegários [2].

A primeira vez em que a ANVISA fez menção à regulamentação de cosméticos em seus atos regulatórios, foi com a resolução nº 335, de 22 de julho de 1999 que estabelecia a reorganização do sistema de controle sanitário de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes. Esta resolução foi revogada em 2005 e atualmente tem-se em vigor a resolução da diretoria colegiada (RDC) nº 07, de 10 de fevereiro de 2015, que dispõe sobre os requisitos técnicos para a regularização de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e dá outras providências.

A RDC nº 07, de 2015, define a classificação de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes tendo como critério a probabilidade de ocorrência de efeitos não desejados devido à complexidade envolvida [3]:

- Produtos de Grau 1: São produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes que se caracterizam por possuírem propriedades básicas ou elementares, cuja comprovação não seja inicialmente necessária e não requeiram informações detalhadas quanto ao seu modo de usar e suas restrições de uso, devido às características intrínsecas do produto. São exemplos de produtos de Grau 1 os condicionadores, neutralizantes para alisantes e os produtos para fixar, modelar e/ou embelezar os cabelos;
- Produtos de Grau 2: São produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes que possuem indicações específicas, cujas características exigem comprovação de segurança e/ou eficácia, bem como informações e cuidados, modo e restrições de uso. São exemplos de produtos de Grau 2 os bloqueadores solares, os condicionadores anticaspa/antiqueda e as tinturas capilares temporárias.

De acordo com essa RDC nº 07, independente da classificação do produto, seu detentor deve obrigatoriamente possuir na empresa dados comprobatórios da eficácia do mesmo à disposição das autoridades, os quais deverão ser apresentados aos órgãos de vigilância sanitária sempre que solicitado. Por outro lado, não são indicadas recomendações quanto aos ensaios para prova de eficácia, com exceção dos protetores solares, que possuem atos normativos exclusivos desde a RDC nº 237, de 22 de agosto de 2002, que foi revogada pela RDC nº 30, de 1 de junho de 2012, hoje vigente.

Em complemento à regulamentação da ANVISA, o Código Brasileiro de Autorregulamentação Publicitária, emitido pelo Conselho Nacional de Autorregulamentação Publicitária (CONAR), indica que todo anúncio deve ser honesto e verdadeiro e que todas as descrições, alegações e comparações que se relacionem com fatos ou dados objetivos devem ser comprobatórios, cabendo aos anunciantes e agências fornecer as comprovações, quando solicitadas [4]. Desta forma, é fundamental que se possa comprovar a eficácia daquilo que se é reivindicado pelos produtos lançados, com uma metodologia adequada.

Dentre as muitas agressões às quais o cabelo brasileiro é submetido diariamente, as radiações solares representam um tipo de dano real ainda pouco conhecido e, portanto, pouco reivindicado pelos produtos lançados pelas empresas de cosméticos. Ao contrário da pele, onde os eritemas representam o efeito da exposição ao sol, os marcadores de dano solares nos cabelos ainda não são

estabelecidos, levando à dificuldade de se provar a eficácia de um produto com a finalidade de fotoproteção e consequentemente, sua regularização junto à ANVISA.

Existe no mundo, a tendência de o consumidor estar mais consciente dos efeitos danosos das agressões ambientais, tais como radiações e poluição. Primeiramente no segmento de pele e mais recentemente no segmento de cuidados com os cabelos, a busca por produtos que retardem o envelhecimento está se tornando cada vez mais relevante [5]. Portanto, a demanda por esta categoria de produto vem crescendo sem ser verdadeiramente atendida.

É possível encontrar muitos estudos na literatura que buscam entender o impacto das radiações nos diferentes constituintes da fibra capilar; no entanto, é comum que estes diversos estudos cheguem a diferentes constatações. Isto acontece devido a divergências no que diz respeito à preparação das amostras de cabelo, que usam fontes de irradiação, intensidades e tempos de exposição diferentes entre si. Por exemplo, em seu livro, Robbins afirma que a irradiação solar é capaz de degradar a camada de lipídeos 18-MEA na camada mais externa dos fios [6], mas um estudo de 2015 expôs mechas de cabelo à lâmpada de vapor de mercúrio por até 600 h e concluiu que a camada do lipídio 18-MEA não parece ser alterada ou removida devido a irradiação [7].

Outro estudo de 2001 [8] submeteu mechas de cabelo às radiações provenientes de lâmpadas ultravioletas durante 15 dias e constatou, a partir de um ensaio de tração, alterações significativas na tensão de ruptura e no módulo elástico das fibras após a exposição. Por outro lado, três anos mais tarde, outro estudo [9] utilizou de lâmpadas de vapor de mercúrio para irradiar mechas de cabelo e constatou que mesmo após 448 h (aproximadamente 19 dias) de exposição, não houve alteração significativa nestes mesmos parâmetros. Tal fato deixa bastante clara a influência da escolha das variáveis do estudo.

Observa-se também, que de maneira geral, existe pouca explicação em relação à escolha dessas variáveis e pouca preocupação em garantir que o estudo se correlacione com condições reais, às quais indivíduos estejam de fato susceptíveis. Outrossim, mais do que entender se há a degradação de determinados constituintes da fibra capilar, é indispensável investigar de que maneira este efeito pode ser perceptível pelos indivíduos. Só assim se tornará possível buscar soluções relevantes para consumidores finais.

Investigar as propriedades mecânicas de fibras de cabelo é uma boa maneira de estar perto da percepção do consumidor, visto que estas propriedades podem ser facilmente correlacionadas por meio do senso comum com o fato de o cabelo estar mais ou menos resistente ou quebradiço.

Alguns estudos apontam que fibras de cabelo se tornam menos resistentes às solicitações de tração como consequência da exposição solar. Por outro lado, é possível encontrar também, indícios de que a alteração neste tipo de propriedade é muito pequena, ou nula dependendo do desenho do estudo [10]. De fato, para que este tipo de alteração aconteça, é necessário que a região cortical dos cabelos seja afetada; visto que é ela quem dita a resistência à tração longitudinal das fibras, enquanto as cutículas, que recobrem o córtex e formam a superfície, parecem não influenciar de modo relevante esta propriedade [11].

Um estudo de 2006 [12] indica que, com a exposição solar, os aminoácidos das cutículas são mais danificados do que os do córtex devido às mais elevadas intensidades de radiação que chegam naquela região. Tal fato evidencia a ideia de que para se detectar mais efetivamente os efeitos das radiações solares nas propriedades mecânicas de fibras de cabelo, é fundamental utilizar-se de uma metodologia cujos dados obtidos sejam influenciados também pela região cuticular.

A metodologia de fadiga por flexão (*Flex fatigue*) é descrita na literatura como uma maneira eficaz de se medir a resistência à quebra de fibras [13] e é amplamente utilizada na indústria têxtil [14]. Durante este tipo de ensaio, uma seção da fibra é repetidamente flexionada a partir da indução do seu movimento para frente e para trás, em contato com um pino fixo e sob tensão suficiente para garantir que a fibra siga a curvatura do mesmo. A Figura 1 mostra uma ilustração desta metodologia.

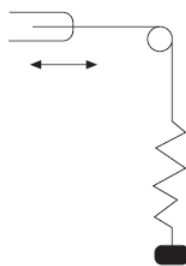


Figura 1. Fadiga por flexão ao longo de um pino. [13]

A alternância entre o formato esticado e flexionado enquanto a fibra se movimenta, perturba sua estrutura, levando a falhas mecânicas por diferentes mecanismos [13]. De início, nota-se que enquanto o lado convexo da fibra flexionada encontra-se tracionado, o lado côncavo encontra-se sob compressão, formando bandas de deformação (Figura 2). Estas propiciam a geração de trincas capazes de se propagarem pela fibra, ocasionando sua ruptura [13].

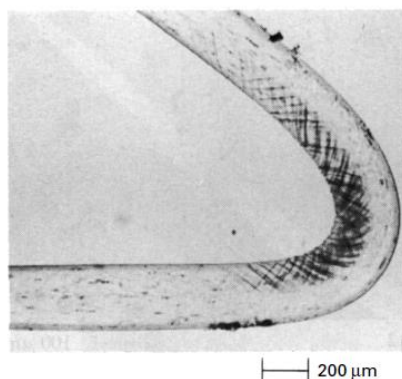


Figura 2. Bandas de deformação formadas no lado côncavo de uma fibra de cabelo flexionada. [13]

Ademais, a variação na curvatura resulta também em uma tensão de cisalhamento, levando a cisões axiais; e, em caso de pinos fixos, o atrito da superfície da fibra com o mesmo leva ao desgaste da superfície.

A primeira referência à utilização do método de fadiga por flexão no campo das pesquisas aplicadas a cosméticos data de 1995 [15], quando Leroy *et al.* adaptaram o conceito para medirem o tempo médio necessário para o rompimento de fibras de cabelo humano, com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes tratamentos de higiene pessoal. Este novo ensaio foi chamado de flexabrasão [16]. Mais tarde, observou-se utilizando este método, que o tempo necessário para a fratura de cabelos decresce em função da distância entre o segmento analisado e a raiz da fibra, visto que as pontas dos cabelos já foram mais desgastadas pelo tempo [12].

No ensaio de flexabrasão, a amostra de cabelo é atritada a um fio de aço inoxidável em movimentos cíclicos, para frente e para trás, de maneira a formar um ângulo que pode variar de 90° a 110° em torno do mesmo. Um peso pré-

determinado anexado a uma de suas extremidades garante a tração constante do fio, mantendo-o esticado, Figura 3.

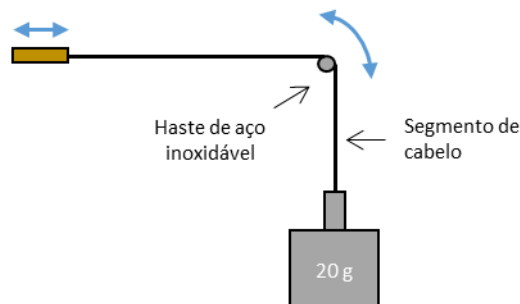


Figura 3. Ilustração das forças exercidas em uma amostra de fibra de cabelo durante o ensaio de flexabrasão [10 - adaptado].

A resistência é medida em função da grandeza tempo, que se relaciona ao número de ciclos necessários para que a amostra se rompa. Contadores digitais marcam o número de ciclos até o momento em que o rompimento da amostra é detectado por um sensor de massa, que aciona um interruptor eletromecânico [12].

Os estímulos variados garantem que tanto a integridade da superfície quanto a do interior da fibra influenciem o resultado. Os processos físicos induzidos pelo método de flexabrasão se assemelham àqueles sofridos naturalmente por fibras de cabelo durante cuidados pessoais, que levam à fratura da fibra e à formação de pontas duplas [16]. De fato, durante o ato de pentear cabelos embaraçados por exemplo, as fibras encontram-se emaranhadas umas entre as outras por meio de estreitas curvaturas (Figura 4). Sob a aplicação da força do pente, esta flexão vai se propagando ao longo do fio [16].

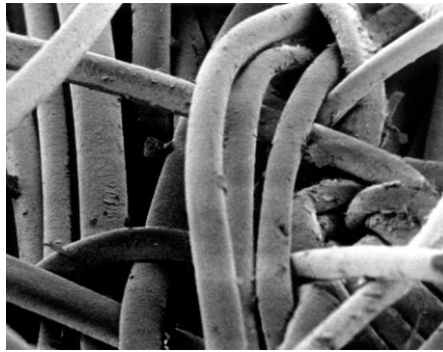


Figura 4. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de cabelos embaraçados. [16]

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Investigar o potencial da metodologia de flexabrasão na determinação do efeito da radiação solar na integridade de fibras de cabelo, a partir de análise in vitro sistemática, baseada em condições ambientais realistas, por meio de testes não paramétricos.

1.1.2. Objetivos específicos

- Discutir a importância da fotoproteção de fibras capilares;
- Realizar estudo das condições climatológicas diárias em diferentes regiões do Brasil ao longo de um ano: intensidade de irradiação solar, insolação, temperatura e umidade relativa do ar;
- Desenhar estudo in vitro que simule a realidade de indivíduos que expõem seus cabelos ao sol;
- Detalhar os testes não paramétricos que evidenciam qualitativamente e quantitativamente o impacto das diferentes doses de radiação nas propriedades das fibras capilares estudadas;
- Com base nos resultados obtidos, definir o conjunto de medições e a análise de dados mais apropriados para avaliar o desempenho de produtos para fotoproteção capilar;
- Proposição de metodologia para avaliação do desempenho de produtos destinados à fotoproteção capilar.

2 Propriedades de fibras capilares

Os cabelos são característicos de todos os mamíferos. Nos humanos, são vistos como uma extensão da beleza e até mesmo como indicador de status socioeconômico. Do ponto de vista biológico, eles desempenham interessantes funções de proteção, funcionando como isolantes térmicos e criando barreiras contra a radiação e a abrasão mecânica.

O fio de cabelo é um órgão elástico e sólido, composto por células mortas. Cada indivíduo pode conter entre 120000 e 150000 fios em sua cabeça, o que significa uma concentração de cerca de 250 fios por centímetro quadrado no escalpo [17]. Geralmente, os fios encontram-se implantados em grupos de 1 a 5 dentro do couro cabeludo em folículos pilosos que tomam uma posição ligeiramente oblíqua [17]. Eles crescem a uma velocidade aproximada de 1 centímetro por mês e possuem diâmetro que pode variar entre 50 μm e 100 μm [20].

Proteínas, lipídeos, melanina, água e traços de elementos minerais fazem parte da composição dos cabelos. O principal constituinte, a queratina (65-95 % da composição de uma fibra), é uma proteína fibrosa que é responsável pela solidez não só das fibras de cabelo, como também de unhas, chifres, garras, cascos e penas [11].

As queratinas são formadas por cadeias polipeptídicas de aminoácidos e são ricas em enxofre, formando pontes dissulfeto, que são ligações covalentes que formam uma rede tridimensional com alta densidade de ligações cruzadas, conferindo resistência química, coesão entre as células e boas propriedades mecânicas às fibras [18]. É sabido que para alterar o formato dos cabelos de maneira permanente, as ligações dissulfeto precisam ser quebradas.

Além disto, o cabelo é também rico em ligações salinas e de hidrogênio que ocorrem entre moléculas de cadeias vizinhas [19]. As primeiras, também chamadas de interações iônicas ou eletrostáticas, são muito mais fracas do que as ligações de enxofre e podem ser facilmente quebradas. Já as últimas, representam a maior fração das interações que ocorrem dentro do cabelo e podem se apresentar tanto em cadeias de proteínas adjacentes, como também dentro da cadeia polipeptídica. As

ligações de hidrogênio podem ser facilmente quebradas pela presença de água, ácidos e bases. A Figura 5 apresenta um esquema com as diferentes interações encontradas na estrutura celular de um fio de cabelo.

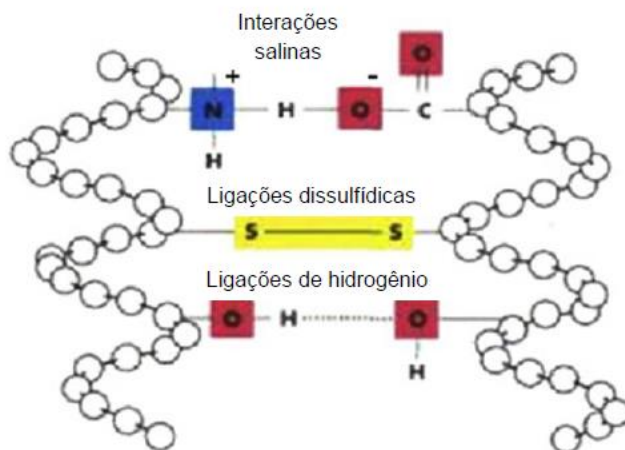


Figura 5. As ligações químicas que ocorrem dentro da estrutura celular de um cabelo. [19]

A cisteína desempenha um importante papel dentre os demais aminoácidos codificados pelo código genético [20]. Isto porque é rica em enxofre e quando é exposta ao ar sob certas condições fisiológicas, sofre oxidação formando a cistina, composta por duas cisteínas unidas por uma ligação dissulfeto [21].

2.1. A estrutura da fibra capilar

Duas regiões distintas podem ser observadas: a raiz e o tronco capilar. Esta última representa a parte visível, mas biologicamente morta do cabelo, e, portanto, não é capaz de se regenerar. Sendo assim, qualquer agressão sofrida é irreversível. Por outro lado, protegida sob a derme e ao seio do folículo piloso, nós encontramos a raiz, onde os cabelos são construídos e coloridos.

O tronco capilar é representado por um longo cilindro de células queratinizadas, orientadas de maneira a fornecer resistência às tensões e às ações cotidianas (Figura 6). Em sua estrutura concêntrica é possível identificar, de fora para dentro, dois dos seus quatro constituintes principais: a cutícula e o córtex. Além dos citados, se tem a medula, representada pela região mais interna, porém

nem sempre presente nos fios, e também o complexo da membrana celular (CMC), que é responsável por unir as células entre as diferentes estruturas.

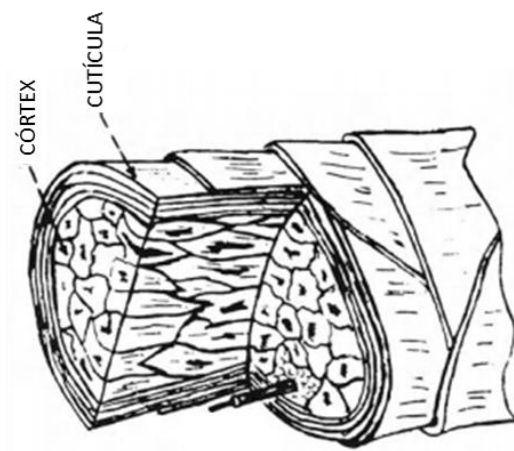


Figura 6. A estrutura do tronco capilar. [6]

2.1.1. A cutícula

A cutícula representa uma camada de células muito alongadas de material proteico e amorfo, que recobrem o cabelo fazendo uma barreira externa contra as agressões. Exerce também a função de regular o ingresso e o egresso de água.

Ao longo de sua vida, os cabelos expõem sua superfície a inúmeras agressões provenientes dos intemperismos e até mesmo das ações mecânicas impostas devido aos cuidados e preparos diários, que incluem lavar, pentear, prender entre outras. Desta forma, quando analisamos regiões da fibra próximas ao escalpo, encontramos células lisas e sem quebras nas bordas; contudo, quando nos afastamos apenas alguns centímetros da raiz, passamos a observar diversos danos que são cada vez mais agravados conforme essa distância aumenta.

As células da cutícula são parcialmente sobrepostas deixando apenas cerca de 1/6 de seus comprimentos livres em direção à ponta do cabelo [22]. São resistentes quimicamente e ao contrário do córtex, não contém domínios cristalinos. As cutículas apresentam também, maior quantidade de cistina do que o resto do cabelo [6].

Com formato retangular, cada célula tem comprimento de 30 – 40 μm [22] com 0,4 μm de espessura. Elas se posicionam de maneira a formar entre 6 e 8

camadas de recobrimento protetor. As células são divididas em diferentes camadas, cada uma contendo estruturas, propriedades e funções diferenciadas, como a seguir:

Camada A: Situada na superfície do cabelo, esta camada é muito rica em enxofre e por isto, muito reticulada. É responsável pela “insolubilidade” do cabelo e por sua resistência mecânica;

Exocutícula: Situada imediatamente abaixo da camada A, sendo representada por uma matriz proteica amorfa. Também altamente reticulada, associada com a camada A, ajuda na proteção das camadas inferiores;

Endocutícula: De estrutura irregular, ela contém quantidade de cistina relativamente baixa. Esta região é mais flexível e capaz de inchar na presença de água. Supõe-se que ela tenha a função de absorver os choques sofridos pela superfície do cabelo;

Camada interna: Possui uma estrutura parecida com a da exocutícula e tem a função de fornecer um suporte rígido aos lipídeos da camada inferior β ;

Camada δ : Sua estrutura não é bem conhecida, todavia é certo que ela desempenha um papel de “cola” intercelular;

Camada β : É composta por lipídeos saturados e proteínas. Ela contorna cada célula da cutícula.

2.1.2. O córtex

A região abaixo da cutícula, denominada córtex, representa a maior fração de uma fibra capilar. Ela é constituída principalmente por microfibrilas de queratina alinhadas na direção do fio, que são as responsáveis pelas propriedades mecânicas do conjunto [11]. Vale ressaltar que a fibra capilar é bastante resistente, podendo suportar até 100 g e se deformar cerca de 50 % de seu comprimento inicial antes de se romper [20].

Além disso, é também no córtex que se encontram os grânulos de melanina. Estes são representados por pequenas partículas de pigmento, com cerca de 0,2-0,8 μm de diâmetro, responsáveis pela cor das fibras e também pela sua fotoproteção [22]. Grande parte da literatura se refere a estes grânulos como existentes em apenas uma pequena fração do córtex, contudo alguns estudos já observaram sua ocorrência nas cutículas [6].

A seção transversal de uma fibra capilar é composta por muitas células corticais, Figura 6. Estas células correspondem a conjuntos de microfibrilas de queratina com melaninas, orientadas ao longo do comprimento dos cabelos.

Cada microfibrila é formada por filamentos intermediários, normalmente chamados de microfibrilas, que representam unidades fibrilares muito organizadas e que se encontram imersos em uma estrutura menos organizada, denominada matriz [6]. As microfibrilas são compostas por um conjunto de até 11 protofibrilas, que por sua vez, representam a junção de quatro cadeias de queratina organizadas em α -hélice [20].

Por outro lado, a matriz, que compreende a maior subunidade estrutural do córtex nos cabelos humanos, é representada por um material amorfo, formado por pequenas proteínas hidrofóbicas [23] com grande concentração de ligações dissulfeto e que expande consideravelmente na presença de água [6]. Um esquema da estrutura interna dos cabelos é apresentado na Figura 7.

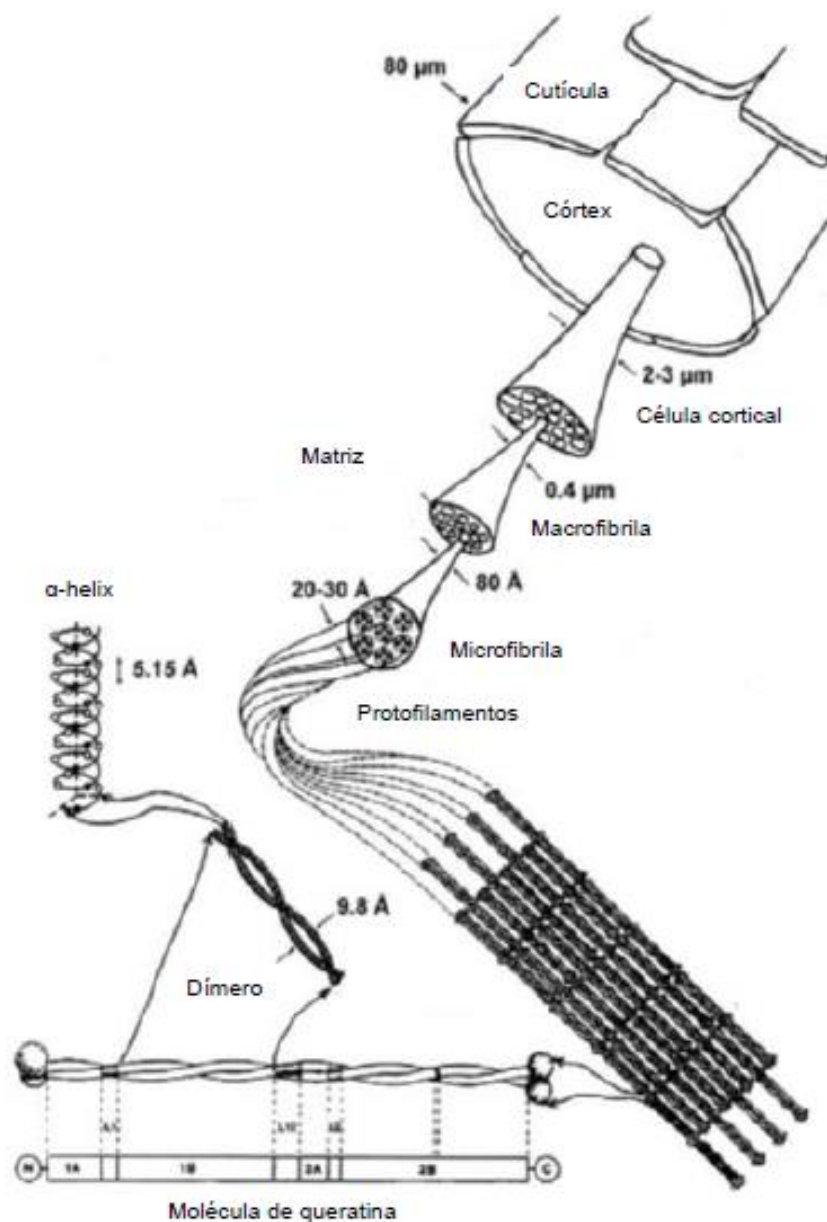


Figura 7. Esquema da estrutura interna dos cabelos. [24]

2.1.3. A medula

Nem sempre presente na espécie humana, a medula pode ser encontrada no interior do córtex. Não se conhece ainda a função exata desta região, mas devido à sua formação contendo numerosas bolhas de ar, sabe-se que ela contribui para a regulação térmica nos animais [11]. Suas células são fracamente empacotadas e sua interface com o córtex é limitada por uma camada de CMC [25]. Em animais com pelos grossos, a medula corresponde a uma grande porcentagem da massa da fibra;

contudo, no cabelo humano, quando presente, ela corresponde apenas a uma pequena fração e pode não se manter constante ao longo da fibra [6].

