

Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Química



1150072874



T/UNICAMP N145c

**COMPARAÇÃO DE DANOS INDUZIDOS EM CABELOS DE  
TRÊS ETNIAS POR DIFERENTES TRATAMENTOS.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Adelino Kaoru Nakano

Profa. Dra. Inês Joekes

Orientadora

Novembro / 2006

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE QUÍMICA DA UNICAMP**

N145c Nakano, Adelino Kaoru.  
Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos / Adelino Kaoru Nakano.  
-- Campinas, SP: [s.n], 2006.

Orientadora: Inés Joeques.

Dissertação - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química.

1. Danos ao cabelo. 2. Cabelos étnicos 3. Agentes agressivos. I. Joeques, Inés. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Química. III. Título.

**Título em inglês:** Comparison of damages induced in three ethnic hair by different treatments

**Palavras-chaves em inglês:** Hair damage, Ethnic hair, Aggressive agents

**Área de concentração:** Físico-Química

**Titulação:** Mestre em Química na Área de Físico-Química

**Banca examinadora:** Inés Joeques (orientadora), Roberto Alcântara Martins Zucchetti, Edvaldo Sabadini

**Data de defesa:** 20/11/2006

NIDADE	<u>IQ</u>
° CHAMADA:	<u>UNICAMP</u>
	<u>145c</u>
	Ed. _____
OMBO BC/	<u>72874</u>
ROC.	<u>16145-07</u>
<input type="checkbox"/>	D <input checked="" type="checkbox"/>
REÇO	<u>1100</u>
ATA	<u>30/05/07</u>
ID-ID	<u>413448</u>

*“A sabedoria não se transmite. É preciso que a gente mesmo a descubra depois de uma caminhada que ninguém pode fazer em nosso lugar, e que ninguém nos pode evitar. Porque a sabedoria é uma maneira de ver as coisas “*

*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos”*

*Marcel Proust*

## ***Dedico...***

*Aos meus pais, Ryuji e Dirce por sempre me ensinarem o caminho da coerência, perseverança e ética...*

*Aos meus irmãos Edgar e Alex, pelas brigas, discussões e conversas que me fizeram sempre refletir a meu respeito...*

*Aos meus sogros Reiko e Massashiro pelo constante apoio...*

*Aos meus cunhados Humberto, Angélica e Hideo pela costumeira torcida...*

*À minha Erika, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, me incentivando, criticando e acreditando...*

## **Agradeço...**

À minha orientadora, Profa. Dra. Inés Joeques, por sua costumeira atenção, dedicação e por me ensinar a reconhecer um bom trabalho e me mostrar sempre, algo que eu ainda não havia pensado a respeito...

À Ana Marta Tucci, porque sem você, eu não teria decidido realizar esse projeto.

À Carmen por sempre iluminar o meu caminho e nunca me indicando o final do túnel.

À Idalina por sempre acreditar e apoiar o meu trabalho.

À EVIC Brasil pelo apoio e incentivo na realização desse projeto sendo parte na própria empresa.

À BASF pelo apoio na finalização e concretização desse trabalho.

À Rita e à Carol, pela ajuda sempre nos meus momentos mais críticos e pelas discussões e pelas informações novas que me eram sempre tão interessantes.

À Dircilei por ser sempre prestativa...

Aos colegas do laboratório que estiveram ou ainda estão, pelo convívio e aprendizado: Carla, Flávia, Nádia, Euler, Williams, Cynthia, Iara, Nelson, Bona, Chrislane, Carol, Karina.

Aos funcionários do IQ, em especial à Bel e ao Rodrigo da CPG, que sempre são muito solícitos e dispostos a ajudar.

A todos aqueles que, mesmo não citados, contribuíram de alguma forma com esse trabalho mesmo através de pequenos detalhes, como uma expressão de conforto, um sorriso ou condescência.

# Súmula Curricular

## *Adelino Kaoru Nakano*

### Formação Acadêmica

Especialização técnica: Dermato-Cosméticos, Univ. Vrije, Bruxelas, Bélgica, 2003,  
Capacitação em Pesquisa Clínica, Invitare, São Paulo, 2003.  
Graduação: Químico Bacharel – IQ / USP, 1998  
Prêmio Lavoisier – melhor aluno do curso de Bacharel em Química. CRQ IV Região –199

### Idiomas

- Inglês fluente; domínio do inglês técnico
- Teste de Proficiência da Língua Japonesa - Nível 2  
Conversação: fluente; leitura e escrita: intermediário

### Experiência Internacional

- Viagens diversas em clientes, fornecedores e reuniões técnicas para Europa e EUA de 2000 a 2006.
- Treinamento em testes de Eficácia Clínica para Produtos Cosméticos, EVIC France, França, 2000,
- Trabalho de Colaboração no Desenvolvimento de Células Solares, Università di Ferrara, Itália – 1998,
- Vivência de 4 meses no Japão – 1994/1995.

### Principais Publicações

- Salgado-Santos, I. M. N., Nakano, A., Baby, A. R., Velasco, M. V. R., “Análise Sensorial: Ferramenta para Avaliar Eficácia e Benefícios”, *Cosmetic&Toiletries* (Portuguese), 2005, 17(4), 52-55.
- Nogueira, A. C. S., Nakano, A. K., Joekes, I., “Impairment of Hair Mechanical Properties by Sun Exposure and Bleaching Treatments”, *J. Cosmet. Sci.*, 2004, 55(6), 533-538.
- Nakano, A., “Testing Sun Protection Claims”, *Cosmetic&Toiletries*, 2002, 117(9), 108.
- Nakano, A. K.; Nunes, J.; Horita, G.; Goulart, E., “Morphological Characterization of Hairs Obtained in Different Conditions of Treatment”, *Acta Microscópica*, 2001, 1A, p. 355-356.

### Principais Participações em Congressos e Conferências

- 2005 World Congress on Non-Invasive Studies of the Skin, 2nd Joint International Meeting of ISBS and ISSI, Philadelphia – USA, October 2005.
- 23rd International Federation of the Society of Cosmetic Chemists Congress, IFSCC, Orlando – USA, October 2004.
- “Avaliação do Efeito Hidratante de Formulações de Sabonete”, 18º Congresso Brasileiro de Cosmetologia, Maio 2004.
- “Impairment of Hair Mechanical Properties by Sun Exposure and Bleaching Treatments”, First International Conference on Applied Hair Science, TRI Princeton. NJ – USA, June, 2004.

### Experiências Profissionais

- BASF S.A.  
*De 07/06 a atual – Coordenador de Serviços Técnicos*
  - Interface técnica com clientes “premium” para realização de projetos de desenvolvimento de formulações, principalmente na área de produtos para cabelo e proteção solar.
  - Desenvolvimento e implementação de novas soluções de suporte no laboratório de aplicações.
  - Realização de projetos de desenvolvimento de aplicações com colaboração interna e/ou externa de produtos selecionados do portfólio.

- **IBP EVIC Brasil LTDA.**

*De 10/04 a 07/06 - Gerente de Tecnologia*

- Realização de acordos multidisciplinares envolvendo Instituição de Pesquisa, meios acadêmico e profissional para realização de projetos de pesquisa.
- Elaboração de projetos de desenvolvimento na empresa envolvendo aquisição de tecnologias e desenvolvimento de métodos de ensaio.
- Coordenação de projeto envolvendo empresas coligadas do Grupo EVIC para realização de estudos de desenvolvimento para validação de equipamentos voltados à Bioengenharia Cutânea.
- Pesquisa, desenvolvimento e validação de novas metodologias para avaliação de produtos cosméticos. Apresentou vários trabalhos em Congressos nacionais, internacionais e através de publicações.

*De 07/02 a 10/04 - Gerente Científico*

- Responsável por coordenar os estudos de segurança e eficácia cosmética com a equipe técnica
- Garantir a aderência dos estudos de acordo com protocolos e procedimentos definidos através de treinamentos internos e monitorias de acompanhamento.
- Realização de convênios e acordos com Institutos de Pesquisa e Universidades, o que proporcionou a implementação de estudos de SEM, AFM, TEM e espectroradiometria no portfólio da empresa.
- Responsável por gerir a equipe técnica da empresa.

*De 04/00 a 07/02 - Coordenador Técnico*

- Auxílio na montagem e estruturação dos laboratórios de testes de segurança e eficácia clínica de produtos cosméticos
- Responsável pela implementação de estudos em Fotobiologia, Dermo-eficácia e Deocare.
- Implementou estudos de performance para cabelo na empresa o que a tornou referência em estudos para cabelo frente o Grupo EVIC International.
- Responsável por gerir os cronogramas e processos documentais necessários para se iniciar um projeto clínico.

- **Johnson&Johnson Ind. e Com. LTDA. / Centro de Pesquisas e Tecnologia.**

*De 09/98 a 12/99 - Estagiário no Depto. de Biofísica e P&D Tocador Adulto - Hair Care*

- Desenvolvimento de novo processo de fabricação visando redução de custos de produtos "leave-on".
- Desenvolvimento de novas técnicas de caracterização físico-química e biofísicas para auxiliar o desenvolvimento de produtos cosméticos para Claim Support.
- Aplicação de técnicas padronizadas como TEWL, CW, elasticidade de pele, medidas de FPS in vitro, análise físico-química de emulsões, propriedades mecânicas e fotodegradação de cabelos entre outros.
- Desenvolvimento de um programa de treinamento para novos colaboradores. O procedimento criado foi implementado como um POP no Centro de Pesquisa.

## **Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos.**

Dissertação de Mestrado de Adelino Kaoru Nakano  
Orientadora: Profa. Dra. Inés Joekes  
Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas  
C.P. 6154 – Campinas, Brasil – 13084-971

### **RESUMO**

Os cabelos humanos exercem um papel importante do ponto de vista social: reforçam a auto-estima e enquadram o indivíduo num determinado grupo de pessoas, cultura ou etnia, além do apelo estético e sexual. Dentro dos hábitos da população humana, são usados vários agentes de tratamento que interagem com os diversos tipos de cabelo de forma a melhorar sua aparência estética. No entanto, esses tratamentos geralmente promovem algum grau de danificação que compromete a estrutura da fibra capilar. Atualmente há poucos trabalhos na literatura científica que demonstrem efeitos comparativos de danificações em tipos diferentes de cabelos (caucasiano, afro-americano e oriental). Em vista da ausência de dados consistentes comparativos entre os diversos tipos de cabelos e as danificações promovidas e, considerando que essas informações possuem relevância para futuras pesquisas de base, esse projeto visa: comparar os vários tipos de cabelo na forma inata (virgem) e verificar e comparar danificações para os mesmo cabelos sob ação de diversos agentes agressivos.

Os cabelos afro-americano (este denominado apenas como crespo), caucasiano e oriental, foram submetidos a danificações através de exposição à radiação de uma lâmpada de arco-xenônio, descoloração e processo de alisamento/permanente. Nesses dois últimos processos, foram utilizados produtos comerciais e a aplicação foi realizada conforme orientação do fabricante.

A quantificação dos danos ao cabelo foi realizada através da análise das propriedades mecânicas do cabelo (curvas de tensão-deformação) e medidas de cor (espectrofotometria de reflectância difusa).

A comparação entre os diversos tipos de cabelo na forma virgem mostra que eles possuem propriedades mecânicas diferenciadas entre si. O cabelo caucasiano possui maior tensão na força máxima, alongamento máximo e módulo de elasticidade. O cabelo crespo possui comportamento inverso.

As danificações mostram que os cabelos possuem diferentes comportamentos perante aos agentes agressivos. Entretanto, a tendência dos resultados nas propriedades mecânicas e cor do cabelo é semelhante. Eles possuem menores valores de alongamento máximo e tensão na força máxima.

Dentre as diversas danificações, o cabelo crespo apresentou ser o que sofre maiores danificações aos processos utilizados nesse trabalho em vista dos resultados obtidos, enquanto que o cabelo oriental é o que obteve menor índice de alteração em suas propriedades mecânicas.

## **Comparison of damages induced in three types of hair by different treatments.**

Master Thesis of Adelino Kaoru Nakano  
Adviser: Prof. Dra. Inés Joekes  
Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas  
C.P. 6154 – Campinas, Brazil – 13084-971

### **ABSTRACT**

Healthy human hair is socially important to self-esteem and to asses belonging to a certain group, culture or ethnic, besides the aesthetic and sexual appeal. Among the human population habits, several treatment agents are used to interact with the diverse types of hair to improve its aesthetical appearance. However, these treatments generally promote a certain degree of damage that can compromise the hair structure. Nowadays, few studies reported in the literature demonstrate the comparative effects of danification among different hair types (caucasian, afro-american and mongol). Considering the absence of consistent comparative data among the diverse hair types and the danification processes and this information have relevancy for future base-research, this project aims: comparing the different hair types in the innate form (virgin) and comparing the danification of different aggressive agents on the same hair types.

The diverse hair types were submitted to danifications through solar exposition (light emission by a xenon arc lamp), bleaching and straightening/curling process. On these last two processes, it was used commercially available products and the applications were performed according to the manufacturer's direction.

The quantification of the hair damage was performed through the mechanical properties analysis of the hair fiber (tensile-strength curves) and color measurements (diffuse reflectance spectrophotometry).

The comparison among several hair types in the virgin form shows that they have mechanical properties that differentiate to each other. The Caucasian hair has the largest tensile strength, maximum elongation and elasticity modulus. Inversely, the curly hair has minor values.

The danification shows that different hair type has different behavior to aggressive agents. However, the tendency on the mechanical properties and hair color results is similar. Generally, lower values for maximum elongation and tensile strength are observed.

Among the several forms of danification, the afro-american hair shows the major damages to the processes used in this project, by the analysis of the obtained results. On the other hand, the oriental hair obtained less index of alteration in its mechanical properties.

# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>IMPORTÂNCIA ECONÔMICO-SOCIAL DO CABELO .....</i>	1
1.2. <i>AGENTES AGRESSIVOS.....</i>	2
1.3. <i>ESTRUTURA DO CABELO .....</i>	2
1.4. <i>DIFERENÇAS MORFOLÓGICAS DE CABELO .....</i>	3
1.5. <i>PROPRIEDADES TÊNSEIS DO CABELO .....</i>	4
1.6. <i>COR .....</i>	6
1.6.1. <i>Medidas de Cor .....</i>	6
1.6.2. <i>Cor do Cabelo .....</i>	7
1.6.3. <i>Fotodegradação das melaninas .....</i>	9
1.6.4. <i>Degradação Química da Melanina .....</i>	10
1.7. <i>ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS.....</i>	10
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3. PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>13</b>
3.1 <i>MECHAS DE CABELO.....</i>	13
3.1.1. <i>Pré-tratamento das mechas de cabelo .....</i>	14
3.2 <i>MATERIAIS DIVERSOS.....</i>	15
3.3 <i>DANIFICAÇÃO DOS CABELOS COM AGENTES AGRESSIVOS.....</i>	15
3.3.1. <i>Descoloração .....</i>	15
3.3.2. <i>Alisamento .....</i>	16
3.3.3. <i>Exposição à Radiação Solar .....</i>	16
3.4 <i>ENSAIOS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO (TD) .....</i>	18
3.4.1. <i>Preparação das amostras para ensaios de TD .....</i>	18
3.4.2. <i>Aquisição das curvas de TD .....</i>	18
3.4.3. <i>Determinação da garra para realização de ensaios de TD .....</i>	18
3.5 <i>MEDIDAS DE COR DO CABELO .....</i>	19
3.6 <i>ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE ENSAIO DE TD E COR.....</i>	20
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
4.1. <i>ENSAIOS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO (TD) .....</i>	23
4.1.1. <i>Cabelos Virgens .....</i>	23
4.1.2. <i>Comparação entre cabelos virgens e seus respectivos danificados .....</i>	25
4.2. <i>ENSAIOS DE ALTERAÇÃO DE COR .....</i>	28
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
5.1. <i>ENSAIOS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO (TD) .....</i>	30
5.1.1. <i>Cabelos Virgens .....</i>	31
5.1.2. <i>Comparação entre cabelos virgens e seus respectivos danificados .....</i>	35
5.2. <i>ENSAIOS DE ALTERAÇÃO DE COR .....</i>	37
5.2.1. <i>Descoloração Química .....</i>	38
5.2.2. <i>Alisamento/Permanente .....</i>	38
5.2.3. <i>Exposição à Radiação .....</i>	39
5.2.4. <i>Consolidação .....</i>	39

6.	CONCLUSÕES .....	41
7.	REFERÊNCIAS .....	43
8.	ANEXOS .....	46

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. *Importância econômico-social do cabelo*

O pêlo consiste num anexo queratinoso que possui várias funções. Ele serve como proteção de várias áreas do nosso corpo (olhos, couro cabeludo, ouvido e nariz), proteção térmica durante períodos frios e adorno. O adorno pode ser uma expressão de personalidade, determinação de diferenças culturais e biológicas, indicação de *status* (em algumas sociedades primitivas) e, obviamente, um valor psicológico<sup>1-4</sup>.

No ser humano, devido ao processo evolutivo, os pêlos não exercem nenhuma função vital. No entanto, do ponto de vista social, o cabelo (denominação dos pêlos na região do couro cabeludo) é muito importante: reforçam a auto-estima, enquadra o indivíduo num determinado grupo de pessoas, cultura ou etnia; além do apelo estético (pois está associada à juventude e beleza<sup>1</sup>) e sexual.

Um fato simples que demonstra a importância estética do cabelo pode ser obtido pelos dados do crescimento do mercado de produtos cosméticos específicos dessa área. De 2001 até 2005, o crescimento no mercado brasileiro foi de R\$ 2 bilhões para quase R\$ 4 bilhões, representando um crescimento anual de 18,0%<sup>5</sup>. Os xampus e condicionadores estão no topo da lista, representando ambos uma fatia de 47% do mercado nacional, seguido de tinturas (26%) e produtos de tratamento (20%). Todos esses dados demonstram a grande importância que as pessoas atribuem ao cabelo como um dos principais agentes da sua aparência.

Normalmente os consumidores avaliam a qualidade de um produto cosmético capilar através da primeira impressão do produto (aparência, embalagem, rotulagem, aspecto físico e odor) e da relação expectativa/performance das condições gerais do cabelo após o seu uso.

O cabelo é constantemente danificado no dia-a-dia, seja através da exposição solar, poluição, água de mar ou piscina, tratamentos químicos (tinturas, descolorações e alisamentos) e o próprio fato de se lavar com um xampu e enxugá-lo com uma toalha. Um dos objetivos dos produtos cosméticos é tratar os cabelos de maneira a causarem um efeito final estético que será percebido pelo consumidor como um cabelo “saudável”, ou seja, como um cabelo limpo, com brilho e condicionado.

Para se atingir esses objetivos, os formuladores de produtos cosméticos devem conhecer os mecanismos pelos quais os agentes agressivos causam danos no cabelo para assim pesquisarem fórmulas cada vez mais adequadas para cada tipo de cabelo/consumidor.

## 1.2. *Agentes Agressivos*

Um cabelo recém-formado (próximo à raiz) apresenta cutículas homogêneas com bordas arredondadas. Entretanto, alguns pesquisadores demonstraram que apenas o uso do xampu e toalha, com um mínimo uso de pente/escova e/ou exposição solar podem causar a deterioração da aparência cuticular<sup>6-8</sup>. Outros agentes causadores de danos aos cabelos são: escovação, exposição freqüente à luz solar, tratamentos químicos (descoloração, tinturas, permanentes, alisamentos/relaxamentos), entre outros. Esses agentes causam alterações na estrutura capilar e tornam os cabelos fracos e quebradiços, difíceis de pentear e ainda podem promover alteração de cor dos mesmos, principalmente por clareamento.

