

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
SÁLVIO LIMA DE CARVALHO NETO

**AVALIAÇÃO DE AMARROTAMENTO POR MEIO DE
PROCESSAMENTO DE IMAGEM DE TECIDOS 100%
ALGODÃO EM PROCESSOS DE LAVAGEM E SECAGEM
DOMÉSTICA**

Florianópolis
2017

Sálvio Lima de Carvalho Neto

AVALIAÇÃO DE AMARROTAMENTO POR MEIO DE
PROCESSAMENTO DE IMAGEM DE TECIDOS 100% ALGODÃO
EM PROCESSOS DE LAVAGEM E SECAGEM DOMÉSTICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle
Coorientadoras: Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Siqueira
Curto Valle e Prof.^a Dr.^a Catia Rosana Lange de Aguiar

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Carvalho Neto, Sálvio Lima de

AVALIAÇÃO DE AMARROTAMENTO POR MEIO DE
ROCESSAMENTO DE IMAGEM DE TECIDOS 100% ALGODÃO EM
PROCESSOS DE LAVAGEM E SECAGEM DOMÉSTICA / Sálvio Lima de
Carvalho Neto; Orientador, José Alexandre Borges Valle; Coorientadora, Rita de
Cássia Siqueira Curto Valle; Coorientadora, Catia Rosana Lange de Aguiar. –
Florianópolis, SC, 2017.

120 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis,
2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Química. 2. Canny. 3. Lavagem. 4. Secagem. 5.
Amarrotamento. I. BORGES VALLE, JOSÉ ALEXANDRE. II. SIQUEIRA
CURTO VALLE, RITA DE CÁSSIA. III. LANGE DE AGUIAR, CATIA
ROSANA. IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Química. V. Título.

Termo de aprovação

Este trabalho é dedicado às pessoas que, para viver em um mundo melhor, não se incomodam de fazer sempre o certo.

AGRADECIMENTOS

A todos que acreditaram em meu potencial e depositaram confiança no meu trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle e às minhas coorientadoras, Prof^a Dr^a. Rita de Cássia Siqueira Curto Valle e Prof^a Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar que fizeram parte desta jornada.

À minha mãe, Claucia Wippel e meu pai, Sálvio Lima de Carvalho Filho, por darem amor, carinho e acolhimento em todos os momentos e, principalmente, por me darem forças a mudar o rumo da minha vida, optando pelo mundo acadêmico.

Aos meus irmãos, Arthur Wippel de Carvalho e Gabriel Wippel de Carvalho, por estarem presentes nesta minha luta, darem apoio e me alegrarem em momentos difíceis.

À minha companheira de vida Júlia Cristiê Kessler, por me fazer acreditar que chegaria até aqui e caminhar ao meu lado compartilhando toda sua motivação.

À minha madrinha, Lenira Wippel, minha avó, Eulina Maria Kormann Wippel e minha prima, Maria Clara Wippel, pelo amor e carinho que serviram como combustíveis nestes dois anos de mestrado e que continuam a me fazer mover pelo mundo.

Aos professores da Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina pelos conteúdos apresentados e conhecimento repassados.

Aos professores do Departamento de Engenharias, Prof^a Dr^a Ana Paula Serafini Immich Boemo, Prof^a Dr^a Cintia Marangoni, Prof^a Dr^a Fernanda Steffens, Prof. Dr. Francisco Claudivan da Silva e Prof^a Dr^a Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, além do Prof. Dr. Daniel Alejandro Ponce Saldias e Prof. Dr. Eliton Fontana pelas inúmeras reuniões que culminaram na execução deste trabalho.

Ao meu amigo Laio Oriel Seman, por elucidar assuntos referentes à programação no *software Matlab* e auxiliar na construção da câmara escura para fotografia.

À Electrolux por disponibilizar o espaço físico de seu Departamento de Engenharia do Produto para a realização da análise experimental, em especial ao Cesar Silva, Luiz Campos, Cassiane Mendes e Felipe Scheer por contribuírem tanto com dúvidas e questionamentos sobre o trabalho, quanto com sugestões e conhecimentos sobre o tema.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
(CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer”.

(Albert Einstein, 1879–1955)

RESUMO

CARVALHO NETO, SÁLVIO LIMA DE. **Avaliação de amarrotamento por meio de processamento de imagem de tecidos 100% algodão em processos de lavagem e secagem domésticos.** 2017. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC.

Busca-se melhorar a lavagem em máquinas domésticas a fim de se reduzir o amarrotamento em substratos têxteis. O estudo de fatores inerentes às lavagens e suas relações com as propriedades físicas das fibras têxteis são fundamentais para o conhecimento da causa do amarrotamento. A influência das secagens forçada (em máquina de secar) e natural (varal) também deve ser investigada por serem procedimentos subsequentes à lavagem em ambientes domésticos para se determinar suas relações com o amarrotamento. Entretanto, uma dificuldade para este estudo é a forma de medição do amarrotamento, meramente visual e subjetiva, onde se compara a amostra a ser medida à padrões com níveis pré-estabelecidos. Para aumentar a confiabilidade da quantificação de rugas, foi desenvolvida metodologia a partir de processamento de imagens. Primeiramente, construiu-se equipamento para captura da imagem das amostras, com uniformidade de luz. As imagens capturadas foram processadas em *software* no *Matlab*, com aplicação de filtro para redução de ruídos e detecção de bordas de Canny, que identificou as rugas dos substratos. A quantificação se deu por distância euclidiana entre a imagem processada e a controle (isenta de rugas) e, então, convertida para a escala da AATCC de nível de lisura, que varia de 1 a 5. Foi comparado o sistema de medição desenvolvido com o método visual baseado na AATCC. Com coeficiente de determinação ajustado de 0,8496, o processamento de imagens por meio da detecção de bordas de Canny se mostrou eficaz, apontando a necessidade de um grande número de examinadores para se atingir uma média de níveis de lisura semelhante ao nível calculado via *software*. A relação do amarrotamento com a lavagem levou em consideração três fatores em dois níveis cada: temperatura da água (20 e 54°C), velocidade de centrifugação (500 e 850rpm) e quantidade de amaciante (0 e 25g) em um planejamento fatorial 2^3 , totalizando oito testes, com a medição do nível de lisura dos substratos por processamento de imagem. Também se avaliou dois tipos de secagens que sucedem a etapa de lavagem: em máquina e no varal. Comparou-se os dois tipos de secagem entre si pela realização de oito testes com os

substratos que saíram da lavagem, desta vez medindo-se o nível de lisura após a secagem. Realizou-se análise de variância para o tipo de secagem e quantidade de amaciante que as fibras foram submetidas na lavagem. Na análise da lavagem nenhum fator foi influente com nível de significância 0,05, sendo considerados, na ordem de influência, do maior para o menor: velocidade de centrifugação, temperatura da água e quantidade de amaciante. Ambas as secagens apresentaram diminuição do amarrotamento frente à lavagem, porém nenhuma delas foi significativa no ganho de nível de lisura em relação à lavagem, apesar da máquina apresentar um ganho maior. A presença de amaciante nas fibras durante a secagem aumentou o ganho de nível de lisura, porém não de forma significativa.

Palavras-chave: Canny, lavagem, secagem, amarrotamento

ABSTRACT

CARVALHO NETO, SÁLVIO LIMA DE. **Evaluation of wrinkling by of image processing of 100% cotton fabrics in domestic washing and drying processes.** 2017. 120p. Dissertation (Master in Chemical Engineering). Federal University of Santa Catarina. Florianópolis – SC.

It is sought to improve the home laundering in washing machines in order to reduce the wrinkling on textile substrates. The study of factors inherent to washes and their relationships with the physical properties of textile fibers are fundamental to the knowledge of the cause of the wrinkling. The influence of forced drying (drying machine) and natural drying (clothesline) must also be investigated because they are subsequent washing procedure in domestic environments to determine its relationships with the wrinkling. However, a difficulty for this study is the wrinkling measurement, merely visual and subjective. The sample to be measured is compared to the patterns with pre-established levels. To increase the reliability of wrinkle quantification, a methodology was developed from image processing. Firstly, equipment for image capture of the samples was constructed, with light uniformity. A software developed in Matlab processed the captured images, with filter application for noise reduction and Canny edge detection, which identified the substrates wrinkling. The quantification was by Euclidean distance between the processed image and the control (wrinkles free) and, then, converted to the AATCC scale of smoothness level, which varies from 1 to 5. The measurement system developed was compared with the method based on the AATCC. The adjusted coefficient of determination was 0,8486 and the image processing by Canny edge detection proved to be effective, pointing out the need for a large number of examiners to reach an average smoothness level similar to the calculated level by software. The experimental laundering analysis took into account three factors at two levels each: water temperature (20 and 54°C), spin speed (500 and 850rpm) and amount of softener (0 and 25g) in a factorial design 2^3 , totaling eight tests, and the measurement of the smoothness level of the substrates was calculated by image processing. Two types of drying were evaluated that follow the washing step: in the machine and on the clothesline. The two types of drying were compared to each other by performing eight tests with the substrates that left the washing, this time measuring the smoothness level after drying. It was performed the variance analysis for the type of drying and amount of

softener that the fibers were subjected to in the wash. In the washing analysis, no factor was influential with a significance level of 0.05, being considered, in order of influence, from highest to lowest: spin speed, water temperature and softener amount. Both drying showed a wrinkling decrease before washing, but none of them was significant in the gain of the smoothness level in relation to the wash, although the LSE12 machine presented a greater gain. The presence of softener in the fibers during drying increased the smoothness level gain, but not significantly.

Keywords: Canny, washing, drying, wrinkling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspectos internos da morfologia da fibra	31
Figura 2 – Tecido plano em estrutura de tela	36
Figura 3 – Detecção de bordas de Canny em imagem capturada	42
Figura 4 – (a) Imagem capturada e (b) seu respectivo histograma da distribuição dos pixels na escala de cinza	44
Figura 5 – Amostras padrão da AATCC	46
Figura 6 – Fluxograma de mensuração de nível de lisura através de detecção de bordas Canny	47
Figura 7 – Processamento da imagem: (a) imagem colorida; (b) escala de cinza; (c) imagem melhorada; (d) redução de ruído; (e) imagem binária; (f) bordas detectadas	48
Figura 8 – Diagrama de blocos dos passos realizados no <i>software</i> , desde a leitura da imagem até a determinação do nível de lisura do tecido	52
Figura 9 – Interface GUI do <i>software</i> desenvolvido no <i>Matlab</i> , para processamento de imagem e determinação do nível de lisura a partir da distância euclidiana entre histogramas de imagem	56
Figura 10 – Esquema da comparação entre os métodos de medição do nível de lisura	57
Figura 11 – Máquina de lavar Electrolux LSW12.....	59
Figura 12 – Máquina lava e seca Electrolux LSE12	62
Figura 13 - Câmara escura com equipamento fotográfico fixado na face superior e substrato têxtil na inferior.....	64
Figura 14 - Câmara escura totalmente vedada de iluminação externa ..	65
Figura 15 – Imagem capturada de substrato têxtil amarrotado	67
Figura 16 – Imagem em escala de cinza.....	68
Figura 17 – Imagem com filtro da mediana	69
Figura 18 – Imagem após a detecção das bordas de Canny	70
Figura 19 - Níveis de lisura da amostra H definidos pelos 38 avaliadores	73
Figura 20 – Correlação entre os níveis de lisura do sistema de medição por processamento de imagem e do método da AATCC	75
Figura 21 – Gráfico de Pareto com os valores da estimativa de padronização dos efeitos para a causa do amarrotamento durante a lavagem	83
Figura 22 – Gráficos da relação entre os fatores e o nível de lisura após a lavagem	85
Figura 23 – Gráfico da correlação da secagem em máquina x lavagem em relação ao nível de lisura	88

Figura 24 – Gráfico da correlação da secagem em varal x lavagem em relação ao nível de lisura.....	89
Figura 25 – Gráfico da correlação entre os ganhos de nível de lisura nas secagens no varal e na máquina LSE12	90
Figura 26 – Variação do ganho do nível de lisura na secagem frente à lavagem, relacionando tipo de secagem e presença de amaciante nas fibras	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de coeficiente de atrito μ do algodão	34
Tabela 2 – Níveis de cada fator analisados nos experimentos	60
Tabela 3 – Fatores e níveis do planejamento experimental 2^3	60
Tabela 4 – Médias, desvios padrões e quantidades de níveis estipulados pelos avaliadores	72
Tabela 5 – Nível de lisura via <i>software</i> , média dos níveis estipulados pelos avaliadores e diferença porcentual.....	74
Tabela 6 - Níveis de lisura aproximados para ambos os métodos de medição	76
Tabela 7 – Comparação entre sistemas de medição de amarrotamento descritos na literatura	78
Tabela 8 – Níveis de lisura após a lavagem	81
Tabela 9 – Resultado da ANOVA para três fatores na lavagem	82
Tabela 10 - Níveis de lisura das secagens na máquina LSE12 e no varal e seus respectivos ganhos em relação à lavagem	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AATCC	Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis, do inglês <i>American Association of Textile Chemists and Colorists</i>
ANOVA	Análise de variância
dE	Distância euclidiana
f	Abertura do diafragma da câmera fotográfica
F	Fator F na análise de variância
GL	Graus de Liberdade
GUI	Interface Usuária Gráfica, do inglês <i>Graphical User Interface</i>
ISO	Sensibilidade Fotográfica
MQ	Média Quadrática
p	Probabilidade estatística
PVC	Policloreto de Polivinila
RGB	Vermelho, Verde e Azul, do inglês <i>Red, Green and Blue</i>
SD	Digital Seguro, do inglês <i>Secure Digital</i>
SQ	Soma dos Quadrados
SQT	Soma dos Quadrados Totais
VC++	<i>Microsoft Visual C++</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	27
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	28
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
2.1 FIBRAS TÊXTEIS.....	29
2.1.1 Morfologia das fibras.....	30
2.1.2 Propriedades físicas das fibras.....	31
2.2 SUBSTRATOS TÊXTEIS.....	35
2.2.1 Uso de produto amaciante.....	36
2.3 EFEITOS DA LAVAGEM EM MÁQUINA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS FIBRAS.....	37
2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGEM.....	38
2.4.1 Captura da imagem.....	39
2.4.2 Escala de cinza.....	39
2.4.3 Filtro para redução de ruídos.....	39
2.4.4 Detecção de bordas de Canny.....	42
2.4.5 Distância euclidiana entre histogramas de imagem.....	43
2.5 MEDIÇÃO DO NÍVEL DE LISURA DO SUBSTRATO.....	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1 EQUIPAMENTO DE FOTOGRAFIA.....	49
3.2 SUBSTRATO TÊXTIL ANALISADO.....	50
3.3 DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i>	51
3.3.1 Leitura da imagem.....	52
3.3.2 Escala de cinza.....	52
3.3.3 Filtro da mediana.....	52
3.3.4 Detecção de bordas de Canny.....	53

3.3.5 Histograma da imagem.....	53
3.3.6 Distância euclidiana.....	54
3.3.7 Nível de lisura.....	54
3.3.8 Interface do <i>software</i>.....	55
3.4 COMPARAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO COM A METODOLOGIA VISUAL BASEADA NA AATCC.....	56
3.5 RELAÇÃO DO AMARROTAMENTO COM OS PROCESSOS DOMÉSTICOS.....	57
3.5.1 Lavagem.....	58
3.5.2 Secagem.....	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO DO AMARROTAMENTO.....	63
4.1.1 Processamento da imagem.....	65
4.1.2 Distância euclidiana e sua conversão para o nível de lisura....	71
4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MEIOS DE MEDIÇÃO.....	71
4.3 RELAÇÃO DO AMARROTAMENTO COM OS PROCESSOS DOMÉSTICOS.....	81
4.3.1 Lavagem.....	81
4.3.2 Secagem.....	86
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
REFERÊNCIAS.....	95
APÊNDICE A – Padrões com níveis de lisura de 1 a 5 baseados na AATCC.....	101
APÊNDICE B – Amostras da comparação dos métodos de medição de amarrotamento.....	107
APÊNDICE C – Níveis de lisura das 12 amostras definidos pelos 38 avaliadores.....	119

1 INTRODUÇÃO

O mundo moderno anseia por praticidade no seu dia-a-dia, evitando desperdiçar tempo com tarefas que poderiam ser realizadas de forma automática por máquinas e computadores. As máquinas de lavar e secar roupas são equipamentos que exemplificam bem a maneira de como a praticidade é aplicada dentro do ambiente doméstico, as quais realizam automaticamente as tarefas de lavar, centrifugar e secar roupas.

O que dificulta a vida doméstica é o passo após a lavagem e secagem das roupas, ou seja, a atividade de passadoria. Utilizar-se de um ferro quente com a finalidade de alisar todas as roupas a serem usadas é um exemplo de como não se ter praticidade.

Considerando a escassez de tempo e disponibilidade para a passadoria, percebe-se a necessidade de melhoria nos processos de lavação de artigos de vestuário em máquina de lavar para reduzir a formação de rugas, conhecidas como o amarrotamento. Estudar os fatores que compõem o processo de lavagem em máquina é essencial para se determinar quais são significativos para a formação das rugas nos substratos têxteis. A relação destes fatores com alterações das propriedades físicas das fibras é importante como base na causa do amarrotamento. Analisando experimentalmente estes fatores, é possível atingir uma ação direta aos fatores que indicam maior formação de rugas.

A secagem em máquinas domésticas também é um processo a ser estudado, verificando a importância de sua ação na causa do problema, ou se é um processo que diminui a ocorrência de rugas nos substratos. A comparação com a secagem em varal, ainda comum no ambiente doméstico, é necessária para se conhecer qual dos processos é mais vantajoso no que se refere a um resultado mais desejável dos substratos têxteis.

O conhecimento científico do amarrotamento e sua relação com lavagens e secagens é de suma importância no desenvolvimento de máquinas por parte da indústria de eletrodomésticos, que leva em consideração a satisfação do usuário final sobre como seu artigo de vestuário deixa estas máquinas.

Lavagens em condições domésticas são pouco exploradas cientificamente correlacionando ao amarrotamento dos substratos têxteis. O estudo da secagem após a lavagem também acrescenta dados para melhor compreensão da formação da superfície enrugada.

As rugas são vincos tridimensionais indesejáveis ou deformações curtas e irregulares sobre a superfície do tecido. Diferentes fatores

contribuem para a formação destas rugas. A aparência do tecido pode ser considerada como sendo um dos aspectos mais importantes de qualidade do tecido. A ausência de amarrotamento está diretamente ligada a boa aparência de uma peça de vestuário (ABRIL; MILLN; VALENCIA, 2008). Além disto, um tecido com menor enrugamento apresenta melhor conforto, maior facilidade de manutenção, estabilidade dimensional e menor tendência a formação de *pilling* (enrolamento das fibras causadas pelo atrito) (KARTHIK; RATHINAMOORTHY; MURUGAN, 2012).

O algodão está entre as fibras têxteis mais usadas, com cerca de 40% do mercado mundial e no Brasil este número é mais elevado. Sua preferência de uso está relacionada ao conforto que proporciona aos usuários, notadamente em locais de clima quente, devido às suas propriedades de permeabilidade ao ar, higroscopidade e capacidade de liberar umidade (KOZŁOWSKI; MACKIEWICZ-TALARCZYK, 2012), além do apelo ambiental que possui por se tratar de um material biodegradável. Porém, os tecidos de algodão são sensíveis aos processos de lavagem no que tange sua aparência. A abrasão pode causar danos no tecido, provocados por mudanças na morfologia da fibra, interferindo na aparência em termos de formação de rugas (HIGGINS; ANAND; HOLMES; HALL; UNDERLY, 2003).

A Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis (AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS – AATCC, 2010) estabeleceu um protocolo para determinar o grau de suavidade da superfície de um tecido, que permite que observadores comparem visualmente as amostras de tecido com os padrões da AATCC e, em seguida, atribuam uma nota de acordo com sua similaridade. Este método de determinação de nível de lisura em substratos têxteis é meramente visual e subjetivo, comparando-se a amostra a padrões existentes, numerados de 1 a 5. Não há uma exatidão nesta metodologia, pois um examinador pode classificar a amostra sendo de valor “3” e um segundo examinador classificá-la como “4”, apenas por determinação subjetiva.