A Figura 8 ilustra a seção longitudinal de uma fibra sem a presença de medula, de uma fibra com medula contínua e de uma fibra com medula interrompida.

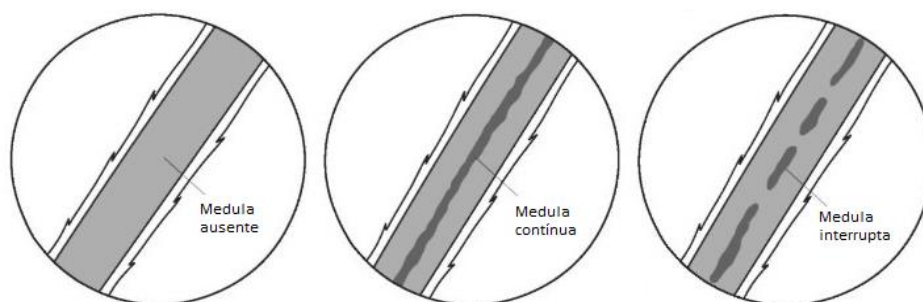


Figura 8. Ilustração da seção longitudinal de fibras de cabelo sem medula, com medula contínua e com medula interrompida. [26]

2.1.4. O complexo da membrana celular (CMC)

O complexo da membrana celular, mais conhecido como CMC, consiste em lipídeos e proteínas formando uma estrutura laminar que tem a função de unir as células da cutícula e do córtex.

O CMC, conforme mencionado anteriormente, consiste em uma camada δ de aproximadamente 15 nm entre duas camadas β , que possuem aproximadamente 5 nm de espessura [6]. A Figura 9 mostra uma imagem de microscopia eletrônica de transmissão da seção transversal de uma fibra capilar, na região cuticular. Nela é possível observar o CMC entre as células da cutícula.

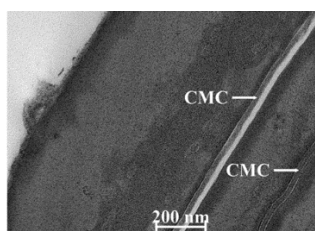


Figura 9. Imagem de microscopia eletrônica de transmissão da região cuticular da seção transversal de uma fibra de cabelo humano. [27]

2.2. Melanina

Assim como na pele, a coloração dos cabelos é dada pelos grânulos de melanina. Eles se encontram no córtex, com maior densidade na periferia e podem ser encontrados como dois tipos de pigmentos:

1. A eumelanina, a mais comum, dá as colorações do marrom ao preto.
2. A feomelanina dá as colorações amarelas, laranjas e vermelhas.

Acredita-se que a melanina age como um dissipador de energia, prevenindo o transporte de espécies deletérias para as outras regiões do cabelo, tendo importante papel na fotoproteção das fibras.

A coloração dos cabelos de cada indivíduo é controlada pela genética e depende não somente do tipo de pigmento presente, mas também da quantidade e da localização dos mesmos. Estudos indicam que a pigmentação dos cabelos pode ser influenciada também por aspectos nutricionais [28].

2.3. A curvatura dos cabelos

Acredita-se que a configuração dos cabelos é definida biologicamente pela geometria do folículo, impactando na simetria da distribuição das proteínas. Foi demonstrado, em um estudo *in vitro* [29], que independente do ambiente em que se encontram, os folículos curvados continuam a produzir fios cacheados, demonstrando o controle do bulbo no processo.

De la Mettrie *et al.* (2007) analisaram a curvatura dos cabelos de 1442 amostras de diferentes regiões do mundo e criaram um método de classificação que viria a ser o mais aceito no mundo até hoje [30]. Este consiste em analisar 3 parâmetros específicos de fibras de 6 cm de comprimento coletadas da região próxima ao escalpo.

Para se ter acesso à curvatura natural dos fios, o cabelo foi lavado e posto para secar naturalmente em sua real curvatura, sem nenhum tipo de tensão. Depois de secos, os seguintes parâmetros eram medidos:

1. CD: O menor diâmetro de curvatura;
2. L_6/L_c : A razão entre comprimento dos 6 cm de fibra esticada e o comprimento da fibra relaxada/cacheada;
3. W: O número de cristas de onda contadas quando o cabelo era comprimido a 4/5 de seu comprimento.

Loussouarn et al.(2007) continuaram o estudo ao analisar, de maneira parecida, cabelos virgens provenientes de 2449 voluntários vindos de 22 países diferentes. Tal fato permitiu estabelecer um método confiável para classificar os cabelos em 8 tipos de grau de cacheamento usando apenas parâmetros morfológicos e evitando assim, fazer referência a grupos étnicos [31]. As curvaturas de I a IV são classificadas apenas pelo diâmetro de curvatura. Os outros parâmetros são usados apenas para distinguir entre os tipos de curvatura entre V e VIII [6].

Há diferentes tipos de cabelo estabelecidos, assim como suas distribuições para diferentes grupos étnicos, Figura 10. É a partir das imagens representativas estabelecidas para cada grau, que hoje são classificados os cabelos, quanto ao seu grau de curvatura, de maneira completamente visual.

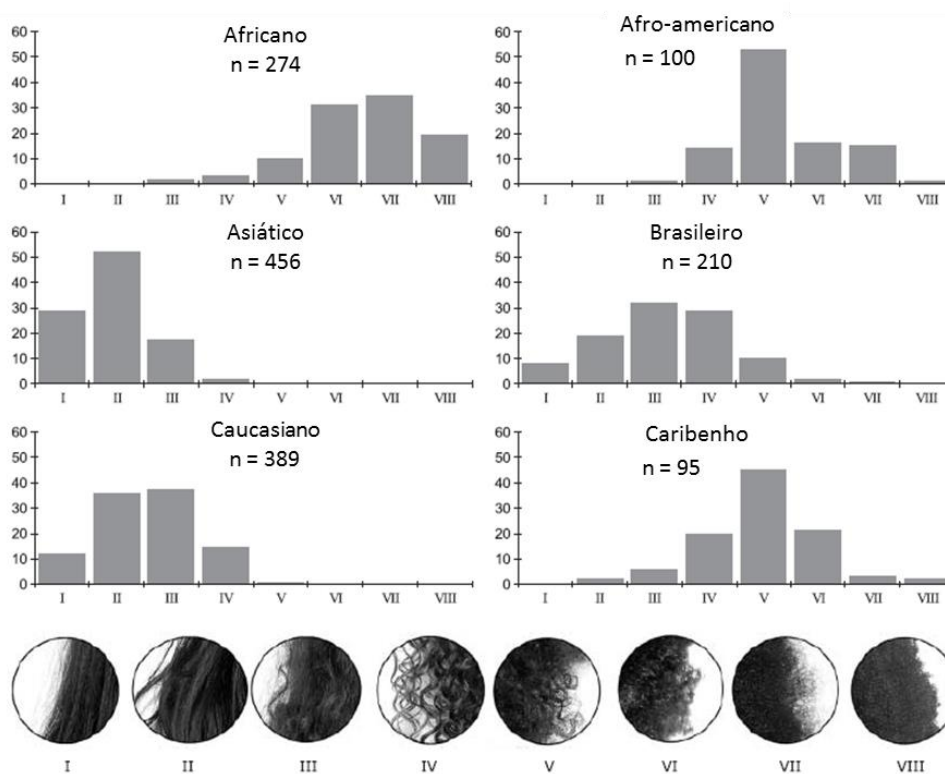


Figura 10. Repartição dos cabelos de diferentes origens entre os 8 graus de curvatura. [31]

2.4. O efeito dos tratamentos de transformação química

No Brasil é muito recorrente a utilização de tratamentos que alteram o cabelo quimicamente, logo, para maior proximidade com a realidade do cabelo brasileiro, é fundamental entender não só o impacto das radiações em cabelos virgens, mas também em cabelos previamente modificados por alguma transformação química. A seguir, são apresentados os princípios de alguns dos tratamentos mais comumente utilizados no Brasil e que serão levados em consideração no presente estudo.

2.4.1. Descoloração

Tratamentos de descoloração são sistemas alcalinos compostos principalmente por peróxido de hidrogênio, que tem por função reagir com as melaninas, oxidando-as, de forma a deixar os cabelos mais claros. Esta oxidação, se feita ao extremo, pode levar à total solubilização e eliminação da melanina contida nas fibras. Inevitavelmente, a queratina do cabelo também é afetada pela oxidação alcalina e conseqüentemente, o cabelo descolorido não irá se comportar mais como um cabelo natural [6].

Algumas alterações observadas, ocasionadas pelo processo de descoloração são listadas a seguir [6]:

- O cabelo fica mais rugoso ao toque e embaraça mais facilmente;
- O cabelo fica mais poroso e é mais afetado pela umidade e pela penetração de outros ativos;
- O cabelo fica menos resistente a solicitações mecânicas.

2.4.2. Coloração de oxidação

A coloração permanente de oxidação contém precursores de pigmentos, que quando misturados ao peróxido de hidrogênio em meio alcalino, são oxidados formando pigmentos resistentes às lavagens [6]. Devido ao peróxido de hidrogênio, esta reação acontece ao mesmo tempo em que ocorre a oxidação da melanina, ou seja, ocorre também um processo de descoloração.

Foi demonstrado que os pigmentos inseridos nos cabelos por meio de coloração (seja de oxidação ou não) oferecem um efeito de fotoproteção às proteínas dos cabelos, promovendo um decréscimo significativo do dano cortical. Essa redução no dano é maior, quanto mais escuro for o pigmento utilizado [6].

2.4.3. Alisamento com formaldeído

A prática de alisar os cabelos utilizando formaldeído, ou formol, apesar de proibida pela ANVISA por conta dos malefícios à saúde, é bastante comum no Brasil. Existem poucos estudos na literatura que descrevam seu mecanismo de ação na fibra capilar. Um estudo de 2014 indica que a combinação da aplicação de formaldeído com prancha de modelar à elevadas temperaturas, induz a reticulação de proteínas, nas regiões da cutícula e do córtex, alterando a cristalinidade do cabelo como um todo [32].

Como consequência da aplicação do formaldeído, se tem a melhoria da percepção sensorial relacionada à “maciez” e ao nível de sensibilização das fibras. Por outro lado, é observado um efeito negativo em relação às propriedades mecânicas das fibras tratadas com este tipo de produto [33]. Foi observado que ao submeter fibras tratadas com uma solução de 10 % de formaldeído a um ensaio de tração, teve-se redução de 40 % na tensão de ruptura e de 35 % na deformação [34].

2.5. O efeito da exposição à radiação solar

A energia solar que chega à Terra é fundamental para a formação de todas as formas de vida que conhecemos, representando um importante papel em muitos processos da biosfera. Todavia, a exposição excessiva de algumas espécies biológicas pode ser exaustiva e danificá-las severamente [35]. No caso dos cabelos, por se tratar de um tecido morto, vale ressaltar que qualquer tipo de dano é irreversível, por isso a importância de sua proteção.

Os diversos constituintes do cabelo podem interagir com as radiações solares de diferentes maneiras. O primeiro contato com a radiação acontece na superfície do fio. Desta forma, as camadas mais externas da fibra recebem maiores intensidades de radiação, que tendem a diminuir até chegarem às camadas mais internas da mesma. Por conta disto, os constituintes da região cuticular costumam sofrer maiores danos do que os do córtex. Tal fato foi observado em um estudo de 2000 [36], que mostra que a degradação foto-oxidativa das proteínas do cabelo, especialmente da cistina, é mais severa nas cutículas.

A observação de diminuição do conteúdo do aminoácido cisteína nas cutículas [37] é indicativo da clivagem das ligações dissulfídicas nesta região. Adicionalmente, foi observada também a ocorrência de clivagem entre as ligações

carbono-carbono e carbono-enxofre deste mesmo aminoácido, resultando em glicina, alanina e dehidroalanina [37]. Além da cistina, é observada também a oxidação do aminoácido triptofano [8] e dos aminoácidos aromáticos fenilalanina e histidina em decorrência da exposição solar [37].

Muitos estudos mostram a degradação morfológica da superfície dos cabelos. Richena e Rezende [27] analisaram a superfície de fibras capilares após suas exposições a uma lâmpada de mercúrio, utilizando de técnicas de microscopia eletrônica de varredura e de transmissão. Foi observado que as radiações emitidas pela lâmpada induziram a formação de fraturas e cavidades de até 200 nm de diâmetro na superfície dos cabelos [27].

Ruetsch et al. concluíram em seu estudo [36] que, a longo prazo, ciclos de irradiação UV e umidificação ocasionam o afinamento e a fusão das células da superfície cuticular, transformando esta região em uma unidade sólida, rígida e quebradiça. Outros estudos mostram também o alargamento de cavidades pré-existent [7], o levantamento e a quebra das bordas das cutículas [38] e o aparecimento de pequenas saliências na superfície das cutículas, cujo tamanho varia em função do tempo de exposição à radiação [7].

Outrossim, observou-se que a irradiação solar leva a perturbações na camada de lipídios intercelular [38] e ocasiona a remoção do importante lipídio 18-MEA da superfície das fibras [6]. Todas estas alterações podem levar a modificações nas propriedades físicas dos cabelos, e que podem ter influência na percepção sensorial dos mesmos.

Robbins [6] explica que, devido à exposição solar, a superfície dos cabelos tende a ficar mais hidrofílica, mais polar e mais carregada negativamente. Adicionalmente, Gao e Bedell [8] observaram a redução do ângulo de contato dinâmico dos cabelos em decorrência da exposição à radiação UV.

Apesar de receberem radiações com menor intensidade, estudos mostram que os aminoácidos do córtex também sofrem foto-oxidação. Um estudo de 1995 observou uma drástica redução do conteúdo de cistina, acompanhada de um aumento na glicina, além de reduções no conteúdo dos aminoácidos prolina e valina [37]. Outros estudos apontam à decomposição do triptofano [5, 39 e 40].

Como consequência da irradiação solar para a fibra como um todo, também foram observadas maior facilidade de inchaço da fibra [8] e de solubilização proteica [40]. Quando analisadas por meio de Calorimetria Diferencial de

Varredura (DSC), fibras expostas à radiação solar apresentaram valores de temperatura de desnaturação mais elevados quando comparados às fibras não expostas [41].

Resultados de Difração de Raio-X (DRX), sugerem que a exposição às radiações solares resulta na divisão de domínios cristalinos maiores em outros menores, com cadeias poliméricas mais compactadas, consolidando uma alteração microestrutural do órgão [9]. O mesmo estudo indica ainda, que as radiações acarretam ligações cruzadas entre fragmentos de proteína dentro do domínio amorfo da fibra [41].

As alterações químicas e microestruturais no interior dos cabelos podem afetar a resistência mecânica das fibras, todavia a busca por este tipo de informação na literatura é inconclusiva; visto que, diferentes estudos apresentam em diferentes respostas. Nogueira e Joeques (2004) avaliaram a resistência à tração de fibras de cabelo expostas por até 448 h à uma lâmpada de vapor de mercúrio e concluíram que não houve nenhuma alteração significativa observada para força de ruptura, alongamento na ruptura ou módulo [9]. Ratnapandian et al. (1998) expuseram cabelos livre de melaninas por até 300 h à lâmpada de arco de xenônio e apontam redução na resistência à tração destas fibras já nas primeiras 100 h de exposição [42]. Outro estudo indica redução no módulo elástico e na tensão de ruptura como resultado da exposição à radiação UV [8].

O dano ocasionado nos cabelos pode vir também da percepção de desbotamento de sua coloração devido à exposição solar. Tal fato ocorre devido à foto-oxidação da melanina, que é o pigmento natural da fibra capilar e que tem função de proteção da mesma, atuando como uma partícula de sacrifício [42]. A mudança de cor aumenta de acordo com a dose de radiação, indicando que a melanina é continuamente degradada pelo processo foto-oxidativo [10].

3 O cenário climatológico brasileiro

Devido à sua grande extensão, o território brasileiro pode apresentar diferentes intensidades de radiação, dependendo da localização observada. Para garantir a eficácia de um produto de fotoproteção, é necessário que ele seja eficiente mesmo nas extremas condições de irradiação. Neste capítulo abordam-se conceitos de radiação solar e apresentam-se dados climatológicos de diferentes regiões do Brasil. No presente trabalho, essas informações constituem a base para construção de um racional sistemático e realista para a simulação *in vitro* da exposição solar realizada na preparação das amostras de cabelo para o ensaio de flexabrasão.

3.1. O espectro de radiação solar

A intensidade de radiação vinda do sol é medida como a potência que ele produz em função da área irradiada e é convencionalmente expressa pela unidade de medida W/m^2 [43]. Este valor também pode ser comunicado como dose, sendo esta, expressa como a intensidade incidente em função do tempo. Neste caso, utiliza-se como unidade convencional o J/m^2 .

O espectro solar é caracterizado pelos diferentes comprimentos de onda de radiação eletromagnética, usualmente expressos em nanômetros. Eles são divididos em 3 diferentes componentes:

- Radiação Ultravioleta (UV): Corresponde a entre 3 e 5 % da radiação total do espectro, com comprimentos de onda que variam de 200 a 390 nanômetros [44]; esta radiação é absorvida pela maioria das substâncias sólidas e mesmo pelo ar em menores proporções. O sol é uma importante fonte de UV e seu efeito na pele leva à queimadura, todavia, a absorção atmosférica elimina a maior proporção dos comprimentos de onda mais curtos, classificados como os mais perigosos. [45]
- Radiação Visível (VIS): Corresponde a entre 42 e 43 % da radiação total do espectro, com comprimentos de onda que variam de 390 a 780 nanômetros [44]; esta parte estreita do espectro eletromagnético representa os comprimentos de onda próximas ao máximo de intensidade na curva de

radiação do sol [45] Ao interagir com a matéria, a luz visível eleva os elétrons a níveis energéticos mais altos. [45].

- Infravermelho (IR): Corresponde a entre 52 e 55 % da radiação total do espectro, com comprimentos de onda que variam de 780 a 3000 nanômetros [44]. Ao interagir com a matéria, o infravermelho induz vibrações moleculares [45].

A Figura 11 mostra o espectro eletromagnético e a Figura 12 apresenta a intensidade de radiação espectral encontrada para cada comprimento de onda emitido pelo sol.



Figura 11. Espectro de radiação solar. [31]

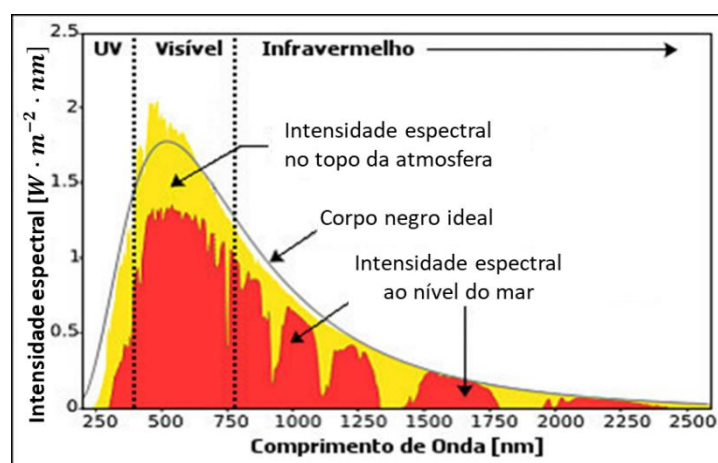


Figura 12. Gráfico da intensidade de radiação do sol em função do comprimento de onda da radiação. [44]

A radiação ultravioleta, por possuir comprimentos de onda menores e consequentemente maior energia, é diretamente relacionada com a incidência de câncer de pele. Ela pode ser dividida em 3 bandas [46]:

- UVA: 315 – 400 nm
- UVB: 280 – 315 nm
- UVC: 100 – 280 nm

Quando a luz do sol passa pela atmosfera, toda a radiação UVC e aproximadamente 90 % da radiação UVB são absorvidas pelo ozônio. A radiação UVA é a menos afetada pela atmosfera. Sendo assim, quando a radiação UV toca a superfície da Terra, ela é principalmente composta por UVA, com uma pequena proporção de UVB [46].

Além disto, a intensidade de radiação UV na superfície pode ser influenciada por outros fatores ambientais, incluindo a angulação do sol em relação à superfície, a latitude da região, a altitude, o poder de reflexão do solo, a presença de nuvens, poeira, neblina e uma série de compostos orgânicos.

3.2. Dados climatológicos para diferentes regiões do território brasileiro

Dados de energia solar foram fornecidos pela empresa de meteorologia *Climatempo* para cada dia do ano de 2015 (visto que o estudo começou a ser planejado em 2016) em 4 cidades: Manaus, Fortaleza, Rio de Janeiro e Porto Alegre, que foram escolhidas baseadas em seu posicionamento geográfico [47] e também em dados de densidade populacional divulgados pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2016 [48]:

Manaus: Representa a cidade mais populosa da região norte do Brasil, com 2094391 habitantes e encontra-se a uma latitude de 3°06'06" S.

Fortaleza: Representa a segunda cidade mais populosa da região nordeste do Brasil, com 2609716 habitantes. Apesar de sua densidade populacional ser pouco inferior à de Salvador, se encontra mais próxima à linha do equador, com latitude 3°43'01" S.

Rio de Janeiro: Representa a segunda cidade mais populosa da região sudeste e do Brasil, sendo São Paulo a primeira. Possui 6498837 habitantes e encontra-se a uma latitude de 22°54'10" S.

Porto Alegre: Representa a segunda cidade mais populosa da região sul do Brasil, com 1481019 habitantes. É a capital que se encontra mais ao sul do país e, portanto, mais distante da linha do equador. Sua latitude é de 30°01'59" S.

Os dados foram capturados considerando uma janela de comprimentos de onda de 300 a 3000 nanômetros, que representam cerca de 99% da radiação que chega na superfície terrestre [44].

3.2.1. Tempo de insolação

O tempo decorrido entre o nascer e o pôr do sol é tratado neste trabalho como tempo de insolação. Seus valores para cada mês do ano de 2015 são apresentados, para cada uma das 4 cidades, na Tabela 1.

Tabela 1. Tempo de insolação diária média e tempo de insolação mensal medidos para cada mês de 2015.

Mês	Tempo de insolação em 2015 (h)							
	Manaus		Fortaleza		Rio de Janeiro		Porto Alegre	
	Média diária	Mensal	Média diária	Mensal	Média diária	Mensal	Média diária	Mensal
1	12,28	380,57	12,31	381,60	13,36	414,08	13,82	428,48
2	12,21	341,78	12,23	342,32	12,85	359,90	13,14	367,80
3	12,12	375,77	12,13	375,88	12,21	378,62	12,26	379,97
4	12,04	361,17	12,03	360,75	11,56	346,73	11,36	340,65
5	11,98	371,30	11,95	370,32	11,02	341,55	10,61	329,03
6	11,95	358,42	11,91	357,35	10,75	322,55	10,25	307,37
7	11,96	370,82	11,93	369,75	10,88	337,28	10,42	323,13
8	12,01	372,42	11,99	371,77	11,34	351,62	11,06	342,83
9	12,09	362,67	12,08	362,50	11,96	358,73	11,91	357,32
10	12,18	377,43	12,19	377,87	12,62	391,37	12,82	397,37
11	12,26	367,65	12,29	368,57	13,21	396,30	13,62	408,73
12	12,30	381,30	12,34	382,43	13,52	418,98	14,04	435,35

É possível perceber que as capitais mais próximas ao Equador tendem a manter o tempo de insolação relativamente constante ao longo do ano. Por outro lado, Rio de Janeiro e Porto Alegre se caracterizam por níveis altos de insolação nos meses de verão e insolação mais baixa nos meses de inverno. Este fenômeno é melhor observado no gráfico da Figura 13.