## 1.3. *Estrutura do cabelo*

O cabelo é um polímero biológico protéico formado por um tipo específico de queratina, com alta cristalinidade, denominado alfa-queratina<sup>3</sup>. O grande diferencial da queratina comparada a outros tipos de proteínas é o grande conteúdo de enxofre presente nos aminoácidos derivado do ácido cistéico. Quando presentes em cadeias próximas, os aminoácidos criam ligações covalentes enxofre-enxofre que conferem grande resistência mecânica aos fios de cabelo<sup>3,4</sup>.

Morfologicamente, o cabelo pode ser dividido em três camadas:

- Cutícula – camada mais externa do cabelo formada por sobreposição de várias camadas de células cuticulares (em torno de 5 a 10) e apresenta um grande conteúdo cistéico<sup>3,4,9-11</sup>. A cutícula possui um efeito protetor do córtex (camada mais interna) e é a principal interface com o meio onde ocorrem os processos de interface com o meio externo. É nessa região onde se observam os principais efeitos macroscópicos relacionados à superfície como: penteabilidade, desembaraçamento, brilho e aparência geral.
- Córtex – Essa região constitui a maior parte da massa do fio de cabelo. Pode-se identificar também, grânulos de melanina cujo tipo, tamanho e quantidade são

responsáveis pela cor dos cabelos e pela sua fotoproteção<sup>12,13</sup>. O córtex é formado por fibrilas alinhadas na direção do fio (macro e microfibrilas) na qual são contidas as  $\alpha$ -hélices de queratina comumente conhecidas como  $\alpha$ -queratina. A justaposição desses filamentos confere ao fio de cabelo as propriedades elásticas e de resistência mecânica. No córtex é onde os processos químicos envolvendo descoloração, alisamentos/permanentes e algumas tinturas possuem ação.

- Medula – é a região central da fibra e, pode ser ausente ou descontínua em alguns casos. Como ela contribui muito pouco para as propriedades mecânicas e químicas do cabelo e, devido à dificuldade em isolá-la, ela recebe pouca atenção científica<sup>1,3</sup>.

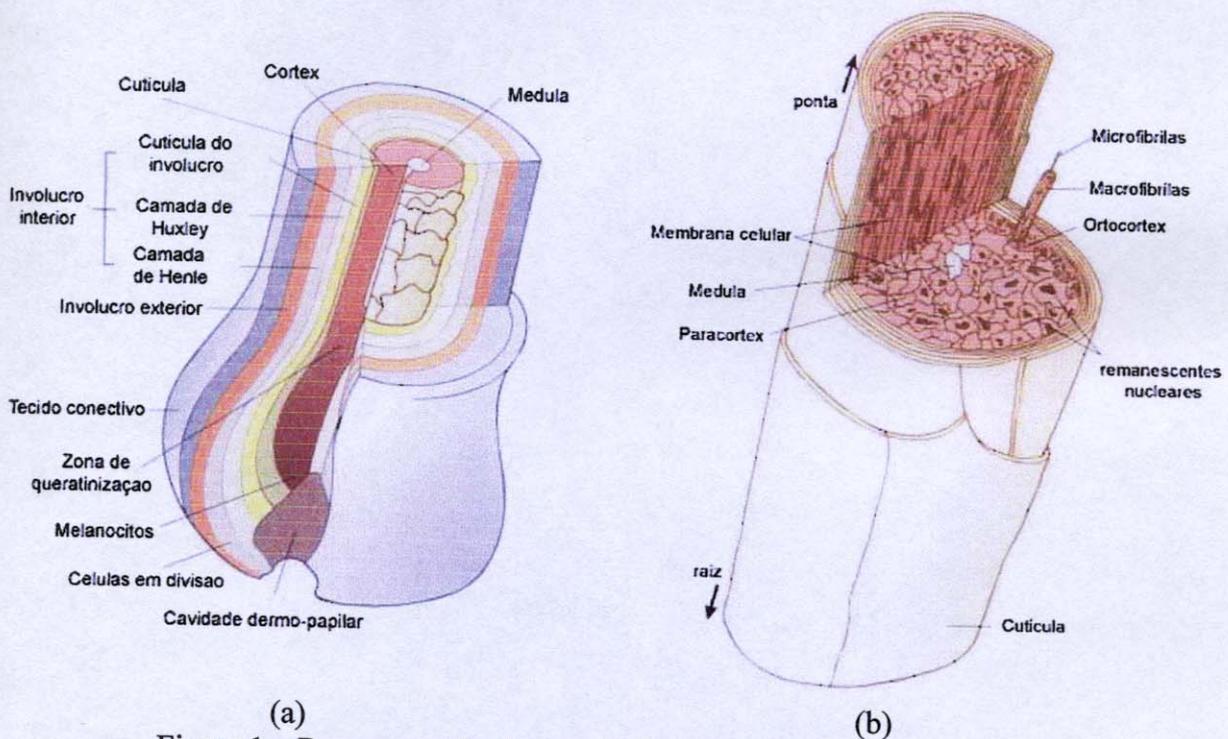


Figura 1 – Representação das secções transversais do bulbo capilar (a) e do fio de cabelo (b) adaptado de 14

#### 1.4. Diferenças Morfológicas de Cabelo

Os diferentes tipos de cabelo podem ser classificados genericamente em três grandes grupos: caucasianos, orientais (ou mongóis) e afro-americanos (ou crespos). A distinção origina-se, principalmente, pela diferença na elipticidade (Figura 2).

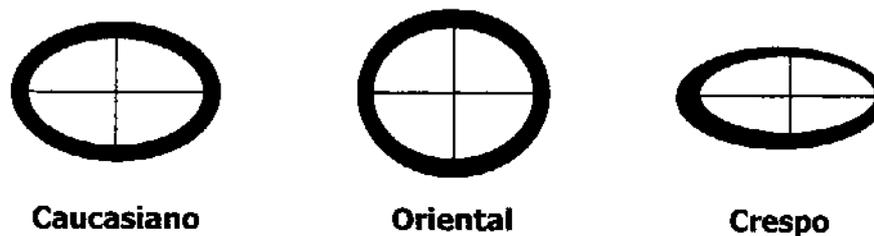


Figura 2 – Representação das secções transversais dos diferentes tipos de cabelo. O contorno em preto representa a queratinização da camada cuticular.

Apesar de se saber que o formato do corte seccional possui formato elíptico, não se sabe exatamente a sua causa. Acredita-se que a diferença na inclinação do folículo piloso em relação à superfície cutânea possa afetar o desenvolvimento do cabelo durante a sua fase de queratinização<sup>15</sup>. Esse processo causa uma formação cuticular assimétrica (representada pela borda escura da Figura 2) que é acentuada quanto maior for a inclinação do folículo. Assim, nas regiões de menor depósito queratínico<sup>16</sup>, há a formação de pontos de fragilidade onde se promove curvatura do fio de cabelo. A acentuação na curvatura pode chegar a casos extremos como, por exemplo, os cabelos crespos. Estudos mais recentes sugerem que a curvatura do fio de cabelo crepos se deve a uma programação celular e expressão protéica na região basal do folículo piloso associado a uma falta de simetria axial na região do bulbo capilar fazendo com que, durante a sua diferenciação, o fio de cabelo adquira a conformação curvada com corte seccional elipsoidal<sup>17-18</sup>.

A diferença no formato do fio de cabelo afeta tanto as características físicas do fio de cabelo como a resistência mecânica e as propriedades de superfície, como também a reatividade a agentes químicos. Isso porque nas regiões de fragilidade pode haver uma maior penetração das substâncias e, conseqüentemente, uma maior danificação a tratamentos químicos.

### 1.5. *Propriedades tênséis do cabelo*

Como o fio de cabelo é considerado com um substrato unidimensional, as propriedades que regem a força longitudinal do fio de cabelo têm sido amplamente estudadas. As determinações das propriedades tênséis têm sido aplicadas para avaliação de agentes agressivos, principalmente se eles atuam na região do córtex<sup>19</sup>.

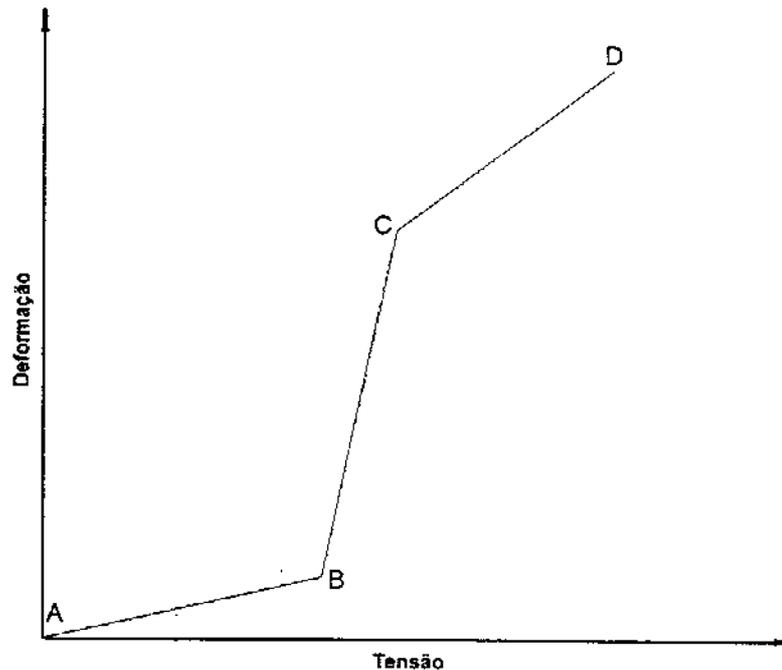


Figura 3 - Gráfico de tensão-deformação de um fio de cabelo <sup>adaptado de 3</sup>. AB – região Hookeana, BC – região de reconstituição; CD – região pós-reconstituição; D – ponto de ruptura.

Um resultado típico obtido nesse tipo de ensaio mecânico é a curva de tensão vs. alongação, conforme ilustrado na Figura 2. A região *Hookeana* é onde se observa uma relação praticamente linear entre a tensão e a deformação do fio de cabelo e através do seu coeficiente angular, obtém-se o módulo elástico (ou módulo de Young). Na região BC o cabelo se deforma em grande extensão com pouca força e no ponto D observa-se a ruptura do fio de cabelo.

O módulo elástico ( $E_s$ ) é proporcional a:

$$E_s \propto \frac{HL}{A\Delta L} \quad (1)$$

Onde:  $H$  - coeficiente angular na região Hookeana;

$L$  - comprimento da fibra

$\Delta L$  - extensão da fibra

$A$  - área transversal

Ou seja, quanto maior o comprimento da fibra, maior será o módulo elástico e, inversamente, quanto maior a área transversal, menor será o valor de  $E_s$ .

A estrutura alfa-queratina do cabelo é bastante similar à estrutura de  $\alpha$ -hélice presente na conformação das proteínas, apresentando-se quando o fio de cabelo não está sob ação de forças longitudinais. Após a ação de forças de estiramento, a queratina adquire a conformação  $\beta$ , na qual as proteínas estão completamente estendidas.

Na região de linearidade, as  $\alpha$ -hélices começam a se desenrolar para a configuração beta sem qualquer perda das forças coulômbicas. Na medida em que a força de estiramento atua, há a progressão da mudança termodinâmica de fase da proteína. Essa alteração ocorre com uma pequena variação da tensão comparada à deformação, demonstrando a relação constante entre esses valores na região de reconstituição. No início da região de pós-reconstituição, a proteína se encontra completamente desenrolada e as forças atuantes para se continuar o processo de alongamento da fibra capilar são as covalentes. Observam-se então, as quebras das ligações dissulfídicas até se ter o rompimento do fio.

Outros parâmetros importantes que se pode obter em um estudo de tensão-deformação são: tensão de ruptura, força máxima na ruptura, trabalho de alongação e alongamento máximo. Os valores de tensão a 15% e 30% de alongação foram determinados como independentes de não-homogeneidade da seção transversal do fio<sup>20</sup> e por isso também são considerados convenientes na determinação de alterações nas propriedades tênséis do cabelo<sup>21</sup> devido a agentes danificadores.

## 1.6. Cor

### 1.6.1. Medidas de Cor

A cor é um fenômeno óptico provocado pelo estímulo de células especializadas na retina pela radiação eletromagnética numa determinada região do visível. Entretanto, a denominação de uma determinada cor é subjetiva por não haver uma medida escala física de medida, o que pode levar a diferentes formas de sua interpretação.

Um grande número de fatores pode influenciar na cor percebida, como: fonte de iluminação, sensibilidade do observador, diferenças de tamanho das diversas áreas coloridas, diferenças no fundo, diferenças na direção da visão, entre outros.

Para harmonizar um método de se expressar a cor numericamente, uma organização internacional relacionada aos assuntos de cor e luz (CIE – Commission Internationale de l’Eclairage) desenvolveu vários sistemas, sendo os mais conhecidos os espaços de cor Yxy (desenvolvido em 1931) e o  $L^*a^*b^*$  (desenvolvido em 1976). Em vista da maior facilidade no entendimento deste último sistema, tem-se percebido sua maior utilização.

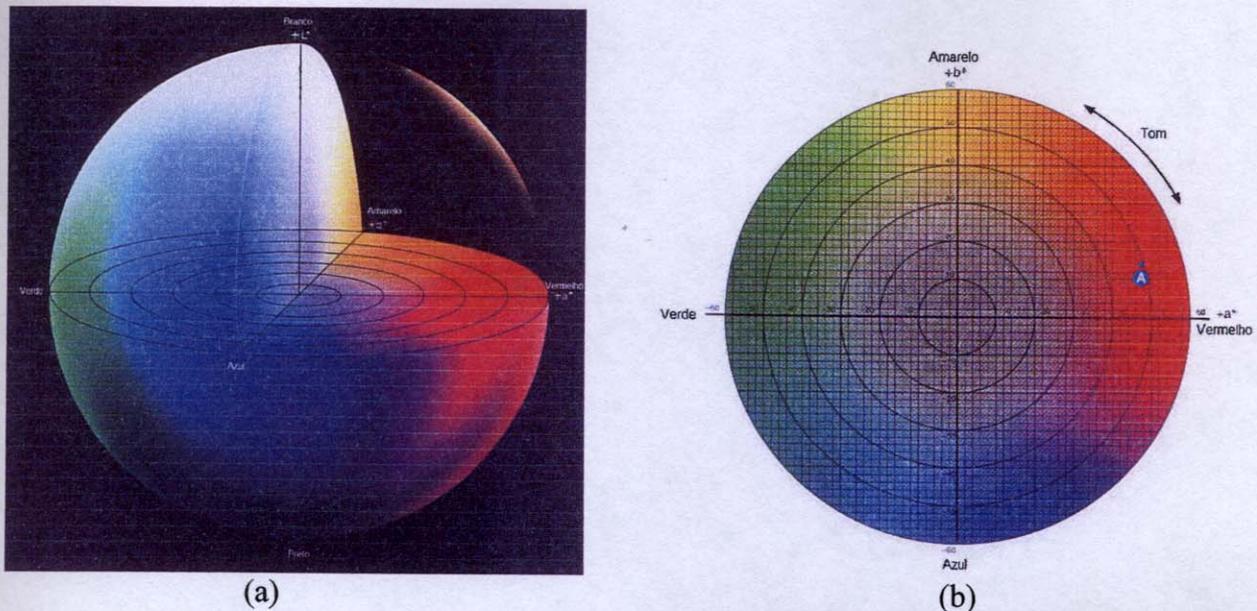


Figura 4 – Diagrama de cor. (a) Espaço de cor tridimensional  $L^*a^*b^*$ ; (b) Visualização do plano cromático (eixos  $a^*$  e  $b^*$ ). adaptado de 22

Conforme a Figura 4, o espaço de cor  $L^*a^*b^*$  é uma representação cartesiana tridimensional contendo três eixos de cor, sendo que cada um representa:

- $L^*$  – luminosidade (escuro-claro) e seus valores variam de 0 a 100. Quanto maiores os valores de  $L^*$ , mais clara estará a amostra;
- $a^*$  – o eixo cromático verde-vermelho e seus valores variam de -60 a +60. Quanto mais positivos os valores de  $a^*$ , mais vermelha será a amostra (e vice-versa);
- $b^*$  – o eixo cromático azul-amarelo e seus valores variam de -60 a +60. Quanto mais positivos os valores de  $b^*$ , mais amarela será a amostra (e vice-versa).

Dessa forma, qualquer cor pode ser representada por 3 valores indicando sua posição dentro do espaço de cor.

### 1.6.2. Cor do Cabelo

A cor do cabelo é determinada pela presença de grânulos de melanina presentes na região do córtex. Os pigmentos podem ser subclassificados de acordo com sua coloração como eumelaninas (coloração marrom a preta) ou feomelaninas (coloração avermelhada). A melanina se apresenta na forma de grânulos de dimensões aproximadas de 0,4 a 1,0  $\mu\text{m}$  de comprimento e 0,1 a 0,5  $\mu\text{m}$  de largura.

As eu e feomelaninas possuem rotas sintéticas comuns, sendo diferenciados apenas a partir de certa etapa da reação. A Figura 5 apresenta um mecanismo de formação das melaninas proposta por Prota<sup>23</sup>.

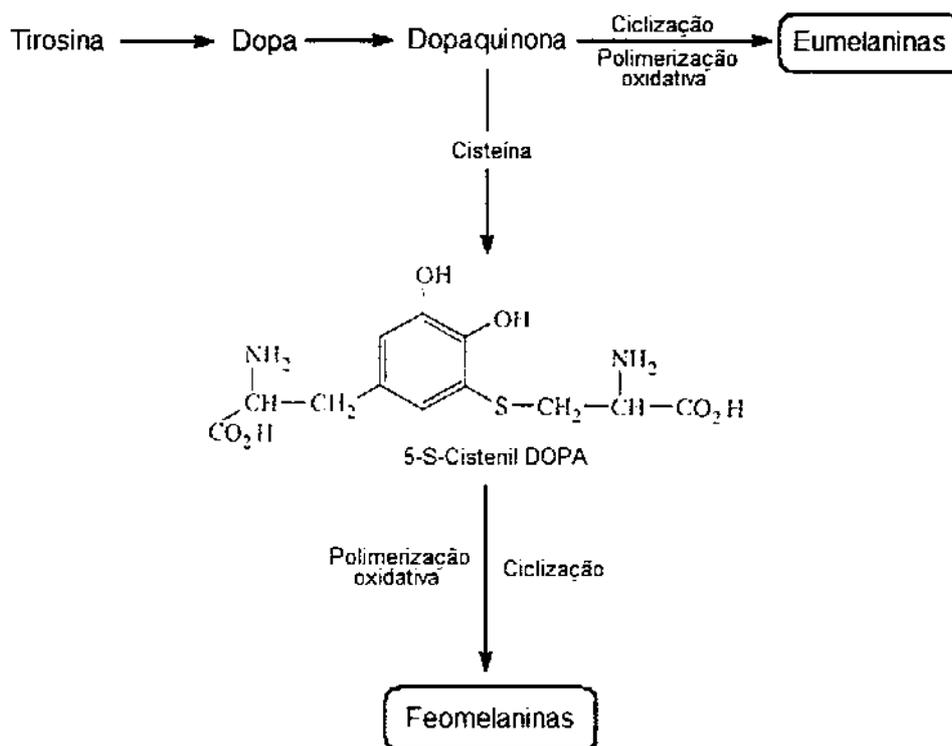


Figura 5 – Mecanismo de formação de eumelanina e feomelanina proposto por Protá <sup>adaptado de 23</sup>.