Esta subjetividade na medição do amarrotamento leva a pesquisas por métodos alternativos de maior confiabilidade na quantificação das rugas nos substratos têxteis. Memarian, Amani-Tehran e Lafiti (2011) desenvolveram um sistema baseado em processamento de imagens do substrato amarrotado por meio de câmera fotográfica. A metodologia se dá por um algoritmo que detecta as rugas representadas na imagem capturada. Enquanto que Zaouali, Msahli e Sakli (2010) utilizaram um scanner para capturar a imagem da amostra e desenvolveram um

algoritmo próprio para quantificação do amarrotamento em substratos têxteis.

Em análises experimentais espera-se sempre que o meio de medição das amostras seja confiável, a fim de se obter resultados legítimos. Desta maneira, este trabalho contempla o desenvolvimento de um sistema de medição de amarrotamento, além de se analisar experimentalmente a relação do amarrotamento com a lavagem e secagem de tecidos 100% algodão em condições domésticas

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a influência de fatores inerentes à lavagem em máquinas domésticas na formação de rugas em substratos têxteis, bem como identificar a interferência no amarrotamento após a secagem natural (varal) e mecânica (máquina de secar) de tecidos 100% algodão, com um de sistema de medição de rugas por meio de processamento de imagem. A definição do tecido composto por fibras de algodão se deu por ensaios preliminares que comprovaram que a fibra de poliéster confere um baixo amarrotamento ao substrato, dificultando a quantificação das rugas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Construir uma câmara escura que tenha iluminação uniforme em seu interior, com equipamento fotográfico na face superior e espaço para colocação das amostras têxteis na face inferior;
- b) Desenvolver *software* na plataforma *Matlab* para efetuar o processamento da imagem capturada da amostra na câmara escura e obter como resposta o nível de lisura;
- c) Comparar o sistema de medição desenvolvido com a metodologia baseada na avaliação visual e também com outros trabalhos da literatura;
- d) Analisar experimentalmente a lavagem mecânica (em máquina de lavar) utilizada comumente em ambientes domésticos, averiguando a influência dos fatores pertinentes à máquina e ao processo: temperatura da água, velocidade de centrifugação e uso de produto amaciante;
- e) Realizar a análise da secagem, utilizando os mesmos substratos e ensaios experimentais da lavagem, para constatar sua contribuição na formação de rugas nos substratos;
- f) Comparar a secagem mecânica (em máquina de secar) com a secagem natural (varal), ambos processos realizados em ambiente doméstico.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 2 traz a fundamentação teórica acerca de todos os elementos necessários para compreensão do amarrotamento durante lavagens em máquinas domésticas, por meio de sua relação com as propriedades físicas das fibras e como cada uma delas pode ter uma parcela de contribuição na formação de rugas em substratos. O entendimento do que são o processamento de imagem e suas funções específicas para o desenvolvimento do *software*, que quantifica o nível de lisura nos substratos têxteis, é elementar para as corretas seleções de parâmetros deste processamento, como o filtro a ser escolhido e sua intensidade, além de justificar seu uso frente à metodologia visual.

No Capítulo 3 são descritos os materiais e métodos utilizados na confecção da câmara escura de fotografia, bem como o substrato têxtil analisado e todos os passos desenvolvidos no *Matlab* para se obter um *software* capaz de quantificar o nível de lisura deste substrato nas análises experimentais da lavagem e secagem, cujos procedimentos também são descritos neste capítulo. O planejamento experimental da lavagem, junto com a máquina utilizada, carga têxtil complementar, detergente, quantidade de água e demais parâmetros estão apresentados neste capítulo, que traz ainda as formas com que os substratos foram secos e de que maneira a secagem se correlacionou com o amarrotamento.

Os resultados de toda a metodologia proposta estão dispostos no Capítulo 4, com as imagens de todos os passos realizados no *software* de processamento de imagem de uma determinada amostra, com seu respectivo nível de lisura definido pelo *software*. As análises experimentais têm seus resultados expostos em forma de tabelas e gráficos para melhor entendimento, com as devidas discussões.

O Capítulo 5 conclui o trabalho e apresenta sugestões para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para se estudar a influência de fatores de lavagens em máquinas domésticas no amarrotamento de tecidos 100% algodão, é necessário se conhecer como se dá a formação das rugas nestes tecidos e também fazer um paralelo com fibras de outras naturezas, a fim de se ter um conhecimento amplo do problema e conhecer as diferenças entre estas situações.

As propriedades físicas das fibras que podem ter relação com o amarrotamento devem ser compreendidas para se ter conhecimento da maneira com que o substrato é influenciado pelos fatores estudados nos ensaios experimentais.

Como há uma lacuna na literatura acerca da relação do amarrotamento com lavagens e secagens em máquinas domésticas, fundamentou-se os estudos da relação de propriedades físicas das fibras em repetidas lavagens, independente se é relacionado ao amarrotamento ou não.

Por ser um assunto que foge do âmbito da Engenharia Química, o processamento de imagem é detalhado neste capítulo, iniciando com a captura da imagem e seus subsequentes processamentos, até a obtenção da imagem com as bordas internas detectadas pelo método de Canny. A forma de quantificação das rugas nesta imagem processada, que é a base da determinação do nível de lisura do substrato, é também demonstrada por meio de sua fundamentação teórica.

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

As fibras são matérias-primas que se caracterizam pela sua finura, flexibilidade e por apresentar comprimento muito maior que a seção transversal. São elementos que constituem os fios, os quais, passados por todo o processamento têxtil, formam os substratos. Dividem-se em naturais, artificiais e sintéticas. As fibras naturais têm origem animal, vegetal ou mineral, enquanto as artificiais são modificações químicas das naturais e as sintéticas são as produzidas a partir de compostos petroquímicos (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

Dentre as fibras naturais destaca-se a de algodão, por ser largamente utilizada neste subgrupo. Suas fibras provêm das células epidérmicas da semente do fruto do algodoeiro. Têm estruturas unicelulares e são, na sua maioria, constituídas quase inteiramente por celulose (MORTON; HEARLE, 2008). Outros exemplos de fibras

naturais, que se dividem em vegetais, animais e minerais são: juta, linho, sisal, cânhamo, rami, lã, seda, dentre outros (MUSSIG, 2010).

O poliéster é um exemplo de fibra comumente sintetizada. Sua reação de síntese é a polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool com um ácido, resultando em uma reação de esterificação, formando um éster e água (SILVA, 2008).

Diversas características físicas e químicas são inerentes das fibras de acordo com a sua natureza e modificadas durante o processo de fabricação industrial. As fibras são compostas por átomos conectados entre si por ligação de diversas forças. O arranjo destes átomos e a força destas ligações que determinam as propriedades físicas das fibras (MORTON; HEARLE, 2008).

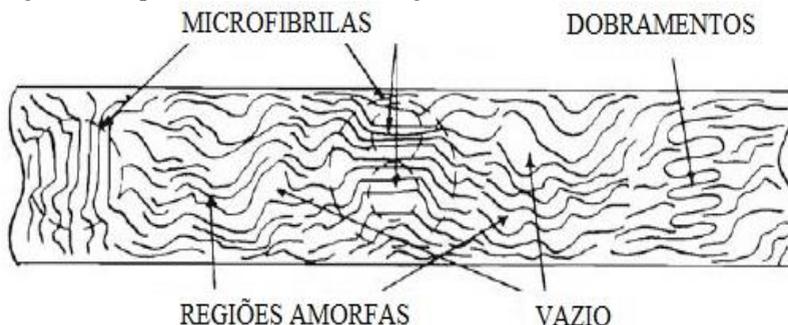
2.1.1 Morfologia das fibras

No desenho e nas orientações, as fibras sintéticas são menores em diâmetro e mais cristalinas em relação às naturais, com menos imperfeições na morfologia das fibras. Nas naturais, a orientação das moléculas com a fibra é determinada pela fonte biológica durante o processo de maturação e crescimento da fibra (NEEDLES, 1986).

Para o algodão há abundantes e contraditórias literaturas acerca da formação da celulose e sua cristalização. Do ponto de vista físico, a molécula de celulose é uma estrutura linear onde se estabelecem múltiplas ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas de diferentes cadeias de glicose que a compõe (GORDON; HSIEH, 2007).

A forma e estrutura das moléculas do polímero relacionadas entre si dentro da fibra dependerá do alinhamento relativo das moléculas em relação umas às outras. As áreas onde as cadeias de polímero estão estreitamente alinhadas e empacotadas juntas são as cristalinas, também chamadas de microfibrilas, enquanto que as áreas onde não há essencialmente nenhum alinhamento são referidas às zonas amorfas. Na Figura 1 estão apresentados os aspectos internos da morfologia da fibra. A água pode penetrar a porção amorfa da fibra, mas não as áreas de cristais ordenados (NEEDLES, 1986).

Figura 1 – Aspectos internos da morfologia da fibra



Fonte: adaptado de Needles (1986)

As forças que mantêm as áreas cristalinas unidas com a fibra incluem ligações químicas (covalentes e iônicas), bem como uma ligação secundária (ligações de hidrogênio, forças de Van der Waals e interações dipolo-dipolo). As ligações químicas são muito mais fortes que as secundárias, as quais são lideradas pelas ligações de hidrogênio, que ocorrem entre o hidrogênio, eletropositivo, e átomos eletronegativos, como oxigênio, nitrogênio e halogênios nas cadeias opostas do polímero (NEEDLES, 1986).

2.1.2 Propriedades físicas das fibras

Dentre as várias propriedades que caracterizam as fibras fisicamente, pode-se elencar, a seguir, as que podem apresentar relação com o problema de amarrotamento em substratos têxteis.

2.1.2.1 Tenacidade

Confere às fibras resistência à tensão expressa como a força por unidade de densidade linear de uma amostra. Testes de tenacidade medem o comportamento de fibras quando uma força de deformação é aplicada ao longo do eixo longitudinal e podem ser apresentadas como porcentagem de alongação e força de ruptura (MORTAZAVI; MOGHADAM, 2009).

2.1.2.2 Propriedades térmicas

Fibras sintéticas tendem a amolecer com o aumento da temperatura. O ponto de fusão médio é suficientemente elevado para a utilização têxtil normal. As fibras de poliéster, por exemplo, têm uma excelente resistência ao efeito prolongado a temperaturas elevadas, desde que abaixo do ponto de amolecimento. Uma das funcionalidades do poliéster é a capacidade de tomar uma forma permanente sob altas temperaturas. A temperatura de lavagem doméstica do poliéster não deve exceder 40-50°C, pois em temperaturas acima de 50-60°C o tecido é suscetível à formação de vincos. Se resfriado nesta condição, os vincos tornam-se permanentes, sendo removidos com o auxílio de ferro de passar à temperatura próxima de 200°C. O ideal para se evitar a formação de rugas nos substratos de poliéster durante a lavagem é adotar uma diminuição progressiva da temperatura enquanto ainda há agitação, fato difícil de se executar em máquinas domésticas (COOK, 2001b).

Já em fibras celulósicas, como o algodão, o aumento da temperatura provoca no material um pico no fator de dissipação $\tan \delta$, que relaciona a perda de calor por efeito Joule, além de uma queda no módulo elástico, cuja definição é a medida de rigidez de um material sólido. Para o algodão seco, o valor mínimo encontrado para este fator de dissipação é a 40°C. $\tan \delta$ aumenta até um pico a menos de -50°C, devido à perda de mobilidade de rotação e flexão em algumas ligações covalentes, muito provavelmente ligações de oxigênio, em regiões amorfas de algodão mercerizado. Isto não ocorre para regiões cristalinas e algodão não mercerizado. Alcançando altas temperaturas, há um pequeno ressalto a cerca de 125°C e continua aumentando até outro pico em 170°C. Esta mudança é atribuída ao aumento da mobilidade das pontes de hidrogênio (GORDON; HSIEH, 2007).

O aumento da mobilidade é esperado do algodão molhado devido a uma baixa temperatura de transição, que é definida pelo ponto abaixo do ponto de fusão onde vibrações térmicas rompem os cristais. Quando o algodão seca, as fibras tendem a se consolidar na posição que se encontram, ficando mais rígidas, que é uma das causas de vincos e rugas nos substratos têxteis após as lavagens (GORDON; HSIEH, 2007).

2.1.2.3 Recuperação elástica

Caracteriza a fibra quanto à recuperação do alongamento. Quando ela é total, se diz que a fibra é 100% elástica. As fibras têm

maior ou menor recuperação elástica, podendo relacionar esta propriedade com algumas características dos produtos têxteis, tais como recuperação das deformações dos tecidos e certos aspectos do toque (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

2.1.2.4 Resiliência

Habilidade que uma fibra tem de retornar à forma original após a retirada da carga que a comprimia, dobrava ou amarrotava. Há uma correlação diretamente proporcional entre a resiliência e elasticidade da fibra. É medida normalmente em percentual da energia recuperada e fornece informações sobre o caráter elástico do material (SOBOYEJO, 2002).

No uso doméstico, as fibras e tecidos são frequentemente colocadas sob tensão por meio da compressão, flexão e torção a diversas temperaturas e condições de umidade. O algodão apresenta baixa recuperação ao amarrotamento em condições de calor e umidade altas, enquanto o poliéster possui uma boa recuperação à deformações como resultado de uma alta resiliência (NEEDLES, 1986).

2.1.2.5 Estabilidade dimensional

Esta propriedade define o grau de estabilidade que a fibra possui em manter sua dimensão após determinado tempo de utilização sem sofrer alterações. A fricção, definida pela força que mantém reunidas as fibras num fio e numa estrutura tecida, bem como a abrasão, que consiste no atrito que as fibras recebem de outros materiais, influenciam diretamente na estabilidade dimensional do substrato têxtil. Há ainda a diminuição da fibra longitudinalmente e aumento na sua seção transversal, consequentes do inchamento das regiões amorfas pela presença de água (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

2.1.2.6 Resistência à abrasão

Resistência de uma fibra a danos quando forças móveis ou tensões são nela aplicadas. A capacidade da fibra de absorver e dissipar de forma eficaz estas forças sem sofrer danos a confere esta propriedade (NEEDLES, 1986).

2.1.2.7 Fricção

Propriedade aferida ao estado da superfície da fibra. É medida pelo coeficiente de atrito entre a fibra e um segundo corpo. Na Tabela 1 são apresentados valores de coeficiente de atrito do algodão.

Tabela 1 – Valores de coeficiente de atrito μ do algodão

Sistema	Coeficiente de atrito μ
Algodão no algodão	
Fibras cruzadas	0,29; 0,57
Fibras paralelas	0,22
Algodão passando por guias	
Aço	0,29
Porcelana	0,32
Polia de fibra	0,23
Cerâmica	0,24

Fonte: Gordon e Hsieh (2007)

O coeficiente de atrito do algodão no aço aumentou de 0,24 com 0% de *regain* (porcentagem de massa de água em relação à massa do material seco) para 0,36 com 11% de *regain*. Isto pode ser explicado pelo aumento do amolecimento da fibra, que leva a um maior contato (GORDON; HSIEH, 2007).

2.1.2.8 Interação com água

A fibra de poliéster apresenta uma baixa retenção de água no seu interior. Esta característica a confere uma vasta gama de utilização, como por exemplo, na composição de vestimentas esportivas, uma vez que sua secagem é rápida e contribui na evaporação do suor (COOK, 2001b).

Em contrapartida, o algodão é capaz de absorver de 25 a 27% de água a uma umidade relativa de 100%, que resulta num incremento da força da fibra. A fibra seca de algodão é bastante rígida, pois as moléculas de celulose são mantidas firmemente juntas por meio de ligações químicas, de hidrogênio, dipolo-dipolo e forças de Van der Waals. No entanto, a água é capaz de penetrar na cadeia celulósica através dos espaços vazios das regiões amorfas, se ligando quimicamente às moléculas de celulose. Estas ligações acarretam nas diminuições da força que mantém as moléculas de celulose ligadas entre si e da rigidez desta estrutura. A água atua, desta forma, como um

agente plastificante para o algodão, permitindo com que as moléculas se movam livremente umas em relação às outras. A massa de celulose é suavizada e pode mudar sua forma mais facilmente sob efeitos de forças aplicadas (COOK, 2001a).

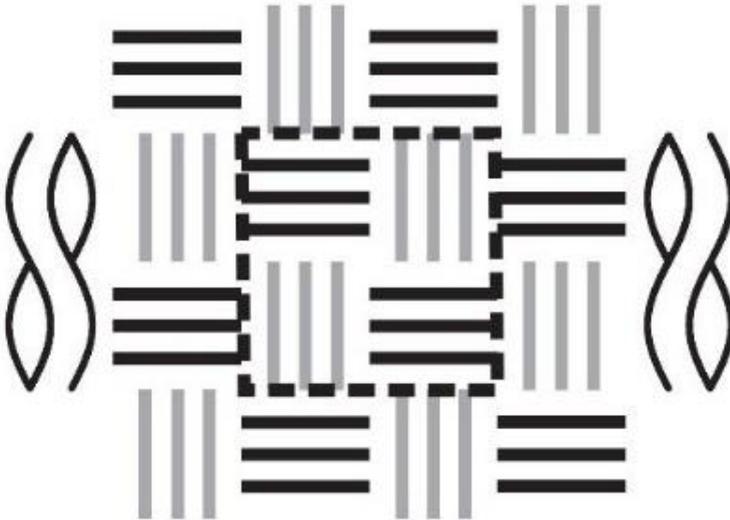
2.2 SUBSTRATOS TÊXTEIS

Os substratos são produtos fabricados a partir de fibras têxteis, que podem ser diferenciados pela forma de tecelagem. Na formação dos tecidos planos há o entrelaçamento transversal entre os fios de trama e urdume. Na malharia a técnica responsável pela formação do substrato é a laçada de fios que são interligados por novas laçadas. Há ainda os tecidos não-tecidos que englobam uma ramificação mais técnica do uso dos substratos têxteis (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

Os tecidos de malha distinguem-se dos demais pela sua elasticidade, frisado, resistência ao amarrotamento e propriedades de fácil manutenção. A estabilidade dimensional é uma das mais importantes propriedades físicas deste tipo de tecido, uma vez que é exposto a forças de várias direções tanto no processo de fabricação quanto no seu uso final (JAMSHAD; HUSSAIN; MALIK, 2013).

A forma mais simples de se tecer os fios de urdume e trama em um tecido plano é um a um, formando a estrutura de tela ilustrada na Figura 2. Este tipo de tecido é fácil de manusear e resistente, porém não é facilmente moldável, tendendo a amarrotar (ADUMITROAIE; BARBERO, 2011).

Figura 2 – Tecido plano em estrutura de tela



Fonte: Adumitroaie e Barbero, 2011

2.2.1 Uso de produto amaciante

O produto amaciante é aquele que modifica a sensação ao tato de determinada fibra visando um maior conforto e melhor caimento da vestimenta no corpo humano. O amaciante atua na modificação das propriedades superficiais de substratos têxteis em termos de manuseio, volume, maciez e alisamento por meio da sua adição na máquina antes do processo de lavagem, que automaticamente liberará sua entrada no interior da máquina na etapa de enxágue final, para uma maior fixação nos substratos têxteis (GULRAJANI, 2013).

Como os amaciantes atuam essencialmente na superfície dos têxteis, as propriedades finais obtidas são influenciadas significativamente pela forma como as moléculas do amaciante se orientam no tecido. O comportamento da orientação é determinado pelas interações iônicas entre o amaciante e o substrato. A maioria das fibras, como algodão e acrílico, adquirem uma carga negativa quando molhadas. A lã, a poliamida e o poliéster também adquirem uma fraca carga negativa, enquanto a fibra de polipropileno permanece neutra. Amaciantes catiônicos são mais indicados nestes casos frente aos aniônicos, além de possuírem melhores resultados quanto à maciez do tecido e durabilidade frente à lavagem. O amaciante liga quimicamente

nas hidroxilas da celulose pela sua parte apolar, na parte externa das fibras estará a parte polar do amaciante, de característica lubrificante (SCHINDLER; HAUSER, 2004).

Silicones são materiais especiais que conferem propriedades mecânicas desejadas para os tecidos, como suavidade e propriedades antirrugas. Sua adição nos amaciantes confere benefícios superiores devido à capacidade de formação de filme. Os silicones diminuem o coeficiente de atrito da superfície da celulose (ZUBER; ZIA; TABASSUM; JAMIL; BARKAAT-UL-HASIN; KHOSA, 2011).

2.3 EFEITOS DA LAVAGEM EM MÁQUINA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS FIBRAS

A estabilidade dimensional é uma propriedade física que varia de acordo com condições de lavagem e diferentes temperaturas de água em máquinas domésticas. A propriedade varia também conforme o modo de tecelagem do algodão. Enquanto que para o tecido plano a temperatura da água em 50 °C impacta mais na variação dimensional, para malhas densas a dimensão se mostra mais estável nesta temperatura (QUAYNOR; TAKAHASHI; NAKAJIMA, 2000).