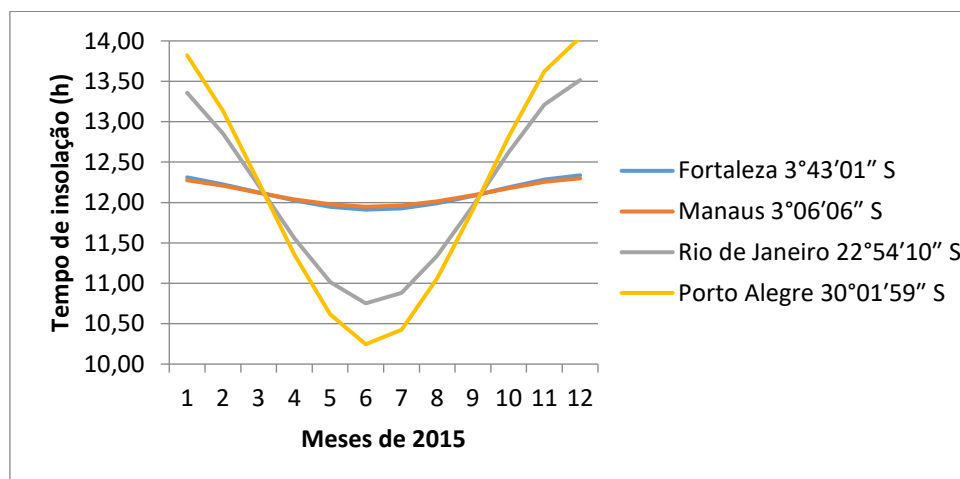


Figura 13. Tempo de insolação mensal registrado em 2015 para diferentes latitudes do território brasileiro.

3.2.2. Dose de radiação solar

Na tentativa de calcular as doses mensais e anual, bem como a soma das doses diárias respectivas a cada período, observou-se que os valores de dose diária não haviam sido indicados para algumas datas específicas, por falta de informação registrada na base de dados da empresa de meteorologia *Climatempo*. Desta forma, decidiu-se calcular cada dose mensal como o produto do tempo de insolação mensal pela intensidade de radiação média daquele mês (Equação 1).

$$D = I * t \quad (\text{Equação 1})$$

Onde D é a dose estimada de radiação, t é o tempo de insolação e I é a média mensal da intensidade de radiação, calculada pela média aritmética da intensidade de radiação diária para cada mês, considerando apenas os dias com informações completas. Esta última, por sua vez, foi encontrada a partir da razão entre a dose

diária de radiação e o tempo diário de insolação. A Tabela 2 apresenta os valores de intensidade de radiação mensal encontrados para cada cidade. Os valores completos podem ser encontrados no Apêndice 1.

Tabela 2. Intensidade de radiação média para cada mês de 2015, levando-se em consideração a janela de comprimento de onda de 300 a 3000 nanômetros.

Mês	Intensidade de radiação solar mensal média em 2015 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)			
	Manaus	Fortaleza	Rio de Janeiro	Porto Alegre
1	107,749	266,525	476,949	236,806
2	171,618	277,169	448,998	258,037
3	158,689	269,496	341,367	265,907
4	188,237	230,497	353,448	243,533
5	114,936	189,013	327,961	212,120
6	154,138	179,680	283,949	208,843
7	135,403	146,201	289,804	167,305
8	82,425	246,078	375,554	260,905
9	139,291	225,544	320,274	229,622
10	214,484	225,900	383,339	214,615
11	296,401	318,518	337,403	286,697
12	278,365	364,860	417,671	320,650

Vale ressaltar que os valores estimados para a intensidade de radiação não correspondem ao pico de radiação, mas sim a uma média ao longo do dia, o que inclui também intensidades mais fracas próximas aos horários do nascer e do pôr do sol.

A partir dos valores de dose mensal, estimou-se também a dose correspondente a 1,5 horas de exposição diária, como sendo aquela correspondente à dose recebida por indivíduos que não ficam expostos às radiações durante todo o tempo de insolação, mas sim durante específicos períodos, como, por exemplo, no

trajeto de ida e volta para o trabalho, ou no horário do almoço. As doses de radiação solar obtidas para cada uma das 4 cidades são indicadas na Tabela 3 e na Figura 14.

Tabela 3. Dose de radiação solar calculada para cada mês de 2015, levando-se em consideração a janela de comprimento de onda de 300 a 3000 nanômetros. Os valores são apresentados como dose total, considerando o tempo total de insolação diária; e como a dose correspondente a 1,5 h de exposição solar por dia.

Mês	Dose de radiação solar em 2015 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)							
	Manaus		Fortaleza		Rio de Janeiro		Porto Alegre	
	Total	1,5 h	Total	1,5 h	Total	1,5 h	Total	1,5 h
1	147,63	18,04	366,14	44,62	710,99	79,84	365,28	39,64
2	211,16	25,95	341,55	41,91	581,74	67,89	341,66	39,02
3	214,67	26,56	364,68	45,11	465,29	57,14	363,73	44,51
4	244,75	30,49	299,35	37,34	441,19	57,26	298,65	39,45
5	153,63	19,24	251,98	31,64	403,26	54,90	251,26	35,51
6	198,88	24,97	231,15	29,11	329,72	46,00	231,09	33,83
7	180,76	22,67	194,61	24,47	351,89	48,51	194,62	28,01
8	110,51	13,80	329,74	41,24	475,38	62,87	322,01	43,68
9	181,86	22,57	294,33	36,54	413,61	51,88	295,40	37,20
10	291,43	35,90	307,30	37,82	540,09	64,17	307,01	35,93
11	392,30	48,02	422,62	51,60	481,37	54,66	421,86	46,44
12	382,11	46,60	502,33	61,08	629,99	69,92	502,58	53,68
Anual	2709,68	334,81	3905,77	482,47	5824,51	715,05	3895,15	476,90

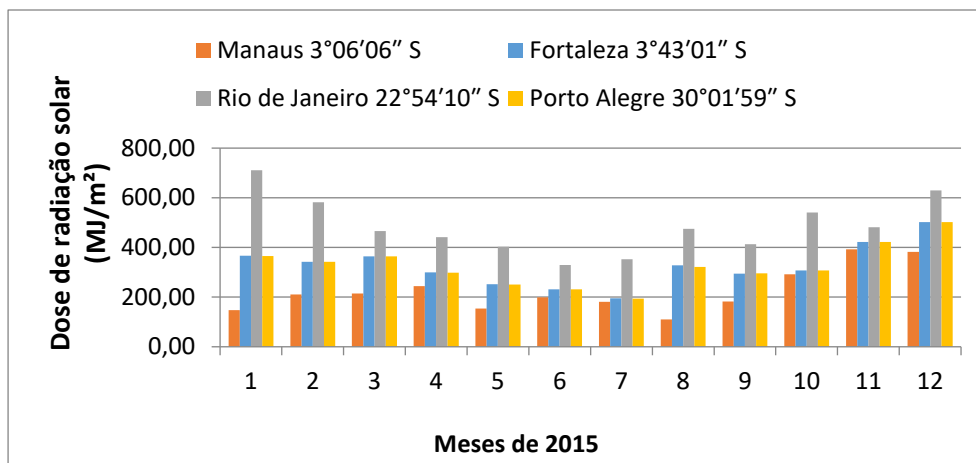


Figura 14. Dose de radiação solar no ano de 2015 para diferentes latitudes do território brasileiro.

Dentre as quatro cidades, a do Rio de Janeiro foi identificada como aquela que representa o cenário mais agressivo de radiação solar, totalizando a dose de $5824,51 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, no período de 1 ano de exposição (ano de 2015). As cidades mais ao norte, apesar de mais próximas à linha do Equador, apresentaram doses mais baixas para este ano. Tal acontecimento pode ser justificado pelo fato de o eixo da Terra não ser exatamente perpendicular em relação à direção da radiação emitida pelo sol fora do equinócio, fazendo com que a linha do Equador esteja defasada de até 23° (durante os solstícios) em relação aos raios que chegam com maior intensidade, ou seja, pelo menor caminho. A Figura 15 ilustra esse aspecto.

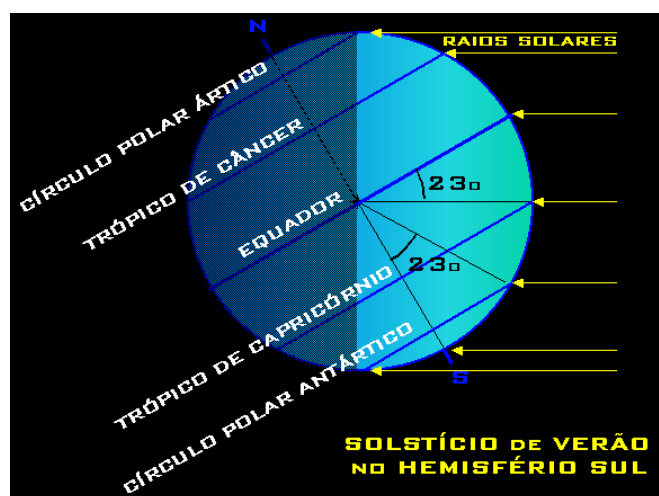


Figura 15. Ilustração do posicionamento da Terra em relação aos raios solares durante o solstício de verão no hemisfério sul. [49]

Como a cidade do Rio de Janeiro se encontra à latitude de $22^{\circ}54'10''$ S, faz sentido que esta cidade esteja mais sujeita às maiores intensidades de radiação durante o verão. Tal fato é ainda mais agravado pelos maiores tempos de insolação nesta época. Além disso, a cidade de Manaus possui alto índice de nebulosidade, o que contribui para a diminuição da intensidade de radiação que chega ao solo.

Assim sendo, decidiu-se tomar a cidade do Rio de Janeiro por base para seguir com os cálculos de correlação com equipamento de simulação de intemperes. Dados de temperatura e umidade relativa do ar também foram oferecidos pelo *Climatempo* para esta cidade no mesmo ano e são indicados na Tabela 4.

Tabela 4. Dados climatológicos da cidade do Rio de Janeiro em 2015. Incerteza de medição dos valores de média mensal de máxima temperatura e média mensal de máxima umidade relativa do ar foram calculados considerando fator de abrangência 2 e nível de significância 95,45 %.

Mês	Dose de radiação solar mensal ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	Tempo de insolação mensal (h)	Intensidade de radiação média ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	Média mensal de máxima de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Média mensal da máxima umidade relativa do ar (%)
Janeiro	710,99	414,08	476,949	$36,4 \pm 5,0$	$82,2 \pm 11,7$
Fevereiro	581,74	359,90	448,998	$34,7 \pm 4,8$	$85,8 \pm 8,4$
Março	465,29	378,62	341,367	$32,3 \pm 4,8$	$91,0 \pm 9,5$
Abril	441,19	346,73	353,448	$29,3 \pm 5,3$	$88,0 \pm 6,5$
Maiο	403,26	341,55	327,961	$27,7 \pm 6,2$	$90,4 \pm 7,5$
Junho	329,71	322,55	283,949	$28,5 \pm 7,9$	$89,6 \pm 5,7$
Julho	351,89	337,28	289,804	$28,7 \pm 6,8$	$87,2 \pm 5,6$
Agosto	475,38	351,62	375,554	$29,4 \pm 7,2$	$86,8 \pm 9,6$
Setembro	413,61	358,73	320,274	$29,9 \pm 11,8$	$86,3 \pm 46,5$
Outubro	540,09	391,37	383,339	$30,9 \pm 8,9$	$91,2 \pm 17,9$
Novembro	481,37	396,30	337,403	$31,5 \pm 7,0$	$90,4 \pm 8,5$
Dezembro	629,99	418,98	417,671	$34,3 \pm 9,3$	$90,5 \pm 20,1$

Verifica-se que além da elevada intensidade de radiação, o cenário encontrado na cidade do Rio de Janeiro pode ser agravado ainda mais pelas elevadas temperaturas e umidades relativas do ar.

4 Materiais e Métodos

Neste capítulo são descritos os procedimentos para preparo de amostras de cabelo, simulação à exposição solar e ensaio de flexabrasão para avaliação das propriedades mecânicas das fibras capilares.

4.1. Preparação de mechas de cabelo

Para este estudo, foi utilizado cabelo humano natural (cabelos que não passaram previamente por tratamentos químicos), castanho, originário de pessoas de nacionalidade brasileira, padronizado e aleatório, com grau de curvatura III, de acordo com a classificação da Figura 10, que indica que este é o grau com maior ocorrência no Brasil. As mechas de 27 centímetros de comprimento e 2,7 gramas de massa foram compradas do fornecedor de cabelos *International Hair Importers & Products, Inc.*

Foram preparadas 72 mechas de cabelo como as indicadas na Figura 16, presas com lacre de nylon, de maneira a manter a orientação de todas as fibras na mesma direção.

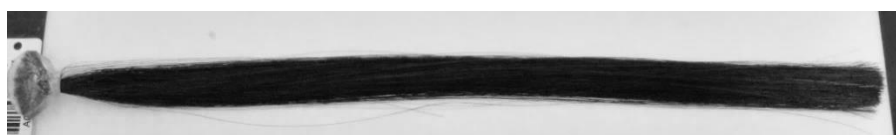


Figura 16. Mecha de cabelo utilizada no estudo.

O conjunto de mechas foi dividido em 4 grupos, cada um passando por diferentes procedimentos de transformação química representativos de diferentes níveis de sensibilização dos cabelos. Os diferentes grupos são descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Preparação das mechas com diferentes níveis de sensibilização antes da exposição à lâmpada de xenônio.

Grupo	Tratamento químico	Protocolo de aplicação do tratamento
NA: Cabelo natural	Mechas não passaram por transformação química	por nenhum procedimento de
DE: Cabelo descolorido	Mechas passaram por processo de descoloração contendo peróxido de hidrogênio.	As mechas deste grupo foram submetidas a 2 aplicações de mistura descolorante de cabelos contendo 12 % de peróxido de hidrogênio. Considerou-se tempo de pausa de 45 minutos.
CO: Cabelo colorido	Mechas passaram por processo de coloração contendo hidróxido de amônia e peróxido de hidrogênio.	As mechas deste grupo foram submetidas a 1 aplicação de mistura de coloração para cabelos contendo 9 % de peróxido de hidrogênio. Considerou-se tempo de pausa de 35 minutos.
AL: Cabelo alisado	Mechas passaram por processo de alisamento com formaldeído.	As mechas deste grupo foram submetidas a 1 aplicação de produto alisante contendo 8,5 % de formaldeído. Considerou-se tempo de pausa de 30 minutos, seguido de escovação (com secador) e passagem do ferro da “chapinha”.

4.2. Simulação de exposição solar

Nesta seção é apresentado o racional para definição do protocolo de exposição da radiação solar in vitro em mechas de cabelo.

4.2.1. Equipamento para simulação da irradiação do sol

Para simulação da agressão ocasionada pela irradiação solar, foi utilizado o equipamento Ci3000 da *Atlas Material Testing Solutions*, que possui uma lâmpada de arco de xenônio localizada no interior de sua câmara, circundada por dois filtros, que permitem regulação da intensidade de radiação fornecida pelo equipamento. Como pode ser visto na Figura 17, o espectro de intensidade de radiação da lâmpada de arco de xenônio se assemelha bastante ao espectro de intensidade de radiação do sol.

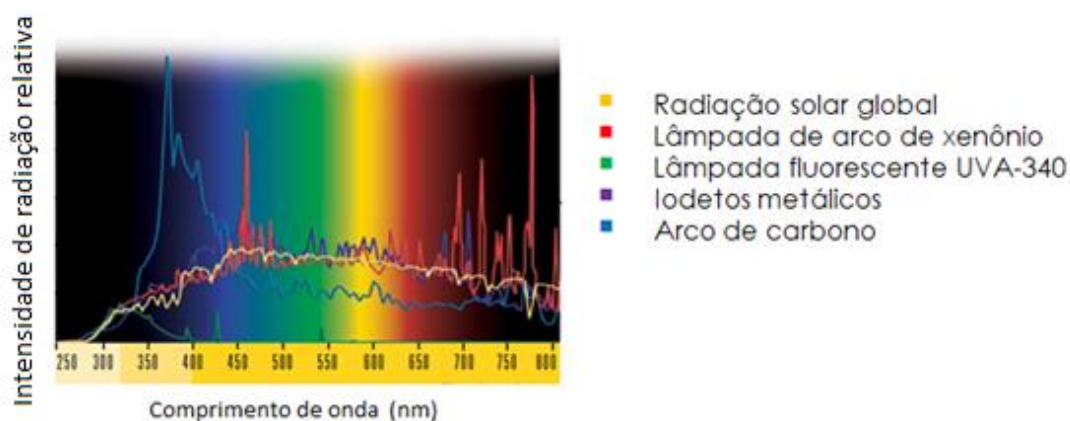


Figura 17. Espectro relativo do sol comparado com fontes luminosas artificiais. [50]

A combinação de filtros interno e externo do tipo “S” Borosilicato é indicada pela *Atlas Material Testing Solutions* para ensaios de intemperismo ao ar livre e foi escolhida para este estudo [50]. A lâmpada irradia entre a faixa de 300 a 800 nm com intensidade definida de $60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ para a faixa de 300 a 400 nm, sendo esta, indicada pela ISO 4892-2:2006 [51] como a intensidade de radiação histórica utilizada (para esta faixa de comprimento de onda) em métodos de exposição de

amostras às fontes luminosas de arco de xenônio.. Desta forma, buscou-se acelerar o processo de exposição, tornando-o mais ágil.

A temperatura dentro da câmara foi mantida a 40 °C, representando um cenário hostil de verão. A umidade relativa do ar foi fixada em 50 %, visto que o equipamento não suportava a regulação em valores maiores do que este, quando este parâmetro era associado às demais variáveis já pré-definidas.

Para garantir a padronização da intensidade de radiação que chega em cada fio, as mechas foram refeitas, de maneira plana, posicionando as fibras paralelas entre si, conforme indicado na Figura 18.



Figura 18. Mecha de cabelo plana utilizada para simulação de exposição solar.

4.2.2. Correlação entre tempo de irradiação na cidade do rio de janeiro e tempo de irradiação pela lâmpada de xenônio do equipamento ci3000

Como a lâmpada de xenônio é configurada com intensidade de radiação fixa de $60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ para a faixa de 300 a 400 nm, para que se possa simular doses de irradiação similares às obtidas por exposição ao sol, é fundamental que se saiba o valor de intensidade de radiação solar médio para esta mesma faixa de comprimento de onda.

A ASTM (*American Society for Testing and Materials*) padronizou, através da norma G173 – 03 [52], referências de intensidade de radiação espectral solar direta, considerando um campo circumsolar de 5,8° e também referências de intensidade de radiação espectral hemisférica (incluindo tanto radiação direta quanto a difusa), considerando uma defasagem de 37° em relação à superfície de

emissão solar. A Figura 19 mostra a dispersão destas referências em função do comprimento de onda.

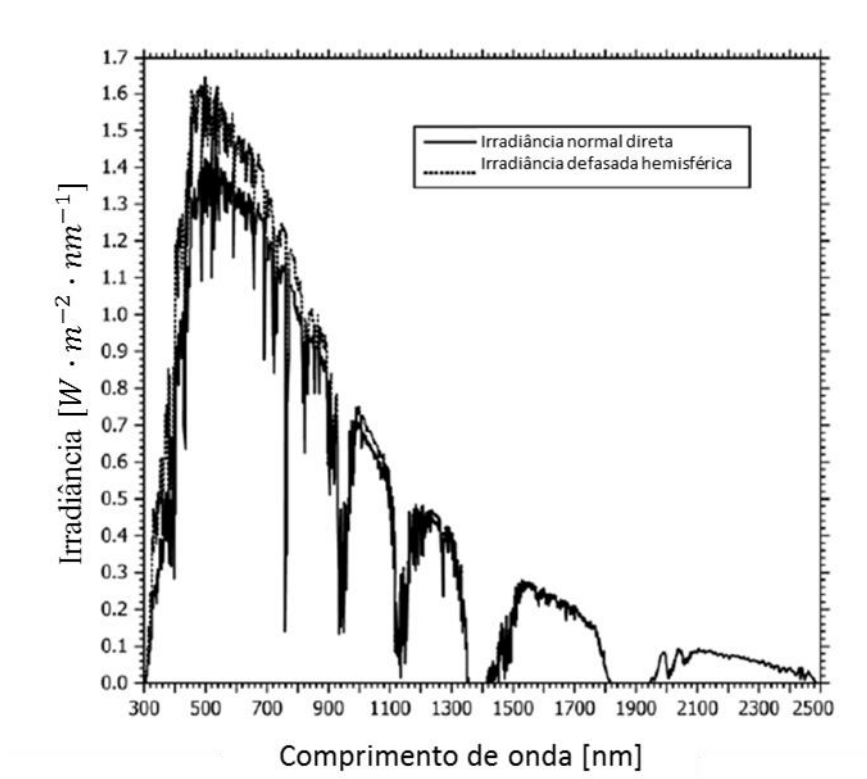


Figura 19. Intensidade de radiação (irradiância) normal direta e intensidade de radiação hemisférica em função dos diferentes comprimentos de onda do espectro solar. [52]

Com o auxílio do programa *Microsoft Office Excel 2007*, utilizou-se a regra dos trapézios para calcular a integral da intensidade total encontrada para as janelas de 300 nm a 3000 nm ($I_{300(000)}$) e de 300 a 400 ($I_{300 de}$) nm. A relação (R) foi calcula como a razão entre estes 2 valores tanto para a referência de intensidade de radiação espectral direta quanto para a hemisférica. Estes valores são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Relação entre a intensidade de radiação obtida entre a faixa de comprimentos de onda de 300 nm a 3000 nm e a faixa de comprimentos de onda de 300 nm a 400 nm.

Referência	$I_{300-3000}$ ($W \cdot m^{-2}$)	$I_{300-400}$ ($W \cdot m^{-2}$)	$R = \frac{I_{300-3000}}{I_{300-400}}$
Direta	892,72	30,52	29,25
Hemisférica (37 ° N)	993,00	46,10	21,54

Como a cidade do Rio de Janeiro está a uma latitude de 22°54'10" ao sul do equador, assumiu-se uma relação linear entre os valores encontrados e decidiu-se trabalhar com o valor médio: $R_{RJ} = 25,40$.

Assim sendo, calculou-se, para cada mês do ano, a intensidade de radiação na faixa de 300 nm a 400 nm para a cidade do Rio de Janeiro ($I_{RJ300-400}$), como sendo a intensidade de radiação média mensal total ($I_{RJ300-3000}$) medida dividida pela relação R_{RJ} (Equação 2).

$$I_{RJ300-400} = \frac{I_{RJ300-3000}}{R_{RJ}} \quad (\text{Equação 2})$$

Assumindo que a dose de radiação é calculada conforme a Equação 1 (seção 3.2.2) como sendo o produto da intensidade de radiação (I) pelo tempo de insolação (t). Deseja-se que a dose irradiada pelo equipamento CI3000 (D_X) seja a mesma dose irradiada pelo sol (D_{RJ}). Logo, pode-se estimar a correlação entre o tempo a ser irradiado pelo equipamento CI3000 (t_X) e o tempo de exposição ao sol do Rio de Janeiro (t_{RJ}) da seguinte forma:

$$I_{RJ300-400} * t_{RJ} = I_{X300-400} * t_X \quad (\text{Equação 3})$$

Onde $I_{X300-400}$ é a intensidade de radiação selecionada para o equipamento CI3000 emitir na faixa de comprimentos de onda entre 300 nm e 400 nm. O valor selecionado foi de $60 W \cdot m^{-2}$.

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos de intensidade de radiação, dose de irradiação e tempo de exposição para cada mês do ano de 2015, considerando exposição de 1,5 hora por dia, e também uma aproximação dos valores correspondentes ao mês de janeiro deste mesmo ano, porém, considerando uma exposição equivalente a todo o período de insolação.

Tabela 6. Valores de intensidade de radiação, dose de radiação e tempo de exposição considerando a cidade do Rio de Janeiro.

Mês (tempo de exposição diária)	$I_{RJ300-3000}$ ($W \cdot m^{-2}$)	t_{RJ} (s)	D_{RJ} ($kJ \cdot m^{-2}$)	$I_{RJ300-400}$ ($W \cdot m^{-2}$)	$I_{X300-400}$ ($W \cdot m^{-2}$)	t_X (s)
Janeiro (1.5 h por dia)	476,95	167400	79841,18	18,78	60,00	52399,3
Fevereiro (1.5 h por dia)	449,00	151200	67888,45	17,68	60,00	44554,8
Março (1.5 h por dia)	341,37	167400	57144,82	13,44	60,00	37503,8
Abril (1.5 h por dia)	353,45	162000	57258,50	13,92	60,00	37578,4
Mai (1.5 h por dia)	327,96	167400	54900,75	12,91	60,00	36031,0
Junho (1.5 h por dia)	283,95	162000	45999,68	11,18	60,00	30189,3
Julho (1.5 h por dia)	289,80	167400	48513,22	11,41	60,00	31838,9
Agosto (1.5 h por dia)	375,55	167400	62867,74	14,79	60,00	41259,7
Setembro (1.5 h por dia)	320,27	162000	51884,36	12,61	60,00	34051,4
Outubro (1.5 h por dia)	383,34	167400	64170,98	15,09	60,00	42115,0
Novembro (1.5 h por dia)	337,40	162000	54659,33	13,29	60,00	35872,6
Dezembro (1.5 h por dia)	417,67	167400	69918,06	16,45	60,00	45886,8
Janeiro (tempo total de insolação)	476,95	1490700	710987,14	18,78	60,00	466616,3

A correlação C entre o tempo de exposição à lâmpada de arco de xenônio e o tempo de exposição à luz solar no Rio de Janeiro vai variar mensalmente, visto que a intensidade de radiação proveniente do sol é diferente a cada mês. No entanto, ao se considerar uma intensidade de radiação solar anual média $14,30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ para a faixa entre 300 nm e 400 nm (média aritmética calculada a partir dos dados da tabela acima), tem-se que a correlação entre o tempo de exposição ao sol e o tempo de exposição à lâmpada de xenônio nas condições estabelecidas para o equipamento Ci3000 possa ser estimada da seguinte maneira:

$$C = \frac{t_{RJ}}{t_X} = \frac{I_{X300-400}}{I_{RJ300-400}} = \frac{60}{14,3} = 4,2 \quad (\text{Equação 4})$$

Desta forma, estima-se que 1 hora de exposição à lâmpada de xenônio corresponde a cerca de 4 horas de exposição ao sol do Rio de Janeiro.