Conforme o diagrama acima, a tirosina é primeiramente oxidada a DOPA e, posteriormente, a dopaquinona. Caso não haja presença de cisteína, a dopaquinona sofre uma ciclização e posterior polimerização formando a eumelanina.

No caso da presença de cisteína, a dopaquinona sofre uma reação formando um intermediário chamado 5-S-Cistenildopa e outros isômeros. A ciclização e polimerização desse intermediário forma a feomelanina.

Como os dois tipos de melanina se formam através de rotas metabólicas semelhantes, acredita-se que os pigmentos são formados no mesmo cabelo dependendo da quantidade de cisteína presente no melanócito. As diversas colorações de cabelo existentes são determinadas não somente pela diferença na composição da quantidade de cada tipo de melanina, mas também no diferente grau de agregação e dispersão da eumelanina<sup>24</sup>. Apesar da diferença de conteúdo cistêmico da eumelanina comparado com a feomelanina, acredita-se que as propriedades físico-químicas sejam bastante similares. Até o presente momento não se sabe se essa diferença pode ter influência nas propriedades mecânicas do fio de cabelo inato (virgem).

### 1.6.3. Fotodegradação das melaninas

A melanina possui a função de prover certo grau de fotoproteção ao cabelo, principalmente na região do UVB (254 a 350 nm), onde ela possui maior absorção. Os pigmentos absorvem a radiação eletromagnética, sofrem uma excitação eletrônica e, no relaxamento, dissipam essa energia geralmente na forma de calor. Como consequência, a melanina é degradada.

Um mecanismo proposto<sup>25</sup> sugere que a degradação da eumelanina resulta em uma abertura do anel quinônico por dois processos: reação iônica (ou degradação química) na qual há um ataque nucleofílico por um ânion resultante do  $H_2O_2$ ; ou através da reação radicalar (degradação fotoquímica) na qual a eumelanina sofre uma excitação eletrônica e, posteriormente, reage com um oxigênio aniônico radicalar (gerado por degradação de algum componente no cabelo) causando uma abertura no anel quinônico (Figura 6).

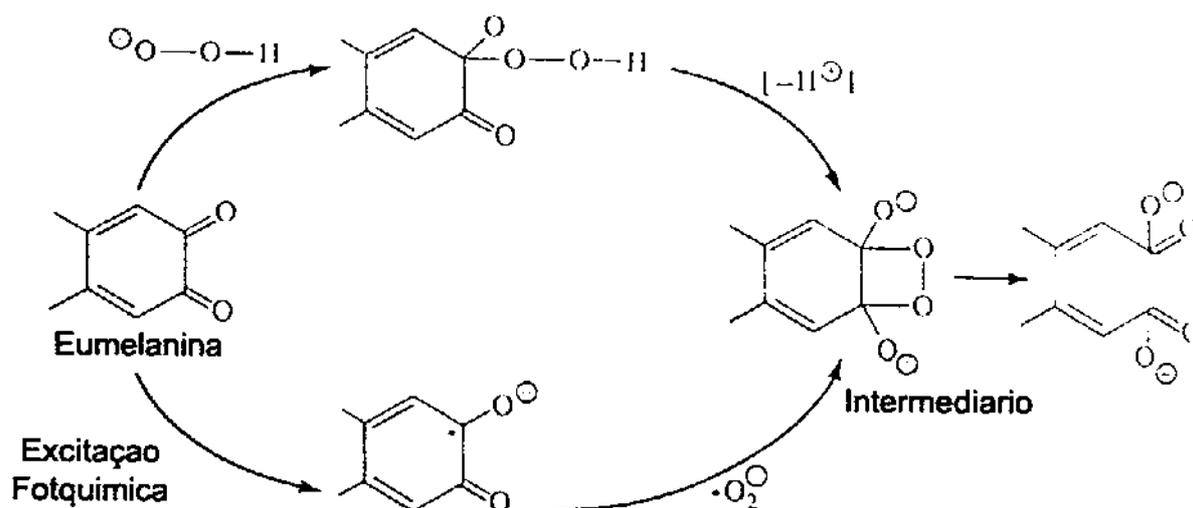


Figura 6 – Mecanismo de degradação da melanina <sup>adaptado de 25</sup>.

A diferença em termos de fotoproteção entre a feomelanina e a eumelanina é contraditória na literatura. Wolfram<sup>24</sup> sugere que a feomelanina é mais resistente comparado com a eumelanina. Um estudo de Hoting<sup>26</sup> mostra que os pigmentos presentes em cabelos castanho-claros são danificados por toda região do espectro solar (UV e visível) e as eumelaninas são mais estáveis e promovem um efeito fotoprotetor mais acentuado.

#### *1.6.4. Degradação Química da Melanina*

A descoloração do cabelo através de um produto comercial ocorre em duas etapas distintas: a dissolução dos grânulos de melanina e o clareamento (ou descoloração) propriamente dito. A primeira fase ocorre geralmente sob ação de um oxidante específico, como o peróxido de hidrogênio. Quando os grânulos estiverem “disponíveis”, eles são descoloridos de acordo com a força do agente oxidante (segunda fase) sendo comumente utilizado, o persulfato. Um mecanismo de degradação química da eumelanina proposto por Slawinska<sup>25</sup> foi explicado no item anterior.

Não há estudos específicos sobre diferenças nas descolorações químicas entre a feomelanina e eumelanina. Entretanto, devido à similaridade dos pigmentos em termos de estrutura e rota metabólica, acredita-se que o nível de danificação seja similar<sup>10</sup>.

#### *1.7. Análise estatística de dados*

A estatística é uma ciência que visa auxiliar o planejamento de um experimento, coleta de resultados, tabulação, análise e interpretação de dados<sup>27</sup>. Ela consiste numa ferramenta que pode prover informações que nos permite responder questões relativas a uma observação na natureza. Por exemplo, sabe-se que em processos biológicos, cada indivíduo é diferente de outro e a sua reatividade perante algum estímulo apresentará variações em momentos diferentes. Então, se um tratamento aconteceu de forma aleatória dentro de um grupo de pessoas, o produto realmente teve um efeito adequado, se a coleta de dados foi correta entre outros pode ser respondida com a estatística.

Quando se realiza um estudo, normalmente se coletam vários resultados e se calculam alguns valores para se ter uma idéia da tendência dos resultados (média) e da sua dispersão (desvio padrão e/ou intervalo de confiança). No caso de estudos comparativos, as duas séries de resultados são avaliadas de acordo com ferramentas estatísticas apropriadas e o resultado expresso normalmente se dá por um valor denominado como “p” ou “valor de p” ou “nível de significância”. Esse número fornece uma idéia da “distância” que existe entre os valores de dois estudos (ou mais) dizendo se os seus resultados podem ser considerados como “equivalentes” ou “distintas”.

De maneira geral, o valor de  $p$  adotado para que se considere que duas (ou mais) distribuições de dados são distintas deve ser menor ou igual a 0,05 (ou 5%) sendo escrito como

$p \leq 0,05$ . Obviamente, dependendo do tipo de resultado ou análise realizada, o nível de significância adotado pode ser alterado baseada em alguma justificativa fundamentada como a grande dispersão natural de resultados ou a variabilidade existente de um experimento.

Os dados numéricos podem ser classificados como contínuos ou discretos, sendo que no primeiro caso os valores variam indefinidamente dentro de uma faixa estabelecida. Dados físicos como massa, volume, altura, temperatura e outros são tratados dessa forma. Os dados discretos normalmente possuem essa denominação porque podem apresentar apenas determinados valores (normalmente números inteiros) como a idade das pessoas, quantidades de objetos e outros.

Dependendo do tipo de dado utilizado, existe uma técnica estatística adequada para a sua análise sendo chamado de análises paramétricas para dados contínuos e não-paramétricas para os discretos.

A Estatística possui duas áreas de atuação, a estatística descritiva e a estatística inferencial. A primeira está envolvida com as informações relativas à organização, resumo e apresentação de resultados, enquanto a segunda, auxilia na dedução sobre comparação de amostras ou mesmo numa grande população quando apenas uma parte (uma amostra) é estudada.

Maiores informações sobre as diversas ferramentas existentes na Estatística e detalhes sobre conceitos podem ser encontradas em diversas literaturas<sup>27-30</sup>.

## 2. OBJETIVOS

Atualmente há poucos relatos na literatura científica que demonstrem efeitos comparativos de danificações em tipos diferentes de cabelos (caucasiano, afro-americano e mongolóide). A maioria dos trabalhos mostra resultados obtidos com um único tipo de cabelo em termos de um único tipo de danificação. Como as condições experimentais são, freqüentemente, diferentes, não é possível comparar a resposta de diferentes tipos de cabelo a estas danificações.

Em vista desta ausência de dados comparativos consistentes entre os diversos tipos de cabelos e as danificações promovidas e, considerando que essas informações possuem relevância para futuras pesquisas de base, esse projeto visa:

1. Obter e comparar propriedades mecânicas e de cor de diversos tipos de cabelo (afro-americano, caucasiano e mongolóide) na forma inata (virgem),
2. Obter e comparar propriedades mecânicas e de cor para estes cabelos agredidos por descoloração, permanente/alisamento e exposição solar.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 *Mechas de Cabelo*

As mechas de cabelo utilizadas foram: caucasiana castanho-escuro, caucasiana Piedmont (albinas), afro-americana crespa e oriental, todas na forma “virgem” (ou seja, sem qualquer tratamento químico realizado). Elas foram adquiridas através da empresa De Meo Brothers, N.Y. que garante a qualidade das mesmas através da mescla de fios de cabelo provenientes de cabeças de vários indivíduos para cada tipo de cabelo.

O cabelo Piedmont possui essa denominação, pois suas características são semelhantes às da população proveniente da região de Piedmont (Itália), sendo considerado tipicamente como albino. A utilização desse tipo de cabelo serve para comparar seus parâmetros com os do cabelo caucasiano sem obter influência da coloração da mecha.

O cabelo afro-americano foi fornecido “a granel” enquanto que os outros tipos de cabelo já se apresentavam colados em tiras de, aproximadamente 10 cm de largura. Os cabelos tinham comprimento aproximado de 25 cm. Após a realização do estudo, a De Meo Brothers informou verbalmente que as mechas fornecidas como “afro-americanas” na realidade são caucasianas “encrespadas” por uma técnica desenvolvida pelo fornecedor que utiliza processos térmicos e não tratamentos químicos. Em vista disso, os resultados referentes a esse tipo de cabelo serão mencionados como “caucasiano crespo” ou simplesmente como “crespo”.

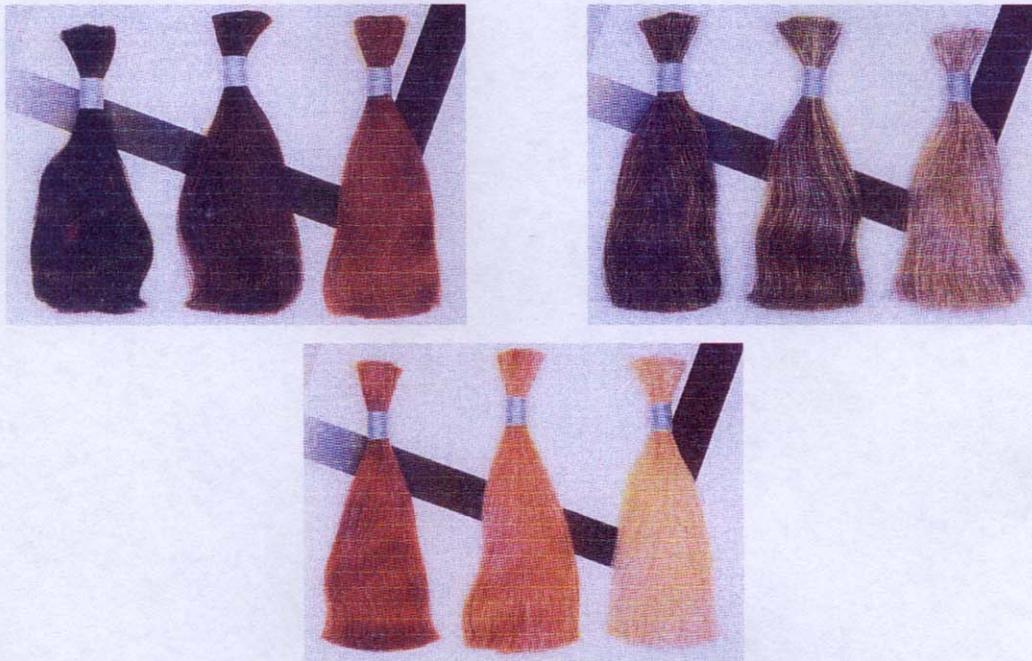


Figura 7 – Exemplo de mechas fornecidas a “granel”<sup>31</sup>

As mechas de cabelo crespo foram preparadas separando cerca de 2 g de cabelo e amarrando um barbante próximo da região da raiz. Os outros cabelos foram preparados cortando-se as tiras de modo a se ter aproximadamente a mesma massa.

### 3.1.1. *Pré-tratamento das mechas de cabelo*

As mechas de cabelo de 2 g e comprimento de cerca de 10 cm foram lavadas com solução aquosa de 10% de Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS) através de massagem digital por 2 minutos. Em seguida elas foram enxaguadas com água corrente ( $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) de modo a eliminar completamente o detergente presente. Em seguida as mechas foram secas ao ar e guardadas em sacos plásticos com fechos herméticos na temperatura ambiente por, aproximadamente 7 dias antes da realização dos ensaios.

O objetivo desse processo é remover as sujidades e impurezas presentes sobre a fibra capilar, mesmo que “superficialmente” (simulando uma aplicação cosmética com produto anti-resíduo). Sabe-se que para remover totalmente depósitos adsorvidos na superfície do cabelo é necessário que o mesmo seja submetido a um processo de extração por solvente, como descrito na literatura<sup>32</sup>.

### 3.2 *Materiais Diversos*

Diversos materiais aplicados durante o manuseio e tratamento das amostras foram utilizados: luvas de látex, sacos plásticos descartáveis com fechos herméticos, barbantes, etiquetas adesivas e vidrarias diversas.

### 3.3 *Danificação dos cabelos com agentes agressivos*

O tratamento do cabelo com agentes agressivos se divide em duas categorias: danificação química através da descoloração e alisamento/permanente; e a física, pela exposição à radiação solar.

Para os tratamentos químicos foram escolhidos produtos comercialmente disponíveis. O motivo dessa escolha se deu pela importância mercadológica das marcas escolhidas para cada categoria de produtos; e pela fabricação nacional, o que facilita a aquisição desse material e, posterior contato com o fabricante caso necessário.

#### 3.3.1. *Descoloração*

As mechas foram submetidas a tratamento com um pó descolorante comercial *Shizen Lightener* (à base de persulfato de amônio e potássio) com água oxigenada 40 vol. do fabricante *Shizen*.

O pó descolorante e a água oxigenada foram misturados na proporção de 1:2 (m/m), respectivamente. A proporção é indicativa apenas para se obter uma melhor homogeneização da mistura. De acordo com consulta a profissionais de salão<sup>33-34</sup>, a mistura utilizada é bastante similar à utilizada normalmente em processos de descoloração.

Após a homogeneização, a mistura foi aplicada sobre as mechas com as mãos devidamente protegidas com luvas de látex (cirúrgicas) com auxílio de uma espátula de metal. As mechas foram mantidas em repouso por 40 minutos e então, enxaguadas em água corrente ( $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) a fim de se retirar todo o produto.

O processo de descoloração foi repetido para se ter um total de duas descolorações em cada tipo de cabelo. Depois de completadas as duas etapas, as mechas foram secas na temperatura ambiente e guardadas em sacos plásticos com fechos herméticos.

### 3.3.2. *Alisamento*

As mechas foram submetidas a tratamento com um “kit” alisante comercial *Wellin Vital para Cabelos Crespos* do fabricante *Wella*. O produto é composto pelo creme alisante (agente redutor à base de tioglicolato de etanolamina e amônia) e pelo agente oxidante (a base de peróxido de hidrogênio) que é conhecido comercialmente como produto “neutralizante”.

O modo de aplicação foi feito com as mãos devidamente protegidas com uma luva de látex. Em seguida, o repouso foi mantido conforme orientação do fabricante (20 minutos). Em seguida as mechas foram enxaguadas com água corrente até a eliminação total do produto.

Após essa fase, foi aplicado o neutralizante sobre as mechas de cabelo de forma abundante mantendo o tempo de ação por 15 minutos. Então, elas foram novamente enxaguadas com água corrente ( $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ).

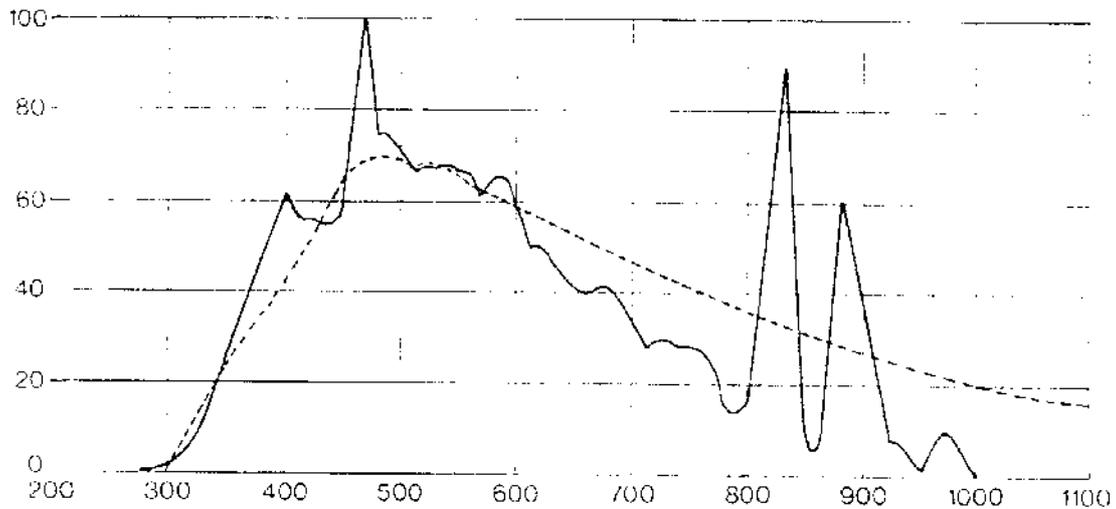
Depois de completadas as duas etapas, as mechas foram secas a temperatura ambiente e guardadas em sacos plásticos com fechos herméticos.

Como o processo de alisamento e permanente são similares quimicamente, mudando apenas o aspecto final esperado (em um caso, espera-se o estiramento da fibra capilar, enquanto que no outro, o cacheamento do mesmo), as mechas de cabelo resultantes desse processo serão referidas como alisamento/permanente. Nesse trabalho, as mechas foram submetidas apenas ao processo físico de estiramento da fibra capilar (alisamento) e não ao permanente.