Resistências à abrasão e ao amarrotamento são outras duas propriedades que podem ser relacionadas com o tempo e a temperatura de lavagem. Can e Akaydin (2013) realizaram estudo avaliando a mudança nestas propriedades físicas e provaram que há uma correlação forte da variação destes dois fatores com o tempo de lavagem e a temperatura da água.

A resistência ao amarrotamento pode ser aproximadamente medida pelo ângulo de recuperação de dobras através do equipamento *Crease Recovery Angle Test*, onde o tecido é dobrado através da compressão de força e medido o ângulo em que se faz a recuperação, sem sofrer força de compressão durante 1 minuto. Com o aumento de temperatura e aumento de tempo de lavagem há um menor ângulo de recuperação no algodão em tecido plano. Na resistência à abrasão também há um decréscimo no número de ciclos que os fios suportam até sua quebra com o aumento da temperatura da água e o tempo de duração da lavagem (CAN; AKAYDIN, 2013).

O amarrotamento em substratos tecidos por fibras de algodão geralmente ocorre durante mudanças na quantidade de água retida pelas fibras. Em condições onde há uma umidade alta no substrato, o amarrotamento é severamente maior do que em situações de equilíbrio entre a água na fibra e no ambiente (KANG; MOON, 2000).

Quando são comprimidas dobras em tecido de lã em um curto período de tempo, menos de dez segundos, há uma boa recuperação ao amarrotamento. Porém, em longos períodos de compressão de força sobre este tecido, ligações de hidrogênio se desconectam no estado de transformação, sob efeito da temperatura e da umidade do ar. O rearranjo destas ligações é causado pela diminuição da umidade nas fibras de lã (KUZUHARA; HORI, 2002).

Produtos amaciantes foram incluídos durante a lavagem em uma máquina doméstica com a finalidade de melhorar a sensação ao toque e a maciez dos substratos têxteis. Outros benefícios de um amaciante incluem melhorias no deslizamento de ferro durante a atividade de passar o tecido, aumento da resistência à manchas e redução de rugas (AGARWAL; KOEHL; PERWUELZ, 2010).

O uso de amaciantes diminuiu cerca de 5% a rugosidade em fibras regulares sintéticas de polietileno. Em microfibras da mesma natureza, houve um acréscimo na formação de rugas. Já com fibras de viscose a diminuição no amarrotamento durante a lavagem foi mais significativa. Isto pode ser explicado pelo fato do uso de amaciante limitar a fibrilação na superfície do substrato (AGARWAL; KOEHL; PERWUELZ; LEE, 2011).

Com a utilização de água quente para lavar substratos compostos por fibras sintéticas, há a possibilidade da formação de vincos e rugas permanentes. O carregamento de substratos próximo do limite máximo da máquina também favorece na causa do problema, já que haverá pouco espaço para livre movimentação dos substratos no interior do equipamento. Não retirar as peças lavadas imediatamente da máquina e deixa-las secar na posição em que se dispuseram no final da lavagem também contribuem para a formação do amarrotamento (AGGARWAL, 2009).

2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGEM

A imagem digital pode ser definida por uma função bidimensional, $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas no plano cartesiano e a amplitude f de qualquer par de coordenadas consiste na intensidade da escala de cinza da imagem naquele ponto específico. Cada ponto formado por uma coordenada x,y é denominado de pixel (GONZALEZ; WOODS, 2008).

O processamento é um conjunto de técnicas computacionais para análise, melhoria, compressão e reconstrução de imagens. Seus principais componentes são: importadores (onde a imagem é capturada

através de digitalização ou fotografia digital), análise e manipulação da imagem, (realizado por vários aplicativos de softwares especializados) e saída (o qual exibe a imagem processada, como uma impressora ou um monitor) (BRITANNICA ACADEMIC, 2016).

2.4.1 Captura da imagem

O início do processo se dá pela captura da imagem por meio de uma câmera fotográfica digital, que utiliza uma lente para focalizar o objeto a ser capturado. A luz passa através da abertura e, em seguida, do obturador até o plano focal. O tamanho da abertura, juntamente com a velocidade e o número de vezes que o obturador se abre e fecha são os controladores da quantidade de luz que adentra à câmera, sendo estes os responsáveis pela formação da imagem digital no plano focal. Nele há um arranjo de sensores de imagem, os quais consistem em um chip eletrônico que converte os fótons de luz em sinais elétricos. Cada sensor é responsável por um pixel e a união de todos os pixels fica armazenado na memória da câmera como uma imagem digital (LONG, 2007).

2.4.2 Escala de cinza

O processamento pode ser feito com a imagem colorida, que é o processamento completo, ou com a imagem em sua escala de cinza, que é o processamento em duas dimensões, x e y . A imagem real, em três dimensões, é dividida em níveis de vermelho, verde e azul, denominado de sistema RGB (*red*, *green* e *blue*). Entretanto, vários processamentos de imagem requerem a transformação desta para a escala de cinza onde os pixels variam de preto até o branco.

Cada pixel da escala de cinza contém 8 *bits* do sistema binário, sendo assim $2^8 = 256$ possibilidades de níveis nesta escala. O valor zero equivale ao preto e 255 ao branco (ZHOU; WU; ZHANG, 2010).

2.4.3 Filtro para redução de ruídos

Comumente, na captura da imagem há a formação de ruídos, que são flutuações de intensidade e tom de cor em relação a imagem real. A qualidade dos sensores da câmera é fundamental para evitar suas formações em excesso. Eles são elementos indesejáveis e devem ser tratados a fim de que não prejudiquem o resultado final (GONZALEZ; WOODS, 2008).

A maioria das câmeras modernas tem uma capacidade alta de detalhamento proveniente da imagem real devido à alta eficiência dos sensores em transformar os fótons de luz no maior número possível de pixels. Contudo, esta vantagem que as câmeras trazem podem interferir em determinadas situações quando o propósito de uso da imagem é não ter todos os elementos altamente detalhados. Para isto, vê-se a necessidade da utilização de filtros, que são aplicados via *softwares* computacionais de processamento de imagem como o *Matlab*, por exemplo (LONG, 2007).

Como a imagem é uma representação na forma matricial de pixels, o filtro a ser aplicado pode ser um valor que opera em cada pixel, transformando-os em uma nova imagem, conforme Equação 1.

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (1)$$

O operador T é o filtro que transforma a imagem $f(x,y)$ em $g(x,y)$. O filtro pode ser ainda uma máscara, ou seja, uma matriz que opera sobre a imagem. Como exemplos estão o filtro da média, o Gaussiano e o filtro da mediana (JAYARAMAN; ESAKKIRAJAN; VEERAKUMAR, 2009).

2.4.3.1 Filtro da média

Este exemplo de filtro linear substitui cada pixel pela média de todos os valores dos pixels vizinhos. O tamanho da vizinhança controla a intensidade do filtro. O filtro preserva a região lisa na imagem e remove as variações mais destacadas de cor, levando a um efeito embaçado (JAYARAMAN; ESAKKIRAJAN; VEERAKUMAR, 2009).

2.4.3.2 Filtro gaussiano

Classificado como um filtro linear baseado na função de Gauss, o uso do filtro Gaussiano para remover os resíduos da imagem é a base técnica conhecida por diferença de gaussianas, que são amplamente utilizadas em detecção de imagens em sistemas de câmeras de vigilância (IWABUCHI; KAKAZU; KOH; CHARLES HARATA, 2014).

O filtro gaussiano no espaço contínuo bidimensional é dado na Equação 2 por:

$$G(m, n) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{m^2}{2\sigma^2}} \right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}} \right) \quad (2)$$

A função gaussiana bidimensional é transformada em uma matriz de máscara $m \times n$, com os pixels correspondentes aos valores da função. O grau de suavização da imagem é governado pelo desvio padrão σ . Um valor maior de σ implica numa filtragem mais ampla, logo a suavização será maior.

Funções gaussianas são rotacionalmente simétricas em duas dimensões, isto significa que a quantidade de suavização aplicada pelo filtro será a mesma em todas as direções, dificultando a etapa de detecção de bordas em qualquer direção específica (JAYARAMAN; ESAKKIRAJAN; VEERAKUMAR, 2009).

2.4.3.3 Filtro da mediana

Diferentemente do filtro linear que se utiliza da média dos pixels da vizinhança, este pondera a mediana destes valores na substituição de cada pixel, ainda que se baseando no mesmo princípio de máscara matricial (VERMA; SINGH; THOKE, 2015).

Os filtros da mediana são bastante populares, porque, para certos tipos de ruído aleatório, proporcionam uma excelente redução de ruídos com muito menos desfocagem do que outros filtros com mesmo tamanho de máscara. Desta forma, detalhes importantes da imagem não são suavizados juntamente com os ruídos (GONZALEZ; WOODS, 2008).

Por exemplo, na matriz representada na Equação 3 a máscara 3×3 é aplicada no pixel de valor “4”, ou seja, todos os nove pixels da máscara, incluindo o próprio “4” serão levados em conta no cálculo do filtro da mediana.

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 6 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Para isto, os valores são colocados em ordem crescente e a mediana é o novo valor para o pixel em questão: 1 1 2 2 3 3 4 5 6. O quinto elemento, “3”, que corresponde a mediana, substitui o pixel central de valor “4”, como mostrado na Equação 4.

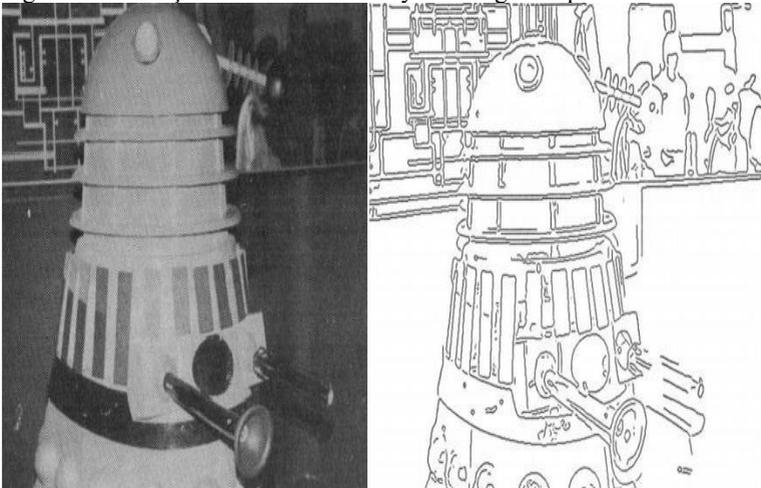
$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & \textcircled{4} & 6 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & \textcircled{3} & 6 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

O filtro da média tende a levar em conta os ruídos que apresentam valores muito longe da cor que se deseja manter, por utilizar-se de uma média de todos estes valores na filtragem. Já a mediana preserva mais o valor original do pixel que se deseja manter, eliminando os ruídos que apresentam valores distantes deste pixel.

2.4.4 Detecção de bordas de Canny

A detecção de bordas é um exemplo de processamento de imagem. Canny (1986) desenvolveu uma técnica que leva seu nome até os dias de hoje, que consiste em um algoritmo que, pela primeira derivada do operador matemático Gaussiano, detecta as bordas através de sua localização na imagem capturada. Esta técnica ainda reduz os ruídos, apresentando na imagem processada apenas as bordas da imagem original. Na Figura 3 é mostrado este processamento ilustrando a transformação de uma imagem capturada e seus respectivo resultado da detecção de bordas realizado por Canny.

Figura 3 – Detecção de bordas de Canny em imagem capturada



Fonte: Canny (1986)

O processamento se baseia nos gradientes dos pixels através da aplicação da primeira derivada da função Gaussiana, conforme Equação 5:

$$G'(x) = \frac{-x}{\sqrt{2\pi\sigma^3}} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

onde o valor do desvio padrão, σ , define o grau do operador Gaussiano, que filtra a imagem de possíveis ruídos remanescentes. O gradiente é definido pelo *thresholding*, o qual é um valor que delimita qual nível de gradiente na escala de cinza que é considerado como uma borda. Este gradiente ainda pode ser feito em cada direção separadamente ou em ambas as direções. Se a magnitude do gradiente em um pixel for maior que as de seus dois pixels vizinhos na direção considerada, o pixel é marcado como uma borda (DING; GOSHTASBY, 2001). Pequenos valores de *thresholding* detectam bordas falsas, uma vez que são levados em consideração pequenos gradientes de cor na escala de cinza (ACCAME; DE NATALE, 1997).

Detecção de bordas é a etapa mais comum em algoritmos de processamento de imagem, como realce, segmentação e rastreamento de imagem, além de codificação de imagem e vídeo. Entre os algoritmos de detecção de bordas existentes, o detector de bordas Canny mantém-se um padrão muito utilizado por vários anos e tem melhor desempenho (XU; VARADARAJAN; CHAKRABARTI; KARAM, 2014).

A detecção de bordas de Canny é utilizada em diversas áreas, como por exemplo na medicina, onde faz-se o registro de contrações de fibras musculares cardíacas isolados por meio deste processamento das imagens capturadas na gravação microscópica de vídeo. Esta técnica pode diagnosticar alterações da normalidade na contração das fibras musculares, evitando futuras doenças cardíacas (GOULART; BASSANI; BASSANI, 2017).

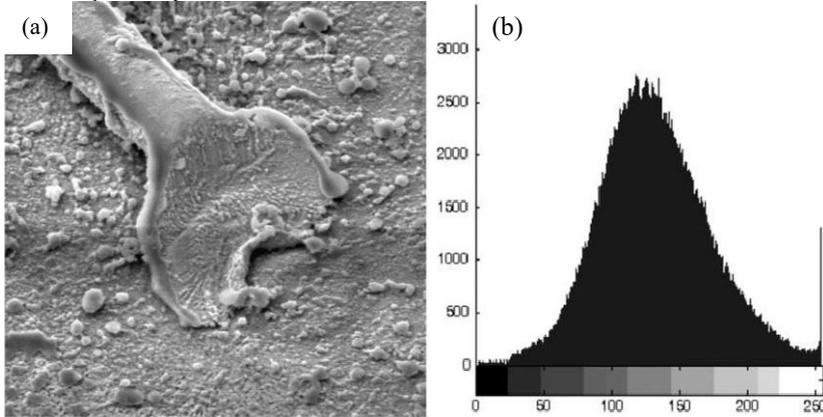
2.4.5 Distância euclidiana entre histogramas de imagem

A distribuição dos pixels de uma imagem pode ser realizada por meio de um histograma, onde verifica-se a frequência em que a escala de cinza se dispõe na imagem, variando do zero, cujo valor representa o preto, até 255, que consiste no branco. Esta ferramenta é extremamente útil para se recuperar informações acerca da imagem que se está lendo. Para quantificar um histograma quanto à sua disposição de tons, pode-se

fazer comparações com outro histograma, sendo a diferença entre ambos a medida de variação (KEKRE; SONAWANE, 2012).

A ilustração do histograma a partir de uma imagem é apresentada na Figura 4, a qual traz a distribuição dos pixels de acordo com a escala de cinza (SIM; TSO; TAN, 2007).

Figura 4 – (a) Imagem capturada e (b) seu respectivo histograma da distribuição dos pixels na escala de cinza



Fonte: Sim, Tso e Tan (2007)

Duas imagens com histogramas semelhantes são percebidas como iguais em uma avaliação através da visão humana, mesmo que o seu conteúdo real seja muito diferente um do outro. Em virtude disto, vê-se a necessidade de quantificar a diferença entre um histograma e outro (HÖSCHL; FLUSSER, 2016).

Uma imagem com tamanho fixado em $M \times N$ pode ser escrita como um vetor $x = (x^1, x^2, \dots, x^{MN})$ de acordo com a escala de cinza de cada pixel. A distância euclidiana $dE(x_1, x_2)$ entre imagens vetorizadas x_1 e x_2 é definida na Equação 6 como (LI; LU, 2009):

$$dE(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{k=1}^{MN} (x_1^k - x_2^k)^2} \quad (6)$$

onde, dE é a distância euclidiana, x_1^k é o valor referente ao pixel da imagem 1 na posição k , x_2^k é o valor referente ao pixel da imagem 2 na posição k .

A distância euclidiana é o método mais básico de medição de distância entre histogramas. Ela compara as barras de histograma de um para um, não tendo que explicar cores semelhantes em outras barras. Matematicamente é definida pela distância entre dois pontos em uma, duas ou três dimensões, que pode ser provada pela aplicação repetida do Teorema de Pitágoras. Para dois pontos em uma dimensão o valor da distância é absoluto e normalmente considerado um valor escalar sem sinal (EDVARSDEN, 2006).

Edvardsen (2006) ainda cita um meio alternativo para se calcular a distância entre histogramas, a distância quadrática. Este método considera a correlação cruzada entre barras do histograma com base na similaridade de percepção das cores. Não é tão usual quanto o anteriormente citado.

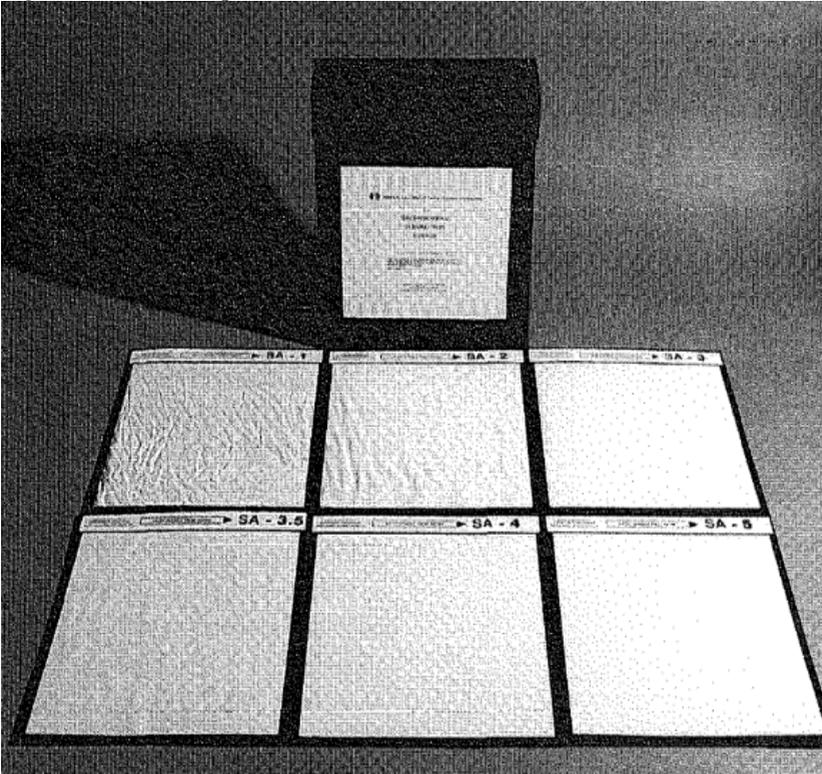
2.5 MEDIÇÃO DO NÍVEL DE LISURA DO SUBSTRATO

Mensurar o amarrotamento em substratos têxteis é uma tarefa que apresenta resultados subjetivos. De acordo com a AATCC (2010), a quantificação de rugas em substratos é realizada visualmente, comparando a amostra em questão a padrões pré-estabelecidos de rugosidade, ilustrados na Figura 5, os quais definem um nível 1 para um tecido com muita rugosidade e nível 5 para substratos pouco amarrotados, logo a classificação em nível crescente é relacionada a uma melhor aparência do substrato.

A necessidade de se quantificar confiavelmente o amarrotamento em substratos têxteis é um motivador de várias pesquisas ao redor do mundo.

Uma metodologia já elaborada por Mishra e Behera (2008) consiste na captura da imagem do substrato amarrotado, através de câmera digital e, por meio de processamento da imagem para detecção de bordas Canny, realiza a quantificação baseada nos padrões pré-estabelecidos pela AATCC. O fluxograma apresentado na Figura 6 resume a metodologia da mensuração do amarrotamento por esta técnica. O redimensionamento e a transformação para a escala de cinza são etapas importantes para normalizar a imagem para a técnica de detecção de bordas Canny, feita em apenas uma dimensão (MISHRA; BEHERA, 2008).