4.3. Ensaio instrumental

Nesta seção é descrito o protocolo para ensaio de flexabrasão em fibras de cabelo.

4.3.1. Amostras para flexabrasão

Para cada grupo analisado, foram preparadas 50 amostras de fios de cabelo individualizados de acordo com a Figura 20. As extremidades de cada fibra foram presas com cilindros de latão prensados, deixando uma área útil central com 30 mm de comprimento.

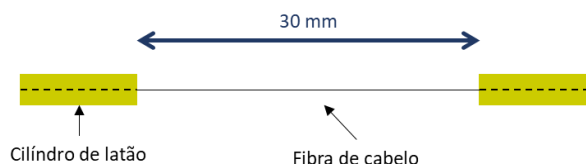


Figura 20. Ilustração de amostra utilizada para ensaio de flexabrasão.

4.3.2. Ensaio de flexabrasão

Neste estudo, o método de flexabrasão foi aplicado utilizando o equipamento Fibrestress DTM-371 da Textechno – Textile Testing Technology (Figura 21).

Vinte e cinco amostras de fibras de cabelo tiveram uma de suas extremidades fixada a um peso de massa 20 g (Figura 22) e a outra a uma barra fixa. O movimento cíclico foi regulado com amplitude de 10 mm e frequência de 0,5 Hz para um ângulo de abrasão de 90°. Cada série de medição foi realizada 2 vezes por grupo analisado, totalizando 50 fios avaliados por condição.



Figura 21. Imagem do equipamento Fibrestress. [53]



Figura 22. Fibras capilares esticadas pela força peso de uma massa de 20 g durante o ensaio de flexabrasão.

O experimento foi realizado dentro de uma câmara com controle de umidade relativa do ar regulada para $50 \pm 5 \%$ e a temperatura oscilou por volta dos 24 ± 5 °C.

4.4. Tratamento de dados

Nesta seção são apresentados os métodos estatísticos utilizados para avaliação da variabilidade dos dados obtidos com a metodologia de flexabrasão.

4.4.1. Análise exploratória

A estimativa do valor central de um conjunto de observações pode ser calculada a partir da média aritmética da amostra quando a mesma segue uma distribuição normal. Todavia, para o caso de distribuições não paramétricas, convém-se utilizar a mediana [54]. Da mesma forma, uma maneira usual de se substituir o desvio padrão, é calculá-lo de maneira robusta a partir do intervalo interquartil (IIQ).

Segundo a ISO 13528 (2015) [55], o desvio-padrão robusto s^* pode ser calculado a partir do intervalo interquartil normalizado da seguinte forma:

$$s^* = 0,7413(Q_3 - Q_1) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde, Q_1 é o primeiro quartil e Q_3 é o terceiro quartil.

A incerteza padrão u e a incerteza expandida U para um intervalo de confiança de 95,45 % são calculadas pelas equações (6) e (7) respectivamente:

$$u = \frac{1,25 \cdot s^*}{\sqrt{n}} \quad (\text{Equação 6})$$

$$U = 2 \cdot u \quad (\text{Equação 7})$$

Onde n é o número de observações.

Uma boa técnica de visualização de uma distribuição não paramétrica é por meio do diagrama de caixas, Figura 23, que descreve importante parâmetros

relacionados ao conjunto de dados, tais como o valor central, a dispersão, simetria e identificação de valores aberrantes [56]. Nele, identificam-se os 3 quartis, o valor máximo e o valor mínimo do conjunto de dados, alinhados em uma caixa retangular que pode estar disposta na vertical ou na horizontal. O intervalo interquartil é representado como a distância entre o canto esquerdo (ou inferior), no primeiro quartil, Q1, e o canto direito (ou superior) no terceiro quartil, Q3. A mediana, ou segundo quartil é representada por uma reta que corta a caixa [56]. Uma linha é desenhada a partir do primeiro e do terceiro quartil até a menor e maior observação, respectivamente, dentro da faixa de 1,5 intervalo interquartil [56]. Valores que ultrapassam essas regiões são marcados como pontos individuais e tidos como valores aberrantes [56].

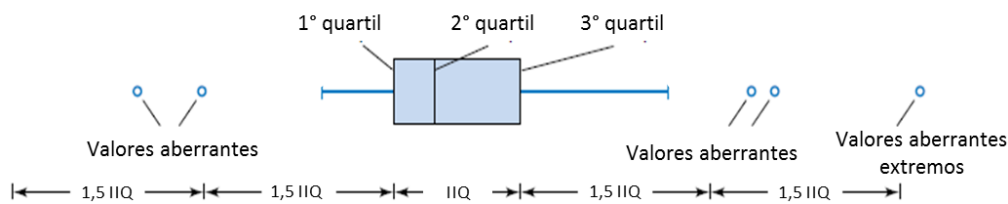


Figura 23. Diagrama de caixas. [56]

4.4.2. Teste de normalidade: Shapiro-Wilk

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para saber se os conjuntos de dados poderiam ser tratados como uma distribuição normal [57].

O procedimento do teste consiste em:

1. Organização dos n dados $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ em ordem crescente;
2. Cálculo da subtração: $X_{(n+1)-i} - X_i$;
3. O índice i varia de 1 até $n/2$ ou de 1 até $(n + 1)/2$, se n é par ou ímpar respectivamente;
4. Cálculo das multiplicações: $a_i (X_{(n+1)-i} - X_i)$;
5. O coeficiente a_i é tabelado;
6. Cálculo do somatório: $SW = \sum a_i (X_{(n+1)-i} - X_i)$

7. Cálculo da soma dos quadrados: $SQT = \sum (X_i - \bar{X})^2$, onde \bar{X} é a média aritmética do conjunto de dados;

8. Cálculo da razão: $W_{calculado} = \frac{SW^2}{SQT}$;

Comparação do valor calculado $W_{calculado}$ com o valor $W_{crítico}$. Se $W_{calculado} > W_{crítico}$, o conjunto de dados pode ser tratado como uma distribuição normal ou gaussiana.

4.4.3. Análise não paramétrica Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis é um teste não paramétrico, aplicado para comparar as medianas de 3 ou mais amostras independentes. Nele, as amostras são ranqueadas e ordenadas em postos do menor valor para o maior valor [56].

As hipóteses nula H_0 e alternativa H_a são as seguintes:

H_0 : Não há diferença na distribuição das populações.

H_a : Há diferença na distribuição das populações.

Caso a hipótese nula seja verdadeira, acredita-se que os postos sejam igualmente distribuídos entre as amostras. Caso seja falsa, algumas amostras irão consistir em observações com predominância de postos mais baixos, enquanto outras de postos mais altos [56].

Caso as amostras tenham no mínimo 5 observações e sejam selecionadas de maneira aleatória, a distribuição de amostragem para o teste Kruskal-Wallis é aproximada a uma distribuição qui-quadrado com $k - 1$ graus de liberdade, onde k é o número de amostras [58].

O teste estatístico H para o teste de Kruskal-Wallis é definido pela fórmula a seguir [58]:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\frac{R_1^2}{n_1} + \frac{R_2^2}{n_2} + \dots + \frac{R_k^2}{n_k} \right) - 3(N+1) \quad (\text{Equação 8})$$

Onde,

k representa o número de amostras,

n_i é o tamanho da i -ésima amostra,

N é a soma dos tamanhos das amostras,

R_i é a soma dos postos da i -ésima amostra.

O teste de Kruskal-Wallis mede o quanto a média dos postos observada difere do valor esperado $(N + 1)/2$. Se esta diferença é grande, a hipótese nula é rejeitada.

Tal análise é normalmente conduzida pelo procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner, que é baseado em ranqueamento pareado de amostras com tamanhos diferentes [59].

4.4.4. Análise não paramétrica Mann-Whitney

O teste de Mann-Whitney é utilizado para comparar duas amostras independentes [54], para verificar se pertencem ou não a uma mesma população. Ele se baseia nos postos dos valores obtidos combinando-se as duas amostras ordenadas do menor valor para o maior [58].

Se as amostras não se diferenciam, é esperado que o somatório dos postos seja igual para as duas amostras. Por outro lado, se a soma dos postos difere, conclui-se que as amostras são diferentes [56].

A estatística de Mann-Whitney é calculada pela seguinte fórmula:

$$U = nm + \frac{n(n+1)}{2} - R_1 = nm + \frac{m(m+1)}{2} - R_2 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde,

n = número de casos do grupo 1

m = número de casos do grupo 2

R_1 = Soma dos postos do grupo 1

R_2 = Soma dos postos do grupo 2

Para amostras maiores do que 20, foi provado que a distribuição amostral de U tende para uma distribuição normal, com média $E(U)$ e variância $VAR(U)$ listadas abaixo [60]:

$$E(U) = \frac{nm}{2} \quad (\text{Equação 10})$$

$$Var(U) = \frac{nm(n+m+1)}{12} \quad (\text{Equação 11})$$

Desta forma, Z tem distribuição aproximada $N(0,1)$ e é calculado da seguinte forma [60]:

$$Z = \frac{U_S - E(U)}{\sqrt{\text{Var}(U)}} \quad (\text{Equação 12})$$

5 Resultados e discussão

Para cada grupo analisado, foram obtidos valores correspondentes ao número de ciclos necessários para que as fibras de cabelo se rompessem quando submetidas às solicitações mecânicas do ensaio de flexabrasão. As Figuras de 24 a 27 mostram a porcentagem de fios sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão para cada grupo analisado.

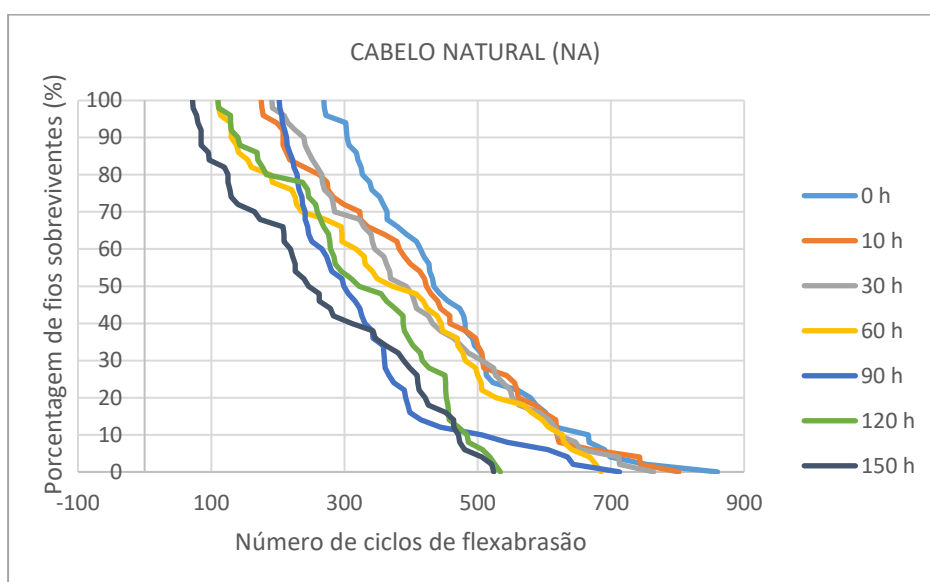


Figura 24. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo natural sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.

Observa-se que para o grupo de cabelo natural (NA) sem exposição, o conjunto de fibras resiste às solicitações mecânicas até cerca de 300 ciclos de flexabrasão, quando as primeiras fibras começam a se romper e a porcentagem de fios sobreviventes começa a decair. Quanto maior o número de ciclos, mais fibras passam a romper e o processo só é finalizado quando as últimas fibras se rompem após 860 ciclos.

O decaimento na porcentagem de fios sobrevivente se mantém similar entre todos os tempos de exposição, todavia, existe uma tendência à curva se deslocar mais para a esquerda, Figura 24, com o aumento do tempo de exposição. Tal fato indica que o conjunto de fibras passa a se romper dentro de uma faixa de números de ciclos mais baixos em função da exposição à radiação da lâmpada de arco de xenônio.

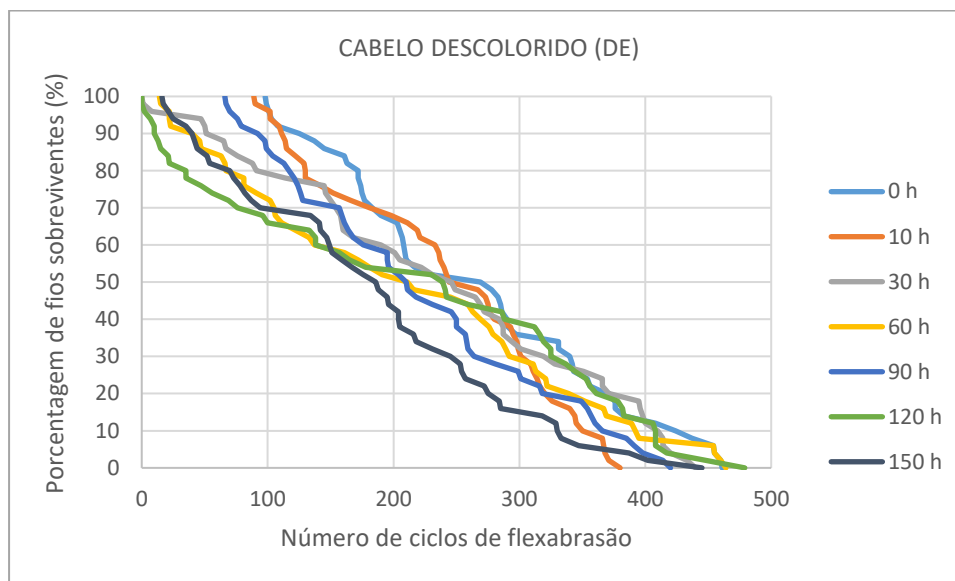


Figura 25. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo descolorido sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.

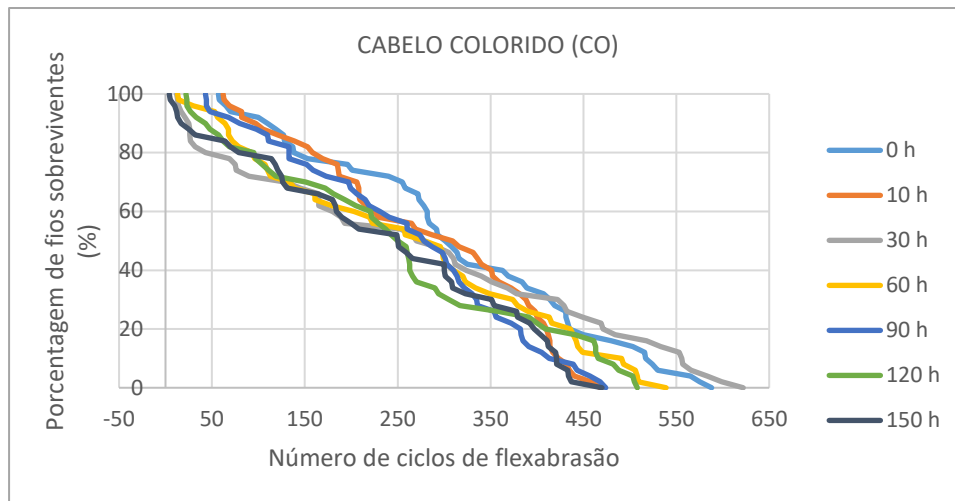


Figura 26. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo colorido sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.

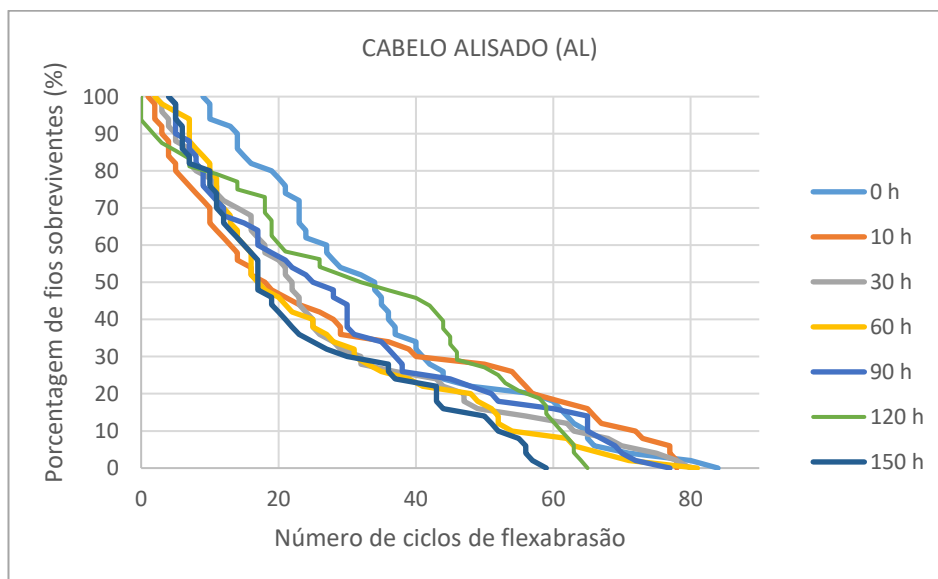


Figura 27. Curva representativa da porcentagem de fios de cabelo alisado sobreviventes em função do número de ciclos de flexabrasão.

Os grupos de cabelos descoloridos (DE), coloridos (CO) e alisados (AL), Figuras 25 a 27, respectivamente, apresentam janelas de números de ciclos dentro da qual ocorre a ruptura dos fios com valores mais baixos do que os da janela do

cabelo natural (NA). O decaimento na porcentagem de fios sobreviventes para cada tempo de exposição se mantém similar dentro de cada grupo, mas o translado das curvas em função do tempo de exposição torna-se menos perceptível no caso destes grupos.

Os dados obtidos para cada amostra foram analisados pelo método Shapiro-Wilk, com nível de significância de 5 %, com o objetivo de entender se os resultados apresentavam comportamento normal. O p-valor encontrado para cada amostra pode ser encontrado na Tabela 7: células verdes indicam distribuição normal, ou seja, distribuições que apresentaram p-valor acima de 0,05; células vermelhas indicam distribuição que se distanciam da normalidade, ou seja, distribuições que apresentaram p-valor abaixo de 0,05.

Tabela 7. P-valor encontrado para cada amostra a partir do teste de normalidade Shapiro-Wilk com nível de significância de 5 %.

Shapiro-Wilk - p-valor (bi-caudal)				
Tempo	Natural	Descolorido	Colorido	Alisado
0 h	0,022	0,025	0,127	0,005
10 h	0,174	0,005	0,003	< 0,0001
30 h	0,032	0,031	0,003	0,000
60 h	0,025	0,014	0,011	< 0,0001
90 h	< 0,0001	0,033	0,129	0,000
120 h	0,021	0,001	0,010	0,003
150 h	0,004	0,143	0,006	< 0,0001

Observa-se que de maneira geral, as amostras não apresentam distribuição normal. Decidiu-se então tratar os dados com o método não paramétrico de Intervalo Interquartil (IIQ) com o auxílio do programa XLSTAT 2018 a fim de melhor visualizar a dispersão dos dados e tratar possíveis valores aberrantes. A estatística descritiva desta análise pode ser encontrada na Tabela 8 e os diagramas de caixa gerados a partir destes dados são representados nas Figuras 28 a 31. Os dados brutos obtidos para cada corpo de prova são apresentados no Apêndice 1.

Tabela 8. Estatística descritiva do Intervalo interquartil (IIQ) das amostras analisadas pelo método de flexabrasão.

Amostra	Número de observações (n)	Valor mínimo	Valor máximo	1° quartil	Mediana	3° quartil
NA - 0 h	50	270	860	354,25	438,50	520,50
NA – 10 h	50	176	802	287,00	426,50	552,00
NA – 30 h	50	192	764	281,50	397,00	535,25
NA - 60 h	50	111	685	226,50	389,50	503,75
NA – 90 h	50	203	713	236,25	302,50	372,25
NA – 120 h	50	111	534	248,75	338,50	451,75
NA – 150 h	50	73	524	132,50	254,00	409,75
DE - 0 h	50	99	461	175,50	273,50	351,25
DE – 10 h	50	90	380	155,50	255,50	313,25
DE – 30 h	50	1	440	147,00	247,50	362,25
DE - 60 h	50	15	464	93,75	213,50	319,00
DE – 90 h	50	67	420	126,50	210,50	300,50
DE – 120 h	50	0	479	59,25	240,00	350,75
DE – 150 h	50	17	445	83,25	187,00	256,25
CO - 0 h	50	58	588	210,75	304,50	431,00
CO – 10 h	50	63	468	186,25	312,50	399,50
CO – 30 h	50	13	622	79,50	280,50	444,75
CO - 60 h	50	14	539	110,75	287,50	407,25
CO – 90 h	50	44	474	162,50	282,50	355,50
CO – 120 h	50	23	508	113,00	254,50	382,75
CO – 150 h	50	5	470	122,00	250,50	378,75
AL - 0 h	50	10	84	21,50	34,00	44,00
AL – 10 h	50	2	78	8,25	18,50	54,75
AL – 30 h	50	3	80	11,25	22,00	41,50
AL - 60 h	50	3	81	11,00	17,50	38,00
AL – 90 h	50	5	77	10,25	26,50	43,25
AL – 120 h	50	0	65	17,00	34,00	52,25
AL – 150 h	50	5	59	11,00	17,00	36,75

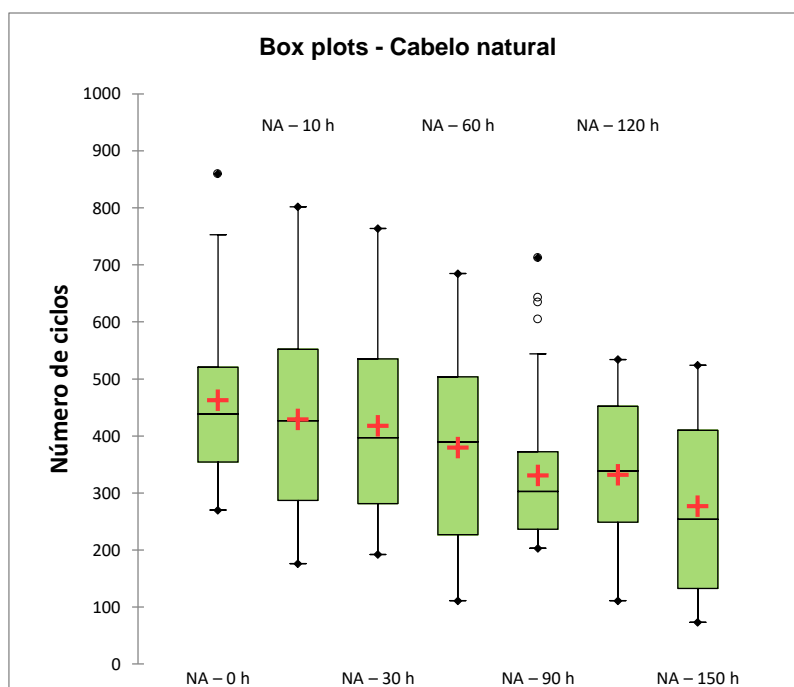


Figura 28. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo natural (NA). Valores aberrantes são indicados como pontos individuais.

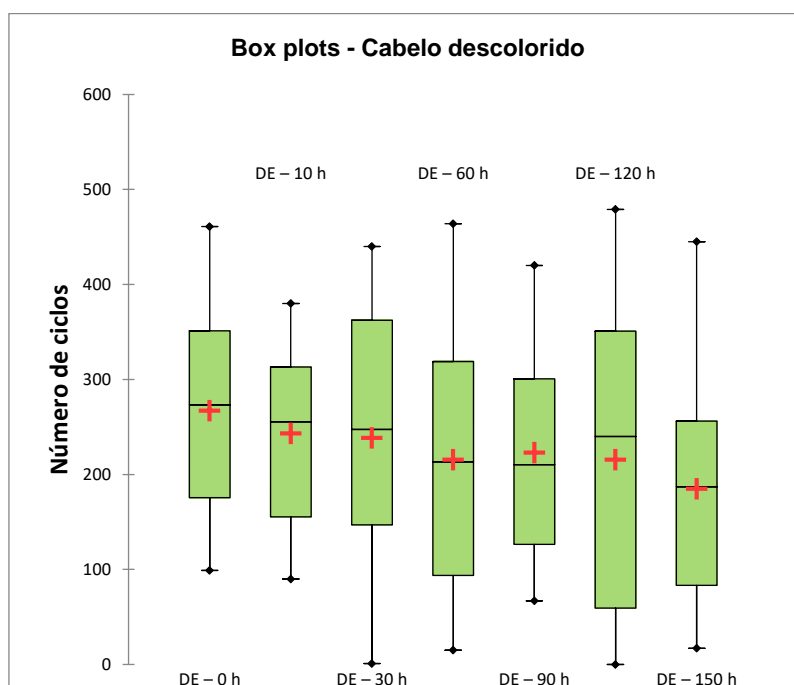


Figura 29. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo descolorido (DE).