### 3.3.3. *Exposição à Radiação Solar*

As mechas de cabelo foram expostas utilizando um equipamento dotado de uma lâmpada de arco de xenônio de 1500W, chamado Xenotest<sup>®</sup> 150 da marca Original Hanau. A emissão da luz corresponde à distribuição espectral à luz dia (D65) conforme apresentado na Figura 8 e possui uma intensidade aproximada de 180klux, cerca de 1,5 vez a intensidade da radiação ao meio-dia de um dia de verão na Europa Central ou Miami, com céu descoberto e sobre a superfície do solo<sup>35</sup>.

Energia espectral (unidades rel.)



comprimento de onda (nm)

Figura 8 – Distribuição da energia espectral da radiação solar e aquela emitida pela lâmpada de Xenônio. (---) Radiação global: radiação do sol sobre planos horizontais em latitudes médias; (—) Radiação do foco do Xenotest® 150<sup>35</sup>.

O Xenotest é dotado de um conjunto de filtros que permite ajustar a radiação obtida artificialmente de acordo com o tipo de teste específico: ensaios com radiação simulando a luz passante através do vidro comum; e ensaios com radiação simulando a luz solar ao ar (esta última condição foi àquela adotada nesse trabalho).

O equipamento é dotado de um porta-amostra que circula numa distância de 10 cm em torno da lâmpada de xenônio e permite a inserção de até 10 suportes simultâneos, cada qual com uma área de exposição à lâmpada de 100x45 mm. A refrigeração do equipamento é feita por meio de um fluxo de ar oriundo de um ventilador situado a meia-altura do instrumento.

As mechas foram expostas por 200 h de forma contínua, com uma irradiância média na região do visível de 0,123 W/cm<sup>2</sup> e na região do UVA de 0,00441 W/cm<sup>2</sup>. A temperatura dentro da câmara de exposição foi de 60°C e a umidade relativa de 40%. Considerando a especificação do equipamento mencionado anteriormente, as duzentas horas dentro da câmara equivaleriam a 300 horas de exposição solar natural do sol de meio-dia de um dia de verão na Europa ou Miami. Se considerarmos uma incidência de 10 horas por dia, isso equivaleria à, aproximadamente, 30 dias de exposição natural.

### 3.4 *Ensaio de Tensão-Deformação (TD)*

#### 3.4.1. *Preparação das amostras para ensaios de TD*

As mechas de cabelo foram mantidas na mesma sala do equipamento por, pelo menos 24h antes do início do estudo. A temperatura e umidade foram controladas:  $(22\pm 2)^{\circ}\text{C}$  e  $(50\pm 5)\%$ .

#### 3.4.2. *Aquisição das curvas de TD*

Os ensaios mecânicos foram realizados com uma máquina de ensaios universais da marca EMIC. Foram utilizados uma célula de carga de 10 N e dois tipos de garras para efeito comparativo: uma com aperto simples e prendimento por mordentes lisos e outra de aperto pneumático com prendimento por mordentes lisos e caracol atenuador de tensões de geometria.

Antes do início do ensaio, mediu-se o diâmetro de cada fio (na região mediana e em triplicata) com auxílio de um micrômetro Mitutoyo. Após as medições dos três valores, calculou-se a média que foi considerada como diâmetro seccional médio do fio de cabelo. A seção transversal foi considerada como cilíndrica para todos os tipos de cabelo pela dificuldade em se obter valores exatos dos diâmetros maior e menor dos fios de cabelo de forma rápida e precisa.

As condições ajustadas para a realização dos ensaios de tração foram feitas através do software fornecido com o equipamento: distância inicial das garras de 5 cm, velocidade das garras de 10 mm/min<sup>36</sup>. Um total de 40 fios por amostra foi tracionado.

Após cada ensaio, o software forneceu um relatório que pôde ser impresso com os seguintes parâmetros para cada fio: diâmetro do fio (mm), comprimento base (mm), força máxima (N), tensão na força máxima (MPa), tensão a 15% (MPa), tensão a 30% (MPa), alongamento máximo (%), módulo de elasticidade (MPa). O programa também apresenta os valores de média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação para todas as amostras, além de um gráfico de tensão (MPa) por deformação específica (%).

#### 3.4.3. *Determinação da garra para realização de ensaios de TD*

Quarenta fios de cabelo caucasiano descolorido foram tracionados com os dois tipos de garras nas mesmas condições (conforme descrito no item 3.4.2). Os dados foram analisados quanto à variabilidade nos resultados entre garras e intra-amostral.

A análise dos resultados dentro da mesma amostra demonstrou que, para amostras tracionadas com a garra de aperto simples houve uma diferença significativa ( $p < 0,05$ )

comparando os primeiros 20 resultados com os 20 últimos para os parâmetros: tensão na força máxima e o módulo de elasticidade (vide Anexo A).



Figura 9 – Garras pneumáticas disponíveis para estudos de ensaio mecânico de fios: (a) Garra com aperto simples; (b) Garra com aperto pneumático (\* representa o caracol de atenuação de forças)<sup>37</sup>.

Na comparação entre as duas garras, nota-se uma diferença significativa nos valores obtidos para Alongamento Máximo e Módulo de Elasticidade. Para a garra de aperto pneumático, esses valores são, respectivamente, maior e menor, quando comparados à garra de aperto simples. A diferença nos resultados pode ser devido a diferenças na construção das mesmas. A garra pneumática possui em sua construção, um caracol para atenuar tensões de geometria, isso faz com que se evite o rompimento do fio dentro da garra. Dessa forma, este foi considerado como o mais indicado para ensaios de tração de fios sendo escolhido para todos os ensaios mecânicos nesse projeto.

### 3.5 Medidas de Cor do Cabelo

As medidas de cor foram feitas através do espectrofotômetro de refletância difusa GretagMacbeth Color Eye 2180UV. O equipamento possui uma fonte de luz de xenônio avaliando uma faixa espectral de 360 a 740 nm e expressa os resultados de acordo com várias escalas de cor escolhidas pelo usuário. As condições de medida utilizaram iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. Os resultados obtidos foram expressos através do sistema de cor  $L^*a^*b^*$  (CIE). As medidas foram feitas em diferentes pontos da mecha de cabelo: na raiz, no

meio e na ponta. Foram obtidas duplicatas de medida girando-se a mecha no porta-amostra do equipamento. De acordo com os resultados obtidos, foi considerado como uma alteração perceptível de cor as diferenças de DE\* maiores que 1,0<sup>38</sup>.

### 3.6 *Análise estatística dos resultados de ensaio de TD e cor*

Geralmente, a variabilidade dos resultados experimentais obtidos de materiais ou fenômenos de origem biológica, não segue uma distribuição normal. Nesta Dissertação, todos os dados gerados foram submetidos a uma análise estatística de normalidade (histograma e gráfico de distribuição normal) de modo a se verificar quais modelos estatísticos poderiam ser empregados para avaliação dos resultados. Além da análise visual das curvas, foi feita uma análise através do método Kolmogorov-Smirnov<sup>28</sup>, na qual se  $p > 0,05$  a distribuição é considerada como normal.

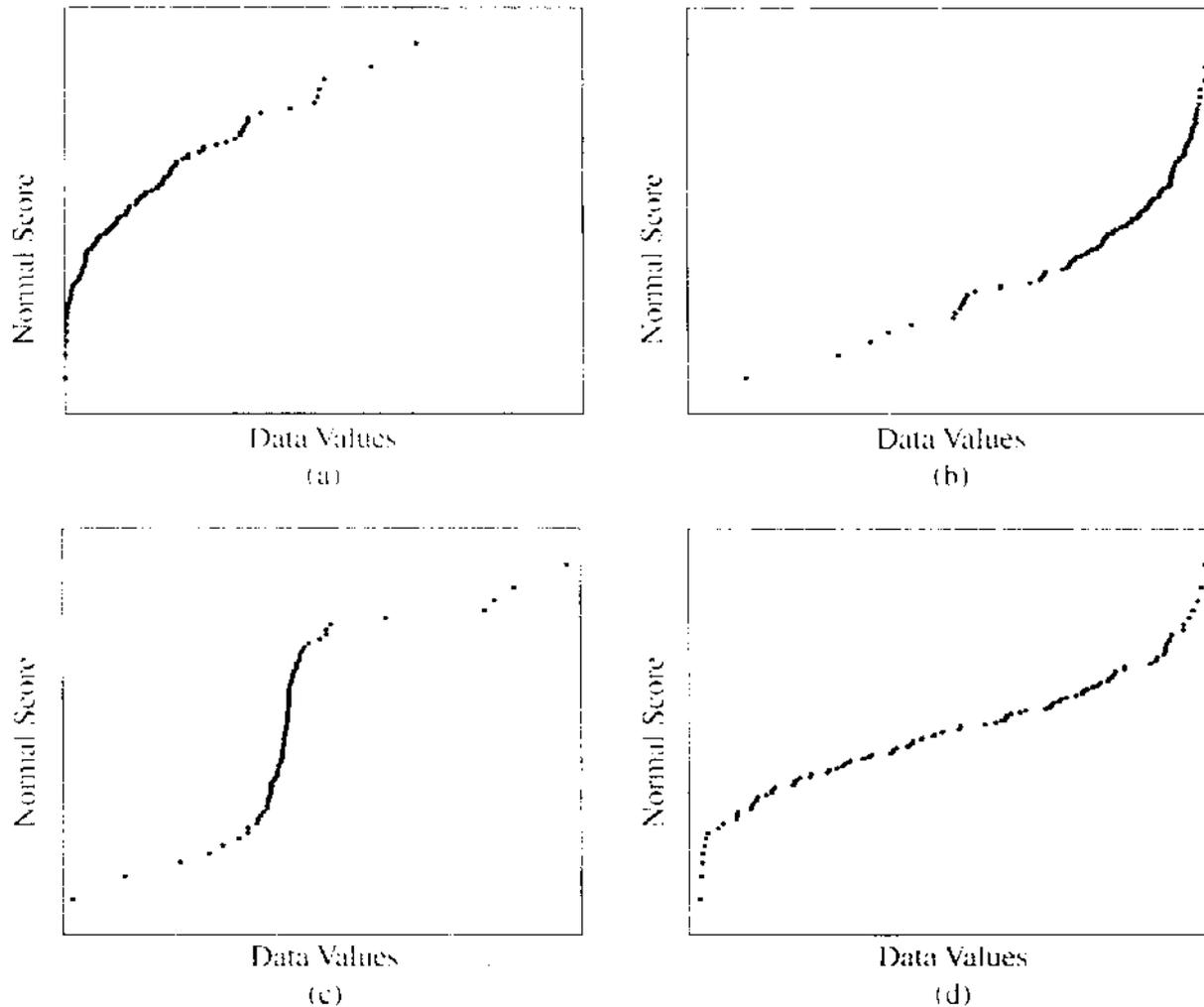


Figura 10 - Gráficos cujos dados não seguem uma distribuição normal<sup>28</sup> – (a) distribuição distorcida à direita; (b) distribuição distorcida à esquerda; (c) distribuição altamente dispersa (com cauda longa); (d) distribuição levemente dispersa

Durante a análise da normalidade do conjunto de dados, uma das informações obtidas é o nível de distorção das curvas em relação ao que seria considerado como próximo à distribuição “normal”. Quando os dados não seguem a normalidade, podem ser observados pelos gráficos da Figura 10, algumas distorções que podem ter aspectos diversos dependendo de como o conjunto de valores está distribuído. Por exemplo, quando a distribuição está distorcida a direita (Figura 10a), significa que um maior número de dados estão mais agrupados nas primeiras regiões de distribuição, enquanto que há uma dispersão grande para os últimos valores. O análogo é o mesmo para as outras figuras.

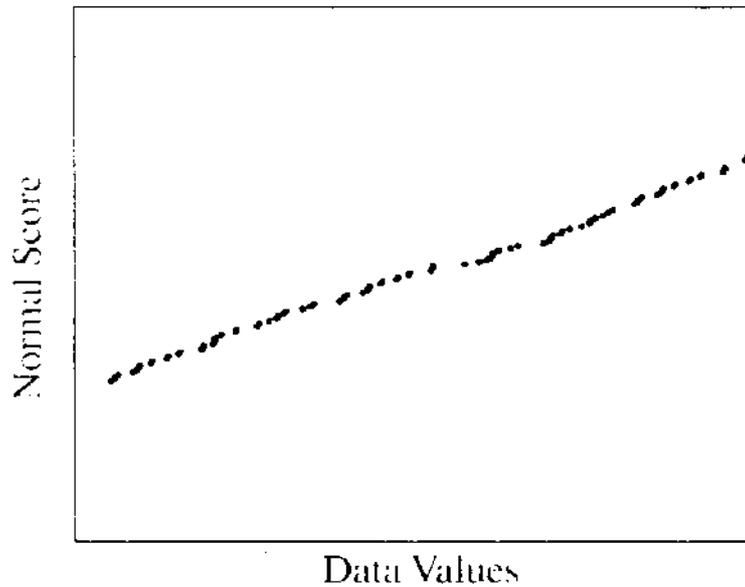


Figura 11 - Exemplo de uma distribuição de dados que segue a normalidade<sup>28</sup>.

Os gráficos apresentados no Anexo B mostram que a dispersão dos dados obtidos para todos os cabelos virgens pode ser considerada como uma distribuição normal, diferentemente do esperado. Assim, todos os resultados obtidos para cada parâmetro avaliado, foram avaliados de acordo com técnicas paramétricas. Utilizou-se a análise de variância (one-way ANOVA) e o Bonferroni para se verificar e identificar as diferenças entre danificações, respectivamente. Os valores de significâncias com  $p \leq 0,05$  foram consideradas como suficientes para considerar a comparação feita como significativas (e denominadas como tal) e a presença de uma tendência de diferença para  $0,05 < p < 0,10$ .

Quando os desvios forem apresentados com seus respectivos resultados, eles serão expressos como Intervalo de Confiança a 95% (IC95).

As análises foram realizadas utilizando o software Statistika da empresa StatSoft<sup>29</sup>.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Ensaios de Tensão-Deformação (TD)

Estes ensaios foram realizados exatamente nas mesmas condições experimentais, tanto para os cabelos virgens quanto para os danificados.

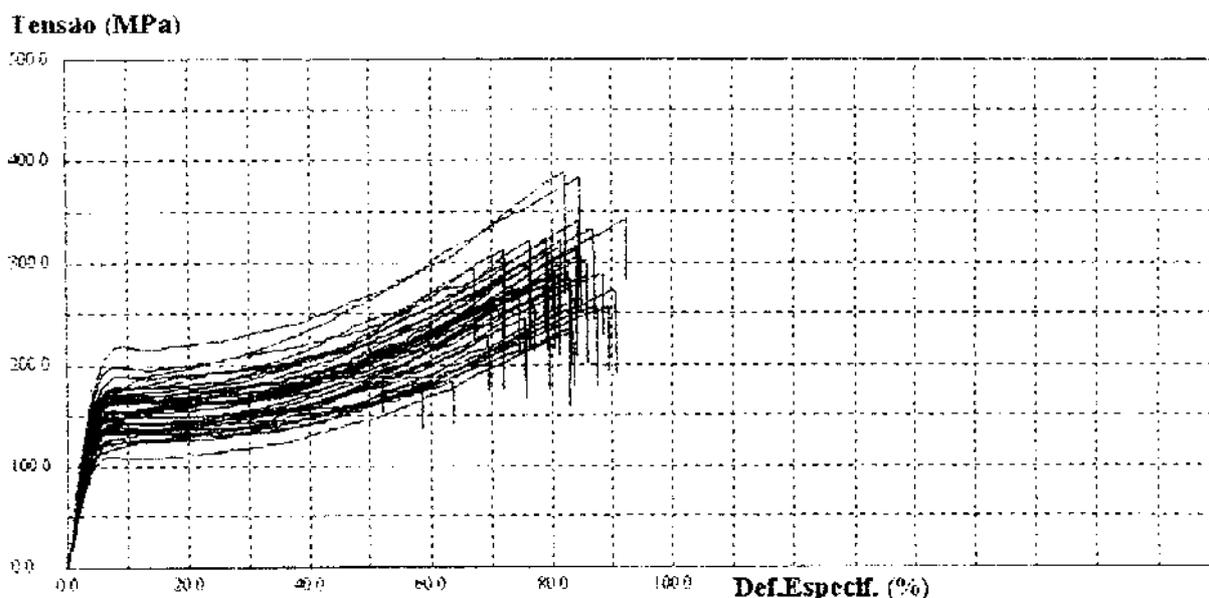


Figura 12 – Exemplo de um gráfico de Tensão *versus* Deformação obtido através do ensaio mecânico do fio de cabelo. Este gráfico representa as curvas sobrepostas dos 40 fios de cabelo caucasiano virgem ensaiados.

A Figura 12 apresenta um exemplo típico de gráfico obtido após o ensaio mecânico de 40 fios de cabelo. As diversas curvas sobrepostas representam a curva de tensão-deformação para cada fio, com a qual o equipamento calcula os parâmetros explicitados no item 3.4.2. Por ser apenas uma representação gráfica e, pelas outras curvas apresentarem as mesmas características de perfil, elas foram omitidas nesse trabalho e apresentadas apenas os dados numéricos.

#### 4.1.1. Cabelos Virgens

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os cabelos virgens para os parâmetros de diâmetro, tensão na forma máxima, módulo de elasticidade e alongamento máximo.

Tabela 1 – Resultados obtidos (média±IC95) através do ensaio de tensão-deformação para os cabelos virgens.

Tipo de Cabelo	Diâmetro, $\mu\text{m}$	Tensão na Força Máxima, $10^2 \text{MPa}$	Módulo de Elasticidade, $10^3 \text{MPa}$	Alongamento Máximo, %
Piedmont	$71 \pm 3$	$2,2 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$	$74 \pm 3$
Caucasiano	$64 \pm 2^*$	$2,9 \pm 0,1^*$	$3,8 \pm 0,2^*$	$80 \pm 2$
Crespo	$72 \pm 3$	$2,0 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,2$	$51 \pm 6^*$
Oriental	$76 \pm 3$	$2,6 \pm 0,1$	$3,3 \pm 0,2$	$82 \pm 2$

\* resultados estatisticamente distintos quando comparados aos seus pares ( $p < 0,05$ ).

#### Diâmetro

Os valores apresentados na Tabela 1 mostram que o cabelo oriental possui maior diâmetro comparado com os outros tipos de cabelo quando é feita uma aproximação circular do corte transversal.

A análise dos resultados mostra que esse valor para o cabelo caucasiano é significativamente menor ( $p < 0,05$ ), enquanto que não se nota diferença para os outros tipos de cabelo.

#### Tensão na Força Máxima

Observa-se que os resultados obtidos de tensão na força máxima para o cabelo caucasiano possuem maior valor de tensão e que cabelo crespo apresenta os menores valores. De acordo com a análise estatística, a comparação entre os cabelos virgens mostra que o cabelo Caucasiano é significativamente maior ( $p < 0,05$ ) entre todas as amostras para o parâmetro avaliado.

#### Módulo de Elasticidade

Conforme os dados da Tabela 1, o módulo de elasticidade é estatisticamente maior ( $p < 0,001$ ) para o cabelo caucasiano comparado com os outros tipos de cabelo e não se observa diferença entre os mesmos (crespo, oriental e Piedmont).