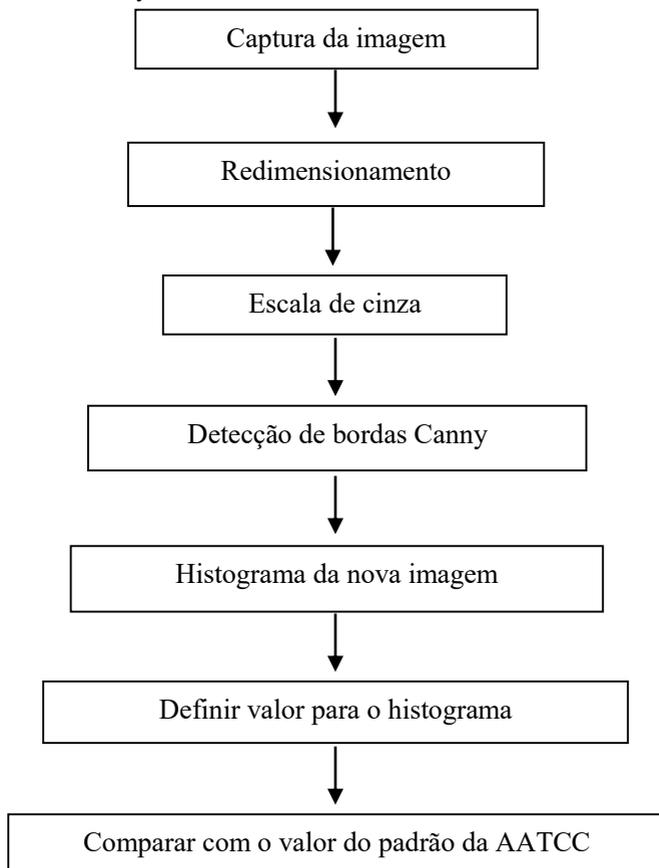
Figura 5 – Amostras padrão da AATCC



Fonte: AATCC (2010)

Outra maneira de avaliar o amarrotamento por meio de processamento de imagens é movimentando a amostra a ser analisada e capturar várias imagens com câmera fotográfica. O processamento se dá convertendo as imagens em um código binário, onde um software programado em linguagem VC++ calcula as variações de luminosidade em cada ponto. Com isso, faz-se a comparação à amostra padrão lisa, sem rugas, e são atribuídos valores de desvio da amostra padrão. Estes valores são comparados aos níveis de mensuração definidos pela AATCC e correlacionados em uma equação (MIRJALILI; EKHTIYARI, 2010).

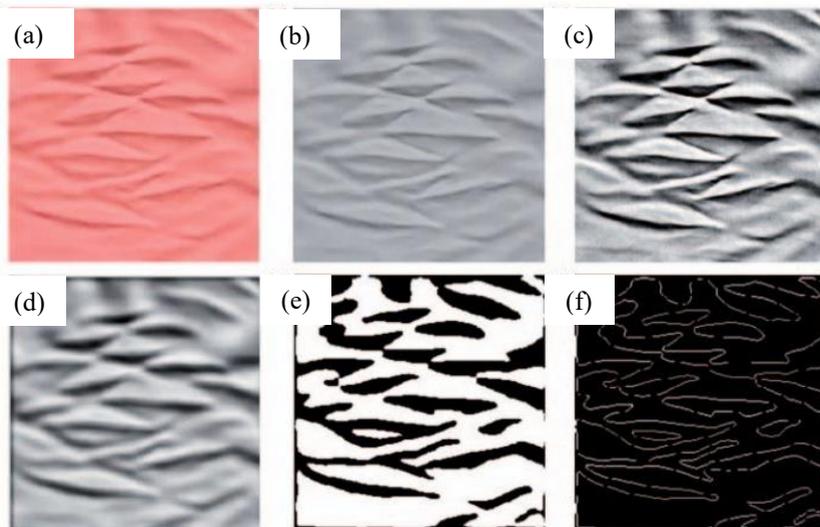
Figura 6 – Fluxograma de mensuração de nível de lisura através de detecção de bordas Canny



Fonte: Adaptado de Mishra e Behera (2008)

A densidade de pixels em uma imagem pode trazer a informação de quão branca ou preta a imagem é. Com a transformação das cores da imagem (capturada por um scanner) para uma escala de cinza, além da aplicação de um filtro de imagem, redução de seu ruído através de processamento computacional e transformação para uma imagem binária, pode se aplicar a técnica de detecção de bordas para, então, quantificar os pixels brancos presentes na imagem (LIU; FU; WU, 2014). Na Figura 7 são exemplificados os passos realizados pelo processamento até a imagem final, que é a com as bordas detectadas.

Figura 7 – Processamento da imagem: (a) imagem colorida; (b) escala de cinza; (c) imagem melhorada; (d) redução de ruído; (e) imagem binária; (f) bordas detectadas



Fonte: Liu, Fu e Wu (2014)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são listados os materiais utilizados para a confecção da câmara escura de fotografia e toda a metodologia do processamento de imagem no *software*. As análises experimentais também estão descritas detalhadamente, incluídos todos os passos, materiais e metodologia realizados.

Para efetuar a análise experimental dos possíveis fatores causadores de amarrotamento durante as lavagens em máquina de lavar doméstica, bem como analisar sua relação com as subsequentes secagens em máquina e varal, foi necessário o desenvolvimento de um sistema de medição do nível de lisura, a fim de garantir um valor numérico como unidade de medida das rugas nos substratos têxteis.

Com base na literatura (item 2.5) construiu-se um equipamento capaz de fornecer iluminação uniforme isolado da luz externa e com uma câmera fotográfica dentro do equipamento, onde se dispunha o substrato a ser analisado, o qual teve sua imagem capturada pela câmera.

Após a máquina fotográfica captar a imagem, esta é transferida para o *software Matlab* por meio do cartão de memória SD da câmera. No *software* é feito todo o processamento da imagem com a disponibilização do nível de lisura da amostra analisada.

Fez-se a comparação do sistema de medição desenvolvido com a metodologia baseada na análise visual.

Os experimentos da etapa da lavagem foram realizados com três fatores num planejamento fatorial 2^3 . Temperatura da água, velocidade de centrifugação e quantidade de amaciante foram avaliados em dois níveis cada, totalizando oito testes. Em cada teste mediu-se o nível de lisura das amostras.

Foram realizadas, ainda, as secagens das amostras provenientes da lavagem de forma paralela, metade no varal e a outra metade na máquina de secar. Foi investigada a influência do amaciante presente na amostra durante a secagem e no que o tipo de secagem interferiu no amarrotamento.

3.1 EQUIPAMENTO DE FOTOGRAFIA

Na construção do equipamento para a realização das fotografias das amostras utilizou-se: tubulações de $\frac{1}{2}$ " de PVC, conexões "T" de $\frac{1}{2}$ " de PVC, feltro de tecido não-tecido na cor preta, fiação elétrica, plugue macho para tomada elétrica, quatro bocais para lâmpadas, quatro

lâmpadas fluorescentes de 11 W e 220 V e parafuso 1/4” para fixação da câmera fotográfica.

O equipamento é sustentado por uma estrutura em formato de paralelepípedo, formado pelas tubulações de PVC. As dimensões são: 46 cm de altura, 64 cm de profundidade e 64 cm de largura, as quais garante que o substrato analisado tenha a maior área possível capturada pela câmera fotográfica. O feltro de tecido não-tecido cobriu todas as seis faces do paralelepípedo, com o objetivo de barrar a iluminação externa. Na face superior, foi inserida uma abertura por onde se manipulava a amostra e a câmera fotográfica. Para a abertura e fechamento da abertura foi utilizado velcro.

Os bocais juntamente com as lâmpadas foram alocados nas arestas verticais, fixados por abraçadeiras na tubulação de PVC. As lâmpadas localizadas nas quatro arestas do equipamento garantiam a uniformidade de iluminação, evitando que ocorresse sombras em apenas uma direção, e com isto confundisse o posterior processamento da imagem capturada.

Em todos os bocais de lâmpadas foram conectadas fiações para a passagem de eletricidade, cujas ligações foram realizadas em paralelo.

A captura das imagens foi realizada com câmera Canon, modelo PowerShot SX530 HS. Os seguintes parâmetros de fotografia foram adotados:

- a) Abertura do diafragma: $f/4$;
- b) Velocidade do obturador: $1/40s$;
- c) Sensibilidade à luz: ISO-100;
- d) Resolução: 16 megapixels nominais, numa dimensão exata de 3456×4608 , totalizando 15.925.248 pixels.

3.2 SUBSTRATO TÊXTIL ANALISADO

O substrato têxtil escolhido para as análises é composto 100% de fibras de algodão e tecido plano, estrutura tafetá/tela, de dimensões aproximadas a uma *T-shirt*, 60 x 60 cm, gramatura de 121 g/m^2 , a fim de simular um substrato comum na lavagem doméstica. A definição do tipo de fibra e forma de tecelagem se deu em razão de suas características de baixa resiliência, tendendo a amarrotar com maior facilidade.

Esta amostra foi disposta no fundo da câmara escura, a uma distância da lente da câmera fotográfica suficiente para aparecer no visor somente a amostra, excluindo-se o fundo preto composto pelo feltro. Com os parâmetros definidos na máquina fotográfica, definiu-se um temporizador de 10 segundos para que a imagem fosse capturada, tempo

esse suficiente para o fechamento da janela superior do equipamento, garantindo, assim, que apenas a luz artificial proveniente das lâmpadas iluminasse a amostra.

Testes preliminares de lavagens foram realizados com substratos 100% poliéster, porém o amarrotamento nas condições de lavagem doméstica não se mostrou abundante, levando a uma dificuldade tanto de medição das rugas quanto de correlação com os fatores da lavagem devido à quantidade pequena de rugas formada. Com o propósito de se comparar o amarrotamento em condições distintas de lavagem, adotou-se apenas o tecido 100% algodão.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE*

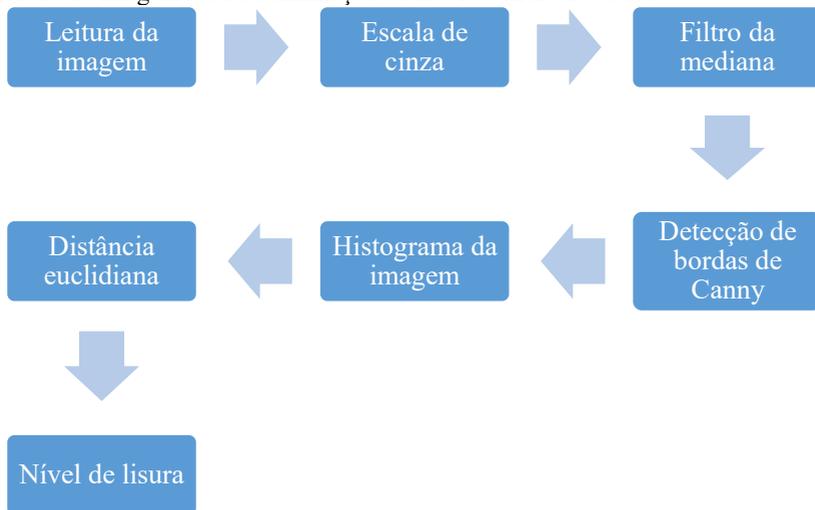
A mensuração das rugas foi realizada em um *software* desenvolvido em *Matlab*. Para isto, criou-se um aplicativo dentro do próprio programa, totalmente personalizável de acordo com as necessidades do usuário.

Neste *software*, fez-se uso da linguagem de programação inerente ao *Matlab*, construindo uma sequência de tarefas que o programa deve realizar para que o nível de lisura retorne como resultado, baseado na distância euclidiana entre dois histogramas de imagem. Esta metodologia de quantificação é inédita na medição do amarrotamento em substratos têxteis. O desenvolvimento foi a partir de imagens de amarrotamento capturadas pela câmera fotográfica, cujo sensor de luz garantia um baixo ruído no resultado.

O propósito global foi retornar como resposta um valor confiável de nível de lisura, em que o olho humano não seja o instrumento de medição e sim o processamento computacional por meio de algoritmos matemáticos e operações entre matrizes que representam os pixels da imagem capturada.

Todos os passos são ilustrados no diagrama de blocos da Figura 8 e descritos individualmente a seguir.

Figura 8 – Diagrama de blocos dos passos realizados no *software*, desde a leitura da imagem até a determinação do nível de lisura do tecido



Fonte: o autor (2017)

3.3.1 Leitura da imagem

O algoritmo inicia-se com a leitura da imagem. Nesta primeira etapa a imagem tem o formato RGB, com três valores para cada pixel, correspondentes ao vermelho, verde e azul. Os passos que se sucedem do algoritmo requerem uma imagem bidimensional, especificamente em escala de cinza, para informação de quão branco ou preto é cada pixel.

3.3.2 Escala de cinza

Esta linha de programação transforma a imagem lida “A” em uma escala bidimensional na escala de cinza “B”, que pode ser representada na forma matricial, com 15.925.248 elementos, que correspondem ao total de pixels da imagem.

Os valores de cada elemento variam de 0, preto, a 255, branco.

3.3.3 Filtro da mediana

A imagem na escala de cinza apresenta os ruídos da captura pela máquina fotográfica, além de detalhar os entrelaçamentos da trama e urdume do tecido. Todos estes elementos são indesejáveis para a leitura

das rugas, uma vez que apresentam gradientes locais de cor em relação ao substrato têxtil, os quais inevitavelmente são identificados na etapa de detecção de bordas de Canny.

Para que este problema seja sanado, faz-se a filtragem da imagem em escala de cinza por meio do filtro da mediana (item 2.4.3.3) com uma máscara 5x5, que corresponde ao tamanho da matriz a ser utilizada em cada pixel filtrado. Máscaras maiores resultariam em uma filtragem maior, entretanto sua escolha foi feita minuciosamente para que as próprias rugas não fossem ofuscadas com a aplicação do filtro.

Neste passo, vários testes preliminares foram efetuados nos substratos com diferentes graus de amarrotamento, para garantir que as bordas fossem detectadas na próxima etapa.

3.3.4 Detecção de bordas de Canny

Com os ruídos eliminados e o detalhamento da imagem reduzido, a imagem está apta a ser processada nesta etapa, que consiste em marcar as bordas internas da figura por meio dos gradientes de cada pixel nas duas direções. Os limites estabelecidos para os gradientes, conhecidos como *thresholding*, são definidos automaticamente pelo algoritmo que o próprio *Matlab* realiza nesta detecção. O valor definido para o desvio padrão σ da primeira derivada da função Gaussiana foi 12, de acordo com testes visuais onde se determinou quando uma borda interna deixava de ser detectada ou, no outro limite, quando se detectava bordas falsas. Valores inferiores a 12 eram responsáveis por uma detecção falsa de bordas, enquanto que acima deste valor bordas eram negligenciadas na detecção.

3.3.5 Histograma da imagem

A distribuição da frequência dos pixels pretos e brancos da imagem com as bordas internas detectadas pelo método de Canny é feita pelo histograma.

Para se ter como resposta a proporção de pixels brancos e pretos em relação ao total fez-se a normalização do histograma, dividindo-se pelo tamanho das duas dimensões da matriz que representa a imagem com as bordas detectadas. Desta forma, o resultado traz uma matriz 2x1 em que a primeira linha traz a proporção de pixels pretos em relação ao total. De forma análoga, a segunda linha apresenta a proporção de pixels brancos, correspondentes às bordas internas, frente ao total.

3.3.6 Distância euclidiana

Com todos os passos do processamento da imagem realizados, as últimas etapas visam quantificar a imagem em relação a um padrão pré-estabelecido, neste caso, a imagem controle. Esta etapa é a que caracteriza o sistema de captura e processamento de imagens como um instrumento de medição propriamente dito.

Uma imagem totalmente composta por pixels brancos com mesma dimensão e quantidade de pixels em relação a imagem analisada é inserida no *software*, com a finalidade de servir como parâmetro de comparação e se ter um valor desta distância, que será necessária para a quantificação do amarrotamento. Todos os passos do processamento efetuados sobre a imagem analisada também são efetuados na imagem controle. Consequentemente, seu resultado com as bordas de Canny é uma figura totalmente preta, já que não existem bordas internas para serem detectadas.

Neste ponto, o algoritmo traz o resultado do cálculo da distância euclidiana entre os dois histogramas das imagens supracitadas. Como os histogramas foram normalizados de forma unidimensional, esta distância é um escalar adimensional.

3.3.7 Nível de lisura

A distância euclidiana é um valor escalar que representa apenas o quão distante o histograma da imagem analisada está da imagem padrão. Para que se possa utilizar da graduação adotada pela AATCC, onde o 1 corresponde a um substrato muito amarrotado e o 5, sem rugas, viu-se a necessidade de converter a distância euclidiana para valores entre 1 e 5.

Para atender a esta necessidade, várias medições foram aferidas no substrato têxtil para diversos níveis e formas de amarrotamento. O substrato foi amarrotado de forma forçada diversas vezes, inclusive sob a presença de água, pois, segundo Cook (2001a), a água atua como agente plastificante da fibra de algodão, favorecendo o amarrotamento do tecido. A maior distância euclidiana encontrada é equivalente a 1 (um) no nível de lisura da AATCC. Da mesma forma, uma imagem isenta de rugas apresenta valor 5 (cinco), valor máximo do nível. Com estes dois pontos, regrediu-se linearmente a uma equação de reta que relaciona o nível de lisura dependendo da distância euclidiana, ou seja, um ponto possui as coordenadas de distância euclidiana máxima encontrada em um substrato muito amarrotado e o nível de lisura 1, referente ao mínimo da AATCC, enquanto o outro ponto da regressão é

composto pela distância euclidiana zero (substrato sem rugas) e pelo nível de lisura máximo da AATCC, que é 5.

A linearidade da equação é comprovada pela própria definição da distância euclidiana e reforçada testando o resultado das distâncias entre histogramas de imagens com proporções conhecidas de pixels brancos em relação ao total de brancos e pretos.

3.3.8 Interface do *software*

Com o propósito de facilitar todos os processamentos que iriam ser feitos na realização dos experimentos, desenvolveu-se uma interface GUI dentro do *Matlab*.

Definiu-se botões onde o usuário primeiramente seleciona a imagem sobre a qual deseja medir o nível de lisura. A própria interface carrega a imagem, confirmando ao usuário que ela foi lida pelo programa. O segundo passo é clicar no botão “Detectar bordas de Canny”, que realiza todos os passos até a definição do histograma da imagem (item 3.3.5), trazendo como resposta a imagem processada com as bordas internas detectadas, referentes às rugas do substrato têxtil. Por fim, é necessário selecionar o último botão, “Calcular”, para o *software* trazer como resposta tanto a distância euclidiana quanto sua conversão no nível de lisura correspondente da AATCC. Esta interface GUI é exibida na Figura 9.

Figura 9 – Interface GUI do *software* desenvolvido no *Matlab*, para processamento de imagem e determinação do nível de lisura a partir da distância euclidiana entre histogramas de imagem



Fonte: o autor (2017)

3.4 COMPARAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO COM A METODOLOGIA VISUAL BASEADA NA AATCC

O sistema de medição, envolvendo todo o equipamento físico, como a câmara escura, equipamento fotográfico e iluminação, além do *software* desenvolvido em *Matlab* foi comparado à metodologia visual baseada na AATCC.

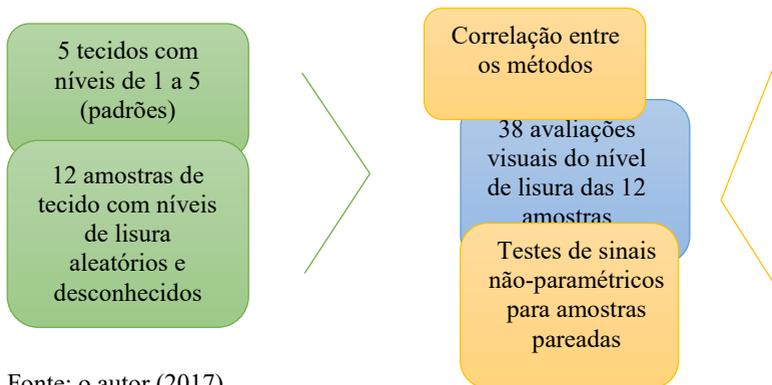
Para isto, 38 avaliadores, entre professores e acadêmicos dos cursos de Engenharia Têxtil, Engenharia de Materiais e Química da Universidade Federal de Santa Catarina, analisaram e definiram os níveis de lisura de 12 amostras aleatórias. Os substratos padrões foram amarrotados, mensurados e estabelecidos via *software* em 5 níveis: 1, 2, 3, 4 e 5, valores correspondentes à escala da AATCC, os quais encontram-se ilustrados no Apêndice A. Todos foram identificados com seus níveis de lisura aos avaliadores.

