



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

José Marcelo Honório Ferreira Barros

**LAVAGEM E SECAGEM DOMÉSTICA: COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR,
PARÂMETROS DOS PROCESSOS E ANÁLISE DO AMARROTAMENTO DE
TECIDOS DE ALGODÃO E DE LINHO**

Florianópolis
2020

José Marcelo Honório Ferreira Barros

**LAVAGEM E SECAGEM DOMÉSTICA: COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR,
PARÂMETROS DOS PROCESSOS E ANÁLISE DO AMARROTAMENTO DE
TECIDOS DE ALGODÃO E DE LINHO**

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

Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle
Coorientador: Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia S. C. Valle
Prof.^a Dr.^a Ana Julia Dal Forno

Florianópolis

2020

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

Barros, José Marcelo Honório Ferreira

Lavagem e secagem doméstica: comportamento do consumidor, parâmetros dos processos e análise do amarrotamento de tecidos de algodão e de linho / José Marcelo Honório Ferreira Barros ; orientador, José Alexandre Borges Valle, coorientadora, Rita de Cassia Siqueira Curto Valle, coorientadora, Ana Julia Dal Forno, 2020.

122 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Química. 2. Comportamento do consumidor. 3. Lavanderia. 4. Processamento de imagem. 5. Nivel de lisura. I. Borges Valle, José Alexandre. II. Siqueira Curto Valle, Rita de Cassia. III. Dal Forno, Ana Julia IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. V. Título.

José Marcelo Honório Ferreira Barros

Lavagem e secagem doméstica: comportamento do consumidor, parâmetros dos processos e análise do amarrotamento de tecidos de algodão e de linho

Banca examinadora:

Prof.^a Liane Mahlmann Kipper, Dr.^a
Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.^a Cintia Marangoni, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química.

Prof.^a Débora de Oliveira, Dr.^a
Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química

Prof. José Alexandre Borges Valle, Dr.
Orientador

Prof.^a Rita de Cassia Siqueira Curto Valle, Dr.^a
Coorientadora

Prof.^a Ana Julia Dal Forno, Dr.^a
Coorientadora

Florianópolis, 2020.

Dedico este trabalho aos meus pais, Elza e Marcelo, e às minhas irmãs, Renata e Carol, por todo apoio, compreensão e estímulo durante esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Elza e ao meu pai, Marcelo, por todo ensinamento, amor, compreensão e apoio incondicional. Em especial à minha mãe, meu espelho de vida, que nunca mediu esforços para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.

Às minhas irmãs, Carol e Renata, por todo apoio e incentivo. Vocês, mesmo à distância, sempre estiveram presentes.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle, obrigado pela oportunidade e confiança em mim depositada, por todo suporte, orientação, paciência e compreensão durante toda essa jornada.

Às minhas coorientadoras, Prof.^a Dr.^a Rita de Cassia Siqueira Curto Valle e Prof.^a Dr.^a Ana Julia Dal Forno, por todos os conselhos, dúvidas sanadas, conhecimentos partilhados e direcionamentos importantes para a conclusão deste trabalho.

Ao Sálvio Neto pela disponibilidade em me auxiliar durante a realização do trabalho e por toda contribuição prestada.

Ao professor Cláudio Loesch por toda paciência, dedicação e ajuda na análise dos dados estatísticos do questionário.

Aos amigos da UFSC, em especial, Karina Andrade, Joiceane Azolim e Caroline Torres por terem sido minha família durante a minha estadia em Florianópolis e por tornarem o mestrado mais leve.

Às amigas Leila Falani e Letícia Fantinati por toda ajuda e companheirismo durante minha estadia em Blumenau.

Aos demais amigos da UFSC (Patrícia Oliveira, Bianca Castro, Heloísa Madalosso, Rayane Andrade, Letícia Silveira, Andresa Rodrigues e Bruno Magalhães), pelas conversas, angústias e alegrias compartilhadas.

Aos professores do Posenq e do Pgetex, que tive a oportunidade de conhecer, muito obrigado por todo o conhecimento transmitido.