### Alongamento Máximo

No caso do alongamento máximo, observa-se que o cabelo crespo possui menor alongamento sendo diferente das outras amostras ( $p < 0,05$ ). O cabelo oriental possui o maior alongamento com valores superiores a 80%, mas esse resultado é concordante com o cabelo caucasiano.

#### *4.1.2. Comparação entre cabelos virgens e seus respectivos danificados*

### Cabelo Piedmont

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o cabelo virgem e as diversas danificações para os parâmetros de diâmetro, tensão na força máxima, módulo de elasticidade e alongamento máximo.

Tabela 2 – Resultados obtidos (média $\pm$ IC95) através do ensaio de tensão-deformação para os cabelos Piedmont virgem e danificados.

Tipo de Cabelo	Diâmetro, $\mu\text{m}$	Tensão na Força Máxima, $10^2 \text{ MPa}$	Módulo de Elasticidade, $10^3 \text{ MPa}$	Alongamento Máximo, %
Virgem	$71 \pm 3$	$2,2 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$	$74 \pm 3$
Descolorido	$71 \pm 3$	$2,4 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,2^*$	$78 \pm 4$
Alisado/ Permanentado	$71 \pm 4$	$2,4 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,2^*$	$79 \pm 4$
Irrradiado	$75 \pm 4$	$2,0 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,2$	$68 \pm 4$

\* resultados estatisticamente distintos dos do cabelo virgem ( $p < 0,05$ ).

Dentre as danificações avaliadas, a exposição à radiação em câmara de envelhecimento acelerado não proporcionou a esse tipo de cabelo uma variação significativa nos parâmetros avaliados, comparado com o cabelo virgem. As danificações promovidas pela descoloração ou alisamento resultaram em um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) do módulo de elasticidade comparado com o cabelo sem tratamento. As outras variações percebidas nos resultados não foram consideradas estatísticas ao nível considerado (5%) quando comparados ao cabelo na forma inata.

### Cabelo Caucasiano

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para o cabelo virgem e as diversas danificações para os parâmetros de diâmetro, tensão na forma máxima, módulo de elasticidade e alongamento máximo.

Tabela 3 – Resultados obtidos (média±IC95) através do ensaio de tensão-deformação para os cabelos Caucasianos virgem e danificados.

Tipo de Cabelo	Diâmetro, $\mu\text{m}$	Tensão na Força Máxima, $10^2 \text{MPa}$	Módulo de Elasticidade, $10^3 \text{MPa}$	Alongamento Máximo, %
Virgem	$64 \pm 2$	$2,9 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,2$	$80 \pm 2$
Descolorido	$74 \pm 4$	$2,7 \pm 0,2$	$3,7 \pm 0,2$	$83 \pm 3$
Alisado/ Permanentado	$63 \pm 3$	$3,2 \pm 0,1^*$	$4,4 \pm 0,2^*$	$88 \pm 3^*$
Irradiado	$66 \pm 2$	$2,5 \pm 0,1^*$	$3,7 \pm 0,2$	$77 \pm 2$

\*Resultados estatisticamente distintos dos do cabelo virgem ( $p < 0,05$ ).

Conforme os dados obtidos, a tensão na força máxima foi significativamente maior para o cabelo submetido ao processo de alisamento/permanente, enquanto se observa o comportamento oposto quando realizada o processo de envelhecimento acelerado ( $p < 0,05$ ). Para o módulo de elasticidade e alongamento máximo, o tratamento por alisamento/permanente proporcionou um aumento significativo nesses valores.

### Cabelo Crespo

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o cabelo virgem e as diversas danificações para os parâmetros de diâmetro, tensão na força máxima, módulo de elasticidade e alongamento máximo.

Tabela 4 – Resultados obtidos (média±IC95) através do ensaio de tensão-deformação para os cabelos Crespos virgem e danificados.

Tipo de Cabelo	Diâmetro, $\mu\text{m}$	Tensão na Força Máxima, $10^2 \text{MPa}$	Módulo de Elasticidade, $10^3 \text{MPa}$	Alongamento Máximo, %
Virgem	$72 \pm 3$	$2,0 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,2$	$51 \pm 6$
Descolorido	$72 \pm 4$	$1,9 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,2$	$58 \pm 6$
Alisado/ Permanentado	$77 \pm 4$	$1,9 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,2$	$70 \pm 4^*$
Irradiado	$73 \pm 3$	$1,8 \pm 0,1^*$	$3,6 \pm 0,3$	$55 \pm 3$

\* Resultados estatisticamente distintos dos do cabelo virgem ( $p < 0,05$ ).

A exposição causada para esse tipo de cabelo proporcionou uma redução significativa na tensão na força máxima comparado com o cabelo virgem apesar de, numericamente, ter pequena variação. O valor de alongamento máximo é discriminado para o tratamento de alisamento/permanente comparado com os outros, tendo valores mais altos ( $p < 0,05$ ).

#### Cabelo Oriental

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para o cabelo virgem e as diversas danificações para os parâmetros de Diâmetro, Tensão na Força Máxima, Módulo de Elasticidade e Alongamento Máximo.

Tabela 5 – Resultados obtidos (média±IC95) através do ensaio de tensão-deformação para os cabelos virgens e danificados Oriental.

Tipo de Cabelo	Diâmetro, $\mu\text{m}$	Tensão na Força Máxima, $10^2 \text{MPa}$	Módulo de Elasticidade, $10^3 \text{MPa}$	Alongamento Máximo, %
Virgem	$76 \pm 3$	$2,6 \pm 0,1$	$3,3 \pm 0,2$	$82 \pm 2$
Descolorido	$68 \pm 2$	$2,8 \pm 0,2$	$3,6 \pm 2,2$	$85 \pm 2$
Alisado/ Permanentado	$80 \pm 3$	$2,2 \pm 0,1^*$	$3,2 \pm 0,1$	$84 \pm 3$
Exposto	$75 \pm 3$	$2,2 \pm 0,1^*$	$3,5 \pm 0,2$	$76 \pm 3^*$

\* resultado estatisticamente distinto do cabelo virgem ( $p < 0,05$ ).

Para esse tipo de cabelo, os valores de Tensão na Força Máxima para os cabelos Alisado/Permanentado e Exposto são significativamente menores quando comparados ao cabelo virgem ( $p < 0,05$ ). Comparando os valores de Alongamento Máximo, o cabelo exposto apresenta resultado estatisticamente menor comparado às outras formas de tratamento ( $p < 0,05$ ). Apesar das variações nos valores, não se observa uma diferença entre os outros resultados.

#### 4.2. Ensaio de Alteração de Cor

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de cor para as amostras estudadas e são expressas em diferença total da cor (DE\*).

Tabela 6 – Diferença total de cor, DE\* (média), para os cabelos estudados.

Tipo de Cabelo	Descolorido	Alisado/ Permanentado	Irrradiado
Piedmont	5,8*	2,7*	3,7*
Caucasiano	656,7*	1,5*	1,2*
Crespo	742,7*	1,6*	2,1*
Oriental	524,5*	1,6*	1,6*

\* resultados estatisticamente distintos dos do cabelo virgem ( $p < 0,05$ ).

A tabela acima mostra que a variação nos valores de cor antes e após o tratamento é similar para os cabelos de cor escura (crespo, caucasiano e oriental). Já para o cabelo Piedmont, a variação na coloração total é menor, para os diversos tipos de danificação.

A análise estatística dos resultados mostra que para a variação total de cor, o cabelo considerado como virgem é significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) aos cabelos danificados por qualquer processo.

Os resultados obtidos para cada eixo de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) de acordo com as diferentes formas de danificação são apresentados para os respectivos tipos de cabelo na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos de cada parâmetro de cor CIELAB (média±IC95) através do ensaio de cor.

Cabelo	Tratamento	L	a	b
Piedmont	Virgem	74,0 ± 0,3	3,1 ± 0,3	17,7 ± 0,6
	Descolorido	79,7 ± 0,2*	2,3 ± 0,1*	17,3 ± 0,4
	Alisado/Permanentado	74,8 ± 0,2*	3,2 ± 0,3	20,3 ± 0,5*
	Irradiado	74,8 ± 0,5*	2,1 ± 0,2*	21,1 ± 0,8*
Caucasiano	Virgem	19,0 ± 0,3	3,4 ± 0,2	1,8 ± 0,4
	Descolorido	45,0 ± 0,3*	13,1 ± 0,2*	26,9 ± 0,3*
	Alisado/Permanentado	20,2 ± 0,4*	3,5 ± 0,1	2,6 ± 0,2*
	Irradiado	20,2 ± 0,3*	3,3 ± 0,2	1,9 ± 0,3
Oriental	Virgem	18,0 ± 0,2	2,8 ± 0,2	1,1 ± 0,2
	Descolorido	45,2 ± 0,4*	15,8 ± 0,5*	27,8 ± 0,3*
	Alisado/Permanentado	19,2 ± 0,3*	2,6 ± 0,1	2,1 ± 0,2*
	Irradiado	19,8 ± 0,4*	2,7 ± 0,2	2,3 ± 0,3*
Crespo	Virgem	16,2 ± 0,2	2,1 ± 0,2	3,0 ± 0,3
	Descolorido	51,6 ± 0,3*	8,3 ± 0,6*	25,1 ± 0,8*
	Alisado/Permanentado	17,5 ± 0,2*	3,1 ± 0,2*	2,6 ± 0,1
	Irradiado	17,5 ± 0,2*	3,0 ± 0,2*	3,3 ± 0,3

\* resultados estatisticamente distintos dos do cabelo virgem ( $p < 0,05$ ).

A partir dos resultados apresentados acima, nota-se que para todos os tipos de cabelo há um aumento significativo na luminosidade ( $L^*$ ) nos diversos tratamentos, enquanto que os parâmetros do eixo cromático ( $a^*$  e  $b^*$ ), tiveram menor variação.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. *Ensaio de Tensão-Deformação (TD)*

Através dos resultados de tensão-deformação, pode-se verificar que, para maioria dos parâmetros avaliados, a dispersão dos dados para o cabelo submetido a alguma danificação é maior quando comparado ao cabelo virgem, como pode ser ilustrado através de alguns gráficos Box-Plot (Figura 13).

A dispersão nos dados pode estar relacionada com a diferença na interação dos agentes agressivos fio-a-fio durante a aplicação dos respectivos processos. Apesar do cuidado usado no preparo e tratamento das mechas de cabelo, pode ter havido padronização insuficiente nos procedimentos, o que causaria esta variabilidade.

Entretanto, é possível que cada fio de cabelo interaja de forma diferente a agentes externos, proporcionando uma variabilidade dos resultados. Isso pode ser devido à própria diferença na estrutura morfológica de fio para fio como, por exemplo, a composição melanótica ou as características hidrofóbicas-hidrofilicas<sup>4</sup> que causam uma diferença na forma de interação das substâncias ao fio de cabelo.

A variação na composição de melanina dos fios de cabelo pode fazer com que os agentes oxidantes que atuam na degradação da melanina (radiação ultravioleta, peróxidos e outros utilizados nesse trabalho) tenham níveis de ação variados em cada fio devido à relação oxidante/melanina, o que conseqüentemente pode levar a diferenças nos níveis de danificação do cabelo.

A afinidade com água pode variar também de acordo com o estado do fio de cabelo. Quando há danificações que exponham as camadas interiores da cutícula, ou mesmo o córtex, o cabelo tende a apresentar maior hidrofilicidade e o análogo ocorre quando o cabelo está mais íntegro.

De qualquer maneira, estudos específicos seriam necessários para se determinar os fatores que promovem essa dispersão nos resultados.

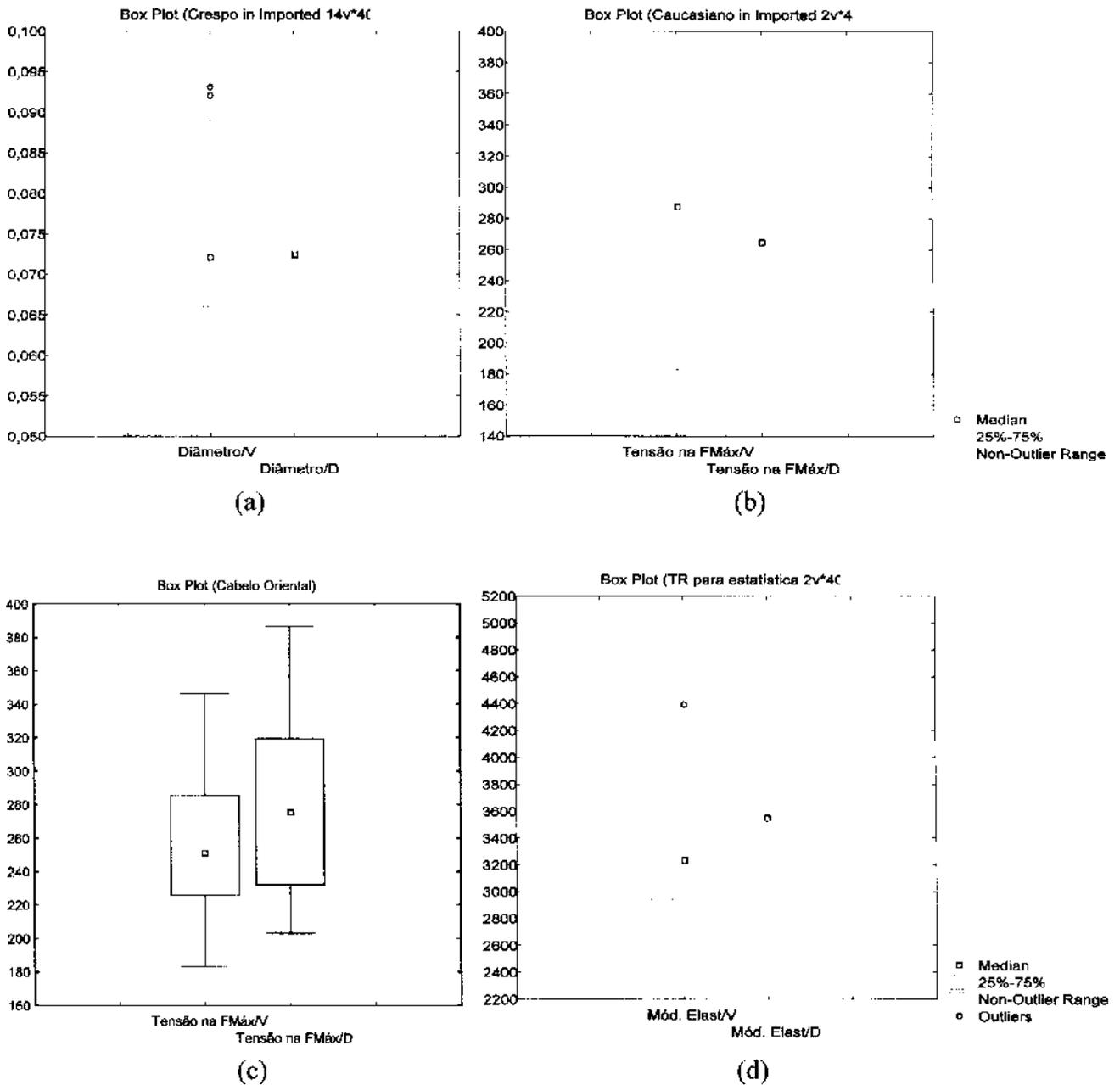


Figura 13 – Box-Plot de algumas propriedades dos cabelos estudados mostrando o aumento da dispersão de dados do cabelo descolorido em relação ao virgem.

### 5.1.1. Cabelos Virgens

#### Diâmetro

A técnica de medição do diâmetro dos fios de cabelo estudados consiste em utilizar um micrômetro para medição do seu diâmetro. O equipamento possui duas pinças cilíndricas que prensam o fio entre elas, medindo assim a sua espessura.

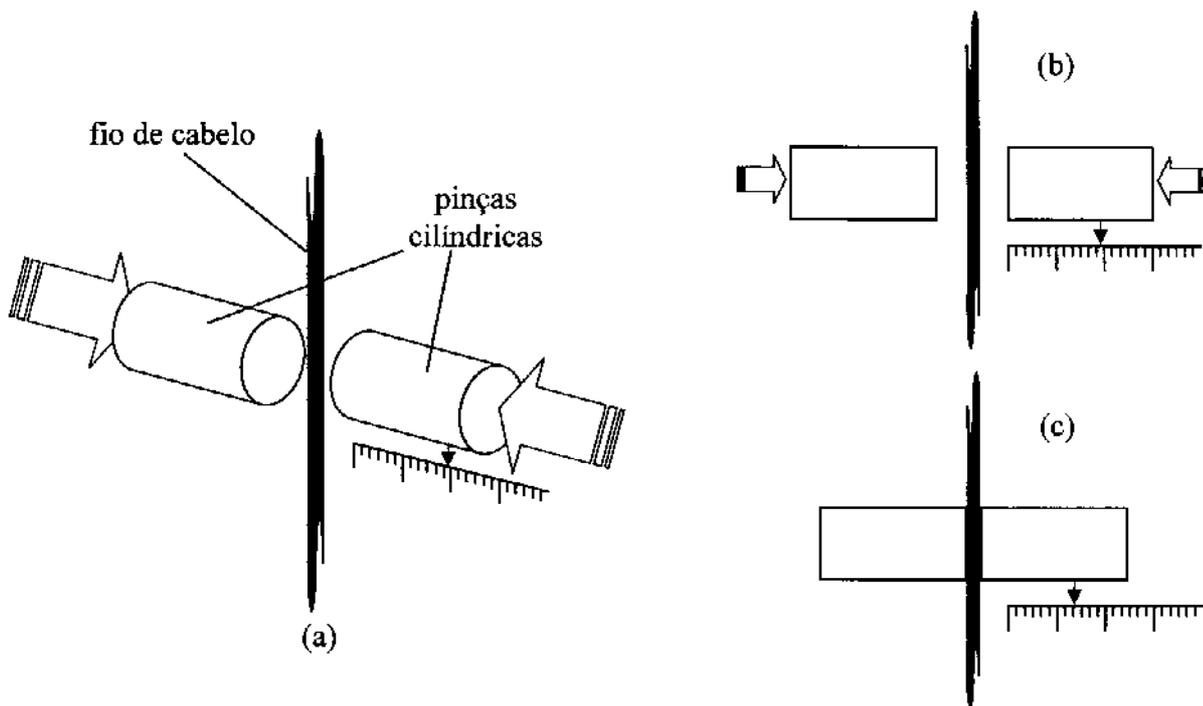


Figura 14 – Esquema simplificado do micrômetro para medição da espessura do fio de cabelo: (a) esquema com representação tridimensional. As setas em azul representam a direção do deslocamento das pinças; (b) mesma representação de (a) em duas dimensões; (c) medida da espessura do fio de cabelo.

Sabe-se que o fio de cabelo possui um corte ovalado apresentando assim um diâmetro maior e outro menor. Como a medição de sua espessura se dá por contato é provável que o valor determinado seja através do diâmetro maior do fio. Isso porque não há como garantir, através dessa técnica, que a medida sempre ocorra pelo diâmetro menor do fio devido à própria rotação natural que existe no fio de cabelo em torno do seu eixo axial. Utilizando esses dados com aqueles disponíveis na literatura sobre a elipticidade do fio de cabelo<sup>4</sup>, é possível calcular o diâmetro menor e assim verificar as faixas de valores obtidos comparados aos da literatura.