Cada avaliador verificou as 12 amostras uma a uma, comparando-as aos 5 padrões que tinham os níveis de lisuras conhecidos. Todas as análises foram realizadas individualmente sem qualquer interferência externa nas determinações dos valores. As 12 amostras estão exibidas no Apêndice B.

Ao final das 38 análises, fez-se a média e desvio padrão para cada amostra, as quais tiveram seus amarrotamentos mensurados no *software*. Foram comparadas com as médias dos níveis estipulados pelos 38 avaliadores a fim de se estabelecer uma correlação entre os sistemas de medição.

Foi aplicado, então, o teste de sinal não-paramétrico para amostras pareadas, com 5% de significância, que verifica, estatisticamente, se duas amostras dependentes apresentam diferenças entre si ou se podem ser consideradas como semelhantes no que se diz respeito aos sinais, ou seja, se as diferenças entre as duas metodologias foram aleatórias e não tendenciosas apenas em um dos sinais (positivo ou negativo) (SHESKIN, 2000). Comparou-se, também, os dois grupos de 12 amostras por meio de gráfico, com o propósito de verificar a correlação entre as metodologias. Na Figura 10 está esquematizada a comparação entre as formas de medição do amarrotamento.

Figura 10 – Esquema da comparação entre os métodos de medição do nível de lisura



Fonte: o autor (2017)

3.5 RELAÇÃO DO AMARROTAMENTO COM OS PROCESSOS DOMÉSTICOS

Os experimentos para determinação dos possíveis fatores causadores do amarrotamento em máquinas domésticas, bem como da

relação do tipo de secagem ao amarrotamento foram realizados no setor de Engenharia do Produto da Electrolux do Brasil, em Curitiba, Paraná.

Alguns fatores que podem influenciar na formação de rugas nos substratos têxteis foram elencados no Capítulo 2 de acordo com resultados de outros trabalhos que relacionaram o efeito das lavagens em máquina doméstica com as propriedades físicas das fibras.

Para este trabalho definiu-se o planejamento experimental fatorial 2³, com três fatores em dois níveis cada. Temperatura da água, velocidade de centrifugação e quantidade de amaciante foram os fatores analisados, baseados no Capítulo 2, que relaciona as propriedades físicas da fibra de algodão com a temperatura, forças de abrasão e uso de amaciante. Desta maneira, oito testes foram efetuados com o objetivo de quantificar a influência de cada fator na causa do amarrotamento.

Fez-se ainda a secagem após a lavagem. Os substratos, após a etapa de lavagem, tinham seus níveis de lisura mensurados para, na sequência, irem para as etapas de secagem, que foram realizadas em paralelo: metade das amostras foram secas forçadamente em máquina e a outra metade de forma natural no varal. Novamente foi mensurado o amarrotamento dos substratos após a secagem.

3.5.1 Lavagem

Os testes de lavagem foram realizados em máquina Electrolux LSW12, ilustrada na Figura 11, de característica *top load* e eixo vertical, onde o carregamento é realizado pela tampa superior. Os parâmetros definidos para todos os ensaios e regulados no painel da máquina foram:

- a) Modo: Rápido;
- b) Níveis de água: Médio;
- c) Molho e Agitação: Sem molho;
- d) Enxágue: Simples

A carga que completava a máquina foi composta por 4 kg de substrato de uso casual como: calça jeans, camisetas de algodão, camisas de poliéster, lençol, bermudas de poliéster, toalha de banho de algodão.

Quatro amostras foram alocadas no meio da carga, equidistantes das partes inferior e superior da máquina de lavar.

Figura 11 – Máquina de lavar Electrolux LSW12



Fonte: Electrolux (2017a)

Os níveis para cada um dos três fatores analisados estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis de cada fator analisados nos experimentos

Fator	Nível	
	Baixo (-)	Alto (+)
Temperatura da Água (°C)	20	54
Velocidade de centrifugação (rpm)	500	850
Amaciante (g)	0	25

Fonte: o autor (2017)

A definição destes fatores foi limitada à capacidade da máquina LSW12 e do processo. As velocidades de centrifugação são a máxima e mínima possíveis de se configurar no painel da máquina. A temperatura da água era aquecida por resistência elétrica, alcançando 54°C e o uso de amaciante foi a recomendada pelo fabricante (Comfort). Estes fatores e níveis resultaram no planejamento 2^3 , com 8 experimentos, expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Fatores e níveis do planejamento experimental 2^3

Temperatura da água (°C)	Velocidade de centrifugação (rpm)	Amaciante (g)
20	500	25
54	500	0
54	850	25
20	850	0
20	850	25
54	850	0
20	500	0
54	500	25

Fonte: o autor (2017)

Em todos os ensaios foram acrescentados 100 g de detergente em pó Omo Multiação, conforme recomendação do fabricante para a quantidade de carga adotada. O produto amaciante utilizado foi o Comfort Concentrado, cuja composição contém: Cloreto de dialquil dimetil amônio, coadjuvantes, fragrâncias, 1,2 benzotiazolin-3-ona, silicone amínico, corante, atenuador de espuma e água. Ambos os produtos tiveram as massas medidas em balança de precisão Shimadzu AY220.

A temperatura da água foi aquecida por resistência elétrica em um reservatório adjacente à máquina. Um sensor de nível delimitava a quantidade de água que adentrava no cesto da máquina. Para o nível “médio” da lavadora foram utilizados 138 litros.

Para controlar a velocidade de centrifugação, ajustou-se no próprio painel de controle da máquina, selecionando o perfil “suave” para velocidade de 500 rpm e “turbo” para 850 rpm.

Todo o procedimento de encher a máquina com água, lavar, drenar, encher novamente com água, enxaguar, drenar e centrifugar durou 54 min e 20 s, divididos em:

- a) Enchimento de água: 07 min e 40 s;
- b) Rotação do agitador para lavagem: 05 min e 50 s;
- c) Drenagem: 12 min e 00 s;
- d) Enchimento de água para enxágue: 07 min e 40 s;
- e) Rotação do agitador para enxágue: 05 min e 10 s;
- f) Drenagem: 08 min e 20 s;
- g) Centrifugação: 07 min e 40 s.

Após a lavagem, as quatro amostras foram passadas pelo sistema de medição de amarrotamento, tendo suas fotografias capturadas.

3.5.2 Secagem

Na sequência, duas amostras iniciaram o procedimento de secagem em varal, com temperatura ambiente controlada em $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar em $55 \pm 3\%$. As outras duas amostras secaram na máquina Electrolux LSE12, de perfil *front load* e eixo horizontal, com carregamento pela porta frontal, ilustrada na Figura 12, por 2 h, somados de 15 min de ventilação para resfriamento dos substratos. Este mesmo tempo foi o total que as amostras permaneceram no varal, ficando totalmente secas.

Novamente foram medidos os níveis de lisura das quatro amostras.

Figura 12 – Máquina lava e seca Electrolux LSE12



Fonte: Electrolux (2017b).

Nestes experimentos, foram comparados os tipos de secagem no que se diz respeito ao amarrotamento em relação à lavagem, com o propósito de se determinar se houve um aumento ou diminuição do nível de lisura após a lavagem. Para isto, foram construídos gráficos relacionando as secagens com a lavagem. Com estes resultados, foram comparados os ganhos de nível de lisura das secagens em relação aos níveis da lavagem, assim como relacionar a presença de amaciante nos substratos nestes ganhos. Foi realizada uma análise de variância no *software STATISTICA 13*, com 5% de nível de significância, com o tipo de secagem e quantidade de amaciante utilizada na lavagem (que é carregada em parte pelo substrato) para se determinar suas influências no ganho de nível de lisura da secagem frente à lavagem.

É importante ressaltar que haviam duas cargas de 4 kg para compor a máquina. Uma era utilizada em testes com amaciante e a outra quando não se adicionava este produto na máquina. A justificativa se dá para que o produto amaciante, que permanece nas fibras após as lavagens, não fosse transferido da carga para o substrato a ser analisado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma amostra de substrato teve sua imagem capturada no sistema de medição para ilustrar todos os passos do processamento de imagem do *software*. As imagens de cada passo são exibidas, com a quantificação do nível de lisura proveniente da distância euclidiana calculada entre a imagem com bordas de Canny e a imagem controle (sem rugas).

A comparação entre a metodologia desenvolvida neste trabalho e o método de medição visual, baseado na AATCC, serviu de base para provar que o processamento de imagem possui uma boa acuidade na quantificação das rugas, porém há a necessidade de um grande número de avaliadores no teste visual para se ter uma média que se aproxime do nível de lisura definido pelo *software*.

Os fatores adotados para a análise da lavagem na causa do amarrotamento (temperatura da água, velocidade de centrifugação e quantidade de amaciante) são discutidos neste capítulo de acordo com o resultado da ANOVA proveniente de um planejamento fatorial estatístico 2³.

O comparativo entre os tipos de secagem (em máquina e varal), juntamente com sua relação com o amaciante presente nas fibras é discutido com base em resultados estatísticos da ANOVA.

4.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO DO AMARROTAMENTO

A câmara escura para fotografia construída para garantir uniformidade de iluminação no seu interior, servindo de ambiente para captura da imagem digital do substrato têxtil a ter o nível de lisura quantificado pelo *software*, é ilustrado na Figura 13 com sua face superior aberta, onde pode se observar o tecido disposto na face inferior, as lâmpadas nas quatro arestas e a câmera fotográfica fixada na face superior, tendo uma visão ampla do substrato. Na Figura 14 é apresentada a câmara escura com a face superior fechada, barrando a iluminação externa de interferir na captura da fotografia.

Figura 13 - Câmara escura com equipamento fotográfico fixado na face superior e substrato têxtil na inferior



Fonte: o autor (2017)

Figura 14 - Câmara escura totalmente vedada de iluminação externa



Fonte: o autor (2017)

Para ilustrar os passos realizados no *software*, são apresentadas as imagens resultantes de cada passo realizado. O primeiro comando foi a inserção da imagem da amostra de substrato têxtil capturada pelo sistema de medição.

4.1.1 Processamento da imagem

Na Figura 15 é representado um exemplo de imagem capturada do substrato têxtil. Em uma avaliação visual preliminar é possível notar que este tecido 100% algodão apresenta uma superfície bastante enrugada, ainda sem saber em que nível de lisura ele se encontra.

A etapa da escala de cinza, ilustrada na Figura 16, apenas transformou a escala de cores da imagem. Neste ponto a imagem deixa de ser uma representação RGB, com três valores para cada pixel, e passa

a ter 256 possíveis valores de cor na escala de cinza, sendo que cada pixel possui apenas um valor.

Por esta imagem apresentar excesso de detalhamento e ruídos, aplicou-se o filtro da mediana, que tornou a imagem com uma aparência mais “borrada”, exibida na Figura 17. O chuviscado aparente no centro da imagem foi totalmente filtrado, enquanto as rugas permaneceram sem alterações que pudessem ser descaracterizadas a ponto de interferir nas etapas seguintes.

Na Figura 18 é mostrado como se apresenta a imagem após ser realizada a detecção das bordas de Canny, com as rugas marcadas pela cor branca e o fundo, que não contém gradientes de cor a ponto de conter bordas, de preto. Nota-se a acuidade com que as rugas foram identificadas, pois este processo localizou gradientes de cor nos pixels e delimitou-os como bordas internas. A imagem controle, que serve de comparação na distância euclidiana, apresenta uma imagem processada pela detecção de bordas de Canny totalmente preta, já que teoricamente é proveniente de um substrato sem rugas, com nível de lisura igual a 5.

Figura 15 – Imagem capturada de substrato têxtil amarrotado



Fonte: o autor (2017)

Figura 16 – Imagem em escala de cinza



Fonte: o autor (2017)

Figura 17 – Imagem com filtro da mediana



Fonte: o autor (2017)

Figura 18 – Imagem após a detecção das bordas de Canny



Fonte: o autor (2017)

4.1.2 Distância euclidiana e sua conversão para o nível de lisura

Para esta amostra específica, a distância euclidiana foi calculada no *software* em 0,0244 e o valor do nível de lisura correspondente da escala da AATCC foi de 1,95, que representa um substrato muito amarrutado.

A distância euclidiana máxima entre a imagem controle, totalmente preta, e uma hipotética imagem composta 100% por bordas, ou seja, branca em sua totalidade, é $\sqrt{2}$, ou 1,41, que é a distância entre as matrizes [1,0] e [0,1], cujos dois valores de cada matriz representam, respectivamente, a proporção de preto e branco em relação ao total de pixels. A distância euclidiana máxima atingida com vários testes de amarrutamento forçado do substrato têxtil foi de 0,032, que correspondeu a 1 na escala da AATCC, conforme a conversão através da Equação 7:

$$NL = -125 \cdot dE + 5 \quad (7)$$

onde NL é o nível de lisura e dE é a distância euclidiana.

Esta equação foi regredida com as distâncias euclidianas máxima e mínima, equivalentes a 0,032 e zero e suas respectivas correspondências de nível de lisura na metodologia da AATCC, que são 1 e 5.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MEIOS DE MEDIÇÃO

Das 12 amostras medidas pelos 38 examinadores, apenas uma teve unanimidade (J) no nível de lisura. Das demais, 2 apresentaram dois níveis diferentes (K e L), 6 foram classificadas em três níveis distintos (A, B, D, E, F e G) e ainda 3 amostras obtiveram quatro níveis de cinco possíveis (C, H e I), ou seja, houve uma clara dificuldade para os avaliadores classificarem o nível de lisura destas quatro amostras. Isto mostra a falta de confiabilidade na metodologia baseada na AATCC, que pode ser melhorada com o treinamento dos examinadores. Todas as amostras e seus respectivos níveis de lisuras estão dispostos no Apêndice B.

Por se tratar de uma análise sensorial, a avaliação visual ainda está sujeita a variações na forma de medir por um mesmo avaliador, já que deve se levar em conta alterações de ordem fisiológica e de humor, que contribuem para a forma de avaliação.

Na Tabela 4 são apresentadas as médias das 38 medições para as 12 amostras, bem como seus desvios padrões e a quantidade de níveis de lisura determinados pelos avaliadores para cada amostra. Todos os níveis das 12 amostras estão listados no Apêndice C.

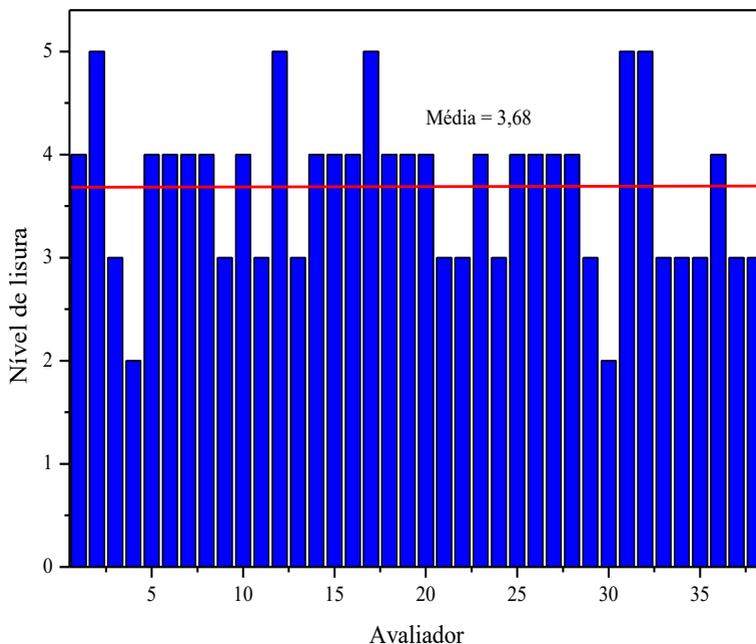
Tabela 4 – Médias, desvios padrões e quantidades de níveis estipulados pelos avaliadores

Amostra	Média dos níveis estipulados pelos avaliadores	Desvio padrão	Quantidade de valores determinados
A	1,21	0,47	3
B	2,68	0,53	3
C	2,08	0,54	4
D	4,05	0,66	3
E	3,79	0,53	3
F	3,55	0,55	3
G	2,53	0,65	3
H	3,68	0,77	4
I	3,82	0,80	4
J	1,00	0	1
K	4,71	0,73	2
L	2,13	0,34	2

Fonte: o autor (2017)

Na Figura 19 é apresentado o gráfico dos níveis de lisura definidos pelos 38 avaliadores para a amostra H. Fica clara a variação na determinação do nível entre as pessoas, variando de 2 a 5.

Figura 19 - Níveis de lisura da amostra H definidos pelos 38 avaliadores



Fonte: o autor (2017)

Por outro lado, o *software* definiu apenas um valor para cada amostra, referente ao processamento da imagem capturada que resultou na detecção de bordas de Canny. Os níveis de lisura provenientes desta metodologia estão dispostos na Tabela 5, juntamente com as médias dos níveis determinados pelos avaliadores para efeito de comparação e suas diferenças percentuais, as quais foram calculadas visando a razão entre a diferença entre os níveis obtidos entre os métodos pelo nível de lisura via *software*.

Tabela 5 – Nível de lisura via *software*, média dos níveis estipulados pelos avaliadores e diferença percentual

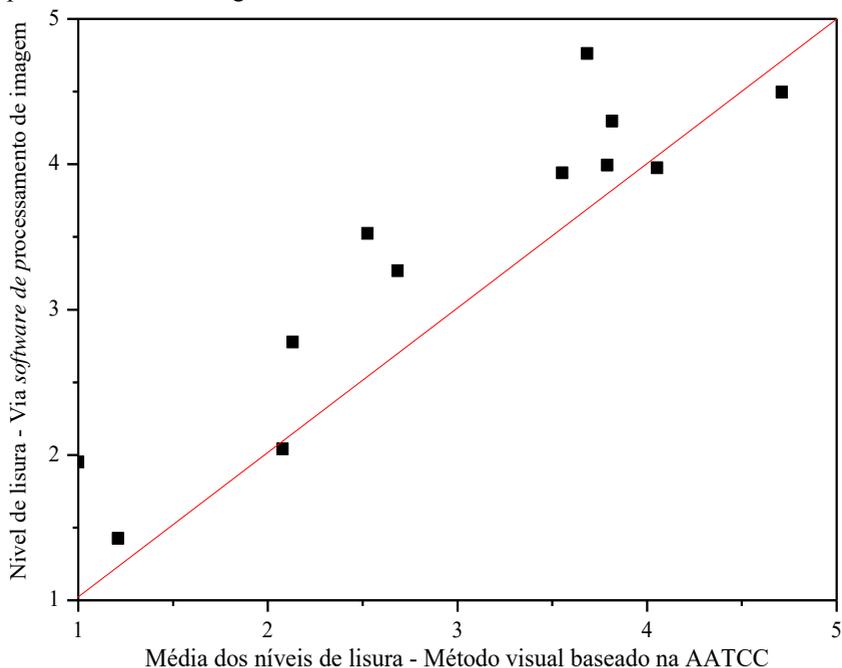
Amostra	Nível de lisura via <i>software</i>	Média dos níveis estipulados pelos avaliadores	Erro em relação ao nível de lisura via <i>software</i> (%)
A	1,43	1,21	18,18
B	3,27	2,68	22,01
C	2,04	2,08	-1,92
D	3,97	4,05	-1,97
E	3,99	3,79	5,28
F	3,94	3,55	10,99
G	3,52	2,53	39,13
H	4,76	3,68	29,35
I	4,30	3,82	12,57
J	1,95	1,00	95,00
K	4,50	4,71	-4,46
L	2,78	2,13	30,52

Fonte: o autor (2017)

O gráfico da Figura 20 reproduz a correlação entre as duas metodologias. Com um coeficiente de determinação ajustado de 0,8496 é possível afirmar que há uma correlação forte entre os dois métodos, com alguns pontos não muito distantes da reta gerada, decorrentes de erros experimentais nos dois casos. A reta representada na cor vermelha idealiza a situação ideal de correlação entre os métodos.

Para alcançar esta forte correlação entre as duas metodologias, foi necessário um grande número de avaliadores para que a média dos níveis de lisura determinados por eles apresentasse consistência com o valor calculado via *software*. Isto mostra a importância do desenvolvimento do sistema de medição do amarrotamento de tecidos 100% algodão por meio de processamento de imagens.