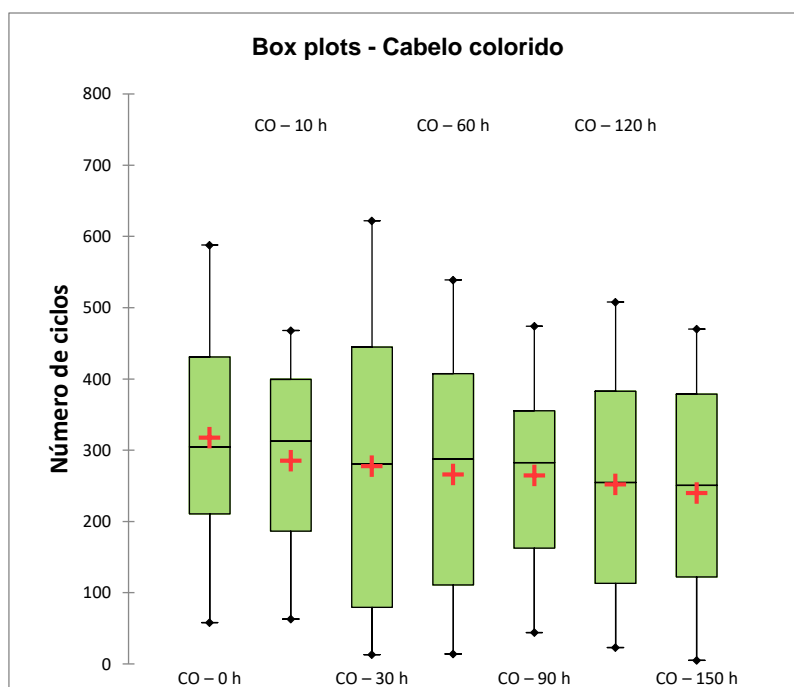


Figura 30. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo colorido (CO).

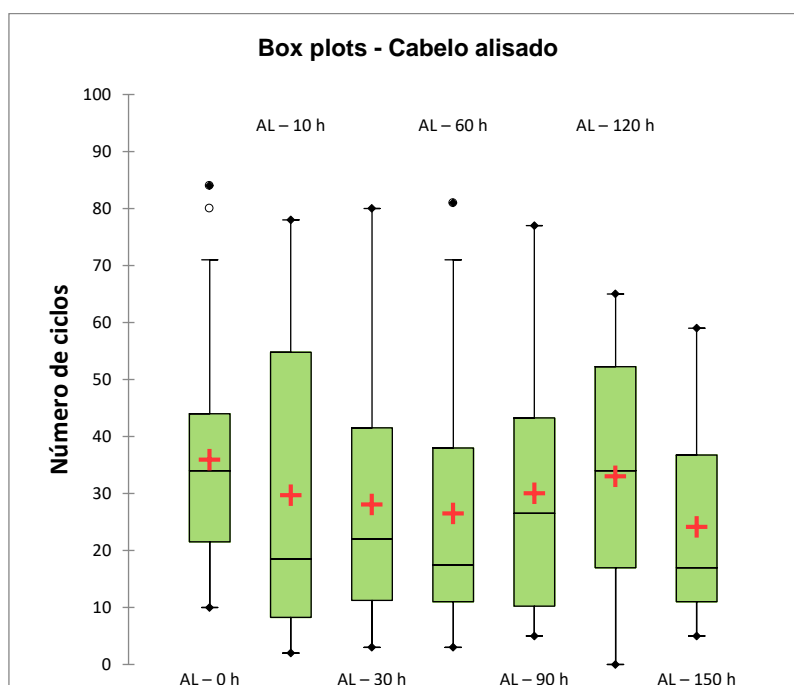


Figura 31. Diagrama de caixas referente às amostras de cabelo alisado (AL). Valores aberrantes são indicados como pontos individuais.

É possível perceber que as distribuições das amostras naturais, descoloridas e coloridas tendem a ser mais simétricas em relação ao ponto central da caixa quando comparadas às amostras de cabelo alisado. Isto porque, para estes grupos, a distância tanto das bordas inferiores e superiores das caixas quanto dos limites inferiores e superiores são mais simétricas em relação à mediana.

Alguns corpos de prova dos grupos de cabelos natural e alisado obtiveram valores de número de ciclos aberrantes, ou *outliers*, de acordo com o método IIQ e foram excluídos de suas amostras respectivas. As novas dispersões de dados foram então analisadas a partir de histogramas das novas populações, gerados com o auxílio do programa XLSTAT 2018. A estatística descritiva final pode ser encontrada na Tabela 9 e os histogramas de cada população podem ser encontrados nas Figuras 32 a 35.

Tabela 9. Estatística descritiva das amostras analisadas pelo método de flexabrasão.

Amostra	Mediana	Desvio padrão robusto (s^*)	Incerteza de medição (u)	Incerteza expandida (U)
NA - 0 h	434,00	118,61	21,18	42,36
NA – 10 h	426,50	196,44	34,73	69,45
NA – 30 h	397,00	188,10	33,25	66,51
NA - 60 h	389,50	205,53	36,33	72,66
NA – 90 h	288,50	93,96	17,32	34,63
NA – 120 h	338,50	150,48	26,60	53,20
NA – 150 h	254,00	205,53	36,33	72,66
DE - 0 h	273,50	130,28	23,03	46,06
DE – 10 h	255,50	116,94	20,67	41,34
DE – 30 h	247,50	159,56	28,21	56,41
DE - 60 h	213,50	166,98	29,52	59,04
DE – 90 h	210,50	128,99	22,80	45,60
DE – 120 h	240,00	216,09	38,20	76,40
DE – 150 h	187,00	128,24	22,67	45,34
CO - 0 h	304,50	163,27	28,86	57,73
CO – 10 h	312,50	158,08	27,95	55,89
CO – 30 h	280,50	270,76	47,86	95,73
CO - 60 h	287,50	219,80	38,85	77,71
CO – 90 h	282,50	143,07	25,29	50,58
CO – 120 h	254,50	199,97	35,35	70,70
CO – 150 h	250,50	190,33	33,65	67,29
AL - 0 h	33,00	15,94	2,88	5,75
AL – 10 h	18,50	34,47	6,09	12,19
AL – 30 h	22,00	22,42	3,96	7,93
AL - 60 h	17,00	17,79	3,18	6,35
AL – 90 h	26,50	24,46	4,32	8,65
AL – 120 h	34,00	26,13	4,71	9,43
AL – 150 h	17,00	19,09	3,37	6,75

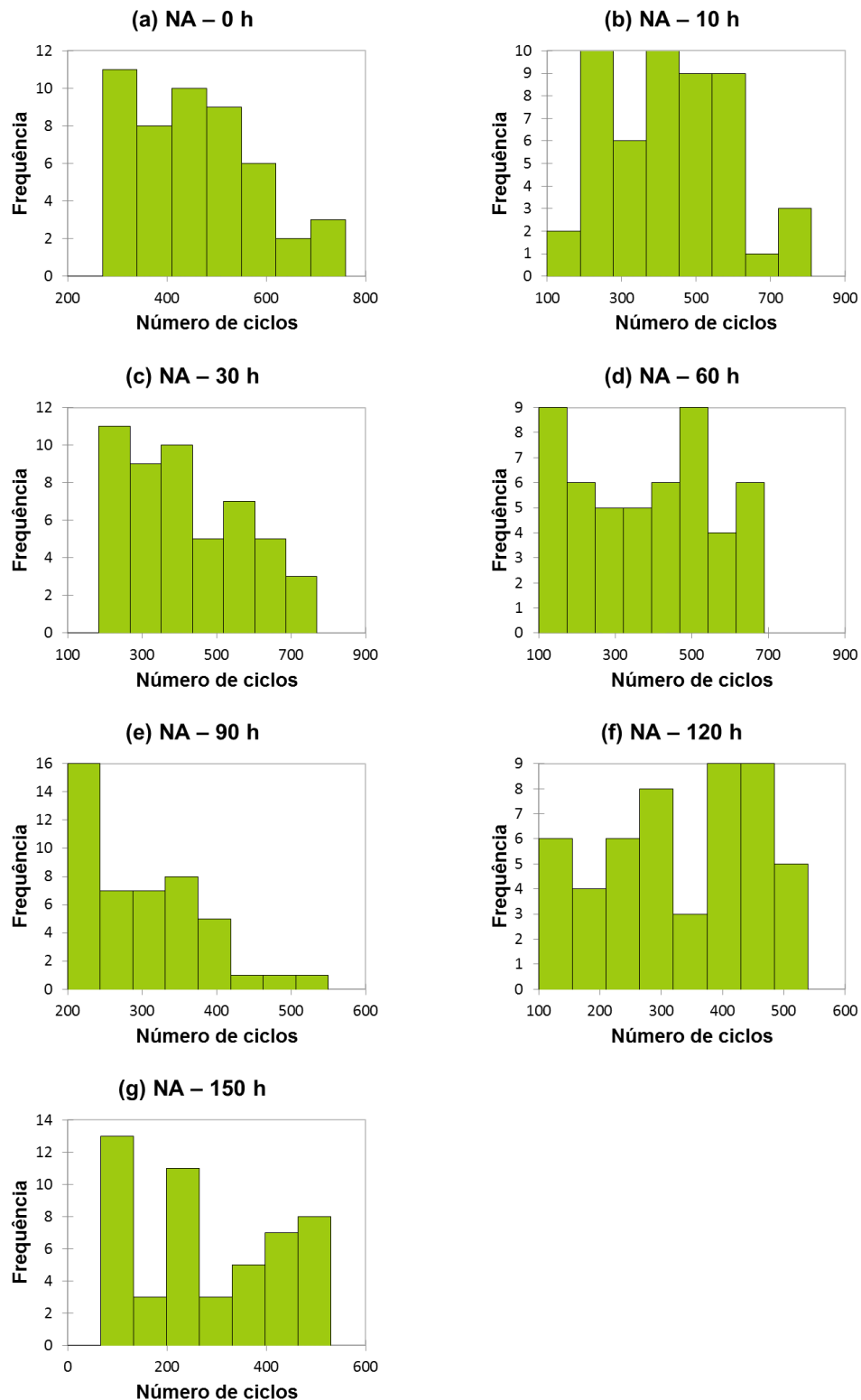


Figura 32. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo natural submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h.

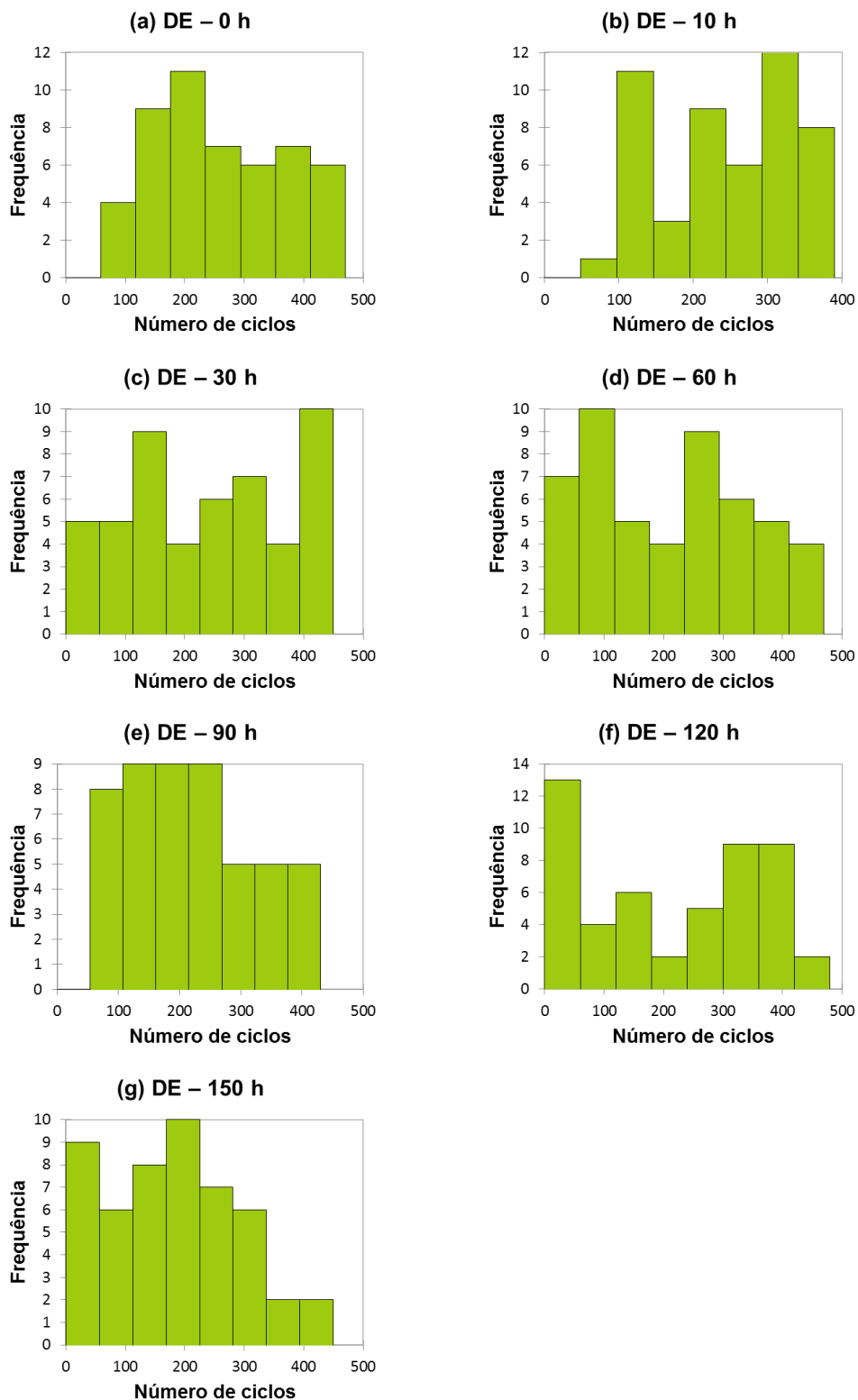


Figura 33. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo descolorido submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h.

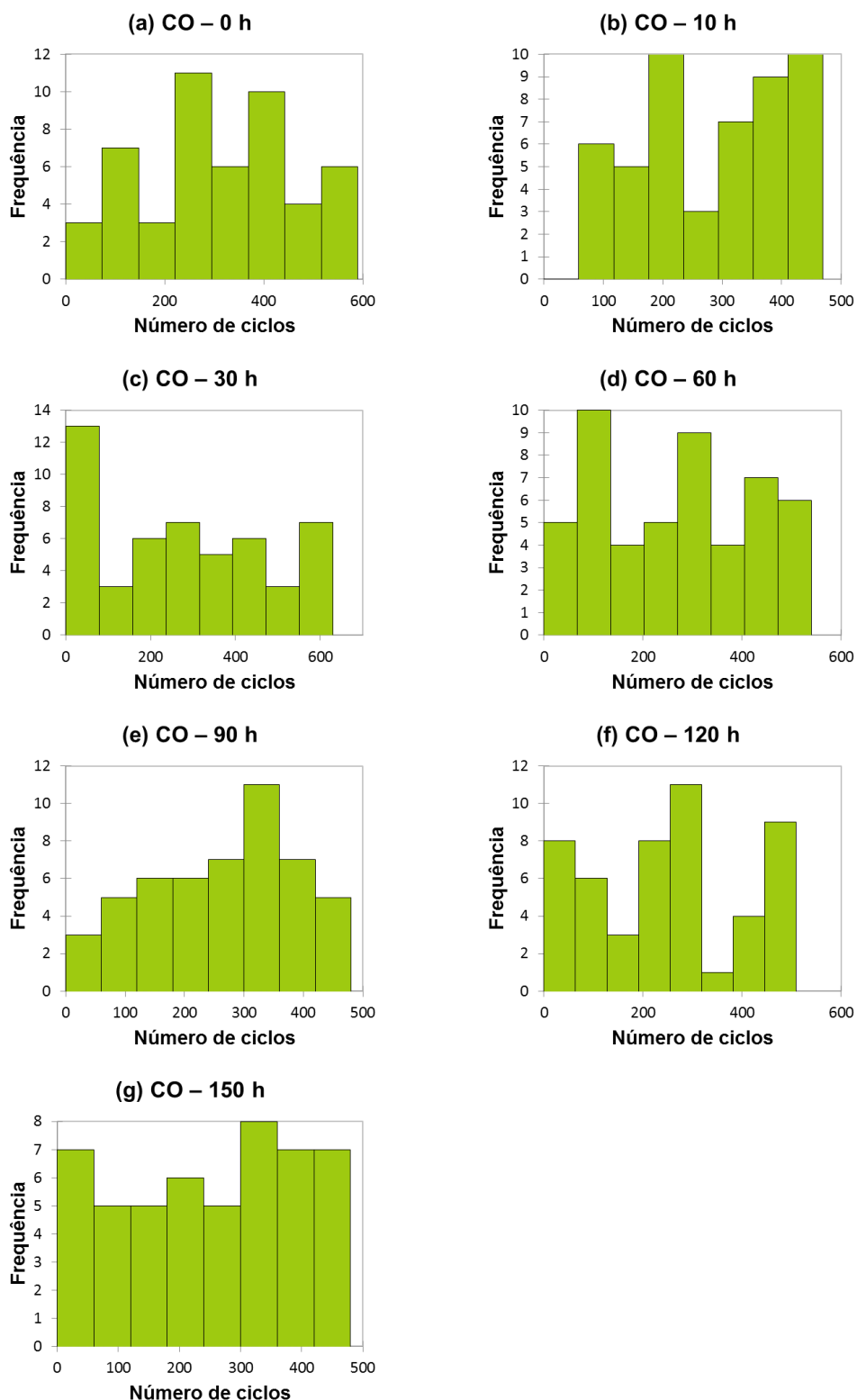


Figura 34. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo colorido submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h.

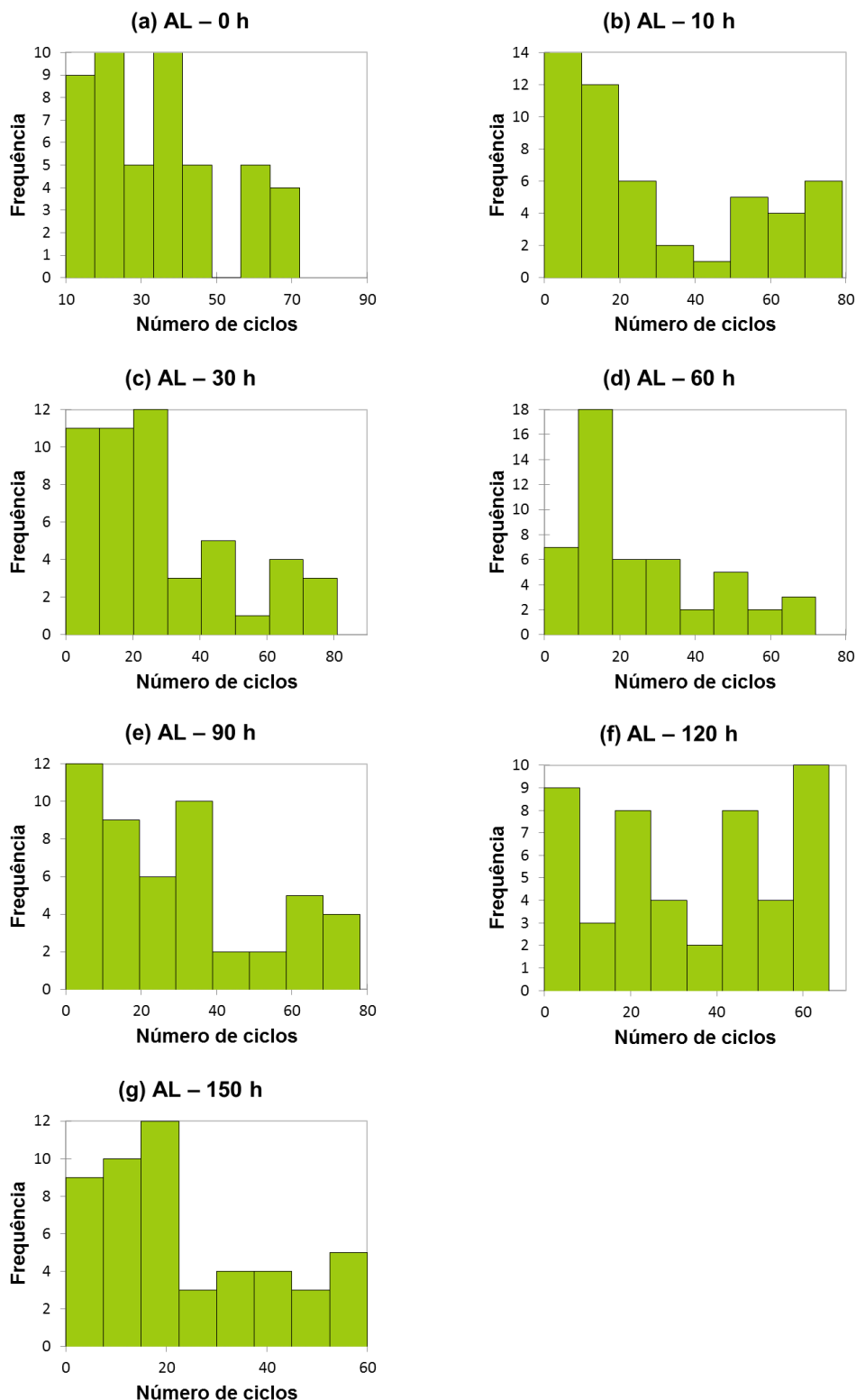


Figura 35. Histogramas dos números de ciclos obtidos para as amostras de cabelo alisado submetidas aos diferentes tempos de exposição: (a) 0 h, (b) 10 h, (c) 30 h, (d) 60 h, (e) 90 h, (f) 120 h e (g) 150 h.

Ao visualizar os histogramas de cada população, se tem indicativos de que as novas populações (sem os dados aberrantes) também não seguem uma distribuição normal em relação a um valor médio central. Decidiu-se então realizar uma nova análise de normalidade das amostras.

As amostras foram analisadas pelo método Shapiro-Wilk, com nível de significância de 5 %, com o objetivo de entender se suas dispersões apresentavam comportamento normal. O p-valor encontrado para cada amostra pode ser encontrado na Tabela 10: células verdes indicam distribuição normal, ou seja, distribuições que apresentaram p-valor acima de 0,05; células vermelhas indicam distribuição não normal, ou seja, distribuições que apresentaram p-valor abaixo de 0,05.

Tabela 10. P-valor encontrado para cada amostra a partir do teste de normalidade Shapiro-Wilk com nível de significância de 5 %.

Shapiro-Wilk - p-valor (bi-caudal)				
Tempo	Natural	Descolorido	Colorido	Alisado
0 h	0,052	0,025	0,127	0,006
10 h	0,174	0,005	0,003	< 0,0001
30 h	0,032	0,031	0,003	0,000
60 h	0,025	0,014	0,011	< 0,0001
90 h	0,002	0,033	0,129	0,000
120 h	0,021	0,001	0,010	0,003
150 h	0,004	0,143	0,006	< 0,0001

Nota-se que, de maneira geral, o número de ciclos para a ruptura de fibras de cabelo obtidos com a metodologia de flexabrasão não apresenta distribuição normal para as amostras avaliadas. Desta forma, nas seções seguintes, serão utilizadas análises estatísticas não paramétricas com o objetivo de comparar as diferentes amostras.

5.1. O efeito dos tratamentos químicos

O comportamento das amostras em função do tempo de exposição à lâmpada de xenônio pode ser visualizado na Figura 36, levando-se em consideração a mediana e a incerteza expandida encontradas para cada amostra.