Tabela 8 – Médias de diâmetro maior e menor obtidos neste trabalho, e valores da literatura<sup>4</sup>. Os valores de referência para o cabelo Piedmont e Caucasiano foram considerados os mesmos visto que ambos são considerados como Caucasionos.

Tipo de Cabelo	Diâmetro Maior / $\mu\text{m}$	Diâmetro Menor/ $\mu\text{m}$	Faixa de Diâmetro da Literatura	Elipticidade <sup>4</sup>
Piedmont	71	56	47 a 64	1,35
Caucasiano	64	47		
Oriental	76	61	62 a 80	1,25
Crespo	72	41	52 a 91	1,75

Conforme observado na Tabela 8, as faixas de diâmetro para os cabelos caucasiano/Piedmont e oriental, estão concordantes com aqueles reportados em referência. Entretanto, o cabelo dito crespo fica no intermédio das faixas da literatura do cabelo caucasiano com o crespo. Isso ocorre porque o cabelo crespo utilizado não é um cabelo de origem afro, conforme explicado anteriormente no item 3.1.

#### Tensão na Força Máxima

Os valores de tensão da força máxima são obtidos através de uma relação entre os valores de diâmetro da fibra e a força máxima de ruptura do fio.

No caso do cabelo caucasiano, observam-se valores significativamente mais baixos para o diâmetro dos fios associado a uma força de ruptura maior, resultando num maior valor de tensão. Para o cabelo crespo se observa o comportamento oposto.

De acordo com Tate e colaboradores<sup>39</sup>, o valor obtido para Tensão na Força Máxima do cabelo caucasiano é de  $3,3 \pm 0,3$  ( $\times 10^2$  MPa), utilizando uma velocidade de estiramento de 40% da distância inicial por minuto sem mencionar dados mais detalhados sobre velocidade e distância inicial entre garras. Syed e colaboradores<sup>40</sup> determinaram valores de tensão menores ( $1,9 \pm 0,2$  ( $\times 10^2$  MPa)) e a velocidade de garras foi de 60 mm/min com uma distância inicial de 30 mm. Rebenfeld<sup>41</sup> obteve valores de 16,8 (10MPa) com distância inicial entre garras de 50,8 mm e velocidade de estiramento de 25,4 mm/min.

Os valores referenciados em literatura mostram bastante variação. De fato, os dados dependem das condições experimentais adotadas para o ensaio de tração mecânica. Isso é

conhecido através de trabalhos realizados há muito tempo como, por exemplo, de Feughelman<sup>42</sup> e Hertel<sup>43</sup>.

### Alongamento Máximo

Os baixos valores de alongamento máximo para o cabelo crespo se devem pela fragilidade maior percebida para esse tipo de cabelo. Isso é perceptível também pelos constantes rompimentos dos fios, antes mesmo de se conseguir obter valores na região Hookeana. Essa “falha prematura” na quebra do fio de cabelo antes do rompimento pela tração pode acontecer devido à própria fragilidade inerente a esse tipo de cabelo pela sua estrutura. Assim, ficaria mais suscetível a danificações por agentes externos como lavagem, secagem e escovação.

Observa-se que cerca de 20% dos fios considerados como “crespos” se rompem antes de 15% de extensão. Apesar do cabelo estudado como “crespo” não ser originalmente afro-étnico, essa informação coincidentemente se correlaciona com àquela reportada na literatura<sup>44-45</sup> para cabelos étnicos.

Nota-se o módulo de elasticidade dos cabelos analisados (exceto caucasiano) é maior para o cabelo descolorido quando comparado ao virgem. Entretanto, os valores de tensão de ruptura e módulo de elasticidade de polímeros como polietileno, resultam em valores menores quando sofrem algum tipo de degradação por oxidação<sup>46-48</sup>. Neste caso, a oxidação provoca, usualmente, redução na massa molar média e na cristalinidade. Não constam dados de literatura sobre efeitos semelhantes no cabelo, e trata-se de outro assunto a estudar.

### Comentários adicionais

Os valores de tensão na força máxima e módulo de elasticidade para o cabelo Piedmont são significativamente menores quando comparados com o cabelo caucasiano. Provavelmente isso pode ser atribuído pela ausência de eumelanina no primeiro tipo de cabelo, que pode contribuir para uma maior susceptibilidade à fotodanificação antes de ter sido coletado pelo fornecedor.

O cabelo utilizado para ensaios não possui controle do histórico de crescimento: tempo de exposição solar, número de lavagens utilizadas, tipos de produtos utilizados, modo de secagem, entre outros. Todos os agentes que entram em contato com o cabelo, mesmo que seja um simples procedimento de lavagem e/ou secagem com toalha, podem danificar a estrutura morfológica externa do fio de cabelo dependendo de sua frequência<sup>7</sup>. Obviamente todo esse controle é

praticamente inviável e, a minimização desse tipo de efeito pode ser dada através da mescla dos fios coletados de várias cabeças.

### *5.1.2. Comparação entre cabelos virgens e seus respectivos danificados*

#### Piedmont

Não foi possível localizar valores de literatura referente a ensaios de tração para o cabelo oriental ou Piedmont (virgem ou descolorido). Entretanto, o cabelo Piedmont pode ser analisado com base em valores obtidos para os dados de cabelo caucasiano.

#### Caucasiano

Os valores de literatura<sup>39</sup> para tensão na força máxima obtidos em ensaios de tração a úmido mostram que os valores obtidos nesse são relativamente concordantes com os obtidos neste trabalho. Entretanto, os módulos de elasticidade ( $E_s$ ) para os cabelos virgens e descolorido são menores àqueles obtidos nesse estudo. Entretanto, esse tipo de comportamento para valores de  $E_s$  é esperado visto que resultados obtidos por ensaios em meio úmido (umidade de 100%) apresentam valores menores quando comparados com os obtidos em meio seco (umidade de 50~60%)<sup>4</sup>. Isso ocorre porque em umidades relativas abaixo de 60%, as fibrilas do córtex possuem maior dificuldade de extensão, o que exige uma força mecânica mais alta comparada ao cabelo úmido.

#### Crespo

Valores de literatura para tensão na força máxima<sup>40,442</sup> e módulo de elasticidade<sup>44</sup> para o cabelo não tratado são ligeiramente inferiores àqueles obtidos neste estudo. Entretanto, não foram encontradas descritas as condições utilizadas para avaliação das propriedades mecânicas nessas referências, o que pode levar às diferenças observadas entre esse projeto e os resultados descritos em literatura.

#### Comentários Gerais

Pelos valores apresentados nas tabelas anteriores, observa-se que os valores obtidos para os cabelos virgens e descolorido são, de modo geral, bastante similares. No caso do diâmetro do cabelo, as diferenças perceptíveis para os cabelos oriental e crespo. Para o módulo de elasticidade, os valores tendem a ser maiores para os cabelos crespo, caucasiano e Piedmont.

Tabela 9 – Porcentagem de variação dos resultados obtidos nos parâmetros de ensaio mecânico em relação ao cabelo virgem. A média representa a média aritmética dos valores e os números em negrito representam a maior variação (em módulo) para cada parâmetro/tipo de cabelo.

<b>Alisamento/ Permanente</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Tensão na Força Máxima</b>	<b>Alongamento Máximo</b>	<b>Módulo de Elasticidade</b>
Crespo	6,9%	-5,0%	<b>37,3%*</b>	-5,9%
Caucasiano	-1,6%	<b>10,3%*</b>	<b>10,0%*</b>	<b>15,8%*</b>
Oriental	5,3%	<b>-15,4%*</b>	2,4%	-3,0%
Piedmont	0,0%	9,1%	6,7%	<b>12,5%*</b>

<b>Descoloração</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Tensão na Força Máxima</b>	<b>Alongamento Máximo</b>	<b>Módulo de Elasticidade</b>
Crespo	0,0%	-5,0%	13,7%	5,9%
Caucasiano	15,6%	-6,9%	3,8%	-2,6%
Oriental	-10,5%	7,7%	3,7%	9,0%
Piedmont	0,0%	9,1%	5,4%	<b>12,5%*</b>

<b>Exposição</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Tensão na Força Máxima</b>	<b>Alongamento Máximo</b>	<b>Módulo de Elasticidade</b>
Crespo	1,4%	<b>-10,0%*</b>	7,8%	5,9%
Caucasiano	3,1%	<b>-37,9%*</b>	-3,8%	-2,6%
Oriental	-1,3%	<b>-15,4%*</b>	<b>-7,3%*</b>	6,1%
Piedmont	4,5%	-9,1%	-8,1%	-0,0%

A Tabela 9 apresenta uma consolidação da variação dos resultados dos parâmetros obtidos através do ensaio mecânico. Como se pode observar, os tratamentos promoveram alterações nos resultados dos parâmetros em diversos níveis.

Analisando os valores médios de variação para cada parâmetro e, para cada tipo de cabelo, podemos verificar que o processo de alisamento/permanente promoveu um aumento sistemático no alongamento máximo dos diversos cabelos avaliados e também uma grande alteração no diâmetro medido dos fios avaliados. No caso do processo de descoloração, a maior alteração foi observada o parâmetro do módulo de elasticidade; e para a exposição solar houve uma redução na tensão da força máxima para todas as amostras.

Avaliando em qual processo cada tipo de cabelo apresenta maior danificação, tem-se que o Caucasiano sofre maior alteração através do processo de alisamento/permanente; o cabelo Piedmont para o processo de descoloração; e o cabelo Oriental para a exposição à radiação.

No processo de alisamento/permanente, podemos afirmar que, de modo simplificado, há uma ruptura das ligações dissulfídicas (durante a redução) e, posterior “relição” das mesmas na fase de neutralização. Sabe-se que pode haver uma ruptura de cerca de 30% das ligações dissulfídicas com uso de derivados de tioglicolatos, e que a reformação das ligações –S–S– não é

perfeita e, ainda, que nem todas as ligações são refeitas. Durante o processo de neutralização, também são formados resíduos de lantionina através de ligação enxofre-carbono<sup>11</sup> além da perda de material intercelular, que comprometendo a estrutura do fio de cabelo.

Um cabelo submetido ao processo de redução e posterior reoxidação sofre alterações na estrutura do complexo da membrana celular e fraturas na cutícula e no córtex, permitindo uma maior entrada de solventes (*swelling*)<sup>49</sup>. Apesar dessa situação promover uma alteração no diâmetro do fio de cabelo, não foram encontrados dados em literatura mencionando explicitamente esse parâmetro.

O aumento no alongamento máximo acontece por uma maior plasticização das fibrilas presentes na região do córtex, que permitem um melhor deslizamento entre elas aumentando o alongamento das fibras previamente à ruptura<sup>50</sup>.

Para os processos de descoloração e exposição solar, sabe-se que os parâmetros mecânicos como Módulo de Elasticidade e Tensão na Força Máxima tendem a diminuir<sup>21, 39, 51-52</sup>. Isso acontece pela ruptura das ligações dissulfídicas gerando derivados de ácido cistéico na região do córtex e, conseqüentemente, acarretando numa perda das propriedades tênses do fio dos cabelo danificado.

A comparação dos diferentes níveis de danificação para os diversos tipos de cabelo mostra que cabelos aparentemente com estruturas próximas em similaridades (como Caucásiano e Oriental) foram os que apresentaram maior variação nos seus resultados nas diferentes danificações as quais foram submetidos. Os motivos e, eventuais fatores que possam estar envolvidos nesses processos necessitam de investigações mais detalhadas.

## 5.2. *Ensaio de Alteração de Cor*

Através dos resultados obtidos, há uma semelhança na tendência dos resultados observados para os cabelos escuros submetidos aos diversos tipos de danificação. Isso pode ser devido à composição melanótica presente nesse tipo de cabelo, onde se tem uma maior concentração de eumelanina e, para cabelos de diferentes etnias, não se observa uma alteração significativa na composição química dos mesmos.

Conforme esperado, no processo de descoloração verifica-se uma maior alteração na cor do cabelo visto que o objetivo primário do produto é, justamente, promover a alteração das características colorimétricas do fio. Nesse caso, todos os parâmetros de cor sofreram variações significativas nos seus valores.

Os outros tratamentos como alisamento/permanente e exposição solar promoveram alterações de cor semelhantes nos parâmetros nas condições experimentais adotadas. Apesar do conhecimento de que a exposição promova um clareamento do fio de cabelo, o processo de alisamento/permanente também pode promovê-lo.

#### *5.2.1. Descoloração Química*

Os resultados de alteração de cor mostram que, o processo de descoloração proporciona uma grande variação na cor do cabelo. Essa variação de cor (cor total e em cada eixo cromático) se deve principalmente, pela grande variação proporcionada pela componente  $L^*$ , representando a luminosidade (ou clareamento).

Para um produto descolorante atingir as melaninas, essa substância deve, primeiramente, atravessa a região mais externa do cabelo (cutícula). Em seguida, o mecanismo de degradação da melanina proporcionada por agentes descolorantes ocorre através de duas etapas: decomposição dos grânulos de melanina através de peróxido de hidrogênio e, em seguida, pelo persulfato, que decompõe a melanina propriamente dita<sup>4</sup>.

Assim, a grande variação na cor do cabelo e, principalmente em termos de clareamento, observada para as mechas de cabelo tratadas com esse produto, pode ser justificada pelo seu mecanismo de ação que visa a ação nos sítios de definição de cor do cabelo, a melanina.

Certamente, o índice de degradação da melanina e, conseqüentemente, danificação do cabelo dependem de fatores como: tempo de exposição ao produto, concentração dos ingredientes e o número de vezes em que o processo é repetido. E, para definição dessas questões, há uma dependência da coloração inicial do cabelo e a cor final em que se deseja alcançar.

#### *5.2.2. Alisamento/Permanente*

Para o processo de redução do cabelo (alisamento/permanente), observa-se que há uma ligeira variação de cor total principalmente devido ao componente cromático  $b^*$ , que representa um amarelamento observável do cabelo ( $\Delta E > 1^{38}$ ). Tal fato não é mencionado na literatura, visto que não é esperada alteração de cor para essa categoria de produto de tratamento.

O mecanismo de ação de produtos alisantes/permanentes se baseia, primeiramente, na redução das ligações dissulfídicas (-S-S-), quebrando-as para a formação de resíduos cistenil (-S-H). Em seguida, há um processo de oxidação diminuindo a concentração de mercaptanas e, conseqüentemente, estabilizando o processo.

Apesar de tal fato não ter sido explicitado na literatura, acredita-se que essa alteração de cor ocorra no segundo passo do processo de alisamento/permanente. Ou seja, no processo de neutralização. Nesta etapa, a formulação geralmente consiste de um forte agente oxidante, como o peróxido de hidrogênio (substância encontrada no produto comercial utilizado nesse projeto). O  $H_2O_2$  neutralizam o agente redutor e, o seu excesso promove a oxidação da melanina causando o clareamento do cabelo. A sua quantidade é regulada pelo nível de redução causada na fibra e a quantidade necessária de neutralizante aplicada.

### 5.2.3. *Exposição à Radiação*

O processo de exposição do cabelo ao envelhecimento acelerado, nas condições adotadas, proporcionou uma variação na cor total ao redor de 8% para os cabelos escuros. Nesse estudo, as mechas de cabelo foram expostas utilizando-se um equipamento comercial com emissão espectral próximo ao espectro UV-Vis de uma certa especificação de luz solar. De acordo com o trabalho de Nogueira<sup>53</sup>, um estudo similar foi realizado utilizando mechas caucasianas castanho escuras provenientes de voluntários que cederam seu cabelo para o estudo. As mechas foram expostas utilizando uma lâmpada de mercúrio, cujas energias totais de exposição foram ligeiramente menores do que aquelas utilizadas nesse estudo com a lâmpada de arco-xenônio ( $27,0 W/m^2$  e  $100 W/m^2$  respectivamente para as regiões UVA e Vis). Entretanto, a mesma tendência nos resultados foi observada em ambos os trabalhos, mostrando que há uma maior variação nos valores de luminosidade ( $DL^*$ ), comparado com os eixos cromáticos ( $da^*$  e  $db^*$ ). O estudo de Nogueira<sup>53</sup> e outros<sup>26, 54-56</sup> mostra que um dos principais contribuidores na alteração de cor do cabelo exposto seria devido à radiação ultravioleta, mais especificamente a faixa do UVA.

### 5.2.4. *Consolidação*

Como cada tipo de cabelo não pode ser “normalizado” em termos de suas características físico-químicas por ser originário de diferentes pessoas, a alteração de suas propriedades quando submetido à danificação pode resultar em valores numericamente diferentes, mas proporcionalmente equivalentes. Ou seja, o índice de variação nas características do cabelo depende da relação estado inicial/estado final e não somente de seu estado final. Assim, uma maneira de verificar essa proporcionalidade é analisando os resultados em porcentagem de variação em comparação ao cabelo virgem para os diversos tipos de cabelo (apresentado na Tabela 10).

Tabela 10 - Porcentagem de variação dos resultados obtidos nos parâmetros de cor em comparação com o cabelo virgem. A média representa a média aritmética dos valores e os números em negrito representam a maior variação (em módulo) para cada parâmetro/tipo de cabelo.

Alisamento	$L_f/L_i$	$a_f/a_i$	$b_f/b_i$	Média
Crespo	1,0%	2,9%	14,9%	5,1%
Caucasiano	6,2%	2,8%	48,0%	15,8%
Oriental	6,4%	-9,5%	<b>91,4%</b>	<b>23,7%</b>
Piedmont	<b>7,8%</b>	<b>43,6%</b>	-11,8%	11,9%
<b>Média</b>	5,3%	10,0%	<b>35,6%</b>	

Descoloração	$L_f/L_i$	$a_f/a_i$	$b_f/b_i$	Média
Crespo	7,7%	-26,9%	-1,8%	-3,5%
Caucasiano	136,6%	280,7%	1417,0%	503,1%
Oriental	150,5%	<b>459,9%</b>	<b>2460,3%</b>	<b>818,3%</b>
Piedmont	<b>218,6%</b>	285,8%	743,0%	374,1%
<b>Média</b>	128,3%	249,9%	<b>1154,6%</b>	

Exposição	$L_f/L_i$	$a_f/a_i$	$b_f/b_i$	Média
Crespo	1,0%	-34,7%	19,5%	-3,0%
Caucasiano	6,3%	-4,8%	9,8%	4,3%
Oriental	<b>9,5%</b>	-5,7%	<b>114,6%</b>	<b>32,0%</b>
Piedmont	8,0%	<b>41,0%</b>	11,0%	17,2%
<b>Média</b>	6,2%	-1,0%	<b>38,7%</b>	

Legenda:  $f$  – valor do parâmetro de cor após o respectivo tratamento;  $i$  – valor do parâmetro de cor do respectivo cabelo virgem.

A Tabela acima mostra que o processo de descoloração, devido ao seu mecanismo de ação e sua própria finalidade de uso, promove uma maior alteração nos diferentes parâmetros de cor quando comparado aos outros processos.