À Electrolux pela concessão da lava & seca e ao engenheiro Luiz Campos pelas dúvidas sanadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Mestrado.

A todos que torceram por mim, meu muito obrigado!

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

(Marcel Proust)

RESUMO

Os utensílios domésticos têm a finalidade de garantir maior praticidade e conforto aos seus usuários, no entanto, essa prática nem sempre ocorre. Entre as atividades domésticas que necessitam de um longo período de tempo, destacam-se as etapas de lavar, secar e passar artigos de vestuário. Os processos de lavagem e secagem têm como principal função remover as sujidades e entregar as roupas limpas e secas, porém, essas atividades de lavanderia apresentam como inconveniente a diminuição da suavidade dos artigos têxteis. Diante disso, este estudo objetivou (i) diagnosticar o comportamento do consumidor quanto à atividade de lavanderia e (ii) correlacionar o amarrotamento gerado nos tecidos de algodão e de linho com a remoção de água resultante dos processos de lavagem e secagem doméstica. Para tanto, 255 entrevistados foram consultados por meio de uma pesquisa de caráter exploratório e descritivo. A análise dos dados ocorreu por meio da estatística descritiva, análises de correlação e Árvore de Decisão (AD). Na parte experimental, foi utilizado o processamento de imagem para quantificar o nível de lisura dos tecidos. Diferentes condições de lavagem foram verificadas por meio de planejamento fatorial 2^4 a fim de avaliar a influência dos parâmetros de lavagem no amarrotamento dos tecidos. Diferentes ciclos de secagem em secadora doméstica e a secagem em varal também foram analisados a fim de identificar tendências de enrugamento, e a relação existente entre o enrugamento dos tecidos e os parâmetros de umidade. Além disso, a influência do amaciante no processo de enxágue também foi avaliada na diminuição do enrugamento dos tecidos. Os resultados obtidos por meio do questionário mostraram que são realizadas de uma a três lavagens semanais, com a capacidade máxima da lavadora e após isso as roupas são secas em varal e posteriormente passadas. A secadora doméstica foi o aparelho que apresentou maior consumo energético, mas, está presente em menos de 10 % das residências dos entrevistados. Além disso, a atividade doméstica unitária mais cansativa assinalada pelos respondentes foi a de passar roupas. Ao analisar os resultados da parte experimental através dos processos de lavagem e secagem doméstica, constatou-se que a carga de lavagem foi o fator em comum que se mostrou estatisticamente significativo para o enrugamento do tecido após secagem em secadora doméstica e em varal. Já quantidade de enxágues, tipo de centrifugação e carga de lavagem foi influente quanto ao enrugamento dos tecidos postos para secar em varal. O tecido de linho apresentou menor quantidade de rugas, quando comparado ao tecido de algodão e a utilização de amaciante reduziu o enrugamento dos tecidos em todos os tratamentos. Dentre os tipos de secagem, a secagem em varal proporcionou menor quantidade de rugas. A partir dos dados desse estudo foi possível desenvolver uma metodologia de lavagem e secagem para orientar consumidores desses aparelhos domésticos a entregar os tecidos com uma aparência mais suave.

Palavras-chave: Comportamento do consumidor. Lavanderia. Processamento de imagem. Nível de lisura. Fibras celulósicas.