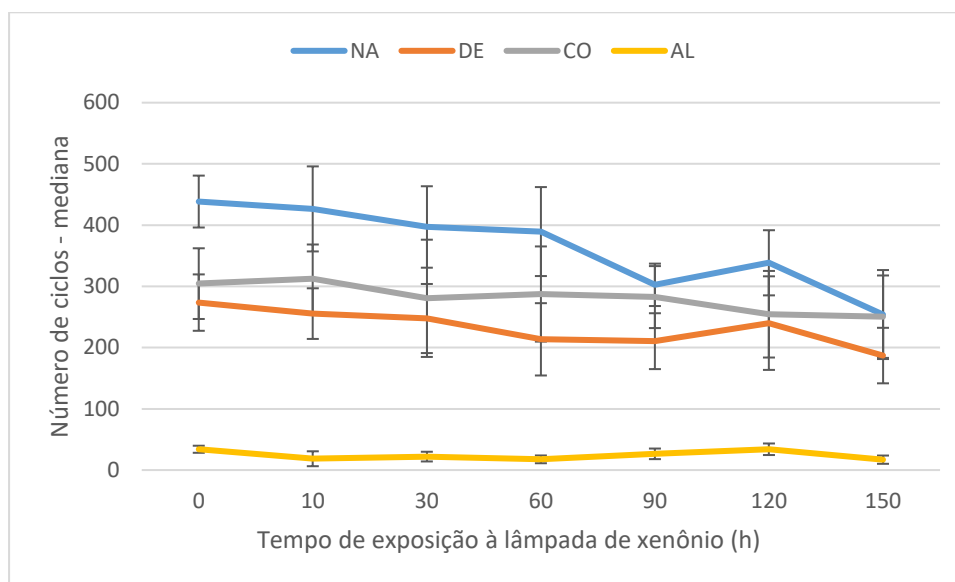


Figura 36. Número de ciclos em função do tempo de exposição à lâmpada de arco de xenônio para as amostras correspondentes ao cabelo natural (NA), descolorido (DE), colorido (CO) e alisado (AL).

As fibras de cabelo natural precisaram passar por um número mais alto de ciclos de abrasão antes de romperem quando comparadas aos dos demais grupos de cabelos analisados. Tal fato já era esperado visto que os tratamentos químicos, por si só, podem levar à perda de resistência dos fios [6].

Para melhor entender este comportamento, foi realizada a análise estatística para amostras não paramétricas Kruskal-Wallis usando o procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner, com nível de significância de 5 %. Para melhor visualização do resultado, amostras que se diferenciaram estatisticamente foram separadas em diferentes grupos, identificados por letras e seguindo a ordem alfabética. A Tabela 11 indica as diferenças estatísticas encontradas entre os grupos, antes de serem expostos à lâmpada de arco de xenônio.

Tabela 11. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes níveis de sensibilização estudados, antes da exposição à radiação. Amostras que se diferenciaram estatisticamente foram separadas em diferentes grupos identificados por letras seguindo a ordem alfabética.

Amostra	Grupos		
AL – 0 h	A		
DE – 0 h		B	
CO – 0 h		B	
NA – 0 h			C

O teste estatístico de Kruskal-Wallis indicou diferença significativa na resistência à flexabrasão entre o grupo de cabelos naturais e os demais grupos. Do mais, os cabelos alisados se diferenciam também dos grupos de cabelos descoloridos e cabelos coloridos.

A queda na resistência do cabelo descolorido pode ser justificada pelo fato de que o processo de descoloração leva à degradação do principal aminoácido a conferir resistência mecânica às fibras, a cistina [6], acarretando na quebra das resistentes ligações dissulfeto entre filamentos intermediários de queratina e com subsequente formação de ácido cisteico.

Vale lembrar também, que o processo de descoloração é responsável por oxidar as melaninas e em seu estudo, Nogueira et al. (2008) [10] verificam que a ausência de melanina causa mudanças bastante significativas na resistência do fio em comparação com cabelos pigmentados. Por também conter peróxido de hidrogênio, é esperado que o processo de coloração diminua as propriedades mecânicas das fibras de cabelo de maneira igual, devido à degradação da cistina.

O formaldeído é conhecido por enrijecer a fibra devido ao processo de reticulação das cadeias de proteína [32]. Esta propriedade diminui a capacidade de as cadeias deslizarem umas sobre as outras quando solicitadas mecanicamente, aumentando a rigidez do fio. Tal fato pode levar a uma maior concentração de tensão no ponto onde a fibra flexiona sobre a haste metálica, aumentando sua propensão à quebra, o que explicaria valores tão baixos de números de ciclos antes da ruptura.

5.2. A resistência das fibras em função do tempo de exposição

Para saber se o método é sensível o suficiente para captar os efeitos da exposição solar, é fundamental entender o comportamento dos dados obtidos em função do tempo de exposição. Para isto, obteve-se a regressão linear dos dados provenientes do ensaio de flexabrasão para cada nível de sensibilização capilar. As equações obtidas e o coeficiente de determinação R^2 para cada grupo analisado podem ser encontrados nas Figuras 37 a 39. O coeficiente angular e o coeficiente de determinação são resumidos posteriormente na Tabela 12.

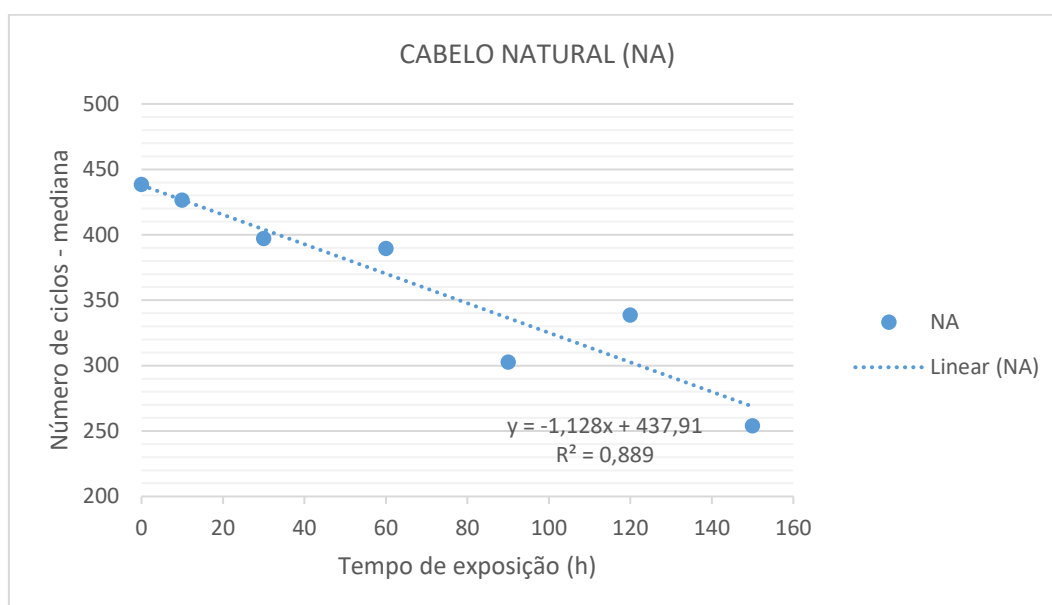


Figura 37. Regressão linear dos dados obtidos para o grupo de cabelo natural.

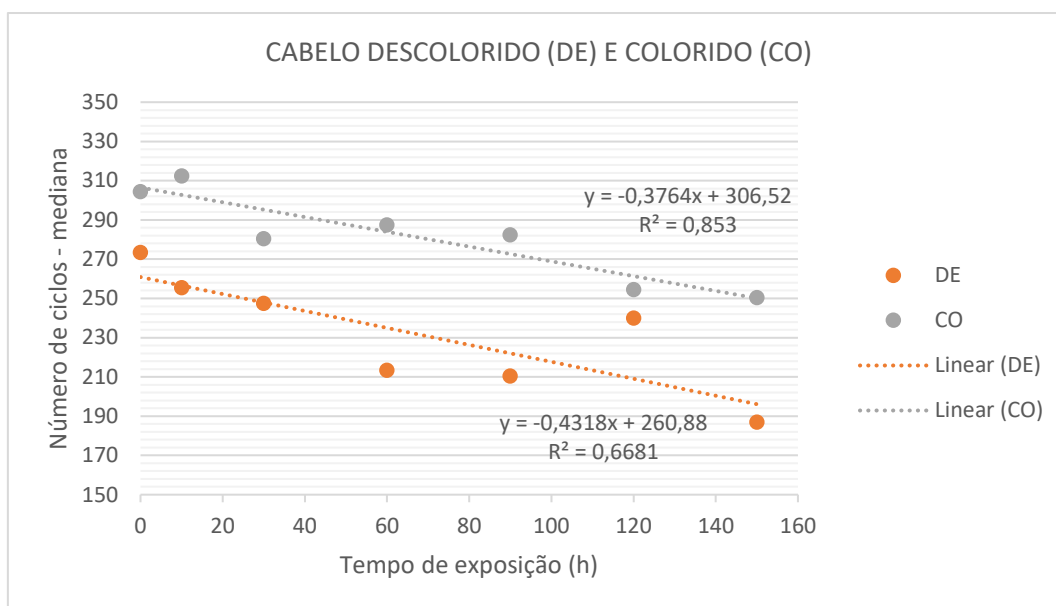


Figura 38. Regressão linear dos dados obtidos para os grupos de cabelo descolorido e colorido.

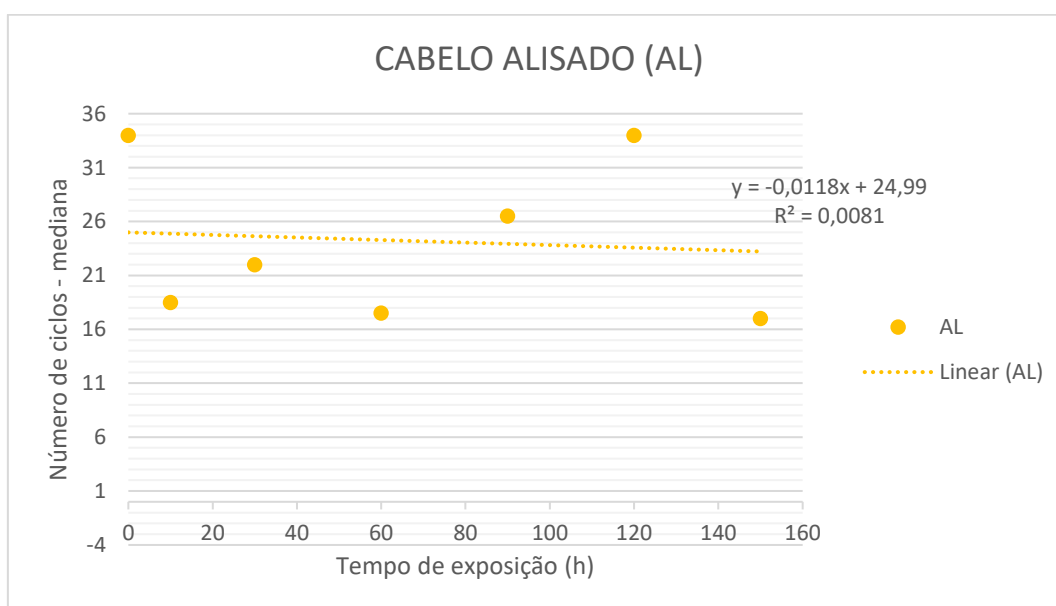


Figura 39. Regressão linear dos dados obtidos para o grupo de cabelo alisado.

Tabela 12. Coeficiente angular e coeficiente de determinação obtidos por meio da regressão linear dos dados de flexabrasão.

Grupo	Coeficiente angular	Coeficiente de determinação
NA	-1,128	0,889
DE	-0,432	0,668
CO	-0,376	0,853
AL	-0,012	0,008

De maneira geral, observam-se coeficientes angulares negativos, indicando o decaimento do número de ciclos para ruptura, com o aumento do tempo de exposição à radiação, ou seja, quanto mais tempo os cabelos são expostos ao sol, menor a resistência mecânica dos mesmos. Todavia, o grupo de cabelo alisado apresenta coeficiente angular muito próximo a zero, o que caracteriza o comportamento deste grupo como assintótico em função do tempo de exposição à radiação. Desta forma, assume-se que cabelos tratados com este tipo de alisamento químico não parecem ter suas propriedades mecânicas afetadas devido à exposição solar.

Os grupos de cabelo natural e cabelo colorido apresentam coeficiente de determinação mais próximos a 1, indicando uma melhor linearidade da resistência dos fios em relação ao tempo de exposição comparado aos outros 2 grupos. Dentre eles, o grupo de cabelo natural apresenta o maior decaimento do número de ciclos em função do tempo de exposição (coeficiente angular igual a -1,128). Conclui-se que as propriedades mecânicas deste grupo respondem com maior sensibilidade aos estímulos de radiação quando comparado aos outros grupos estudados.

A dinâmica do decaimento da resistência de cabelos naturais é maior do que a dos outros grupos provavelmente porque este grupo já se mostra mais íntegro desde antes da exposição à radiação. É possível que o efeito danoso dos tratamentos químicos nos constituintes das fibras seja elevado o suficiente, ao ponto de seu efeito nas propriedades mecânicas das fibras sobrepor o efeito ocasionado pela

radiação solar. De fato, observa-se que quanto maior o número de ciclos inicial para ruptura, maior o decaimento do mesmo em função do tempo de exposição.

Vale ressaltar que após 90 horas de exposição à lâmpada de xenônio, o número de ciclos necessários para a ruptura das fibras de cabelo natural se aproxima do número de ciclos necessários para a ruptura de cabelos que passaram pelo processo de descoloração ou coloração. Tal fato pode ser observado pela interposição parcial das bandas de incerteza, que indicam que os resultados podem ser estatisticamente compatíveis. Isto significa que este tempo de exposição (90 h) pode ser tão danoso às propriedades mecânicas da fibra quanto os tratamentos químicos indicados (descoloração ou coloração).

O teste de Mann-Whitney foi utilizado com auxílio do programa XLSTAT 2018, considerando nível de significância de 5 %, para comparar os valores obtidos para cada tempo de exposição com os valores obtidos para as amostras que não foram submetidas ao equipamento Ci3000 (0 horas de exposição). A Tabela 13 indica as comparações estatísticas obtidas para cada grupo analisado: células verdes com o símbolo “=” indicam que não há diferença estatística significativa entre as amostras analisadas; ou seja, o p-valor obtido é superior a 0,05; células vermelhas com o símbolo “≠” indicam que existe diferença estatística significativas entre as amostras analisadas; ou seja, o p-valor obtido é inferior a 0,05.

Tabela 13. Resumo da análise estatística de Mann-Whitney comparando as amostras referentes a cada tempo de exposição com as amostras não expostas à lâmpada de xenônio.

Teste de Mann-Whitney - Comparação com tempo de 0 h de exposição						
Amostras	10 h	30 h	60 h	90 h	120 h	150 h
NA	=	=	≠	≠	≠	≠
DE	=	=	≠	=	=	≠
CO	=	=	=	=	≠	≠
AL	=	≠	≠	=	=	≠

As amostras de cabelo natural (NA) e de cabelo colorido (CO) apresentam maior consistência nos resultados. Para a primeira, a perda de resistência mecânica é perceptível após 60 horas de exposição, já para a segunda, a partir de 120 horas de exposição.

Para melhor entender a dinâmica do efeito do tempo de exposição na resistência dos cabelos, utilizou-se o teste estatístico Kruskal Wallis para realizar a comparação múltipla usando o procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner, com nível de significância de 5 %. As Tabelas 14 a 17 mostram o resumo destas comparações.

Tabela 14. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo natural. Amostras que se diferenciaram estatisticamente foram separadas em diferentes grupos identificados por letras seguindo a ordem alfabética.

Amostra	Grupos			
NA – 150 h	A			
NA – 90 h	A	B		
NA – 120 h	A	B	C	
NA – 60 h		B	C	D
NA – 30 h			C	D
NA – 10 h			C	D
NA – 0 h				D

Tabela 15. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo descolorido. Amostras que se diferenciaram estatisticamente foram separadas em diferentes grupos identificados por letras seguindo a ordem alfabética.

Amostra	Grupos	
DE – 150 h	A	
DE – 60 h	A	B
DE – 120 h	A	B
DE – 90 h	A	B
DE – 30 h	A	B
DE – 10 h	A	B
DE – 0 h		B

Tabela 16. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo colorido. Amostras que se diferenciaram estatisticamente foram separadas em diferentes grupos identificados por letras seguindo a ordem alfabética.

Amostra	Grupos
CO – 150 h	A
CO – 120 h	A
CO – 90 h	A
CO – 60 h	A
CO – 30 h	A
CO – 10 h	A
CO – 0 h	A

Tabela 17. Comparação múltipla Kruskal Wallis entre os diferentes tempos de exposição para as amostras de cabelo alisado. Amostras que se diferenciaram estatisticamente foram separadas em diferentes grupos identificados por letras seguindo a ordem alfabética.

Amostra	Grupos	
AL – 150 h	A	
AL – 60 h	A	B
AL – 10 h	A	B
AL – 30 h	A	B
AL – 90 h	A	B
AL – 120 h	A	B
AL – 0 h		B

Esta análise confirma maior dinamismo da perda de resistência em função do tempo de exposição para as amostras de cabelo natural, Tabela 14, número maior de grupos, que claramente tem suas resistências mecânicas mais afetadas pela radiação em relação aos demais níveis de sensibilização estudados.

Enquanto as amostras de cabelo descolorido e alisado indicam perda de resistência mecânica apenas após 150 h de exposição, a amostra de cabelo colorido, Tabela 16, não tem suas propriedades mecânicas alteradas significativamente mesmo após este tempo total de exposição. Tal fato poderia ser explicado pelo efeito foto-protetor dos pigmentos adicionados ao córtex durante o processo de coloração, que teriam efeito de proteção para as proteínas da fibra [6].

É importante observar que quando utilizamos os resultados do teste de comparação múltipla Kruskal-Wallis para comparar os valores dos diferentes tempos de exposição com as referências de 0 h de exposição, notam-se algumas divergências em relação aos resultados obtidos com o teste Mann-Whitney. Isto acontece porque na comparação múltipla, a magnitude do efeito de interesse (neste caso, do número de ciclos) aumenta, fazendo com que as diferentes amostras sejam agrupadas com maior permissividade quando comparado ao teste de comparação direta Mann-Whitney, que possui maior capacidade de discriminação.

5.3. Correlação entre 60 h de exposição à lâmpada de xenônio com a exposição à radiação solar

Foi identificado que, de acordo com o método de flexabrasão, o cabelo natural passa a perder suas propriedades mecânicas a partir de 60 horas de exposição à lâmpada de xenônio. Com o objetivo de entender quanto tempo de vida real isto pode significar, foi calculada a correlação desta exposição com a exposição à radiação solar.

Baseado nos dados climatológicos de 2015 para a cidade do Rio de Janeiro, obtidos por meio da empresa de meteorologia *Climatempo* e listados na Tabela 4, estimou-se a dose de radiação recebida por pessoas que se expõem ao sol durante 1,5 hora por dia. De acordo com os dados estimados na Tabela 6, 60 horas de exposição à lâmpada de xenônio são equivalentes a, por exemplo, uma exposição real de cerca dos 5 primeiros meses de 2015, considerando 1,5 hora de exposição diária. Isto significa, que uma pessoa que se expõe ao sol por cerca de 1,5 hora por dia, provavelmente tem seu cabelo danificado significativamente em 5 meses, se contados a partir do primeiro dia do ano.

Se considerarmos a exposição total de janeiro com o tempo de insolação total registrado para este mês em 2015, seu equivalente à exposição à lâmpada de xenônio, nas condições selecionadas para este estudo, seria de 129,62 h. O equivalente a 60 h da lâmpada de xenônio para este mês de verão, seria de cerca de 15 dias. O que nos leva a acreditar que uma pessoa que durante o auge do verão expõe seus cabelos ao sol desde seu nascer até o escurecer, terá seus cabelos significativamente enfraquecidos após 2 semanas de exposição.

Por fim, é possível estimar a dose de intensidade de radiação equivalente a 60 horas de exposição nas condições selecionadas para este estudo, da forma indicada a seguir.

Considerando a faixa de comprimento de onda de 300 nm a 3000 nm, temos que a intensidade de radiação $I_{X300-3000}$ da lâmpada de xenônio para esta faixa é:

$$I_{X300-3000} = R_{RJ} * I_{X300-400} = 1523,71 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{Equação 13})$$

Logo, a dose $D_{X300-3000}$ de radiação pode ser calculada como:

$$D_{X300-3000} = t_X * I_{X300-3000} = 329,12 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{Equação 14})$$

Desta forma, para simular as mesmas 60 horas de exposição deste estudo em sistemas diferentes de exposição, é preciso garantir uma dose de radiação de $329,12 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ para a faixa de 300 nm a 3000 nm do espectro de radiação solar.

6 Conclusão

A radiação emitida pelo sol é responsável pela oxidação de diferentes constituintes da fibra capilar, podendo acarretar em importantes perdas de propriedades mecânicas da mesma. Desta forma, evidencia-se a necessidade do desenvolvimento de produtos que sejam capazes de proteger os cabelos dos efeitos nocivos da irradiação solar.

Para que seja garantida a eficácia de tais produtos, é essencial que exista uma metodologia capaz de detectar as variações ocasionadas na fibra devido à exposição ao sol. O presente trabalho avalia o potencial da metodologia de flexabrasão na determinação do efeito da radiação solar na integridade das propriedades mecânicas das fibras capilares, considerando valores realistas de exposição.

A análise do cenário climatológico, apresentada no capítulo 3, indicou que a cidade do Rio de Janeiro apresenta o cenário mais extremo para exposição a radiações solares visto que as doses de intensidade de radiação deste local foram superiores às encontradas para as cidades de Porto Alegre, Fortaleza e Manaus. As condições climáticas do Rio de Janeiro foram, então, selecionadas para correlação com os parâmetros selecionados para exposição *in vitro* de mechas de cabelo com o auxílio de uma lâmpada de arco de xenônio.

A partir dos resultados do ensaio de flexabrasão, observou-se que, de maneira geral, o número de ciclos para a ruptura de fibras de cabelo apresenta distribuição não normal. Desta forma, foram utilizados os testes estatísticos não paramétricos Mann-Whitney e Kruskal Wallis para comparar as diferentes amostras.

A resistência dos fios, determinada pelo número de ciclos de abrasão precedentes à ruptura dos mesmos, mostrou-se inversamente proporcional ao tempo de exposição à radiação da lâmpada de xenônio para os cabelos natural, descolorido e colorido. Os resultados indicaram que quanto maior a integridade inicial da fibra a ser analisada, maior a dinâmica de decaimento do número de ciclos em função do tempo de exposição.

Após submeter as mechas de cabelo ao alisamento com solução contendo 10 % de formaldeído, as propriedades mecânicas das fibras capilares apresentaram-se

muito comprometidas, de maneira que o número de ciclos para a ruptura foi reduzido significativamente cerca de 90 % em relação ao cabelo natural. Para este grupo de amostras, não houve relação entre o tempo de exposição e a resistência mecânica dos fios, indicando que os danos ocasionados pelo formaldeído sobrepõem os danos ocasionados pela radiação solar.

O impacto das diferentes doses de radiação nas propriedades da fibra capilar foi mais claramente evidenciado nas fibras de cabelo natural, sendo possível identificar redução significativa de sua resistência mecânica já após 60 horas de exposição. Em termos práticos, isto significa que o cabelo natural de uma pessoa que se expõe ao sol do Rio de Janeiro por cerca de 1,5 hora por dia tem as propriedades mecânicas significativamente reduzidas após cerca de 5 meses de sua rotina habitual.

Com base nos estudos realizados no presente trabalho, pode-se propor a seguinte padronização de variáveis para harmonizar o preparo de amostras capilares e simulação de exposição solar:

- Utilização de mechas naturais com coloração castanha;
- Dose total de radiação de $329,12 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ para a faixa de comprimento de onda de 300 nm a 3000 nm do espectro solar, ou o equivalente para contemplação de janelas diferentes de comprimento de onda;
- Temperatura de 40 °C;
- Umidade relativa do ar de 50 %.

Os resultados obtidos utilizando a metodologia de flexabrasão evidenciaram a capacidade da técnica para detectar o efeito danoso da radiação solar nas propriedades mecânicas de fibras de cabelo humano, mostrando-se mais eficaz do que o tradicional ensaio de tração, uma vez que leva em consideração também a fragilização da região cuticular, a qual é mais impactada pela radiação do que a região cortical.

A metodologia de flexabrasão é, portanto, indicada para avaliação dos efeitos danosos da radiação solar em fibras de cabelo humano e por consequência, se mostra como metodologia potencial para avaliação de eficácia de produtos destinados à fotoproteção capilar, sendo possível adequar esta categoria de produtos às exigências de regulamentação da RDC nº 07, de 10 de fevereiro de 2015 [3].

6.1. Sugestões de trabalhos futuros

Como uma próxima etapa, para que a metodologia de flexabrasão seja utilizada na avaliação de desempenho de produtos destinados à fotoproteção, sugere-se avaliar seu poder de discriminação entre amostras tratadas com diferentes fórmulas e referências positivas (não expostas à radiação) e negativas (expostas à radiação, sem tratamento fotoprotetor).

Outro complemento ao presente trabalho, consiste na investigação dos efeitos da radiação solar quando combinada a elevados níveis de umidade relativa do ar, como no caso do Rio de Janeiro.