Da mesma forma, a exposição solar e o alisamento/permanente também promovem uma alteração de cor (conforme explicitado no item 5.2). Dentre todos os tipos de cabelo o Oriental foi o que apresentou maior alteração nos parâmetros de cor (principalmente no quesito de amarelamento – variação positiva dos valores no eixo  $b^*$ ) em todos os processos. Não há informações dessa natureza relatada na literatura e, seria necessária uma maior investigação para se entender os motivos e eventuais mecanismos envolvidos nesses resultados.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e, de acordo com as condições experimentais adotadas na proposição do projeto, podemos concluir que:

### **Ensaio de Tensão-Deformação**

- Cabelos danificados apresentam maior dispersão de resultados quando comparados aos valores obtidos para os cabelos virgens;
- O cabelo Caucásiano virgem apresentou maiores valores de tensão na força máxima e módulo de elasticidade quando comparados aos outros tipos de cabelo;
- Os diversos tipos de cabelo se comportam de forma distinta quando submetidos aos processos de danificação;

### *Exposição Solar:*

- Promoveu uma redução sistemática na tensão da força máxima dos diversos tipos de cabelo;
- Cabelo Oriental apresentou maior variação nos parâmetros mecânicos.

### *Alisamento/Permanente:*

- Promoveu um aumento sistemático no alongamento máximo dos diversos tipos de cabelo;
- Cabelo Caucásiano apresentou maior variação nos parâmetros mecânicos.

### *Descoloração*

- Promoveu aumento sistemático no alongamento máximo nos diversos tipos de cabelo;
- Cabelo Piedmont apresentou maior variação nos parâmetros mecânicos.

### **Ensaio de Alteração de Cor**

- O cabelo Oriental é aquele que apresentou maior variação de cor nos três processos de danificação utilizados nesse estudo;

### *Exposição Solar:*

- O nível de variação de cor foi semelhante ao processo de alisamento/permanente;
- O eixo cromático b apresentou maior variação.

*Alisamento/permanente:*

- O eixo cromático b apresentou maior variação.

*Descoloração:*

- Promoveu uma maior alteração de cor comparada a outros processos devido ao próprio objetivo do produto.

A comparação dos diferentes níveis de danificação para os diversos tipos de cabelo mostra que cabelos com microestruturas similares (como o Caucasiano e o Oriental) foram os que apresentaram maior variação nos resultados nas diferentes danificações as quais foram submetidos. Os motivos e, eventuais fatores que possam estar envolvidos nesses processos necessitam de investigações mais detalhadas.

## 7. REFERÊNCIAS

1. Oliveira, O., "Modificadores Estruturais do Cabelo", *Cosmetic&Toiletries* (ed. Em Português), 2000, **12(2)**, 59-61;
2. Powitt, A., "Hair Structure and Chemistry Simplified", Milady Publishing Co., New York, 1986;
3. Feughelman, M., "Morphology and Properties of Hair", In: *Hair and Haircare*, Johnson D. (Ed.), Marcel Dekker Inc., New York, 1997;
4. Robbins, C., "Chemical and Physical Behavior of Human Hair", 4rd ed., Springer Verlag, New York, 2002;
5. Associação Brasileira das Indústrias de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, "Panorama do Setor, Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos", ABIHPEC, 24 de agosto de 2006;
6. Swift, J., Brown, A., "The Critical Determination of Fine Changes in the Surface Architecture of Human Hair Due to Cosmetic Treatment", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1972, **23**, 695-702;
7. Robinson, V., "A Study of Damaged Hair", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1976, **27**, 155-161;
8. Kelly, S., Robinson V., "The Effect of Grooming on the Hair Cuticle", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1982, **33**, 203-215;
9. Feulghelman, M., "The Physical Properties of Alpha-Keratin Fibers", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1982, **33**, 385-406;
10. Swift, J. A., "Human Hair Cuticle, Biologically Conspired to the Owner's Advantage", *J. Cosmet. Sci.*, 1999, **50**, 23-47;
11. Harris, R. T., "Hair Relaxing", *Cosmetic&Toiletries*, 1979, **94(4)**, 51-56;
12. Mercer, E. H., "The Fine Structure of Keratine", *Text. Res. J.*, 1957, **27**, 860-866;
13. Rogers, G. E., "Electron Microscope Studies of Hair and Wool", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1959, **83**, 378-399;
14. Gray, J., "The World of Hair",  
[http://www.procterandgamble.com/science/haircare/hair\\_twh\\_index.htm](http://www.procterandgamble.com/science/haircare/hair_twh_index.htm), Procter&Gamble Beauty Science.
15. Mercer, E., "Some Experiments on the Orientation and Hardening of Keratin in the Hair Follicle", *Biochem. Biophys. Acta*, 1949, **3**, 161-169;
16. Barnicot, N.A. "Paper Chromatography of Human Hair Follicles and Hair Extracts", *Br. J. Dermatol.*, 1959, **71**,:303-308;
17. Thibault, S., Gaillard, O., Bouhanna, P., Cannell, D. W., Bernard, B. A., "Human Hair Shape is Programmed From the Bulb", *Br. J. Dermatol.*, 2005, **152**, 632-638;
18. Bernard, B., "Hair Shape of Curly Hair", *J. Am. Acad. Dermatol.*, 2003, **48**, S120-S126;
19. Robbins, C., Crawford, R., "Cuticle Damage and the Tensile Properties of Human Hair", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1991, **42**, 59-67;

20. Collins, J., Chaikin, M., "The Stress-Strain Behavior of Dimensionally and Structurally, Non-Uniform Wool Fibers in Water", *Text. Res. J.*, 1965, **35**, 777-787;
21. Beyak, R., Kass, G., Meyer, C., "Elasticity and Tensile Properties of Human Hair II. Light Radiation Effects", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1971, **22**, 667-678;
22. Minolta, Precise Color Communication – Color Control From Feeling to Instrumentation;
23. Prota, G., "Recent Advances in the Chemistry of Melanogenesis in Mammals", *J. Invest. Dermatol.*, 1980, **75**, 122-127;
24. Wolfram, L., Albrecht, L., "Chemical and Photobleaching of Brown and Red Hair", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1987, **38**, 179-191;
25. Slawinska, D., Slawinski, "Electronically excited molecules in the formation and degradation of melanin", *Physiol. Chem. Phys.*, 1982, **14**, 363-374;
26. Hoting, E., Zimmermann, M., Hilterhaus-Bong, S., "Photochemical Alterations in Human Hair I. Artificial Irradiation and Investigations of Hair Proteins", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1995, **46**, 85-99;
27. Callegari\_Jacques, S., "Bioestatística: Princípios e Aplicações", 1ª ed., Artmed Ed., São Paulo, Brasil, 2003;
28. Tamhane, A., Dunlop, D., "Statistics and Data Analysis", Prentice-Hall, New Jersey, 2000;
29. StatSoft, Inc. (2001). STATISTICA (data analysis software system), version 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com);
30. Neto, B., Scarmínio, I., Bruns, R., "Como Fazer Experimentos", Ed. Unicamp, Campinas, Brasil, 2001;
31. International Hair Importers Catalogue, International Hair Importers, New York;
32. Curry, K., Golding, S., "Hair Lipids – I. The Extraction of Fatty Materials from Hair Clippings", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1971, **22**, 681;
33. Vizoni, O., Vizoni Cabeleireiros, comunicação pessoal;
34. Mitsui, M., Yamaguro Cabeleireiros/Kaze Cabeleireiros, comunicação pessoal;
35. Xenotest 150 (Original Hanau) – Manual de Instruções;
36. Tucci, A. M., "Propriedades Físico- Químicas de Cabelo: Desenvolvimento de Métodos de Avaliação de Alterações Estruturais Induzidas por Irradiação", *Tese de Mestrado*, UNICAMP, 1989;
37. EMIC, Catálogo de Máquinas de Ensaio Universal;
38. Scanavez, C., Zoega, M., Barbosa, A., Joekes, I., "Measurement of Hair Luster by Diffuse Reflectance Spectrophotometry", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 2000, **51**, 289-302;
39. Tate, M., Kamath, Y., Ruetsch, S., Weigmann, H., "Quantification and Prevention of Hair Damage", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1993, **44**, 347-371;
40. Syed, A., Kuhajda, A., Ayoub, H., Ahmad, K., Frank, E., "Cabelo Afro-Americano vs. Caucasiano: Propriedades Físicas", *Cosmetic&Toiletries (Português)*, 1996, **8(mai/jun)**, 55-59;

41. Rebenfeld, L., Weigmann, H., Dansizer, C., "Temperature Dependence of the Mechanical Properties of Human Hair in Relation to Structure", *J.Soc. Cosmet. Chem.*, 1966, 17, 525.
42. Feughelman, M., Robinson, M., "The Relationship Between Some Mechanical Properties of Single Wool Fibers and Relative Humidity", *Textile Res. J.*, 1967, 37, 441;
43. Hertel, K., "Fiber Strength as a Function of Fiber Length and Gauge Length", *Textile Res. J.*, 1957, 7, 571;
44. Kamath, Y., Hornby, S., Weigmann, H., "Mechanical and Fractographic Behavior of Negroid Hair", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1984, 35, 21-43;
45. Syed, A., "Ethnic Hair Care Products", In: *Hair and Haircare*, Johnson D. (Ed.), Marcel Dekker Inc., New York, 1997;
46. Allcock, H., Lampe, F., "Contemporary Polymer Chemistry", 2nd Ed., Prentice Hall, New Jersey, 1990;
47. Davis, A., David, S., "Weathering of Polymers", Elsevier Sci. Publ. Co., New York, 1983;
48. Krevelen, D., "Properties of Polymers", 3rd Ed., Elsevier Sci. Publ. Co., New York, 1990;
49. Eckstrom, M., "Swelling Studies of Single Human Hair Fibers", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1951, 2, 244-250;
50. Braida, D., Toutain, C., Barbarat, Ph., Diridollou, S., Franbourg, A., Leroy, F., "Relaxers on African American Hair : Principal Modifications Induced on Hair and Comparison of Two Different Products", 1<sup>st</sup> International Conference on Applied Hair Science, New Jersey, USA, 2004;
51. Ratnapandian, S., Warner, S. B., Kamath, Y. K., "Photodegradation of Human Hair", *J. Cosmet. Sci.*, 1998, 49, 309-320;
52. Dubief, C., "Experiments with Hair Photodegradation", *Cosmetic & Toiletries*, 1992, 107(10), 95-102;
53. Nogueira, C., "Efeito da Radiação Ultravioleta na Cor, na Perda Protéica e nas Propriedades Mecânicas do Cabelo", *Tese de Mestrado*, UNICAMP, 2003;
54. Hoting, E., Zimmermann, M., Hocker, H., "Photochemical Alterations on Human Hair. Part II: Analysis of Melanin", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1995, 46, 181-190;
55. Hoting, E., Zimmermann, M., "Photochemical Alterations on Human Hair III. Investigations of Internal Lipids", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1996, 47, 201-211;
56. Hoting, E., Zimmermann, M., "Sunlight-Induced Modifications in Belached, Permed or Dyed Human Hair", *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 1997, 48, 79-91;

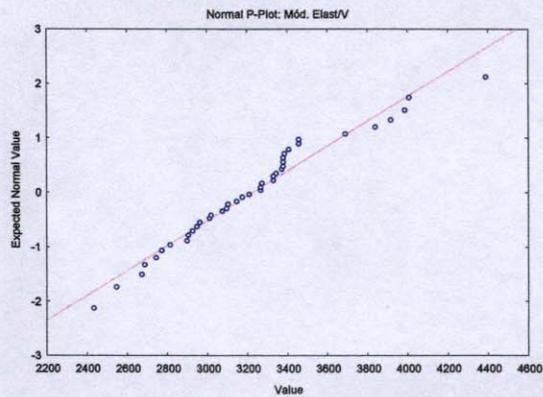
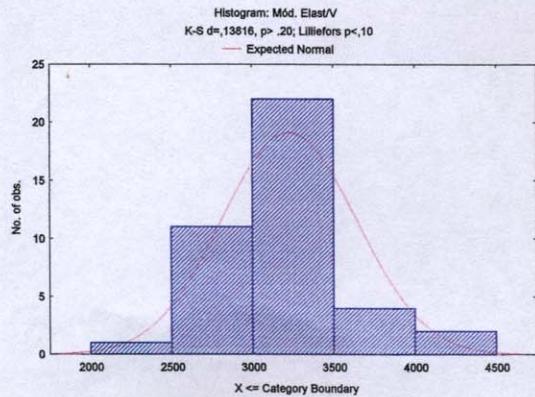
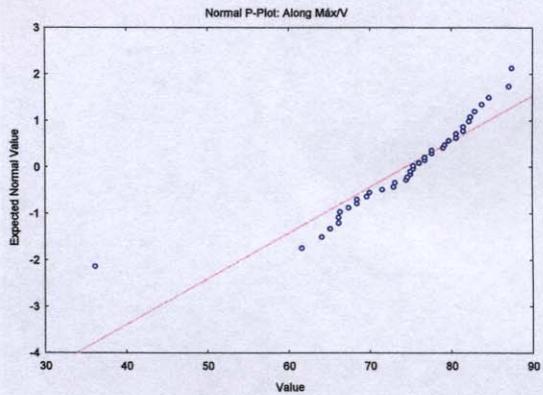
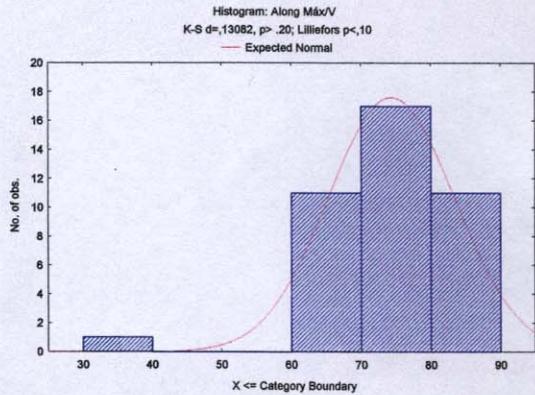
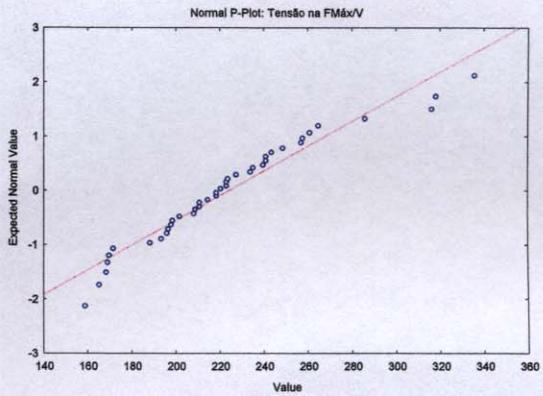
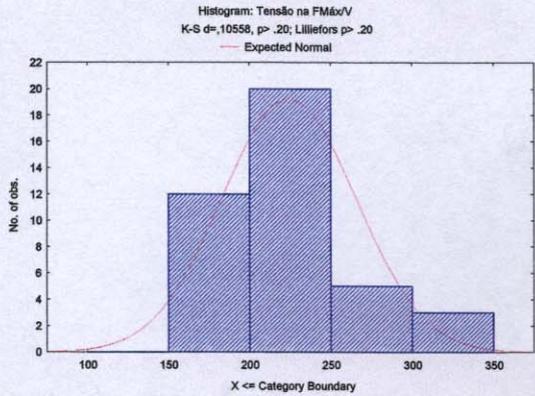
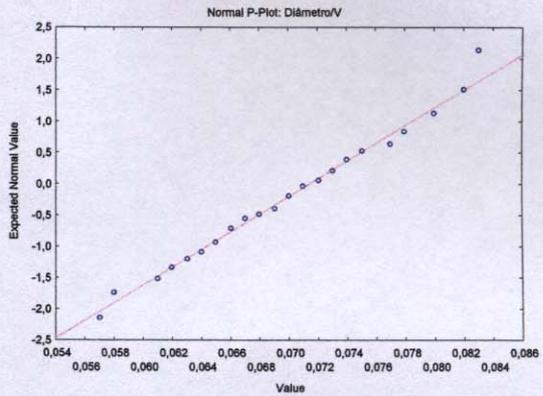
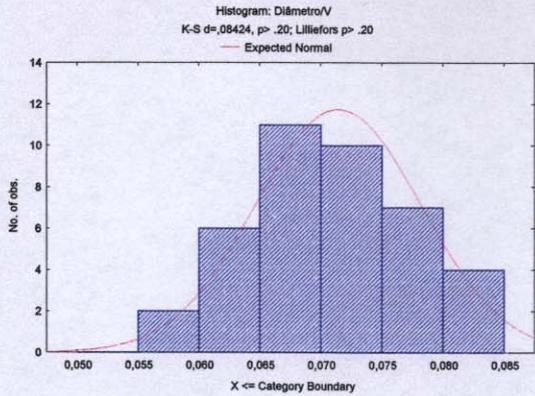
## 8. ANEXOS