Figura 20 – Correlação entre os níveis de lisura do sistema de medição por processamento de imagem e do método da AATCC



Fonte: o autor (2017)

Nota-se na região entre os níveis 2 e 4 determinados pelo *software* que há uma discordância com os níveis definidos pelos avaliadores, com os pontos mais afastados da linha de total correlação. Em contrapartida, nos limites inferior e superior há uma maior facilidade por parte da avaliação visual, onde o substrato se encontra mais próximo da ausência de rugas ou então com uma quantidade muito grande delas.

Como a avaliação visual levava em conta apenas números inteiros (1, 2, 3, 4 e 5), é apresentado na Tabela 6 um comparativo entre os níveis de lisura aproximados para o número inteiro mais próximo, para as duas formas de medição: via *software* e visualmente. Com os valores inteiros é possível constatar que a maior parte das amostras apresentou valores inteiros idênticos, comprovando mais uma vez a necessidade de um grande número de avaliadores para se alcançar o mesmo valor de nível de lisura adquirido por meio do *software*.

Tabela 6 - Níveis de lisura aproximados para ambos os métodos de medição

Amostra	Nível de lisura aproximado via <i>software</i>	Média aproximada dos níveis estipulados pelos avaliadores	Convergência entre valores inteiros de nível de lisura para os dois métodos
A	1	1	Sim
B	3	3	Sim
C	2	2	Sim
D	4	4	Sim
E	4	4	Sim
F	4	4	Sim
G	4	3	Não
H	5	4	Não
I	4	4	Sim
J	2	1	Não
K	5	5	Sim
L	3	2	Não

Fonte: o autor (2017)

O teste de sinais não paramétrico para amostras pareadas foi aplicado no *STATISTICA 13*. Todas as 12 amostras apresentaram divergências nos valores das medições entre o sistema de medição proposto neste trabalho e o método baseado na AATCC. Em 9 casos o sistema de medição via *software* apresentou valor maior de nível de lisura, ou seja, uma diferença positiva.

O valor de p calculado foi 0,1489, maior que o p crítico, 0,05. Desta maneira, a hipótese de que os sinais das diferenças de níveis de amarrotamento das duas metodologias seriam diferentes foi rejeitada. Logo, pode-se assumir que as diferenças entre os níveis de lisura para cada amostra são aleatórias, não seguindo uma tendência em relação ao sinal (positivo ou negativo). Portanto, o método de medição do nível de lisura por meio do *software* de processamento de imagem não tem uma tendência de apresentar um valor sempre maior ou menor que pela metodologia visual.

Na Tabela 7 são comparadas as metodologias de medição de amarrotamento descritas na literatura com o sistema desenvolvido neste trabalho. Levou-se em conta o tamanho da amostra têxtil, formas de captura da imagem, processamento computacional utilizado, modo de identificação e quantificação do amarrotamento e a conversão do valor que quantifica as rugas para a escala da AATCC.

A baixa resolução de imagem trabalhada pelos autores pode ter prejudicado a nitidez em que as rugas são reproduzidas. Este trabalho visou a captura da imagem com alta resolução (3456 x 4608 pixels) com

o propósito de se ter uma reprodução mais fidedigna do amarrotamento e não se ter perda de informação durante o processamento da imagem. As etapas de aplicação de filtro e detecção de bordas nem sempre são divulgadas pelos outros autores, portanto neste trabalho utilizou-se a combinação de filtro da mediana com a detecção de bordas de Canny, as quais foram utilizadas por autores distintos separadamente. O processamento utilizando estes dois parâmetros resultou em ter-se apenas as rugas detectadas, sem ruídos e, muito menos, perda de informação.

A forma de quantificação da imagem processada também nem sempre é completamente divulgada pelos autores, tendo neste trabalho, o pioneirismo na utilização da distância euclidiana entre histogramas de imagem na medição do amarrotamento, que por sua vez foi convertido para a escala de 1 a 5 da AATCC, conversão esta que não foi realizada por todos os autores citados.

Tabela 7 – Comparação entre sistemas de medição de amarrotamento descritos na literatura

(continua)

Autores	Tamanho da amostra	Captura e tamanho da imagem	Processamento computacional	Identificação e quantificação do amarrotamento	Conversão para a escala da AATCC
Zaouali; Msahli; Sakli (2010)	0,20 x 0,20 m	Scanner; 2361 x 2361 pixels.	Escala de Cinza; filtro para redução de ruídos (não divulgado); imagem binária. Realizados em <i>Matlab</i> .	Densidade de pixels; comprimento e largura das rugas na imagem binária.	Sim, por meio de equação linear.
Mirjalili; Ekhtiyari (2010)	0,28 x 0,15 m	Lâmpada na diagonal superior da amostra; Câmera fotográfica na diagonal superior oposta à lâmpada 280 x 300 pixels	Filtro para redução de ruídos não divulgado. Realizado em VC++.	Perfil de linhas de iluminação na imagem; diferença para uma imagem sem rugas.	Sim, por meio de equação logarítmica.

(continuação)

Autores	Tamanho da amostra	Captura e tamanho da imagem	Processamento computacional	Identificação e quantificação do amarroramento	Conversão para a escala da AATCC
Memarian; Amani- Tehran; Laffiti (2011)	0,28 x 0,15 m	Câmara escura; câmara fotográfica na face superior à amostra; três lâmpadas laterais a 45° da amostra; 386 x 800 pixels.	Escala de cinza; deteção de bordas não divulgado.	Comprimento das bordas (rugas) não divulgada a forma.	Sim, porém para uma escala de 1 a 16 por meio de uma equação logarítmica.
Liu; Fu; Wu (2014)	0,20 x 0,18 m	Scanner; 256 x 256 pixels.	Escala de Cinza; aumento do contraste; filtro da mediana; imagem binária e detector de bordas não divulgado.	Densidade de pixels.	Não.

(conclusão)

Autores	Tamanho da amostra	Captura e tamanho da imagem	Processamento computacional	Identificação e quantificação do amarrotamento	Conversão para a escala da AATCC
Mishra; Behera (2008)	0,25 x 0,15 m	Câmara escura; câmera fotográfica na face superior à amostra; quatro lâmpadas, uma em cada face lateral; tamanho não divulgado.	Escala de cinza e detecção de bordas de Canny. Realizados em <i>Matlab</i> .	Histograma de imagem, porém não divulgada a forma de quantificação.	Apenas comparação com avaliação visual, sem conversão.
Presente trabalho (2017)	0,60 x 0,60 m	Câmara escura; câmera fotográfica na face superior à amostra; quatro lâmpadas, uma em cada aresta; 3456 x 4608 pixels.	Escala de cinza; filtro da mediana; detecção de bordas de Canny. Realizados em <i>Matlab</i> .	Histograma de imagem e distância euclidiana entre a imagem analisada e uma imagem controle (sem rugas).	Sim, por meio de uma equação linear.

Fonte: o autor (2017)

4.3 RELAÇÃO DO AMARROTAMENTO COM OS PROCESSOS DOMÉSTICOS

Com o sistema de medição do nível de lisura desenvolvido, que possibilitou quantificar o amarrotamento em substratos têxteis, os testes para investigação dos fatores da lavagem em máquina doméstica que poderiam causar o amarrotamento foram realizados. Da mesma forma, foi possível analisar a relação da secagem em máquina e varal com o enrugamento das superfícies dos tecidos 100% algodão e a relação da presença de amaciante nas fibras têxteis neste processo comumente realizado em ambientes domésticos.

4.3.1 Lavagem

Primeiramente, fez-se a análise apenas da etapa da lavagem, considerando-se três fatores em um planejamento fatorial 2^3 , temperatura da água, quantidade de amaciante e velocidade de centrifugação, todos em dois níveis. Com isso verificou-se quais apresentaram efeito significativo sobre o nível de lisura durante a lavagem. Na Tabela 8 são apresentados os valores de nível de lisura para cada experimento.

Tabela 8 – Níveis de lisura após a lavagem

Nº do teste	Temperatura (°C)	Amaciante (g)	Velocidade de centrifugação (rpm)	Nível de lisura
1	20	25	500	2,50
2	54	0	500	2,46
3	54	25	850	2,19
4	20	0	850	2,30
5	20	25	850	2,18
6	54	0	850	1,68
7	20	0	500	2,40
8	54	25	500	2,20

Fonte: o autor (2017)

Os níveis de lisura variaram entre 1,68 e 2,50, mostrando que dificilmente o substrato sai em um alto grau de lisura, uma vez que valor 5 representa a máxima lisura do substrato ou, em outras palavras, estaria ausente de amarrotamento. O menor valor atingido, referente a maior

quantidade de rugas, foi alcançado com os maiores níveis de temperatura e velocidade de centrifugação e ausência de amaciante. Comprovando que a água age como agente plastificante no algodão e que uma maior velocidade de centrifugação, além de resultar em maior força centrípeta no cesto da máquina que leva a um maior atrito dos substratos, também faz com que a água evapore mais rapidamente, com as fibras se consolidando na posição em que se encontravam mais molhadas. A ausência de amaciante também facilitou o atrito entre os substratos, contribuindo para o valor.

Outra observação importante é a faixa de valores obtidos após a lavagem, a qual se localiza na região de discordância entre as duas metodologias de medição, com os pontos mais afastados da linha que representa a total correlação entre os métodos (Figura 20). Isto demonstra a importância de se optar por um sistema de medição de maior confiabilidade na análise experimental do amarrotamento de tecidos 100% algodão após lavagem em máquina doméstica.

Na Tabela 9 tem-se o resultado da análise de variâncias (ANOVA), a qual revela que nenhum dos fatores influenciou significativamente com 95% de confiança na causa do problema.

Tabela 9 – Resultado da ANOVA para três fatores na lavagem

Fator	SQ	GL	MQ	F	p
Temperatura da água (1)	0,0905	1	0,0905	0,7300	0,5498
Amaciante (2)	0,0063	1	0,0063	0,0515	0,8578
Velocidade de centrifugação (3)	0,1803	1	0,1803	1,4538	0,4407
(1) e (2)	0,0086	1	0,0086	0,0700	0,8352
(1) e (3)	0,0169	1	0,0169	0,1370	0,7743
(2) e (3)	0,0390	1	0,0390	0,3145	0,6746
Erro	0,1240	1	0,1240		
SQT	0,4661	7			

SQ=Soma dos quadrados, GL=Graus de liberdade, MQ=média quadrática, SQT=Soma dos quadrados totais.

Fonte: o autor (2017)

O valor de p para que o fator fosse significativamente influente na causa do amarrotamento deveria ser menor que 0,05, já que o nível de confiança adotado foi 95%. Pode-se observar, nos efeitos de primeira ordem, que a velocidade de centrifugação teve uma maior influência

dentre os demais fatores, mesmo que não significativa, seguida da temperatura da água e, por último, da quantidade de amaciante.

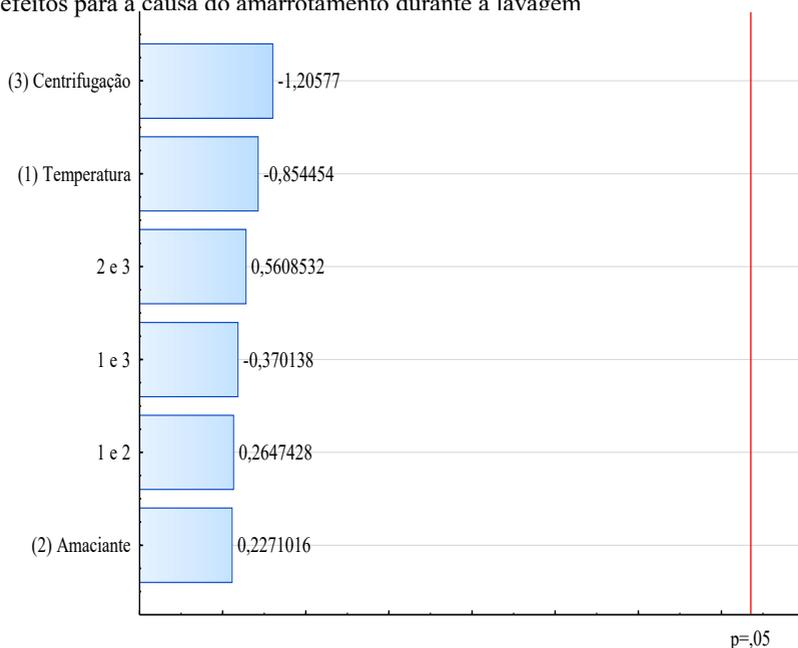
As interações entre os fatores não se mostraram tão influentes na causa do amarrotamento em relação aos dois fatores que mais contribuíram para a causa do amarrotamento (temperatura da água e velocidade de centrifugação), quando analisados individualmente.

A impossibilidade de se trabalhar com uma variação maior nos níveis de cada fator pode ter acarretado na ausência de uma influência significativa, uma vez que os níveis adotados eram definidos pela capacidade da máquina de lavar e do processo, não havendo margem para maiores variações.

O gráfico de Pareto, na Figura 21, representa estes fatores em escala de influência, do maior para o menor.

2**(3-0) design; MS Residual=,1240643
DV: Amarrotamento

Figura 21 – Gráfico de Pareto com os valores da estimativa de padronização dos efeitos para a causa do amarrotamento durante a lavagem



Fonte: o autor (2017)

A fibra, com água em seu interior, mais precisamente em suas regiões amorfas das cadeias de celulose, tende a ter uma flexibilidade maior, segundo Cook (2001a). Durante a lavagem e enxágue os

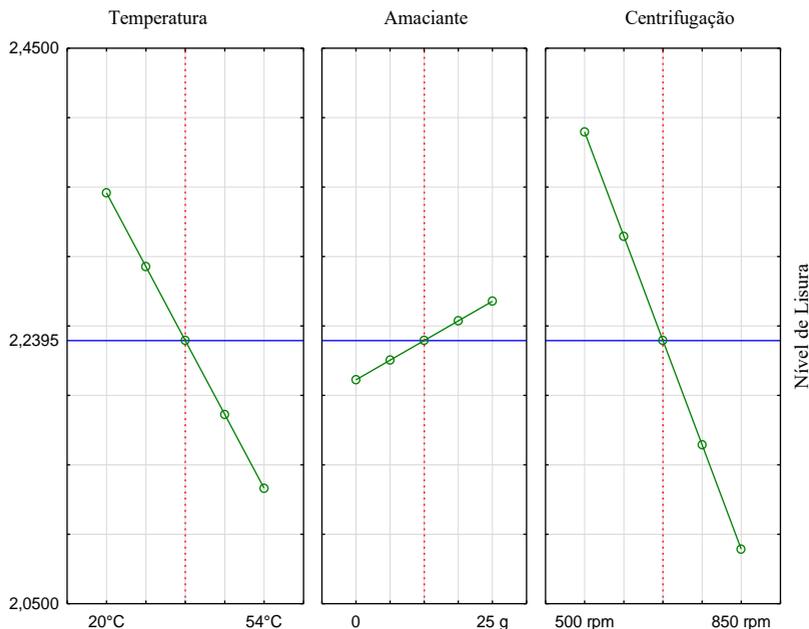
substratos foram forçados a se atritarem continuamente, neste caso por quase 12 minutos. O contato de um substrato em outro, aliado a esta modificação na estrutura da fibra devido à presença de água, foi responsável pela deformação da lisura inicial, moldando as fibras das amostras a cada contato físico.

A centrifugação fez com que todos os substratos, pela força centrípeta, se dispusessem na parede do cesto. À velocidade de 850 rpm a amostra sofreu uma força maior proveniente dos outros substratos que a pressionavam contra o cesto. Da mesma forma, a eliminação do excesso de água realizou-se mais rapidamente, com as fibras se consolidando na posição em que foram moldadas pelas forças mecânicas aplicadas durante a lavagem e centrifugação.

No nível inferior da velocidade de centrifugação, 500 rpm, a perda de água ocorreu de maneira mais branda, com as fibras tendo mais tempo para serem mais resilientes e tentarem voltar à sua conformação inicial, além da força centrípeta no cesto da máquina ser menor.

Graficando-se a influência destes fatores na Figura 22, pode-se perceber de forma mais clara de que maneira os níveis adotados modificaram a formação das rugas durante as lavagens.

Figura 22 – Gráficos da relação entre os fatores e o nível de lisura após a lavagem



Fonte: o autor (2017)

Maiores valores de nível de lisura significam menos rugas conforme a escala da AATCC. Há um acréscimo do amarrotamento, ainda que não significativo estatisticamente, com o aumento de 20°C para 54°C na temperatura da água, demonstrada pelo decréscimo do nível com esta variação.

De acordo com Gordon e Hsieh (2007), o aumento da temperatura acarreta numa diminuição no módulo elástico das fibras de algodão, era esperado que o seu aumento na água responsável pela lavagem acarretasse em um maior amarrotamento, confirmado por estes resultados, uma vez que a queda do módulo elástico possibilitava uma maior movimentação das fibras.

Esta elevação no amarrotamento com o aumento da temperatura é corroborada pelos resultados de Can e Akaydin (2013), que também relacionaram estes dois fatores.

O amaciante teve menor influência, até mesmo quando avaliadas suas interações com os outros dois fatores, os quais atuaram mais na

causa do problema. O uso de 25 g de amaciante diminuiu a formação de rugas em comparativo com a ausência deste produto aditivo na lavagem. Neste caso, um aumento do uso de amaciante, de 0 para 25 g, resultou numa melhora na situação desejada, ao contrário da temperatura e centrifugação. Como o produto utilizado continha em sua formulação substâncias siliconadas, isso fez com que as fibras reduzissem seu coeficiente de atrito, já descrito por Zuber; Zia; Tabassum; Jamil; Barkaat-ul-Hasin e Khosa (2011), com a consequente diminuição da deformação causada pelas forças de contato entre os substratos.

O fato de se utilizar um amaciante catiônico favoreceu que sua parte apolar, de característica lubrificante, também diminuísse o atrito entre os substratos. Porém, mesmo utilizando a quantidade recomendada (25g) pelo fabricante para esta quantidade de carga, o efeito positivo frente ao amarrotamento foi muito baixo.

4.3.2 Secagem

Com os substratos tidos seus níveis de amarrotamento medidos após a lavagem, a etapa que se sucedeu foi a de secagem. Para isto, dividiu-se a amostragem em duas: a da máquina de secar e a que foi ao varal. No final destes processos mediu-se novamente todos os níveis de lisura.

Na Tabela 10 são exibidos os valores dos níveis de lisura para ambos os tipos de secagem, além de apresentar os ganhos em relação à lavagem, ou seja, o quanto o valor aumentou em relação ao processo anterior. O ganho é uma subtração simples do nível de lisura após a secagem pelo nível após a lavagem.

A presença de amaciante foi levada em consideração nesta análise pelo fato de ser um fator carregado da lavagem para a secagem, uma vez que esta substância se liga quimicamente às fibras, diferentemente da temperatura da água e velocidade de centrifugação, que são fatores que não possuem influência nas secagens.

Tabela 10 - Níveis de lisura das secagens na máquina LSE12 e no varal e seus respectivos ganhos em relação à lavagem

Nº do teste	Amaciante	Máquina LSE12		Varal	
		Nível de lisura	Ganho em relação à lavagem	Nível de lisura	Ganho em relação à lavagem
1	Presente	2,94	0,44	3,14	0,64
2	Ausente	3,00	0,54	2,62	0,16
3	Presente	3,21	1,02	2,62	0,43
4	Ausente	2,70	0,40	2,92	0,62
5	Presente	3,11	0,93	3,28	1,10
6	Ausente	3,05	1,37	2,31	0,63
7	Ausente	3,26	0,86	3,85	1,45
8	Presente	3,46	1,26	3,46	1,26

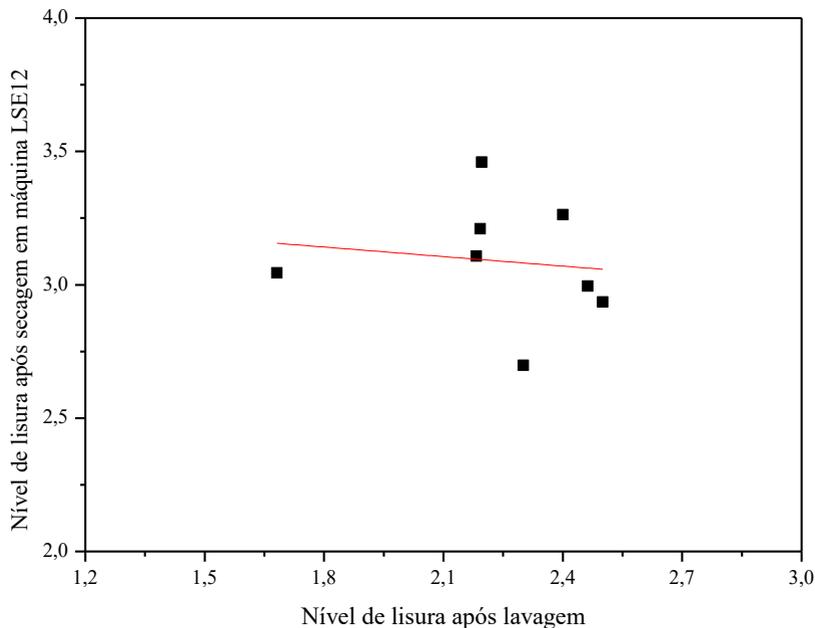
Fonte: o autor (2017)

Novamente, os valores medidos no *software* após a secagem estão incluídos na região de divergência com a medição visual (Figura 20), ressaltando mais uma vez o quão válido é a utilização do processamento de imagem em análises experimentais, cujos resultados são desejados em um maior grau de confiabilidade.