7 Referências

1. PANORAMA MUNDIAL DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS – RESULTADOS 2017. São Paulo: ABIHPEC - Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, 2018. Anual.
2. **ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária:** Institucional. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/institucional>>. Acesso em: 29 jul. 2018.
3. BRASIL. Resolução RDC nº 07, de 10 de fevereiro de 2015. Dispõe os Requisitos técnicos para a regularização de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e dá outras providências. **ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária.** Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2867685/RDC_07_2015_.pdf>.
4. **CONAR – Conselho Nacional de Autorregulamentação Publicitária.** Disponível em: <<http://www.conar.org.br/>>. Acesso em: 29 jul. 2018.
5. COSMETIC & TOILETRIES. **Hair Care: From Physiology to Formulation.** Carol Stream, IL: Allured Business Media.
6. ROBBINS, C. **Chemical and Physical Behavior of Human Hair.** 5. ed. New York: Springer-Verlag, 2012.
7. RICHENA, M.; REZENDE, C. A. Effect of photodamage on the outermost cuticle layer of human hair. **Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology**, v. 153, p. 296–304, 2015.
8. GAO, T.; BEDELL, A. Ultraviolet damage on natural gray hair and its photoprotection. **Journal of Cosmetic Science**, v. 52, p. 103-118, 2001.
9. NOGUEIRA, A. C. S.; Joekes, I. Hair color changes and protein damage caused by ultraviolet radiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 74, p. 109–117, 2004.

10. NOGUEIRA, A. C. S. **Foto-degradação do cabelo: influência da pigmentação da fibra**. 2008. Tese (Doutorado no Instituto de Química)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2008.
11. NOGUEIRA, A. C. S.; DICELIO, I.; JOEKES, I. About photo-damage of human hair. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 5, p. 165-169, 2006.
12. SWIFT, J. A. et al. Flexabrasion: A Method for Evaluating Hair Strength. **Cosmetics & Toiletries Science Applied**, v. 129, n. 5, june 2014.
13. MORTON, W. E.; **Hearle, J. W. S. Physical Properties of textile fibres**. 4. ed. Cambridge: Woodhead Publishing limited, 2008.
14. LEROY, F. et al. Flexabrasion: A new test for predicting human hair resistance. In: Tricontinental Meeting of Hair Research Societies, 1., 1995, Brussels.
15. BERTRAND, L. et al. Lead-revealed lipid organization in human hair. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1620, p. 218-224, 2003.
16. SWIFT, J. A.; COULSON, D.; AL BAYATTI, M. F. The intra-fibre flexabrasion test. A powerful method in the evaluation of hair toiletry products. In: INTERNATIONAL WOOL TEXTILE RESEARCH CONFERENCE, 10., 2000.
17. ZVIAK, C. **Science des traitements Capillaires**. Paris: Masson, 1988.
18. **Hair Science**. Disponível em: <<http://www.hair-science.fr>>. Acesso em: 11 mar. 2011.
19. QUADFLIEG, J. M. **Fundamental properties of Afro-American hair as related to their straightening/relaxing behavior**. 2003. Tese (Doutorado na escola de Matemática, Informática e Ciências da Natureza)-Escola Superior Técnica de Aachen, Renânia do Norte-Vestfália, Colônia, Alemanha, 2003.
20. BHUSHAN, B. Nanoscale characterization of human hair and hair conditioners. **Progress in Materials Science**, v. 53, p. 585–710, 2008.
21. Cisteína. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciste%C3%ADna>>. Acesso em: 30/12/2013, 22:10.
22. NOGUEIRA, A.C.S. **Efeito da Radiação Ultravioleta na Cor, na Perda Proteica e nas Propriedades Mecânicas do Cabelo**. 2003. Dissertação

- (Mestrado no Instituto de química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2003.
23. SHIMOMURA, Y., ITO, M. Human Hair Keratin-associated Proteins. **Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings**, v. 10, p. 230-233, 2005.
 24. FRANBOURG, A. et al. Current research on ethnic hair. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 48, n. 6, p. S115-S119, 2003.
 25. THIBAUT, S. et al. Chronological ageing of human hair keratin fibers. **International Journal of Cosmetic Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-13, 2010.
 26. Comparison: Microscopic. Disponível em: <<http://what-when-how.com/forensic-sciences/comparison-microscopic/>>. Acesso em 23 mar. 2019.
 27. RICHENA, M.; REZENDE, C. A. Morphological degradation of human hair cuticle due to simulated sunlight irradiation and washing. **Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology**, v. 161, p. 430–440, 2016.
 28. MCKENZIE, C. A. et al. Childhood malnutrition is associated with a reduction in the total melanin content of scalp hair. **British Journal of Nutrition**, v. 98, p. 159–164, 2007.
 29. EVANS, T.; WICKET, R. **Practical Modern Hair Science**. Carol Stream, IL: Allured Business Media, 2012.
 30. DE LA METTRIE, R. et al. Shape variability and classification of human hair: a worldwide approach. **Human Biology**, v. 79, n. 3, p. 265-281, Jun. 2007.
 31. LOUSSOUARN, G. et al. Worldwide diversity of hair curliness: a new method of assessment. **International Journal of Dermatology**, v. 46, p. 2-6, 2007.
 32. MCMULLEN, R. L. et al. Investigation of Physicochemical Changes in Hair as a Result of Treatment with Formaldehyde and Thermal Styling Devices. In: TRI's International Conference on Applied hair science, 2014. **Anais**.
 33. DE OLIVEIRA, N. et al. Understanding hair damage in brazil: The effect of Brazilian habits in the quality of hair fibers. In: INTERNATIONAL FEDERATION OF SOCIETIES OF COSMETIC CHEMISTS CONGRESS, 30., 2018, Munique. **Anais**.

34. LEITE, M. G. A.; CAMPOS, P. M. B. G. M. Mechanical characterization of curly hair: Influence of the use of nonconventional hair straightening treatments”, **Skin Res. Technol.**, v. 23, p. 539-544, 2017.
35. Vanicek, K., Frei, T., Litynska, Z., Schmalwieser, A., **UV-Index for the public: A guide for publication and interpretation of solar UV Index forecasts for the public prepared by the working group 4 of the COST-713 Action.** Brussels, 1999.
36. RUETSCH, S. B.; KAMATH, Y.; WEIGMANN, H. D. Photodegradation of human hair: An SEM study. **Journal of Cosmetics Science**, v. 51, p. 103-125, 2000.
37. HOTING, E.; ZIMMERMANN, M.; HILTERHAUS-BONG, S. Photochemical alterations in human hair: I. Artificial irradiation and investigations of hair proteins. **J. Soc. Cosmet. Chem**, v. 46, p. 85-99, 1995.
38. JEON, S. Y.; PI, L. Q.; LEE, W. S. Comparison of hair shaft damage after UVA and UVB irradiation. **J. Cosmet. Sci.** v. 59, p. 151-156, 2008.
39. PANDE. C. M.; JACHOWICZ, J. Hair photodamage Measurement and prevention. **J. Soc. Cosmet. Chem.** V. 44, p. 109-122, 1993.
40. FERNÁNDEZ, E. et al. Photodamage determination of human hair. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 106, p. 101–106, 2012.
41. CHANDRASHEKARA, M. N.; RANGANATHAIAH, C. Chemical and photochemical degradation of human hair: A free-volume microprobe study. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 101, p. 286–294, 2010.
42. RATNAPANDIAN, S.; WARNER, S. B.; KAMATH, Y. K. Photodegradation of human hair. **J. Cosmet. Sci.** v. 49, p. 309-320, 1998.
43. YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e Física Moderna.** 12. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.
44. Recurso solar. Disponível em : <<http://recursosolar.geodesign.com.br/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.
45. HyperPhysics. Disponível em : <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ems1.html>>. Acesso em 28 jan. 2018.
46. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global Solar UV Index: A practical guide.** 2002.

47. Date and time. Disponível em: <<http://dateandtime.info>>. Acesso em: 17 fev. 2017.
48. Índice CFA de Governança Municipal. Disponível em: <<http://cgp.cfa.org.br/>>. Acesso em 17 fev. 2017.
49. Observatório UFMG. Disponível em: <<http://www.observatorio.ufmg.br/pas44.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2019.
50. ATLAS MATERIAL TESTING TECHNOLOGY. **Ci3000+/Ci4000/Ci5000 Weather-Ometer®: General equipment specifications Manual Ci3000 Atlas**. 2014.
51. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4892-2: Plastiques — Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire**, 2006.
52. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G173-03: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiance: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface, 2012.
53. TEXTECHNO TEXTILE TESTING TECHNOLOGY. Fiberstress: Bending-Abrasion and Cycling Stress Tester for Fibres and Yarns. Disponível em: <<https://www.textechno.com>>. Acesso em: 16 de jun. 2018.
54. MILLER, J. N.; MILLER, J. C. **Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry**. 6. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2010.
55. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13528: Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison**, 2015.
56. MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 3. ed. Arizona: John Wiley & Sons, 2003.
57. DE OLIVEIRA, E. C. et al. Comparison of different approaches for detection and treatment of outliers in meter proving factors determination. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 48, p. 29-35, 2016.
58. LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 4 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.
59. NEUHAUSER, M.; BRETZ, F. Nonparametric All-Pairs Multiple Comparisons. **Biometrical Journal**, v. 43, n. 5, p. 571–580, 2001.
60. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL: DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA. Apostila: **Teste de hipóteses não**

paramétricos. Disponível em:
<http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2282/material/apostilas/Teses_Nao_Parametricos.pdf>. Acesso em: 09 out. 2018.

APÊNDICE 1. Dados brutos

CABELO NATURAL							
Corpo de prova	NA – 0 h	NA – 10 h	NA – 30 h	NA – 60 h	NA – 90 h	NA – 120 h	NA – 150 h
1	270	176	192	111	207	111	73
2	272	178	209	114	210	129	78
3	302	198	215	129	213	129	80
4	303	208	226	130	214	130	85
5	304	208	239	130	218	140	85
6	307	208	241	138	222	143	85
7	318	213	246	141	224	169	96
8	320	218	252	155	229	170	97
9	325	240	259	160	230	177	120
10	327	262	266	189	232	183	125
11	338	274	267	192	236	237	125
12	341	275	270	221	237	245	128
13	353	283	281	226	241	246	130
14	358	299	283	228	241	257	140
15	364	323	285	236	245	259	165
16	364	324	323	271	246	264	173
17	380	335	329	295	251	269	208
18	393	359	340	296	266	276	209
19	408	379	342	296	273	278	209
20	414	382	345	317	277	279	219
21	419	390	359	330	281	284	222
22	427	399	363	331	296	286	226
23	428	413	368	342	299	295	226
24	432	420	369	349	306	310	239
25	434	423	393	372	316	322	246
26	443	430	401	407	323	355	262
27	455	440	405	418	326	363	262
28	473	444	408	424	331	376	279
29	479	458	426	439	342	388	283
30	481	458	432	445	343	388	311
31	481	482	444	447	358	390	343

32	492	497	464	469	359	396	346
33	495	500	475	470	360	403	362
34	505	506	486	478	361	414	381
35	508	507	506	481	367	417	389
36	512	509	524	497	374	427	398
37	513	543	527	500	390	451	409
38	523	555	538	505	392	452	410
39	560	559	549	506	395	452	412
40	579	561	552	528	398	453	421
41	588	586	562	569	415	455	426
42	602	599	592	581	444	456	452
43	606	617	607	597	506	457	464
44	617	618	616	606	544	471	464
45	666	619	621	627	605	484	471
46	667	622	647	629	635	486	473
47	690	670	654	641	643	507	480
48	699	743	712	668	713	518	506
49	753	744	713	677	203	526	521
50	860	802	764	685	206	534	524
Média \bar{y}	462,96	429,12	417,74	379,86	330,86	332,14	276,76
Desvio padrão s (\bar{y})	135,52	162,90	153,04	176,03	124,25	124,64	144,54

CABELO DESCOLORIDO							
Corpo de prova	DE – 0 h	DE – 10 h	DE – 30 h	DE – 60 h	DE – 90 h	DE – 120 h	DE – 150 h
1	103	102	1	15	76	0	17
2	108	109	8	22	79	2	21
3	125	111	47	22	92	7	25
4	137	114	50	23	98	10	35
5	145	115	51	40	99	10	40
6	161	122	65	46	104	13	42
7	163	129	67	47	113	15	44
8	172	130	76	63	117	21	52
9	172	130	88	66	121	22	54
10	174	142	91	67	124	35	70
11	175	152	114	81	126	35	73

12	177	166	145	81	128	47	78
13	183	181	146	91	157	56	82
14	190	198	150	102	159	69	87
15	203	211	154	105	161	76	94
16	205	219	158	106	164	96	134
17	207	221	159	111	168	100	141
18	208	233	160	122	176	133	142
19	209	236	168	133	195	138	147
20	210	237	190	137	195	138	149
21	217	240	201	161	196	157	151
22	230	242	205	172	204	165	159
23	269	244	222	181	210	178	167
24	278	267	231	191	211	230	176
25	283	273	246	211	218	239	186
26	285	275	249	216	231	241	188
27	286	276	265	245	246	242	195
28	290	280	269	259	250	259	196
29	291	293	272	263	250	286	204
30	297	295	284	269	257	288	204
31	331	298	287	276	258	312	205
32	331	299	287	279	259	316	216
33	340	301	294	286	264	319	218
34	342	309	301	289	281	325	231
35	343	311	319	292	299	325	245
36	354	314	328	311	301	337	253
37	356	316	351	313	316	344	254
38	369	320	366	321	318	353	257
39	376	326	366	322	349	356	272
40	376	340	371	339	354	361	275
41	383	344	395	352	357	378	284
42	408	345	396	367	360	382	285
43	424	350	398	369	366	383	318
44	437	366	400	389	385	406	329
45	454	367	410	392	391	408	330
46	455	368	414	395	398	408	333
47	460	371	414	454	414	408	347
48	461	380	420	455	420	417	387

49	99	90	433	460	67	448	402
50	101	102	440	464	70	479	445
Média \bar{y}	267,06	243,20	238,44	215,46	223,04	215,46	184,78
Desvio padrão s (\bar{y})	108,18	89,43	129,46	136,90	103,93	152,75	110,54

CABELO COLORIDO							
Corpo de prova	CO – 0 h	CO – 10 h	CO – 30 h	CO – 60 h	CO – 90 h	CO – 120 h	CO – 150 h
1	70	82	13	14	48	23	5
2	100	82	14	30	68	23	10
3	110	97	17	53	80	27	12
4	119	105	21	56	98	33	13
5	127	121	25	64	110	43	17
6	128	139	26	68	111	48	25
7	137	153	26	68	133	57	32
8	138	158	27	72	133	62	64
9	153	169	32	79	133	69	70
10	196	185	43	93	152	95	79
11	201	186	69	96	159	97	114
12	240	187	75	107	173	104	118
13	255	206	76	110	197	111	121
14	258	208	90	113	199	119	125
15	272	208	129	134	206	151	126
16	273	209	145	139	215	172	131
17	278	216	165	161	219	181	164
18	282	225	165	161	231	193	180
19	282	229	165	179	241	205	183
20	284	265	180	203	260	221	184
21	292	269	189	220	260	222	190
22	293	287	193	223	274	229	200
23	301	309	253	257	278	237	208
24	308	316	266	258	287	243	249
25	314	331	270	279	298	250	250
26	316	336	291	296	301	259	251
27	325	340	305	298	303	260	259
28	363	351	310	299	310	262	266

29	369	352	312	303	314	263	300
30	384	359	324	310	316	263	300
31	389	372	340	320	322	266	301
32	407	381	351	323	330	270	308
33	414	388	368	334	335	290	309
34	419	391	378	349	336	294	323
35	431	398	422	374	354	305	351
36	431	400	429	379	356	317	354
37	433	407	432	390	372	358	378
38	435	410	449	413	382	391	379
39	450	412	469	416	383	400	392
40	480	414	471	436	385	409	397
41	503	414	484	439	391	441	404
42	516	417	518	442	405	461	411
43	517	423	533	444	413	463	412
44	524	432	553	449	439	463	420
45	530	435	556	491	443	466	421
46	565	440	557	493	457	482	421
47	575	458	566	506	468	488	433
48	588	468	583	508	474	503	434
49	58	63	599	509	44	505	437
50	65	69	622	539	44	508	470
Média \bar{y}	317,96	285,44	277,92	265,94	264,80	252,04	240,02
Desvio padrão s (\bar{y})	148,45	123,13	197,15	157,70	122,62	152,41	145,04

CABELO ALISADO							
Corpo de prova	AL – 0 h	AL – 10 h	AL – 30 h	AL – 60 h	AL – 90 h	AL – 120 h	AL – 150 h
1	10	2	3	3	5	0	5
2	13	3	3	5	5	0	5
3	14	3	4	7	5	0	5
4	14	4	4	7	7	1	6
5	14	4	5	7	7	2	6
6	15	4	5	7	8	3	6
7	16	5	7	8	8	5	6
8	19	5	7	9	9	7	7

9	20	6	7	10	9	7	7
10	21	7	8	10	9	11	10
11	21	8	10	11	10	14	10
12	23	9	11	11	11	14	10
13	23	10	11	11	12	18	11
14	23	10	12	11	12	18	11
15	23	10	14	12	15	18	11
16	24	11	16	13	17	19	12
17	24	12	16	13	17	19	12
18	27	13	16	14	17	19	13
19	27	14	17	14	19	20	14
20	28	14	18	15	21	21	15
21	29	16	18	16	22	26	16
22	32	16	20	16	24	26	17
23	34	18	21	16	25	29	17
24	34	19	21	16	28	32	17
25	35	21	22	17	28	36	17
26	35	23	22	18	30	40	17
27	36	26	23	20	30	42	19
28	36	28	23	21	30	43	19
29	37	29	24	22	30	44	20
30	37	29	25	25	31	44	21
31	40	36	25	25	35	45	22
32	40	39	26	27	36	45	23
33	41	40	28	28	37	46	25
34	42	50	29	31	38	46	27
35	44	54	32	31	38	50	30
36	44	55	32	33	45	52	36
37	48	56	37	35	48	53	36
38	57	57	43	39	51	55	37
39	60	61	44	41	52	58	43
40	61	65	47	48	60	59	43
41	62	66	47	49	65	59	43
42	63	67	49	51	65	60	44
43	65	72	56	52	65	61	50
44	65	73	62	52	67	62	51
45	66	77	63	54	69	63	52

46	71	77	68	62	70	63	55
47	80	78	70	63	72	64	56
48	84	78	75	67	77	65	56
49	10	2	78	71	5		57
50	10	2	80	81	5		59
Média \bar{y}	35,94	29,68	28,08	26,50	30,02	33,00	24,14
Desvio padrão s (\bar{y})	148,45	123,13	197,15	157,70	122,62	152,41	145,04

APÊNDICE 2. Teste de normalidade

Teste Shapiro-Wilk (NA – 0 h):

W	0,954
p-valor (bicaudal)	0,052
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é de 5,15 %.

Teste Shapiro-Wilk (NA – 10 h):

W	0,967
p-valor (bicaudal)	0,174
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é de 17,38 %.

Teste Shapiro-Wilk (NA – 30 h):

W	0,949
p-valor (bicaudal)	0,032
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 3,20 %.

Teste Shapiro-Wilk (NA – 60 h):

W	0,947
p-valor (bicaudal)	0,025
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 2,47 %.

Teste Shapiro-Wilk (NA – 90 h):

W	0,914
p-valor (bicaudal)	0,002
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,24 %.

Teste Shapiro-Wilk (NA – 120 h):

W	0,945
p-valor (bicaudal)	0,021
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 2,06 %.

Teste Shapiro-Wilk (NA – 150 h):

W	0,925
p-valor (bicaudal)	0,004
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,37 %.

Teste Shapiro-Wilk (DE – 0 h):

W	0,947
p-valor (bicaudal)	0,025
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 2,48 %.

Teste Shapiro-Wilk (DE – 10 h):

W	0,928
p-valor (bicaudal)	0,005
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,45 %.

Teste Shapiro-Wilk (DE – 30 h):

W	0,949
p-valor (bicaudal)	0,031
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 3,07 %.

Teste Shapiro-Wilk (DE – 60 h):

W	0,940
p-valor (bicaudal)	0,014
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 1,37 %.

Teste Shapiro-Wilk (DE – 90 h):

W	0,950
p-valor (bicaudal)	0,033
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 3,26 %.

Teste Shapiro-Wilk (DE – 120 h):

W	0,909
p-valor (bicaudal)	0,001
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,10 %.

Teste Shapiro-Wilk (DE – 150 h):

W	0,965
p-valor (bicaudal)	0,143
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H_0 .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é de 14,27 %.

Teste Shapiro-Wilk (CO – 0 h):

W	0,964
p-valor (bicaudal)	0,127
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H_0 .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é de 12,71 %.

Teste Shapiro-Wilk (CO – 10 h):

W	0,925
p-valor (bicaudal)	0,003
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,35 %.

Teste Shapiro-Wilk (CO – 30 h):

W	0,923
p-valor (bicaudal)	0,003
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,31 %.

Teste Shapiro-Wilk (CO – 60 h):

W	0,938
p-valor (bicaudal)	0,011
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 1,10 %.

Teste Shapiro-Wilk (CO – 90 h):

W	0,964
p-valor (bicaudal)	0,129
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H_0 .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é de 12,92 %.

Teste Shapiro-Wilk (CO – 120 h):

W	0,937
p-valor (bicaudal)	0,010
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 1,03 %.

Teste Shapiro-Wilk (CO – 150 h):

W	0,932
p-valor (bicaudal)	0,006
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,64 %.

Teste Shapiro-Wilk (AL – 0 h):

W	0,928
p-valor (bicaudal)	0,006
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,59 %.

Teste Shapiro-Wilk (AL – 10 h):

W	0,854
p-valor (bicaudal)	< 0,0001
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,01 %.

Teste Shapiro-Wilk (AL – 30 h):

W	0,881
p-valor (bicaudal)	0,000
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,01 %.

Teste Shapiro-Wilk (AL – 60 h):

W	0,871
p-valor (bicaudal)	< 0,0001
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H_0 : A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,01 %.

Teste Shapiro-Wilk (AL – 90 h):

W	0,894
p-valor (bicaudal)	0,000
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,03 %.

Teste Shapiro-Wilk (AL – 120 h):

W	0,920
p-valor (bicaudal)	0,003
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese H0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,30 %.

Teste Shapiro-Wilk (AL – 150 h):

W	0,868
p-valor (bicaudal)	< 0,0001
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A variável da qual a amostra foi extraída segue uma distribuição normal.

Ha: A variável da qual a amostra foi extraída não segue uma distribuição normal.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, se pode rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese H_0 enquanto ela é verdadeira é menor do que 0,01 %.

Resumo:

Variavel\Teste	Shapiro-Wilk
NA – 0 h	0,052
NA – 10 h	0,174
NA – 30 h	0,032
NA – 60 h	0,025
NA – 90 h	0,002
NA – 120 h	0,021
NA – 150 h	0,004
DE – 0 h	0,025
DE – 10 h	0,005
DE – 30 h	0,031
DE – 60 h	0,014
DE – 90 h	0,033
DE – 120 h	0,001
DE – 150 h	0,143
CO – 0 h	0,127
CO – 10 h	0,003
CO – 30 h	0,003
CO – 60 h	0,011
CO – 90 h	0,129
CO – 120 h	0,010
CO – 150 h	0,006
AL – 0 h	0,006
AL – 10 h	< 0,0001
AL – 30 h	0,000
AL – 60 h	< 0,0001
AL – 90 h	0,000
AL – 120 h	0,003
AL – 150 h	< 0,0001

APÊNDICE 3. Comparação entre tempos Mann-Whitney

Cabelo natural – 0 h vs. 10 h

Resumo estatístico:

Variável	Observações	Obs. dados faltantes	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Minimo	Maximo	Média	Desvio padrão
NA – 0 h	49	0	49		270,00	753,000	454,857	124,088
NA – 10 h	50	0	50		176,000	802,000	429,120	162,897

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

U	344,500
U (padronizado)	0,833
Valor esperado	1225,000
Variância (U)	0415,657
p-valor (bicaudal)	0,405
alpha	0,05

Interpretação do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 40,49%.

Cabelo natural – 0 h vs. 30 h

Resumo estatístico:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mini mo	Maxi mo	Médi a	Desvi o padrão
				2	7	4	1
				70,00	53,00	54,85	24,08
NA – 0 h	49	0	49	0	0	7	8
				1	7	4	1
				92,00	64,00	17,74	53,03
NA – 30 h	50	0	50	0	0	0	7

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	435
U	
(padronizado)	1
	,466
	1
Valor esperado	225,00
	0
	2
Variância (U)	0415,9
	09
p-valor	0
(bicaudal)	,143
	0
alpha	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 14,26 %.

Cabelo natural – 0 h vs. 60 h

Resumo estatístico:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Minimo	Maximo	Média	D esvio padrão
NA – 0 h	49	0	49	70,000	53,000	54,857	124,088
NA – 60 h	50	0	50	11,000	85,000	79,860	176,026

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

U	525
U (padronizado)	2,096
Valor esperado	225,000
Variância (U)	0415,530
p-valor (bicaudal)	0,036
alpha	0,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é verdadeira é menor que 3,61 %.