ABSTRACT

Household items have the purpose of guaranteeing greater practicality and comfort to its users; however, this practice does not always occur. Among the domestic activities that require a long time, the steps of washing, drying, and ironing garments stand out. The washing and drying processes have the main function of removing dirt and delivering clean and dry clothes; however, these laundry activities have the inconvenience of reducing textile articles' softness. Therefore, this study aimed to (i) diagnose consumer behavior regarding laundry activities and (ii) correlate the wrinkling generated in cotton and linen fabrics with the removal of water resulting from domestic washing and drying processes. Therefore, 255 interviewees were consulted through exploratory and descriptive research. Data analysis was performed using descriptive statistics, correlation analysis, and Decision Tree (DT). In the experimental part, image processing was used to quantify the smoothness level of the fabrics. Different washing conditions were verified through factorial planning 2^4 to assess the influence of washing parameters on the fabrics' wrinkling. Different drying cycles in a domestic dryer and drying on a clothesline were also analyzed to identify wrinkling trends and the relationship between the wrinkling of fabrics and moisture parameters. The influence of the fabric softener on the rinsing process was also evaluated in reducing the wrinkling of the materials. The results obtained through the questionnaire showed that one to three washes were carried out weekly, with the maximum capacity of the washer, and after that, the clothes were dried on a clothesline and then ironed. The domestic dryer was the appliance that presented the highest energy consumption, but it is present in less than 10 % of the interviewees' homes. Also, the most tiring domestic activity reported by respondents was ironing clothes. When analyzing the results of the experimental part through the domestic washing and drying processes, it was found that the washing load was the common factor that proved to be statistically significant for the wrinkling of the fabric after drying in a domestic dryer. The number of rinses, the type of centrifugation, and the washing load was influential in terms of the wrinkling of the fabrics used to dry on the clothesline. The linen fabric showed fewer wrinkles than cotton fabric, and the use of fabric softener reduced the wrinkling of the materials in all treatments. Among the types of drying, drying on a clothesline provided fewer wrinkles. From this study's data, it was possible to develop a washing and drying methodology to guide consumers of these household appliances to deliver the fabrics with a smoother appearance.

Keywords: Consumer behavior. Laundry. Image processing. Smoothness level. Cellulosic fibers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Diagrama esquemático da estrutura de um tecido típico e sua dupla porosidade devido a espaços entre fios e espaços entre as fibras dos fios.	19
Figura 2.2 – Estrutura dos três tipos de tecidos: (a) tecido; (b) malha; (c) não tecido.	22
Figura 2.3 – Representação gráfica do tecido plano.	23
Figura 2.4 – Lavadora de carregamento superior.	25
Figura 2.5 – Lavadora de carregamento frontal.	25
Figura 2.6 – Diagrama esquemático de uma secadora de condensação.	30
Figura 2.7 – Diagrama esquemático de uma secadora de ventilação.	31
Figura 2.8 – Amostras padrão da AATCC.	33
Figura 2.9 – Imagem capturada (a) e imagem após detecção das bordas de Canny (b).	37
Figura 2.10 – Processamento da imagem: (a) imagem colorida; (b) escala de cinza; (c) imagem melhorada; (d) redução de ruído; (e) imagem binária; (f) bordas detectadas.	34
Figura 2.11 – Diagrama dos passos realizados no software, desde a leitura da imagem até a determinação do nível de lisura do tecido.	35
Figura 2.12 – Diagramas conceituais para vários movimentos do tecido em lavadora com carregamento frontal.	38
Figura 3.1 – Procedimento metodológico utilizado.	48
Figura 3.2 – Tipo de máquina de lavar doméstica presente nas residências.	52
Figura 3.3 – Quantidade de ciclos de lavagem semanais.	53
Figura 3.4 – Programa de lavagem mais utilizado.	54
Figura 3.5 – Tempo médio destinado a lavar roupas.	55
Figura 3.6 – Utilização da capacidade máxima da lavadora.	56
Figura 3.7 – Motivo de usar amaciante.	57
Figura 3.8 – Atividade doméstica mais cansativa.	59
Figura 3.9 – Etapa mais cansativa do processo de lavanderia.	60
Figura 3.10 – Tempo destinado a passar roupas.	61
Figura 3.11 – Artigos têxteis que são passados.	62
Figura 3.12 – Árvore de decisão para o tempo destinado a passar artigos têxteis.	64
Figura 4.1 – Perfil de temperatura da carga de lavagem durante os três programas de secagem executados.	79