Em todos os experimentos o valor do nível de lisura aumentou, ou seja, o amarrotamento do tecido 100% algodão diminuiu após a secagem. Isto se deve às formas como os substratos foram dispostos em ambas as secagens. Enquanto que no varal a gravidade forçava as fibras a se alinharem verticalmente, na máquina os substratos eram constantemente amontoados, provavelmente tendo o peso dos demais substratos forçando as fibras a se rearranjarem durante a evaporação da água.

Entretanto, não se obteve linearidade entre a quantidade de rugas depois da lavagem e após as secagens, ou seja, o nível de lisura da saída da máquina de lavar não teve relação linear com o nível após os dois tipos de secagem, não há uma dependência do nível de lisura após a secagem com o seu respectivo amarrotamento proveniente da etapa de lavagem. Na Figura 23 é ilustrado o gráfico entre os níveis de lisura da secagem em máquina versus os níveis após a lavagem.

Figura 23 – Gráfico da correlação da secagem em máquina x lavagem em relação ao nível de lisura



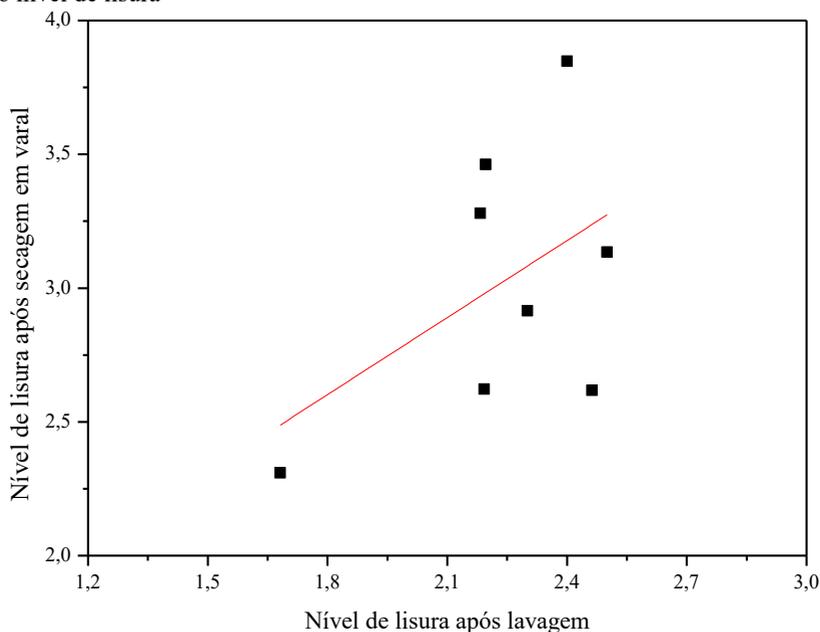
Fonte: o autor (2017)

A disposição das amostras dentro da máquina, totalmente aleatória, somada a baixa quantidade de carga frente a capacidade da secadora, contribuem para a aleatoriedade de níveis de lisura, uma vez que dependendo do local exato que a amostra se encontrava, sua dinâmica de agitação e atrito com os demais substratos era diferente de outras amostras. A dinâmica na máquina se dava por rotação vertical em baixa velocidade. Desta forma, os tecidos quando atingiam a altura máxima, não tinham velocidade suficiente na coordenada horizontal, indo para a porção inferior do cesto. Dependendo da posição que a amostra se encontrava em cada rotação, poderia desamassar mais ou menos, de acordo com a interação com os outros substratos que compunham a carga.

Diferentemente da lavagem em eixo vertical, na máquina de secar o atrito entre os substratos era mais brando, já que neste caso o objetivo era apenas remover a água.

Na secagem em varal o comportamento se mostrou mais linear, conforme apresentado na Figura 24, indicando uma correlação entre o nível de lisura após a lavagem e o mesmo nível após a secagem em varal, dado que neste caso não há aleatoriedade durante a secagem, onde praticamente a mesma temperatura agiu no processo de evaporação da água e todos os substratos possuíam massas semelhantes, por possuírem as mesmas dimensões, logo a força atuante nas fibras era o peso decorrente da gravidade.

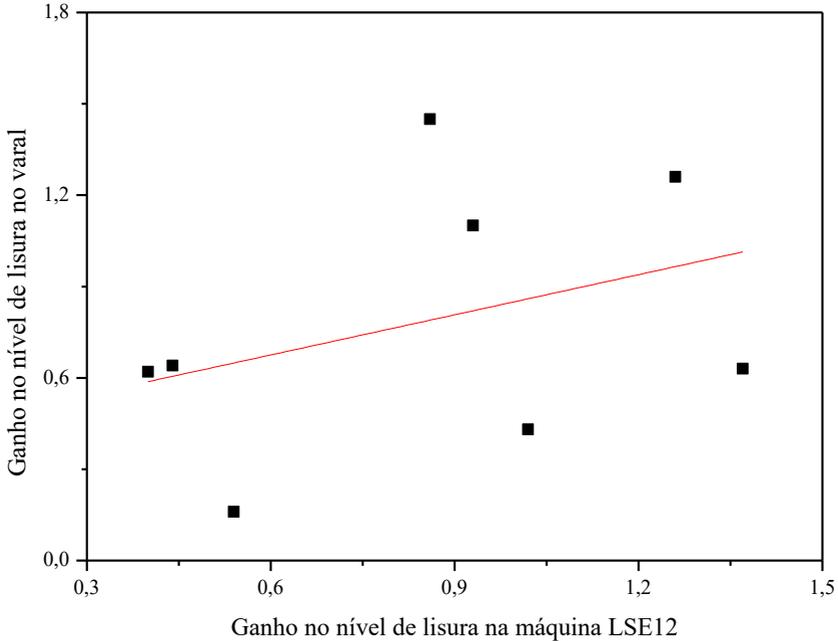
Figura 24 – Gráfico da correlação da secagem em varal x lavagem em relação ao nível de lisura



Fonte: o autor (2017)

Não se obteve relação linear entre os dois tipos distintos de secagem em relação ao ganho do nível de lisura frente à lavagem, justamente pela aleatoriedade da disposição dos substratos têxteis dentro da máquina secadora. Este gráfico é exibido na Figura 25.

Figura 25 – Gráfico da correlação entre os ganhos de nível de lisura nas secagens no varal e na máquina LSE12

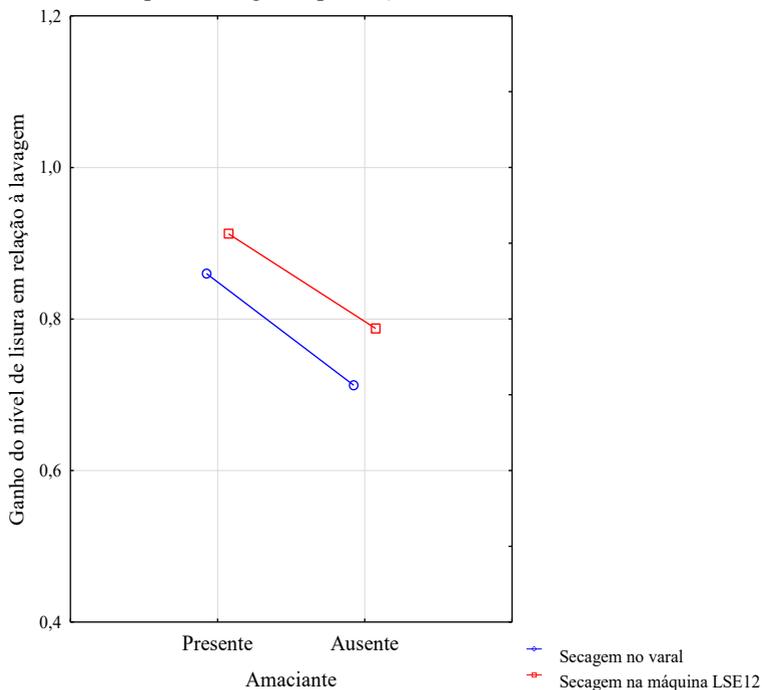


Fonte: o autor (2017)

4.3.2.1 Comparação entre os tipos de secagem e a interferência do amaciante

Comparando as duas formas de secagem, na máquina LSE12 e no varal, adotou-se a análise de variâncias (ANOVA) com a hipótese nula de que os dois métodos fossem iguais em relação ao ganho no nível de lisura frente à lavagem, pois em ambos os casos este valor aumentou, decorrente de uma diminuição da quantidade de rugas nos substratos após as secagens. A presença de amaciante não foi significativa em 0,05 para o aumento do ganho do nível de lisura, porém observa-se na Figura 26 que há uma pequena melhora na diminuição da quantidade de rugas (aumento do nível) quando o substrato carrega o amaciante da lavagem. Na Figura 26 ainda está disposta a comparação entre os ganhos da secagem na máquina LSE12 e os da secagem no varal, os quais não tiveram ganhos significativos.

Figura 26 – Variação do ganho do nível de lisura na secagem frente à lavagem, relacionando tipo de secagem e presença de amaciante nas fibras



Fonte: o autor (2017)

Apesar de não ser estatisticamente significativa, a secagem na máquina LSE12 apresenta ligeira vantagem no que se diz respeito à obtenção de um substrato menos amarrotado. Isto é explicado pela dinâmica que o substrato têxtil se movimenta dentro da máquina, além da temperatura da mesma, provocada pela entrada de ar quente que facilita a secagem. Esta movimentação dos substratos na máquina de secar *front-load* é diferente da que ocorre na máquina que efetuou a lavagem. Enquanto que na primeira o substrato gira de baixo para cima, seguido de queda, o segundo rotaciona na horizontal de maneira mais severa. O uso de temperatura, que facilita o rearranjo das fibras, somado a esta dinâmica onde o peso de um substrato acaba forçando com que o amarrotamento se desfaça contribui para que, nesta máquina de secar, ocorra uma diminuição das rugas nos substratos.

No varal os substratos são dispostos na vertical, presos na extremidade superior por grampos. A força que causa o rearranjo das

fibras é o peso do próprio substrato, sem nenhuma outra força mecânica adicional para contribuir na diminuição das rugas, muito menos a ação da temperatura nas fibras para diminuir seu módulo elástico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visou, inicialmente, a realização de uma análise experimental do amarrotamento em substratos têxteis durante lavagens e secagens em máquinas domésticas, com a investigação da influência dos fatores inerentes a uma lavagem, previamente elencados. Entretanto, a falta de confiabilidade no método de medição das rugas nos tecidos levou à exploração da área de automação, com o desenvolvimento de um sistema de medição do amarrotamento por meio de processamento de imagens.

Construiu-se a câmara escura para garantir iluminação uniforme na captação das fotografias das amostras têxteis que foram processadas em *software* programado em *Matlab*, tendo na detecção das bordas de Canny a etapa chave para a mensuração das rugas. A metodologia desenvolvida no processamento de imagem, que serviu de base para o *software* de medição de amarrotamento, bem como a disposição da câmara escura para fotografia, são inéditas na literatura e foram essenciais na sequência do trabalho.

O comparativo com a metodologia adotada pela AATCC, por meio de avaliações visuais mostrou que o processamento de imagem como método de medição é mais confiável que a análise visual, tendo esta a necessidade de um número grande de examinadores para, com a média destas avaliações, se chegar a um valor próximo ao calculado via *software*.

Desta maneira, foi possível realizar os ensaios experimentais com boa confiabilidade dos valores referentes à quantidade de rugas em cada amostra analisada. Nenhum fator foi influente na causa do amarrotamento com nível de significância de 0,05. Todavia, foi possível observar que uma maior velocidade de centrifugação teve maior influência na formação de rugas do que o aumento da temperatura de água, que por sua vez foi mais impactante que a quantidade de amaciante.

O desenvolvimento do sistema de medição de amarrotamento via processamento de imagem e a relação da lavagem doméstica com a causa das rugas nos tecidos 100% algodão estão dispostos em forma de artigo para publicação em revista no Apêndice D.

Tanto a secagem forçada em máquina de secar LSE12, quanto a natural em varal se mostraram favoráveis ao ganho do nível de lisura pelo substrato em relação à lavagem, com o tipo de secagem não sendo significativo em 0,05, apesar da máquina levar uma pequena vantagem nestes resultados. Da mesma forma, o amaciante proveniente da

lavagem carregado pelas fibras contribuiu de forma não significativa para um maior ganho deste nível de lisura pela secagem.

Para trabalhos futuros, sugere-se avaliar fatores não elencados neste, como perfil de ciclo de lavagem, que leva em conta a velocidade de rotação do agitador, a carga de substrato e quantidade de água que adentram na máquina, investigando a diferença de uma lavagem com carga próxima à máxima nominal da máquina de uma no nível mínimo.

A secagem se mostrou uma etapa interessante a ser estudada mais a fundo, uma vez que a temperatura e a água são fatores importantes na causa e consolidação do amarrotamento.

Um projeto visando compreender tanto micro quanto macroscopicamente a relação de forças externas, atrito e temperatura atuando sobre a fibra, como também a sua interação com a água seria importante para se estimar métodos de lavagem e secagem a fim de se reduzir a formação de rugas em substratos têxteis.

REFERÊNCIAS

ABRIL, H. C.; MILLN, M. S.; VALENCIA, E. Influence of the wrinkle perception with distance in the objective evaluation of fabric smoothness. **Journal of Optics A: Pure and Applied Optics**, v. 10, n. 10, p. 1–10, 2008.

ACCAME, M.; DE NATALE, F. G. B. Edge detection by point classification of Canny filtered images. **Signal Processing**, v. 60, n. 1, p. 11–22, 1997.

ADUMITROAIE, A.; BARBERO, E. J. Beyond plain weave fabrics - I. geometrical model. **Composite Structures**, v. 93, n. 5, p. 1424–1432, 2011.

AGARWAL, G.; KOEHL, L.; PERWUELZ, A.; LEE, K. S. Interaction of textile parameters, wash-ageing and fabric softener with mechanical properties of knitted fabrics and correlation with textile-hand. I. Interaction of textile parameters with laundry process. **Fibers and Polymers**, v. 12, n. 5, p. 670–678, 2011.

AGARWAL, G.; KOEHL, L.; PERWUELZ, A. The Influence of Constructional Properties of Knitted Fabrics on Cationic Softener Pick Up and Deposition Uniformity. **Textile Research Journal**, v. 80, n. 14, p. 1432–1441, 2010.

AGGARWAL, D. K. **Textile and Laundry in Hotel Industry**. Delhi: Global Media, 2009.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A Química do Processamento Têxtil. **Química nova**, v. 19, n. 3, p. 320–330, 1996.

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS – AATCC. **AATCC Technical Manual**. Durham: American Association of Textile and Colorists, 2010.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

BRITANNICA ACADEMIC. **Encyclopedia Britannica Inc.** Disponível em: <<http://academic-eb->

britannica.ez46.periodicos.capes.gov.br/EBchecked/topic/283261/image-processing>. Acesso em: 12 abr. 2016.

CAN, Y.; AKAYDIN, M. Effects of laundering process on abrasion and wrinkle resistance of cotton plain fabric. **Tekstil ve Konfeksiyon**, v. 23, n. 1, p. 49–54, 2013.

CANNY, J. A computational approach to edge detection. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**, v. 8, n. 6, p. 679–698, 1986.

COOK, J. G. **Handbook of Textile Fibres**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001a. v. 2

COOK, J. G. **Handbook of Textile Fibres**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001b. v. 1

DING, L.; GOSHTASBY, A. On the canny edge detector. **Pattern Recognition**, v. 34, n. 3, p. 721–725, 2001.

EDVARDBSEN, S. **Classification of Images using Color , CBIR Distance Measures and Genetic Programming**. [s.l.] Norwegian University of Science and Technology, 2006.

ELECTROLUX. **Lava e Seca Top Load Wi-Fi 12Kg (LSW12)**. Disponível em: <<http://loja.electrolux.com.br/lava-seca-top-load-wifi-12kg-lsw12-electrolux/p>>. Acesso em: 3 fev. 2017a.

ELECTROLUX. **Lavadora e Secadora Eco Vapor 12kg (LSE12)**. Disponível em: <<http://www.electrolux.com.br/produtos/lavanderia/lava---seca/lse12/>>. Acesso em: 3 fev. 2017b.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 3. ed. Nova Jérsei: Pearson Prentice Hall, 2008.

GORDON, S.; HSIEH, Y.-L. **Cotton: Science and technology**. Cambridge, Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, CRC Press, The Textile Institute, 2007.

GOULART, J. T.; BASSANI, R. A.; BASSANI, J. W. M. Application

based on the Canny edge detection algorithm for recording contractions of isolated cardiac myocytes. **Computers in Biology and Medicine**, v. 81, n. May 2016, p. 106–110, 2017.

GULRAJANI, M. L. **Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles**. Oxford, Cambridge, Filadélfia, Nova Déli: Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, 2013.

HIGGINS, L.; ANAND, S.; HOLMES, D.; HALL, M.; UNDERLY, K. Effects of various home laundering practices on the dimensional stability, wrinkling, and other properties of plain woven cotton fabrics: Part II: Effect of rinse cycle softener and drying method and of tumble sheet softener and tumble drying time. **Textile Research Journal**, v. 73, n. 5, p. 407–420, 2003.

HÖSCHL, C.; FLUSSER, J. Robust histogram-based image retrieval. **Pattern Recognition Letters**, v. 69, p. 72–81, 2016.

IWABUCHI, S.; KAKAZU, Y.; KOH, J. Y.; CHARLES HARATA, N. Evaluation of the effectiveness of Gaussian filtering in distinguishing punctate synaptic signals from background noise during image analysis. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 223, p. 92–113, 2014.

JAMSHAID, H.; HUSSAIN, T.; MALIK, Z. A. Comparison of regression and adaptive neuro-fuzzy models for predicting the bursting strength of plain knitted fabrics. **Fibers and Polymers**, v. 14, n. 7, p. 1203–1207, 2013.

JAYARAMAN, S.; ESAKKIRAJAN, S.; VEERAKUMAR, T. **Digital Image Processing**. Nova Déli: Tata McGraw Hill Education Privated Limited, 2009.

KANG, T.; MOON, S. J. Effects of Epoxide and Silicone Polymers on the Mechanical and Performance Properties of Wool Fabric. **Textile Research Journal**, v. 70, n. 12, p. 1063–1069, 2000.

KARTHIK, T.; RATHINAMOORTHY, R.; MURUGAN, R. Enhancement of wrinkle recovery angle of cotton fabric using citric acid cross-linking agent with nano-TiO₂ as a co-catalyst. **Journal of Industrial Textiles**, v. 1, p. 1–10, 2012.

KEKRE, H. B.; SONAWANE, K. Image Retrieval Using Histogram

Based Bins of Pixel Counts and Average of Intensities. **Journal of Computer Science**, v. 10, n. 1, p. 74–79, 2012.

KOZLOWSKI, R. M.; MACKIEWICZ-TALARCZYK, M. **Handbook of Natural Fibers**. Oxford: Woodhead Publishing Limited, 2012. v. 1

KUZUHARA, A.; HORI, T. Reducing Wrinkle Formation in Wool with 2-Iminothiorane Hydrochloride. **Textile Research Journal**, v. 72, p. 285–289, 2002.

LI, J.; LU, B.-L. An adaptive image Euclidean distance. **Pattern Recognition**, v. 42, n. 3, p. 349–357, 2009.

LIU, C.; FU, Y.; WU, N. Novel testing equipment for fabric wrinkle resistance simulating actual wear. **Textile Research Journal**, v. 84, n. 10, p. 1059–1069, 2014.