Cabelo natural – 0 h vs. 90 h

Resumo
estatístico:

Variável	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mini mo	Maxi mo	Média	Desvi o padrã o
			2	7	4	1
	4		70,0	53,0	54,8	24,0
NA – 0 h	9	0	49	00	57	88
			2	5	3	
NA – 90 h	4		03,00	44,00	03,19	8
	6	0	46	0	6	3,016

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	906,50
U	0
U	
(padroni	5
zado)	,801
Valor	1
esperad	127,00
o	0
	1
Variânci	8031,4
a (U)	95
p-valor	
(bicauda	<
l)	0,0001
	0
alpha	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do
teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 0,01 %.

Cabelo natural – 0 h vs. 120 h

Resumo
estatístico:

Variável	Obser vações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mini mo	Maxi mo	Média	Desvi o padrã o
				2	7	4	1
NA – 0 h	4 9	0	49	70,0 00	53,0 00	54,8 57	24,0 88
NA – 120 h	5 0	0	50	11,00 0	34,00 0	32,14 0	24,63 5

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	812,50
U	0
U	
(padroni zado)	4 ,108
Valor	1
esperad o	225,00 0
	2
Variânci a (U)	0415,6 57
p-valor (bicauda l)	< 0,0001
	0
alpha	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 0,01 %.

Cabelo natural – 0 h vs. 150 h

Resumo estatístico:

Variável	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mini mo	Maxi mo	Média	Desvi o padrã
NA – 0 h	4	0	70,00	53,00	54,85	24,08
NA – 150 h	5	0	73,00	24,00	76,76	44,53

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

U	978,50
U	0
(padronizado)	5,270
Valor esperado	1225,00
	0
Variância (U)	0415,152
p-valor (bicaudal)	< 0,0001

alpha 0,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 0,01 %.

Cabelo descolorido – 0 h vs. 10 h

Resumo estatístico:

	Varíavel	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Índice mínimo	Índice máximo	Índice médio	Diferença padrão
0 h	DE –	50	0	50	9,00	61,00	67,06	108,180
10 h	DE –	50	0	50	0,00	80,00	43,20	89,432

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	377,50
U	0
U	0
(padronizado)	,876
	1
Valor esperado	250,00
	0
	2
Variância (U)	1040,909

p-valor	0
(bicaudal)	,381
alpha	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 38,13 %.

Cabelo descolorido – 0 h vs. 30 h

Resumo
estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variável	bservações	com dados faltantes	sem dados faltantes	inim o	axim o	I média	esvio padrão
0 h	DE –	5			9,00	61,00	67,06	1
		0	0	50	0	0	0	08,180
30 h	DE –	5			40,00	38,44		1
		0	0	50	,000	0	0	29,461

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	415
U	
(padronizado)	1
	,134
	1
Valor esperado	250,00
	0

	2
Variância (U)	1040,404
p-valor (bicaudal)	0,257
alpha	0,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 25,68 %.

Cabelo descolorido – 0 h vs. 60 h

Resumo estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I	I	D
	Variável	bservações	com dados faltantes	sem dados faltantes	inim o	axim o	édia	esvio padrão
0 h	DE –	5			9,00	61,00	67,06	1
		0	0	50	0	0	0	08,180
60 h	DE –	5			5,00	64,00	15,46	1
		0	0	50	0	0	0	36,900

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	547
U	
(padronizado)	2,044

	1
Valor esperado	250,00
	2
Variância (U)	1039,6
p-valor (bicaudal)	0,041
alpha	0,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 4,09 %.

Cabelo descolorido – 0 h vs. 90 h

Resumo
estatístico:

	Obs.	Obs.					
Variável	Observações	com dados faltantes	sem dados faltantes	mínimo	máximo	Média	Desvio padrão
0 h	5	0	50	9,00	61,00	67,06	108,180
90 h	5	0	50	7,00	20,00	23,04	103,932

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	532

U	
(padroniza	1
do)	,941
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1040,5
ncia (U)	30
p-	
valor	0
(bicaudal)	,052
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 5,23 %.

Cabelo descolorido – 0 h vs. 120 h

Resumo
estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	I	esvio
	vel	ções	faltantes	faltantes	o	o	édia	padrão
					!	!	!	
	DE –	5			9,00	61,00	67,06	1
0 h		0	0	50	0	0	0	08,180
						!	!	
	DE –	5			(79,00	15,46	1
120 h		0	0	50	,000	0	0	52,752

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	489,50
U	0
U	
(padroniza	1
do)	,648
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1039,0
ncia (U)	15
p-	
valor	0
(bicaudal)	,099
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 9,94 %.

Cabelo descolorido – 0 h vs. 150 h

Resumo
estatístico:

	O	Obs.	Obs.	I	I	I	D
Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	édia	esvio
vel	ções	faltantes	faltantes	o	o		padrão
				!	!	!	
DE –	5			9,00	61,00	67,06	1
0 h	0	0	50	0	0	0	08,180
				!	!	!	
DE –	5			7,00	45,00	84,78	1
150 h	0	0	50	0	0	0	10,541

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	751
U	
(padroniza	3
do)	,450
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1040,9
ncia (U)	09
p-	
valor	0
(bicaudal)	,001
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de

0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 0,06 %.

Cabelo colorido – 0 h vs. 10 h

Resumo
estatístico:

	O	Obs.	Obs.	I	I	I	D
Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	I	esvio
vel	ções	faltantes	faltantes	o	o	édia	padrão
				!	!	!	
CO –	5			8,00	88,00	17,96	1
0 h	0	0	50	0	0	0	48,447

	CO –	5							
10 h		0	0	50	3,00	68,00	85,44	1	
					0	0	0	23,132	

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	396
U	
(padroniza	1
do)	,003
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1040,1
ncia (U)	52
p-	
valor	0
(bicaudal)	,316
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 31,58 %.

Cabelo colorido – 0 h vs. 30 h

Resumo
estatístico:

	O	Obs.	Obs.	I	I		D
Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	I	esvio
vel	ções	faltantes	faltantes	o	o	édia	padrão

	CO –	5			8,00	88,00	17,96	1
0 h		0	0	50	0	0	0	48,447
	CO –	5			3,00	22,00	77,92	1
30 h		0	0	50	0	0	0	97,149

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	409
U	
(padroniza	1
do)	,093
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1040,7
ncia (U)	83
p-	
valor	0
(bicaudal)	,275
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 27,45 %.

Cabelo colorido – 0 h vs. 60 h

Resumo
estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variável	bservações	com dados faltantes	sem dados faltantes	inim o	axim o	édia	esvio padrão
	CO –	5			8,00	88,00	17,96	1
0 h		0	0	50	0	0	0	48,447
	CO –	5			4,00	39,00	65,94	1
60 h		0	0	50	0	0	0	57,697

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	469
U	
(padroniza do)	1
	,506
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1040,9
ncia (U)	09
p-	
valor	0
(bicaudal)	,132
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 13,20 %.

Cabelo colorido – 0 h vs. 90 h

Resumo
estatístico:

		O bserva ções	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	ini m o	ma xim o	Me dia	D esvio padrão
0 h	CO –	5 0	0	50	8,00 0	88,00 0	17,96 0	1 48,447
90 h	CO –	5 0	0	50	4,00 0	74,00 0	64,80 0	1 22,624

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	491,50
U	0
U	
(padroniza do)	1 ,661
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ ncia (U)	1040,0 25
p- valor	0
(bicaudal)	,097
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 9,66 %.

Cabelo colorido – 0 h vs. 120 h

Resumo
estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I	I	D
	Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	édia	esvio
	vel	ções	faltantes	faltantes	o	o		padrão
0 h	CO –	5			8,00	88,00	17,96	1
		0	0	50	0	0	0	48,447
120 h	CO –	5			3,00	08,00	52,04	1
		0	0	50	0	0	0	52,414

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	584
U	
(padroniza	2
do)	,299
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1040,7
ncia (U)	83
p-	
valor	0
(bicaudal)	,021
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é verdadeira é menor que 2,15 %.

Cabelo colorido – 0 h vs. 150 h

Resumo estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variável	bservações	com dados faltantes	sem dados faltantes	inim o	axim o	édia	esvio padrão
0 h	CO –	5			8,00	88,00	17,96	1
		0	0	50	0	0	0	48,447
150 h	CO –	5			70,00	40,02		1
		0	0	50	,000	0	0	45,038

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	598
U	
(padroniza do)	2
	,396
	1
Valor	250,00
esperado	0
	2
Variâ	1040,6
ncia (U)	57
p-	
valor	0
(bicaudal)	,017
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do teste:

H_0 : A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

H_a : A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H_0 , e aceitar a hipótese alternativa H_a .

O risco de rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é verdadeira é menor que 1,66 %.

Cabelo alisado – 0 h vs. 10 h

Resumo estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I	D
	Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	esvio
	vel	ções	faltantes	faltantes	o	o	padrão
0 h	AL –	4			0,00	7	1
		8	0	48	0	1,000	7,347
10 h	AL –	5			0	7	2
		0	0	50	,000	8,000	6,077

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	469,50
U	0
U	
(padroniza	1
do)	,912
	1
Valor	200,00
esperado	0
	1
Variâ	9784,4
ncia (U)	73
p-	
valor	0
(bicaudal)	,056
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 5,58 %.

Cabelo alisado – 0 h vs. 10 h

Resumo estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	édia	esvio
	vel	ções	faltantes	faltantes	o	o		padrão
0 h	AL –	4			0,00	7	4,02	1
		8	0	48	0	1,000	1	7,347
30 h	AL –	5			0,000	8	8,08	2
		0	0	50	0,000	0,000	0	1,812

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	493
U	
(padroniza	2
do)	,079
	1
Valor	200,00
esperado	0
	1
Variâ	9785,6
ncia (U)	09
p-	
valor	0
(bicaudal)	,038
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação

do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de

0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 3,76 %.

Cabelo alisado – 0 h vs. 60 h

Resumo

estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variá	bserva	com dados	sem dados	inim	axim	édia	esvio
	vel	ções	faltantes	faltantes	o	o		padrão
0 h	AL –	4			0,00	1	4,02	1
		8	0	48	0	1,000	1	7,347
60 h	AL –	4			0,00	1	5,38	1
		9	0	49	,000	1,000	8	8,659

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	564
U	
(padroniza	2
do)	,797
	1
Valor	176,00
esperado	0
	1
Variâ	9192,3
ncia (U)	40
p-	
valor	0
(bicaudal)	,005
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de

0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 0,52 %.

Cabelo alisado – 0 h vs. 90 h

Resumo
estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variável	bservações	com dados faltantes	sem dados faltantes	inim o	axim o	édia	esvio padrão
0 h	AL –	4 8	0	48	0,00 0	1,000	7,402 1	1 7,347
90 h	AL –	5 0	0	50	0,000	7,000	7,002 0	2 1,993

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	407,50
U	0
U	
(padroniza	1
do)	,472
	1
Valor	200,00
esperado	0
	1
Variâ	9785,1
ncia (U)	04
p-	
valor	0
(bicaudal)	,141
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é verdadeira é de 14,11 %.

Cabelo alisado – 0 h vs. 120 h

Resumo estatístico:

		O	Obs.	Obs.	I	I		D
	Variável	bservações	com dados faltantes	sem dados faltantes	inim o	axim o	édia	esvio padrão
0 h	AL –	4			0,00	7	4,02	1
		8	0	48	0	1,000	1	7,347
120 h	AL –	4			(€	3,00	2
		8	0	48	,000	5,000	0	1,607

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
U	192
U	
(padroniza	0
do)	,290
	1
Valor	152,00
esperado	0
	1
Variâ	8611,4
ncia (U)	95

p-valor	0
(bicaudal)	,772
alph	0
a	,05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação
do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de 0.

Como o p-valor computado é maior do que o nível de significância $\alpha=0,05$, não se pode rejeitar a hipótese nula H0.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 77,22 %.

Cabelo alisado – 0 h vs. 150 h

Resumo
estatístico:

	O	Obs.	Obs.	f	f		D
Var	bservaç	com dados	sem dados	inim	axim	édia	esvio
iável	ões	faltantes	faltantes	o	o		padrão
AL	4			1	7	4,02	17
– 0 h	8	0	48	0,000	1,000	1	,347
AL	5			5	5	4,14	17
– 150 h	0	0	50	,000	9,000	0	,219

Teste Mann-Whitney / teste bicaudal:

	1
	631,50
U	0
U	
(padroniz	3,
ado)	064
Val	1
or	200,00
esperado	0
	1
Var	9781,0
iância (U)	65
p-	
valor	
(bicaudal	0,
)	002
alp	0,
ha	05

O p-valor exato não pôde ser computado. Foi usada uma aproximação para computar o p-valor.

Interpretação

o do teste:

H0: A diferença de localização entre as amostras é igual a 0.

Ha: A diferença de localização entre as amostras é diferente de

0.

Como o p-valor computado é menor do que o nível de significância $\alpha=0,05$, pode-se rejeitar a hipótese nula H0, e aceitar a hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor que 0,22 %.

APÊNDICE 4. Estatística entre tratamentos para tempo de 0 h de exposição – teste Kruskal-Wallis

Comparação multi-pareada usando o procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Teste bicaudal:

A mostra	Frequência	Somatório dos ranques	Média dos ranques	Grupos
AL – 0 h	48	1188,000	24,750	A
DE – 0 h	50	5016,500	100,330	
CO – 0 h	50	5770,000	115,400	
NA – 0 h	49	7528,500	153,643	

Comparações pareadas:

Wij:

	NA – 0 h	DE – 0 h	CO – 0 h	AL – 0 h
				1
NA – 0 h		8,848	6,013	2,001
	-			1
DE – 0 h	8,848		-2,335	2,062
	-			1
CO – 0 h	6,013	2,335		1,941
	-			
AL – 0 h	12,001	-12,062	-11,941	

p-
valores:

	NA – 0 h	DE – 0 h	CO – 0 h	AL – 0 h
				<
NA – 0 h	1	< 0,0001	0,000	0,0001
	<			<
DE – 0 h	0,0001	1	0,350	0,0001
	0,000			<
CO – 0 h	00	0,350	1	0,0001
	<		<	
AL – 0 h	0,0001	< 0,0001	0,0001	1

Diferenças significativas:

	NA – 0 h	DE – 0 h	CO – 0 h	A L – 0 h
NA – 0 h		Sim	Sim	Si m
DE – 0 h	Sim		Não	Si m
CO – 0 h	Sim	Não		Si m
AL – 0 h	Sim	Sim	Sim	

APÊNDICE 5 – Estatística entre tempos de exposição – teste Kruskal-Wallis

Cabelo natural

Comparação multi-pareada usando o procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Teste bicaudal:

A mostrada	Fr equencia	Somatório dos ranques	Média dos ranques	Grupos			
NA – 150 h	50	5806,50	116,1	A			
NA – 90 h	46	5772,00	125,4				
NA – 120 h	50	7607,00	152,1	A B			
NA – 60 h	50	8926,00	178,5				
NA – 30 h	50	10021,5	200,4	A B C			
NA – 10 h	50	10325,0	206,5				
NA – 0 h	49	11227,0	229,1	A B C D			
		00	22				

Comparações pareadas:

Wij:

	NA – 0 h	NA – 10 h	NA – 30 h	NA – 60 h	NA – 90 h	NA – 120 h	NA – 150 h
NA – 0 h				2,969	8,209	5,815	7,458
NA – 10 h	1,183			1,828	5,425	4,114	6,011
NA – 30 h	2,078	-0,444		1,423	5,518	3,461	5,792
NA – 60 h	2,969	-1,828	1,423		2,894	1,911	4,236
NA – 90 h	8,209	-5,425	5,518	2,894		2,209	1,457

NA –	-		-	-	2	2
120 h	5,815	-4,114	3,461	1,911	,209	,969
NA –	-		-	-	-	-
150 h	7,458	-6,011	5,792	4,236	1,457	2,969

p-
valore
s:

	NA – 0 h	NA – 10 h	NA – 30 h	NA – 60 h	NA – 90 h	NA – 120 h	NA – 150 h
NA – 0 h	1	0,981	0,763	,353	0,0001	,001	0,0001
NA – 10 h	0,981	1	1,000	,856	,002	,056	,000
NA – 30 h	0,763	1,000	1	,953	,002	,179	,001
NA – 60 h	0,353	0,856	0,953	1	,385	,828	,044
NA – 90 h	0,0001	0,002	0,002	,385	1	,707	,947
NA – 120 h	0,001	0,056	0,179	,828	,707	1	,353
NA – 150 h	0,0001	0,000	0,001	,044	,947	,353	1

Diferenças significativas:

	NA – 0 h	NA – 10 h	NA – 30 h	NA – 60 h	NA – 90 h	NA – 120 h	NA – 150 h
NA – 0 h		Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
NA – 10 h	Não		Não	Não	Sim	Não	Sim
NA – 30 h	Não	Não		Não	Sim	Não	Sim

NA –						
60 h	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
NA –						
90 h	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
NA –						
120 h	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
NA –						
150 h	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não

Cabelo descolorido

Comparação multi-pareada usando o procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Teste bicaudal:

A		Fr	Somatór	Média	Amos	
mostra	equenci	a	io dos	dos ranques	Grupos	tra
DE –			7014,50	140,2		
150 h	50		0	90	A	
DE –			8268,00	165,3		
60 h	50		0	60	A	B
DE –			8391,50	167,8		
120 h	50		0	30	A	B
DE –			8592,00	171,8		
90 h	50		0	40	A	B
DE –			9265,50	185,3		
30 h	50		0	10	A	B
DE –			9506,50	190,1		
10 h	50		0	30	A	B
DE – 0			10387,0	207,7		
h	50		00	40		B

Comparações pareadas:

Wij:

	DE – 0 h	DE – 10 h	DE – 30 h	DE – 60 h	DE – 90 h	DE – 120 h	DE – 150 h
DE – 0 h				2,896	2,749	2,335	4,885
DE – 10 h	1,243		0,093	,799	,623	,882	,978
DE – 30 h	1,609	-0,093		,311	,931	,204	,037
DE – 60 h	2,896	-1,799	-1,311		0,634	,151	,545
DE – 90 h	2,749	-1,623	-0,931	,634		,429	,457
DE – 120 h	2,335	-0,882	-1,204	0,151	0,429		,263
DE – 150 h	4,885	-3,978	-3,037	1,545	2,457	1,263	

p-
valores
:

	DE – 0 h	DE – 10 h	DE – 30 h	DE – 60 h	DE – 90 h	DE – 120 h	DE – 150 h
DE – 0 h				0,385	,451	,649	,010
DE – 10 h	0,976		1,000	,865	,913	,996	,073
DE – 30 h	0,917	1,000		,968	,995	,979	,325
DE – 60 h	0,385	0,865	0,968		,999	,000	,930
DE – 90 h	0,451	0,913	0,995	,999		,000	,591
DE – 120 h	0,649	0,996	0,979	,000	,000		,974

DE – 0 h	0,010	0,073	0,325	0,930	0,591	0,974	1
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---

Diferenças significativas:

	DE – 0 h	DE – 10 h	DE – 30 h	DE – 60 h	DE – 90 h	DE – 120 h	DE – 150 h
DE – 0 h		Não	Não	Não	Não	Não	Sim
DE – 10 h	Não		Não	Não	Não	Não	Não
DE – 30 h	Não	Não		Não	Não	Não	Não
DE – 60 h	Não	Não	Não		Não	Não	Não
DE – 90 h	Não	Não	Não	Não		Não	Não
DE – 120 h	Não	Não	Não	Não	Não		Não
DE – 150 h	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	

Cabelo colorido

Comparação multi-pareada usando o procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Teste bicaudal:

A mostra	Fr equenci a	Somatório dos ranques	Média dos ranques	G rupos
----------	--------------	-----------------------	-------------------	---------

CO –		7754,50	155,0	
150 h	50	0	90	A
CO –		8087,50	161,7	
120 h	50	0	50	A
CO –		8599,00	171,9	
90 h	50	0	80	A
CO –		8625,50	172,5	
60 h	50	0	10	A
CO –		8817,50	176,3	
30 h	50	0	50	A
CO –		9318,50	186,3	
10 h	50	0	70	A
CO – 0		10222,5	204,4	
h	50	00	50	A

Comparações pareadas:

Wij:

	CO – 0 h	CO – 10 h	CO – 30 h	CO – 60 h	CO – 90 h	CO – 120 h	CO – 150 h
CO – 0 h				2,135	2,355	3,256	3,393
CO – 10 h	1,423		0,595	,999	,360	,545	,223
CO – 30 h	1,550	-0,595		,249	,102	,765	,443
CO – 60 h	2,135	-0,999	-0,249		,000	,765	,160
CO – 90 h	2,355	-1,360	-0,102	,000		,902	,199
CO – 120 h	3,256	-1,545	-0,765	0,765	0,902		,531
CO – 150 h	3,393	-2,223	-1,443	1,160	1,199	0,531	

p-
valore
s:

	CO – 0 h	CO – 10 h	CO – 30 h	CO – 60 h	CO – 90 h	CO – 120 h	CO – 150 h
CO – 0 h	1	0,953	0,929	0,739	0,640	0,243	0,199
CO – 10 h	0,953	1	1,000	0,992	0,962	0,930	0,700
CO – 30 h	0,929	1,000	1	1,000	1,000	0,998	0,950
CO – 60 h	0,739	0,992	1,000	1	1,000	0,998	0,983
CO – 90 h	0,640	0,962	1,000	1,000	1	0,996	0,980
CO – 120 h	0,243	0,930	0,998	0,998	0,996	1	0,000
CO – 150 h	0,199	0,700	0,950	0,983	0,980	0,000	1

Diferenças significativas:

	CO – 0 h	CO – 10 h	CO – 30 h	CO – 60 h	CO – 90 h	CO – 120 h	CO – 150 h
CO – 0 h		Não	Não	Não	Não	Não	Não
CO – 10 h	Não		Não	Não	Não	Não	Não
CO – 30 h	Não	Não		Não	Não	Não	Não
CO – 60 h	Não	Não	Não		Não	Não	Não
CO – 90 h	Não	Não	Não	Não		Não	Não
CO – 120 h	Não	Não	Não	Não	Não		Não
CO – 150 h	Não	Não	Não	Não	Não	Não	

Cabelo alisado

Comparação multi-pareada usando o procedimento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Teste bicaudal:

A mostra	Frequência	Soma dos ranques	Média dos ranques	Grupos	
AL – 150 h	50	7572,00	151,440	A	
AL – 60 h	49	7699,50	157,133	A	B
AL – 10 h	50	8146,50	162,930	A	B
AL – 30 h	50	8374,00	167,480	A	B
AL – 90 h	50	8813,00	176,260	A	B
AL – 120 h	48	9146,50	190,552	A	B
AL – 0 h	48	9933,50	206,948		B

Comparações pareadas:

Wij:

AL – 0 h	AL – 10 h	AL – 30 h	AL – 60 h	AL – 90 h	AL – 120 h	AL – 150 h
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------

AL – 0			2,94	3	2	0	4
h		2,710	6	,961	,086	,415	,339
AL – 10	-		-	0	-	-	0
h	2,710		0,532	,025	0,922	1,181	,293
AL – 30	-			0	-	-	1
h	2,946	0,532		,713	0,766	1,478	,131
AL – 60	-		-		-	-	0
h	3,961	-0,025	0,713		1,149	2,429	,386
AL – 90	-		0,76	1		-	1
h	2,086	0,922	6	,149		0,824	,595
AL –	-		1,47	2	0		2
120 h	0,415	1,181	8	,429	,824		,996
AL –	-		-	-	-	-	
150 h	4,339	-0,293	1,131	0,386	1,595	2,996	

p
-
valores
:

	A	AL –	AL –	A	A	A	A
	L – 0 h	10 h	30 h	L – 60 h	L – 90 h	L – 120 h	L – 150 h
A			0,36	0	0	1	0
L – 0 h	1	0,470	3	,075	,760	,000	,035
A							
L – 10	0		1,00	1	0	0	1
h	,470	1	0	,000	,995	,981	,000
A							
L – 30	0			0	0	0	0
h	,363	1,000	1	,999	,998	,943	,985
A							
L – 60	0		0,99		0	0	1
h	,075	1,000	9	1	,984	,604	,000
A							
L – 90	0		0,99	0		0	0
h	,760	0,995	8	,984	1	,997	,920
A							
L – 120	1		0,94	0	0		0
h	,000	0,981	3	,604	,997	1	,341
A							
L – 150	0		0,98	1	0	0	
h	,035	1,000	5	,000	,920	,341	1

Diferenças significativas:

	A L – 0 h	AL – 10 h	AL – 30 h	A L – 60 h	A L – 90 h	A L – 120 h	A L – 150 h
A L – 0 h		Não	Não	N ão	N ão	N ão	S im
A L – 10 h	N ão		Não	N ão	N ão	N ão	N ão
A L – 30 h	N ão	Não		Não	N ão	N ão	N ão
A L – 60 h	N ão	Não	Não		N ão	N ão	N ão
A L – 90 h	N ão	Não	Não	N ão		N ão	N ão
A L – 120 h	N ão	Não	Não	N ão	N ão		N ão
A L – 150 h	S im	Não	Não	N ão	N ão	N ão	