Figura 4.2 – Esquema das etapas realizadas para avaliação da influência do tipo de secagem sobre o nível de lisura dos tecidos.	80
Figura 4.3 – Fluxograma das etapas realizadas no software para quantificar o nível de lisura.	84
Figura 4.4 – Imagem do tecido de linho (a) RGB, (b) em escala de cinza, (c) após filtragem da mediana, (d) após realce da nitidez e (e) após detecção das bordas de Canny.....	84
Figura 4.5 – Massa de água evaporada nos tecidos durante os diferentes tipos de secagem. ..	93
Figura 4.6 – Taxa de secagem nos tecidos durante os diferentes tipos de secagem.....	94
Figura 4.7 – Comparativo entre o enrugamento gerado entre os diferentes tipos de secagem (a) Normal, (b) Passa-fácil, (c) Extrasseco, (d) Varal.....	97
Figura 4.8 – Absorção de umidade na molécula de celulose.	99
Figura 4.9 – Nível de lisura dos tecidos após lavagem e secagem em lavadora e secadora doméstica.	101
Figura 4.10 – Relação entre o nível de lisura e grau de extração de água na secadora em programa normal.....	102
Figura 4.11 – Relação entre o nível de lisura e grau de extração de água na secadora em programa extrasseco.	103
Figura 4.12 – Relação entre o nível de lisura e grau de extração de água na secadora em programa passa-fácil.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição química de diferentes fibras naturais.	20
Tabela 2.2 – Trabalhos que retratam o desempenho de secagem em diferentes secadoras.	29
Tabela 2.3 – Fatores que influenciaram o amarrotamento após lavagem e secagem.	39
Tabela 3.1 – Características demográficas da amostra estudada.	51
Tabela 3.2 – Consumo energético nas atividades de lavanderia.	58
Tabela 4.1 – Características dos tecidos utilizados no estudo.	75
Tabela 4.2 – Características do tecido utilizado como carga.	75
Tabela 4.3 – Níveis de cada fator avaliado no planejamento fatorial.	76
Tabela 4.4 – Design experimental.	76
Tabela 4.5 – Configurações disponíveis na máquina LSI 09.	77
Tabela 4.6 – Nível de lisura dos tecidos após secagem doméstica em secadora e em varal. ...	87
Tabela 4.7 – Efeitos significativos para o nível de lisura do tecido após secagem.	88
Tabela 4.8 – Valores obtidos para o tecido de algodão após diferentes programas de secagem em máquina.	95
Tabela 4.9 – Valores obtidos para o tecido de linho após diferentes programas de secagem em máquina.	96
Tabela 4.10 – Estimativa do parâmetro de desempenho de secagem SMER em diferentes programas de secagem.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AATCC	Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis, do inglês American Association of Textile and Colorists
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Árvore de Decisão
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANOVA	Análise de variância
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
p	Nível de significância
PPH	Pesquisa de Posses e Hábitos
RGB	Vermelho, Verde e Azul, do inglês Red, Green and Blue
SM	Salário Mínimo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	FIBRAS TÊXTEIS	19
2.1.1	Morfologia das fibras têxteis	20
2.1.2	Algodão	21
2.1.3	Linho	21
2.2	TECIDOS	22
2.3	PROCESSO DE LAVAGEM.....	23
2.3.1	Máquinas de lavar	24
2.3.2	Produtos utilizados na lavagem doméstica.....	26
2.4	PROCESSO DE SECAGEM.....	28
2.5	PROCESSO DE ALISAMENTO DOS TECIDOS	31
2.6	GRAU DE SUAVIDADE EM ARTIGOS TÊXTEIS.....	32
2.6.1	Método AATCC 124	32
2.6.2	Análise do amarrotamento por meio de processamento de imagem	33
2.6.3	Técnica de processamento de imagem	35
<i>2.6.3.1</i>	<i>Processo de filtragem</i>	<i>35</i>
<i>2.6.3.1.1</i>	<i>Filtro da mediana</i>	<i>36</i>
<i>2.6.3.1.2</i>	<i>Filtro gaussiano.....</i>	<i>36</i>
<i>2.6.3.2</i>	<i>Detecção de bordas</i>	<i>36</i>
2.7	ESTUDO DO MOVIMENTO DO TECIDO EM LAVADORA DOMÉSTICA..	37