LONG, B. **Complete Digital Photography**. 4. ed. [s.l.] Charles Rivier Media, 2007.

MEMARIAN, F.; AMANI-TEHRAN, M.; LATIFI, M. Rank ordering and image processing methods aided fabric wrinkle evaluation. **Fibers and Polymers**, v. 12, n. 6, p. 830–835, 2011.

MIRJALILI, S. A.; EKHTIYARI, E. Wrinkle assessment of fabric using image processing. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, v. 82, n. 5, p. 60–63, 2010.

MISHRA, R.; BEHERA, B. K. Measurement of fabric wrinkle using digital image processing. **Indian Journal of Fibre & Textile Research**, v. 33, n. March, p. 30–36, 2008.

MORTAZAVI, S. M.; MOGHADAM, M. K. Introduction of a New Vegetable Fiber for Textile Application. v. 113, n. February, p. 3307–3312, 2009.

MORTON, W. E.; HEARLE, J. W. S. **Physical properties of textile fibres**. Boca Raton, Boston, Nova Iorque, Washington: Woodhead Publishing Limited, CRC Press, The Textile Institute, 2008.

MUSSIG, J. **Industrial Applications of Natural Fibres**. Bremen: John

Wiley & Sons, 2010.

NEEDLES, H. L. **Textile Fibers, Dyes Finishes, And Processes: A Concise Guide**. Davis: Noyes Publications, 1986.

QUAYNOR, L.; TAKAHASHI, M.; NAKAJIMA, M. Effects of Laundering on the Surface Properties and Dimensional of Plain Knitted Fabrics. **Textile Research Journal**, v. 756, n. 1985, p. 28–35, 2000.

SCHINDLER, W. D.; HAUSER, P. J. **Chemical finishing of textiles**. Boca Raton, Boston, Nova Iorque, Washington: Woodhead Publishing Limited, CRC Press, The Textile Institute, 2004.

SHESKIN, D. **Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures**. 2. ed. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2000. v. 43

SILVA, J. R. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado pro sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. [s.l.] Universidade Federal do Pará, 2008.

SIM, K. S.; TSO, C. P.; TAN, Y. Y. Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images. **Pattern Recognition Letters**, v. 28, n. 10, p. 1209–1221, 2007.

SOBOYEJO, W. **Mechanical Properties of Engineered Materials**. Nova Jérsei: Marcel Dekker, 2002.

VERMA, K.; SINGH, B. K.; THOKE, A. S. An Enhancement in Adaptive Median Filter for Edge Preservation. **Procedia Computer Science**, v. 48, n. Iccc, p. 29–36, 2015.

XU, Q.; VARADARAJAN, S.; CHAKRABARTI, C.; KARAM, L. J. A distributed canny edge detector: Algorithm and FPGA implementation. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 23, n. 7, p. 2944–2960, 2014.

ZAOUALI, R.; MSAHLI, S.; SAKLI, F. Fabric wrinkling evaluation: a method developed using digital image analysis. **Journal of the Textile Institute**, v. 101, n. 12, p. 1057–1067, 2010.

ZHOU, H.; WU, J.; ZHANG, J. **Digital Image Processing - Part II**.
Copenhagen: Bookboon, 2010.

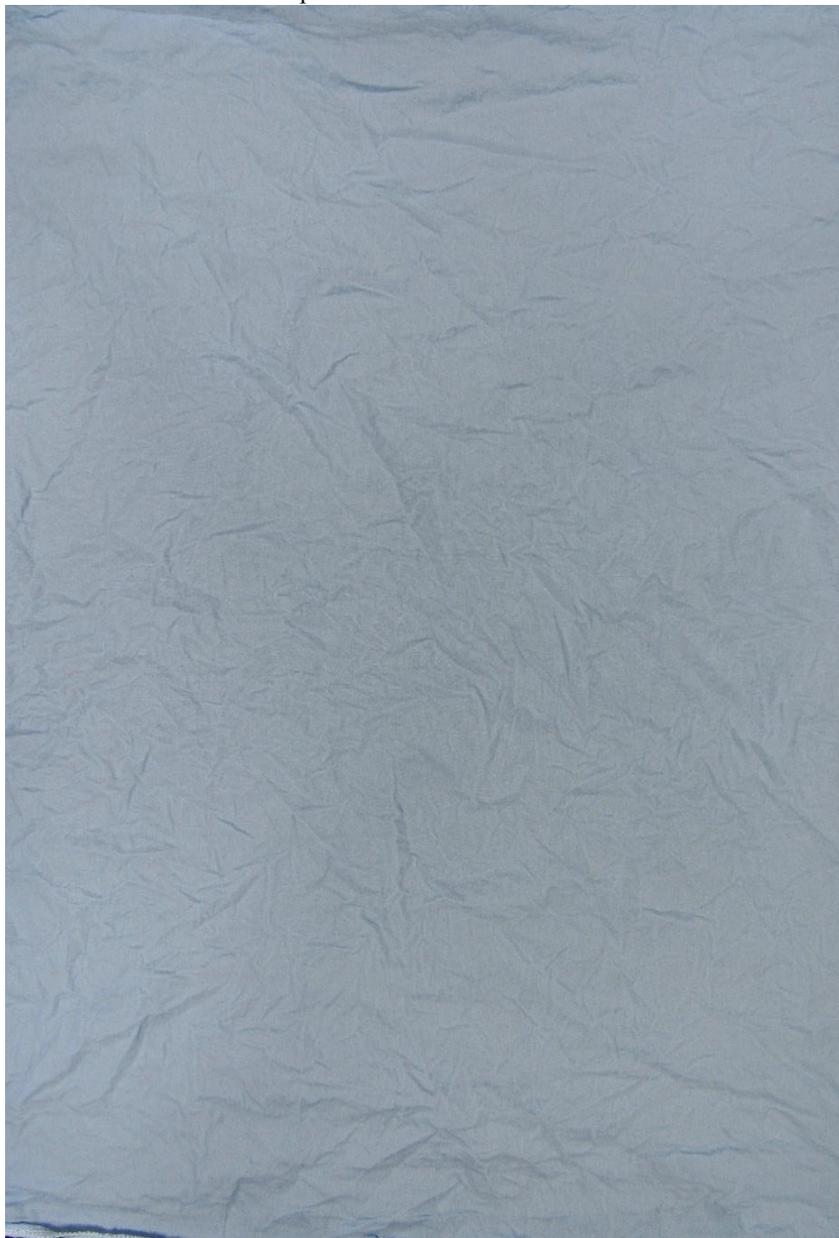
ZUBER, M.; ZIA, K. M.; TABASSUM, S.; JAMIL, T.; BARKAAT-
UL-HASIN, S.; KHOSA, M. K. Preparation of rich handles soft
cellulosic fabric using amino silicone based softener, part II:
Colorfastness properties. **International Journal of Biological
Macromolecules**, v. 49, n. 1, p. 1–6, 2011.

APÊNDICE A – Padrões com níveis de lisura de 1 a 5 baseados na AATCC

Nível de lisura 1 baseado no padrão AATCC



Nível de lisura 2 baseado no padrão AATCC



Nível de lisura 3 baseado no padrão AATCC



Nível de lisura 4 baseado no padrão AATCC



Nível de lisura 5 baseado no padrão AATCC



APÊNDICE B – Amostras da comparação dos métodos de medição de amarrotamento

AMOSTRA A

Nível de lisura via *software*: 1,43

Média dos níveis avaliados visualmente: 1,21



AMOSTRA B

Nível de lisura via *software*: 3,27

Média dos níveis avaliados visualmente: 2,68



AMOSTRA C

Nível de lisura via *software*: 2,04

Média dos níveis avaliados visualmente: 2,08



AMOSTRA D

Nível de lisura via *software*: 3,97

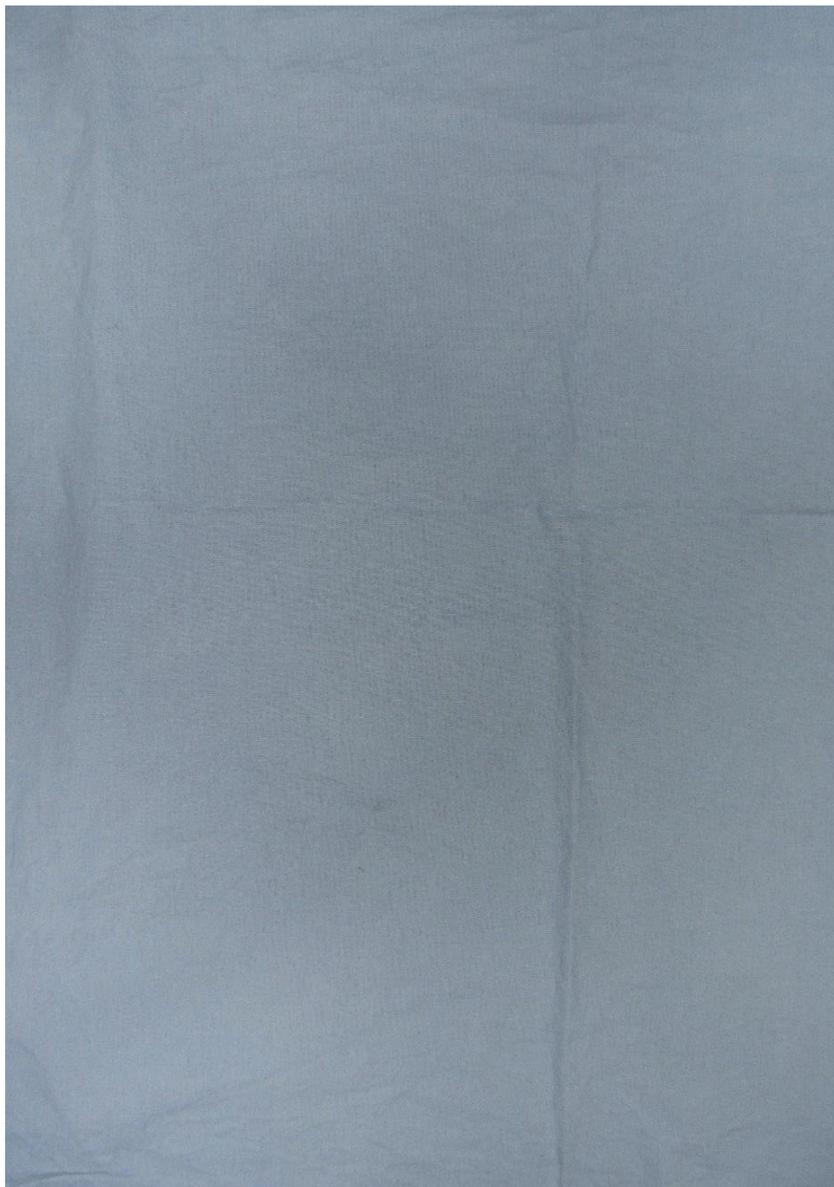
Média dos níveis avaliados visualmente: 4,05



AMOSTRA E

Nível de lisura via *software*: 3,99

Média dos níveis avaliados visualmente: 3,79



AMOSTRA F

Nível de lisura via *software*: 3,94

Média dos níveis avaliados visualmente: 3,55



AMOSTRA G

Nível de lisura via *software*: 3,55

Média dos níveis avaliados visualmente: 2,53



AMOSTRA H

Nível de lisura via *software*: 4,76

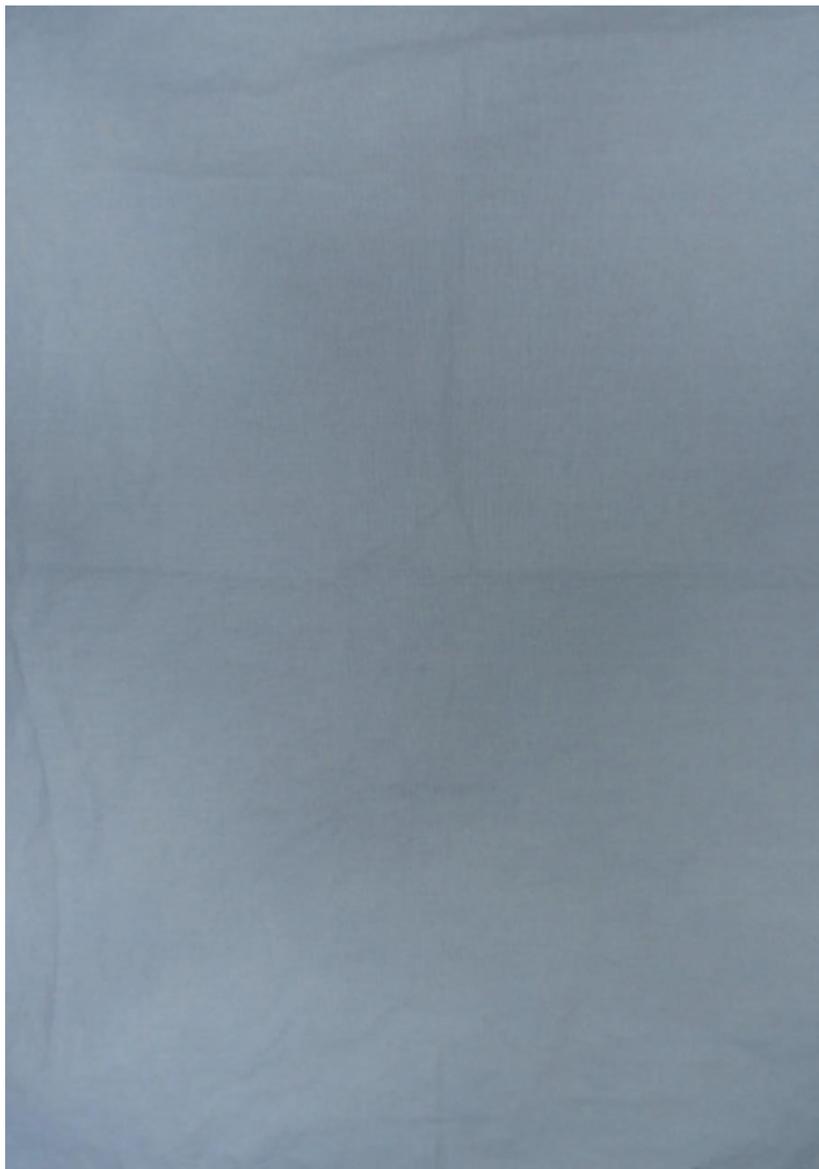
Média dos níveis avaliados visualmente: 3,68



AMOSTRA I

Nível de lisura via *software*: 4,30

Média dos níveis avaliados visualmente: 3,82



AMOSTRA J

Nível de lisura via *software*: 1,95

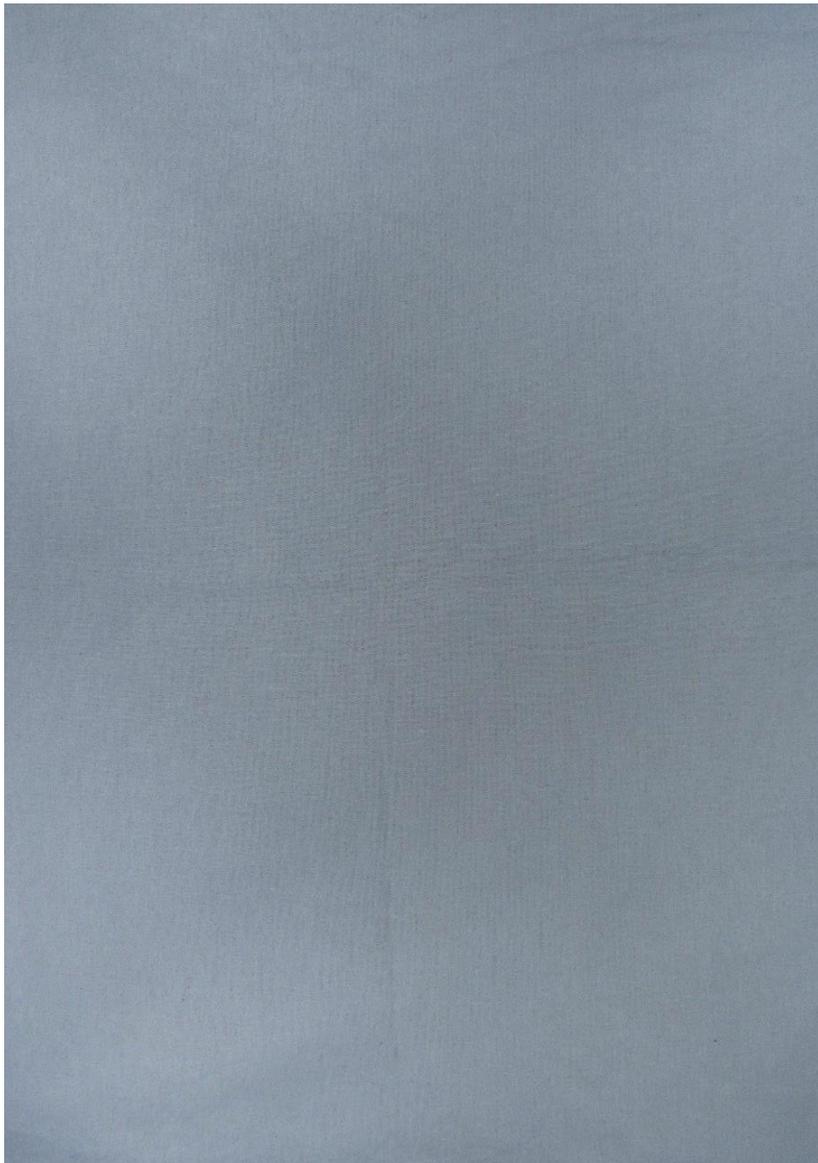
Média dos níveis avaliados visualmente: 1,00



AMOSTRA K

Nível de lisura via *software*: 4,50

Média dos níveis avaliados visualmente: 4,78



AMOSTRA L

Nível de lisura via *software*: 2,78

Média dos níveis avaliados visualmente: 2,13



APÊNCIDE C – Níveis de lisura das 12 amostras definidos pelos 38 avaliadores

(continua)

Avaliador	Amostra											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1	3	2	4	5	4	4	4	5	1	5	2
2	2	3	2	4	4	4	3	5	5	1	5	3
3	3	4	4	5	4	4	4	3	4	1	5	2
4	1	3	2	5	4	3	3	2	3	1	5	2
5	1	2	1	4	4	3	3	4	5	1	5	2
6	1	3	2	4	4	4	3	4	5	1	5	3
7	1	3	3	4	4	4	3	4	5	1	5	2
8	1	3	2	5	3	3	3	4	4	1	5	2
9	1	3	2	4	4	4	2	3	4	1	5	2
10	1	3	2	5	3	4	3	4	4	1	5	2
11	1	2	2	5	3	4	2	3	3	1	5	2
12	1	2	2	3	4	4	3	5	4	1	5	2
13	1	2	3	4	4	4	2	3	4	1	5	2
14	1	2	2	3	4	4	2	4	3	1	5	2
15	1	3	2	3	4	4	2	4	3	1	5	2
16	1	3	2	5	4	3	2	4	3	1	5	2
17	1	3	3	4	4	4	4	5	4	1	5	3
18	2	3	2	4	4	4	2	4	5	1	5	2
19	1	3	2	5	4	3	3	4	4	1	5	2
20	1	3	2	4	3	4	2	4	4	1	4	2
21	1	2	2	3	4	4	2	3	3	1	4	2

(conclusão)

Avaliador	Amostra											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
22	1	3	2	4	4	3	2	3	4	1	5	2
23	2	3	3	5	5	3	3	4	4	1	5	2
24	1	2	2	4	3	3	2	3	4	1	4	2
25	1	3	2	4	4	2	2	4	5	1	5	2
26	1	2	2	4	4	4	3	4	4	1	4	2
27	1	2	2	3	3	4	2	4	4	1	5	2
28	1	3	2	4	4	3	3	4	3	1	1	2
29	2	2	2	4	4	4	2	3	3	1	4	2
30	1	2	1	4	3	3	2	2	2	1	4	2
31	2	3	2	4	4	4	3	5	5	1	5	2
32	1	2	2	4	3	4	3	5	3	1	5	3
33	1	3	1	3	3	3	2	3	4	1	5	2
34	1	3	2	4	4	3	2	3	3	1	4	2
35	1	3	2	5	4	3	2	3	3	1	5	2
36	1	3	2	3	3	4	2	4	3	1	5	2
37	1	2	2	4	4	3	2	3	3	1	5	2
38	2	3	2	4	4	3	2	3	4	1	5	3