### Anexo A

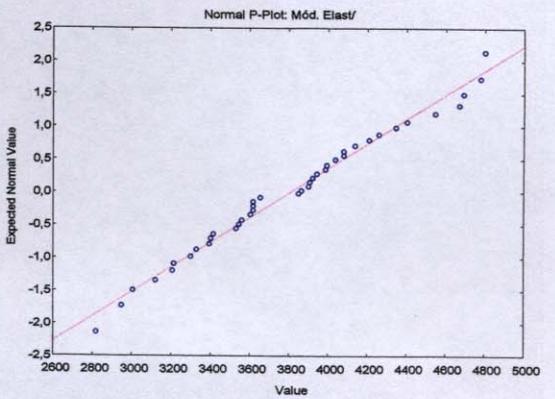
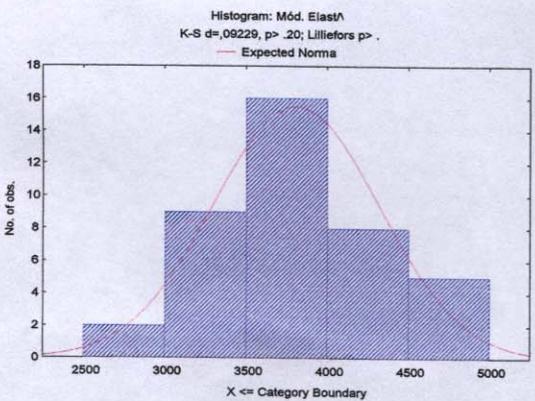
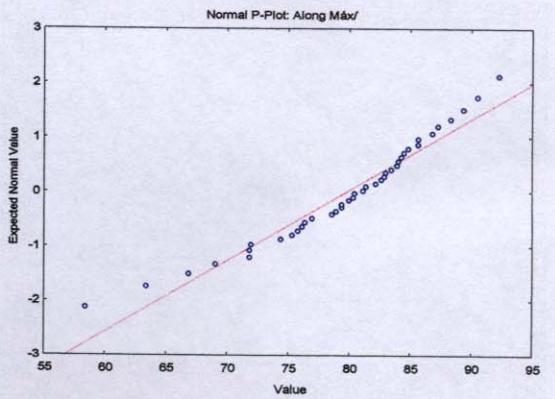
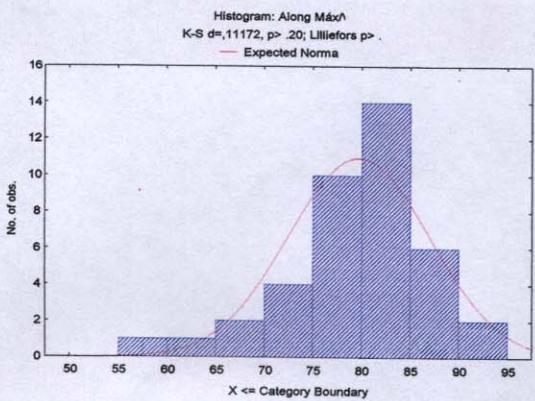
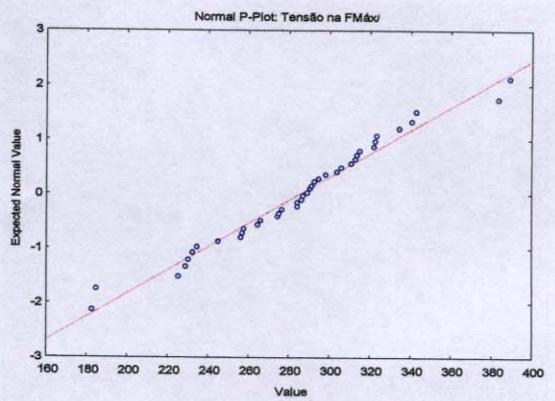
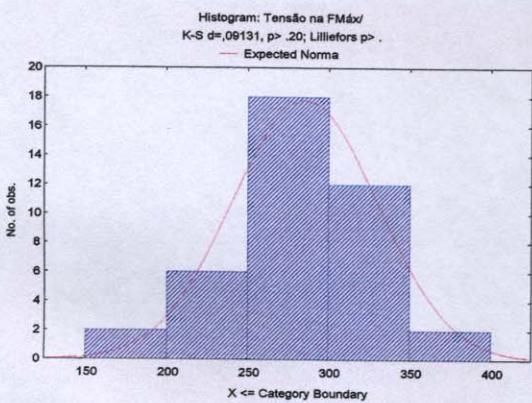
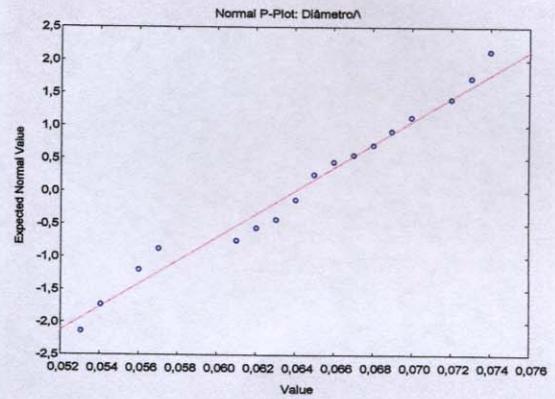
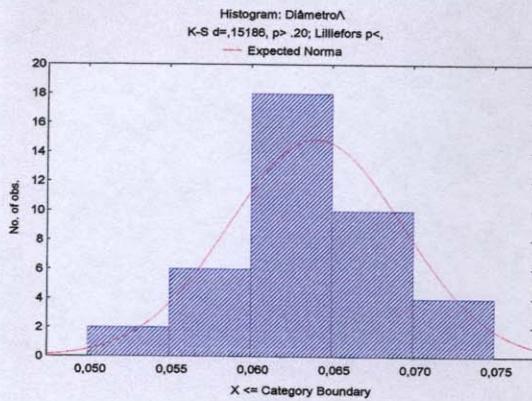
Tabela A – Média dos resultados obtidos para os principais parâmetros de tensão-deformação nos dois tipos de garras utilizadas. \* diferença significativa ( $p < 0,05$ ) observada comparando-se os primeiros com os últimos resultados; † diferença significativa ( $p < 0,05$ ) observada comparando-se os resultados entre as duas garras para o cabelo Caucasiano Castanho Escuro Virgem.

Tipo de Garra		Diâmetro/ $\mu\text{m}$	Tensão na Força Máxima/ $10^1\text{MPa}$	Mód. Elasticidade/ $\text{MPa}^\dagger$	Alongamento Máximo/ $\%^\dagger$
Garra de aperto simples	Primeiros 20 valores	$70 \pm 10$	$26 \pm 4^*$	$6,6 \pm 1,0^*$	$50,9 \pm 3,7$
	Últimos 20 valores	$73 \pm 8$	$23 \pm 4^*$	$5,7 \pm 0,9^*$	$52,0 \pm 5,9$
Garra de aperto pneumático	Primeiros 20 valores	$74 \pm 12$	$26 \pm 6$	$3,7 \pm 0,7$	$81,6 \pm 8,4$
	Últimos 20 valores	$75 \pm 9$	$27 \pm 5$	$3,7 \pm 0,6$	$85,6 \pm 8,3$

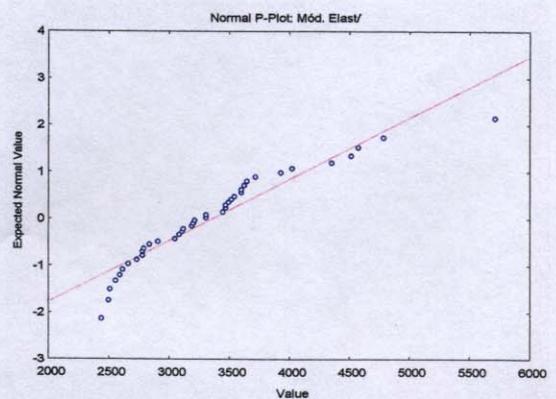
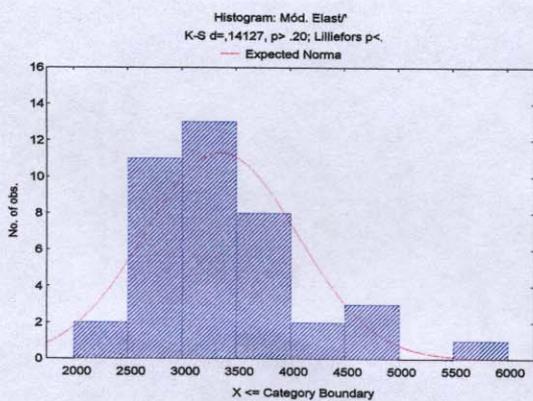
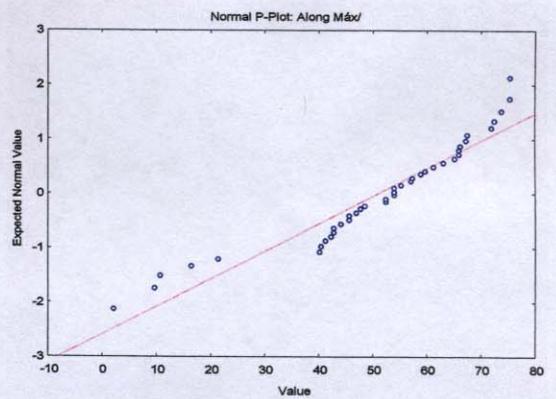
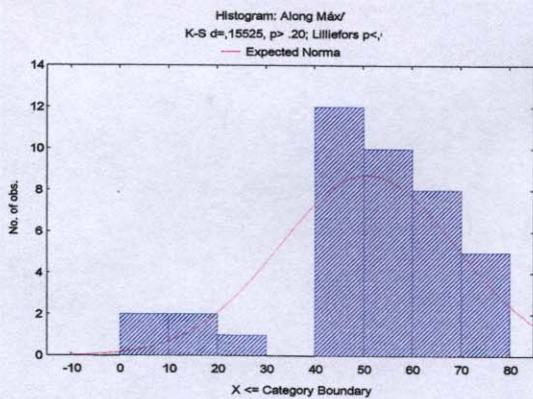
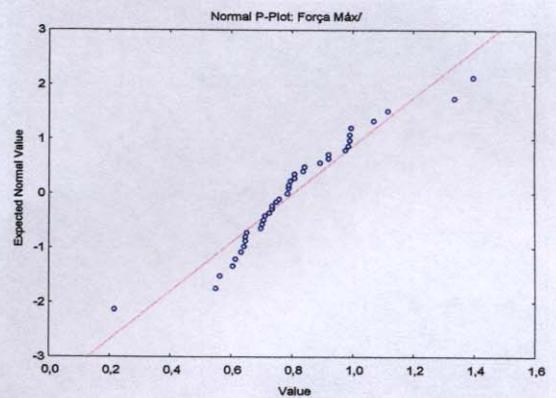
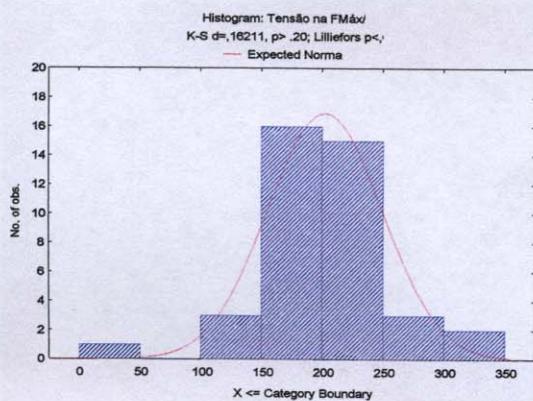
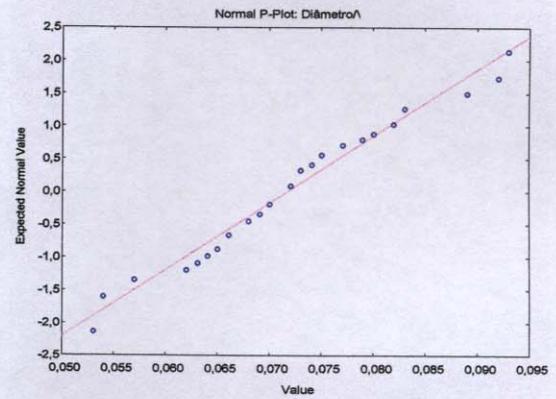
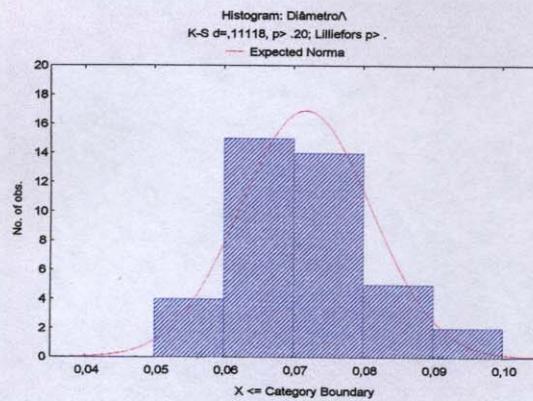
## Anexo B – Histogramas e Curvas de Distribuição Normal para o Cabelo Piedmont Virgem dos principais parâmetros para ensaio de tensão-deformação.



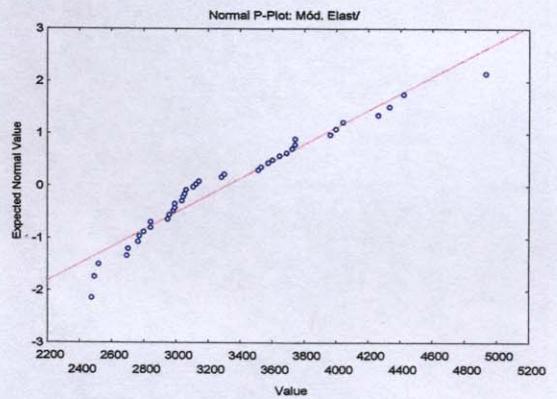
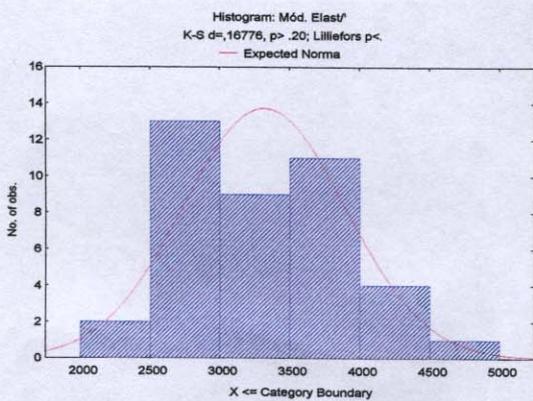
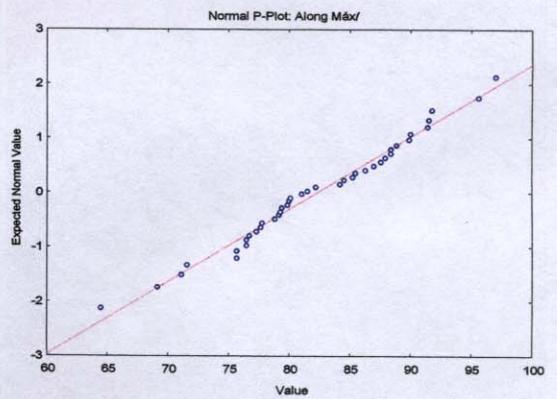
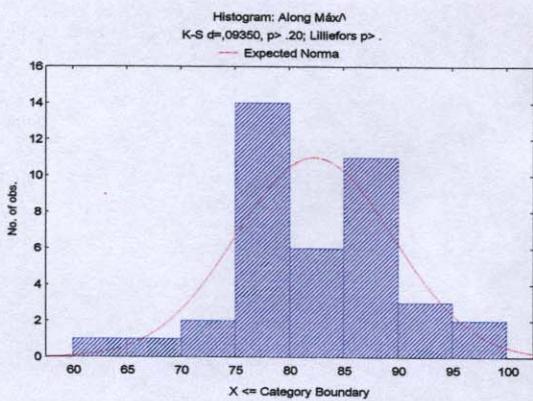
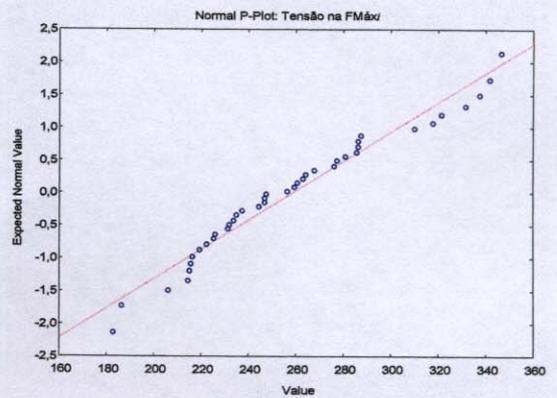
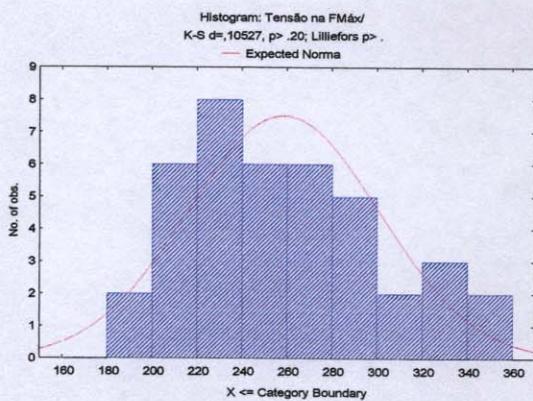
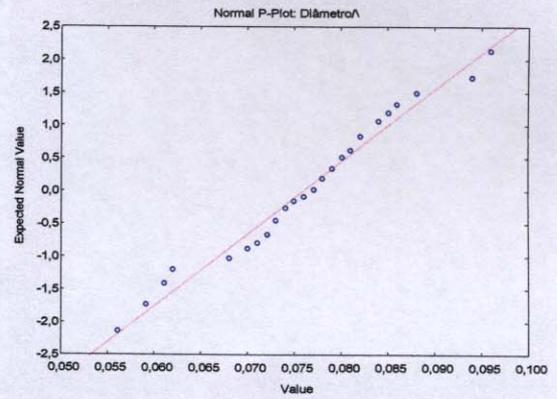
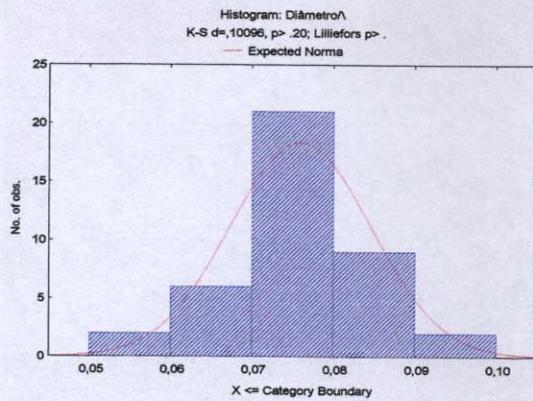
**Anexo B (cont.) – Histogramas e Curvas de Distribuição Normal para o Cabelo Caucasiano Virgem dos principais parâmetros para ensaio de tensão-deformação.**



## Anexo B (cont.) – Histogramas e Curvas de Distribuição Normal para o Cabelo Crespo Virgem dos principais parâmetros para ensaio de tensão-deformação.



## Anexo B (cont.) – Histogramas e Curvas de Distribuição Normal para o Cabelo Oriental Virgem dos principais parâmetros para ensaio de tensão-deformação.



## Anexo C

Tabela C – Valores de significância (*p*) para os principais parâmetros de tensão-deformação para os diferentes tipos de cabelo em relação ao cabelo virgem. As diferenças consideradas significativas ( $p < 0,05$ ) foram marcadas em negrito; as tendências ( $0,05 < p < 0,10$ ), em itálico.

Tipo de Cabelo		Diâmetro	Tensão na Força Máxima	Mód. Elasticidade	Alongamento Máximo
Piedmont	Descolorido	1,0000	1,0000	<b>0,0107</b>	0,6497
	Alisado/ Permanentado	1,0000	0,7069	<b>0,0227</b>	0,3942
	Exposto	1,0000	0,1440	1,0000	<i>0,0997</i>
Caucasiano	Descolorido	1,0000	0,5852	1,0000	0,5624
	Alisado/ Permanentado	1,0000	<b>0,0117</b>	<b>0,0005</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Exposto	1,0000	<b>0,0049</b>	1,0000	0,5174
Crespo	Descolorido	1,0000	0,3020	0,9331	1,0000
	Alisado/ Permanentado	<i>0,0785</i>	0,4501	1,0000	<b>0,0002</b>
	Exposto	1,0000	<b>0,0151</b>	1,0000	1,0000
Oriental	Descolorido	1,0000	0,1713	<i>0,0908</i>	0,9708
	Alisado/ Permanentado	0,7849	<b>0,0037</b>	1,0000	1,0000
	Exposto	1,0000	<b>0,0004</b>	1,0000	<b>0,0037</b>

## Anexo D

Tabela D - Valores de significância (*p*) para os parâmetros de cor para os diferentes tipos de cabelo em relação ao cabelo virgem. As diferenças consideradas significativas ( $p < 0,05$ ) foram marcadas em negrito; as tendências ( $0,05 < p < 0,10$ ), em itálico.

Tipo de Cabelo		L	a	b	E
Piedmont	Descolorido	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	1,0000	<b>&lt;0,0001</b>
	Alisado/ Permanentado	<b>0,0027</b>	1,0000	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Exposto	<b>0,0036</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Caucasiano	Descolorido	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Alisado/ Permanentado	<b>&lt;0,0001</b>	1,0000	<b>0,0006</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Exposto	<b>&lt;0,0001</b>	0,9531	1,0000	<b>&lt;0,0001</b>
Crespo	Descolorido	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Alisado/ Permanentado	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0006</b>	1,0000	<b>&lt;0,0001</b>
	Exposto	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0014</b>	1,0000	<b>&lt;0,0001</b>
Oriental	Descolorido	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Alisado/ Permanentado	<b>&lt;0,0001</b>	0,7405	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Exposto	<b>&lt;0,0001</b>	1,0000	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>