2.8	FATORES QUE INFLUENCIAM O AMARROTAMENTO DOS TECIDOS...	39
3	TEMPO DESTINADO À ATIVIDADE DE LAVANDERIA: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR E CONSUMO ENERGÉTICO	43
3.1	INTRODUÇÃO	43
3.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	45
3.3	METODOLOGIA	47
3.4	RESULTADOS	51
3.4.1	Perfil do consumidor	51
3.4.2	Características e hábitos de lavagem	52
3.4.3	Consumo energético nas tarefas de lavanderia	57
3.4.4	Etapa mais cansativa entre as atividades domésticas	59
3.4.5	Tempo destinado a passar roupas	61
3.5	DISCUSSÃO	65
3.5.1	Contribuições e implicações gerais	68
3.5.2	Limitações e sugestões para futuras pesquisas	68
3.6	CONCLUSÕES	69
4	ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE SECAGEM E QUANTIFICAÇÃO DA LISURA DOS TECIDOS DE ALGODÃO E DE LINHO POR MEIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM	71
4.1	INTRODUÇÃO	71
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	74
4.2.1	Material	74
4.2.2	Métodos	75
<i>4.2.2.1</i>	<i>Planejamento fatorial dos ensaios de lavagem</i>	<i>75</i>
<i>4.2.2.1.1</i>	<i>Análise estatística</i>	<i>77</i>
<i>4.2.2.2</i>	<i>Lavagem</i>	<i>77</i>
<i>4.2.2.2.1</i>	<i>Uso de produto amaciante</i>	<i>78</i>
<i>4.2.2.3</i>	<i>Secagem</i>	<i>79</i>

4.2.2.3.1	Grau de acréscimo de água no tecido	81
4.2.2.3.2	Quantidade de água evaporada no tecido	81
4.2.2.3.3	Taxa de evaporação de água	82
4.2.2.3.4	Grau de extração de água no tecido	82
4.2.2.3.5	Taxa de extração de umidade	82
4.2.2.4	<i>Análise do enrugamento do tecido</i>	82
4.2.2.4.1	Conversão de cores em escala de cinza	85
4.2.2.4.2	Processo de filtragem.....	85
4.2.2.4.3	Detecção de bordas de Canny.....	86
4.2.2.4.4	Determinação do nível de lisura	86
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.3.1	Análise do planejamento fatorial dos ensaios de lavagem	88
4.3.2	Análise dos diferentes tipos de secagem	91
4.3.3	Amarrotamento em diferentes processos de secagem	97
4.3.4	Influência do produto amaciante na lisura do tecido	100
4.3.5	Relação existente entre extração de água e lisura do tecido	102
4.4	CONCLUSÕES	105
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
	REFERÊNCIAS	109
	APÊNDICE A – Questionário	119

1 INTRODUÇÃO

As atividades domésticas compreendem um conjunto de tarefas realizadas no âmbito doméstico que são fortemente influenciadas por aspectos sociais, demográficos e pelo padrão de vida dos moradores (LEROY; YANNOU, 2018). Normalmente aparelhos elétricos são utilizados nessas tarefas com a finalidade de reduzir o tempo de duração (BRENČIČ; YOUNG, 2009), sendo esses responsáveis por atenuar esforços físicos e cognitivos, que geralmente as atividades manuais ocasionam. Contudo, alguns desses aparelhos devido ao design desconexo, características de uso não satisfatórias e formato irregular desencadeiam o efeito oposto de potencialização dos esforços (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

Dentre esses afazeres domésticos destaca-se a atividade de lavanderia que compreende as etapas de lavar, secar e passar artigos têxteis. O entendimento dos hábitos empregados nessa tarefa é fundamental para determinar com precisão os fatores mais importantes ao consumidor, que supram suas necessidades e assim ajudem no desenvolvimento de novos produtos.

A atividade de lavanderia representa uma porção significativa do tempo destinado às tarefas desempenhadas nas residências. Diante das possibilidades existentes, os usuários podem escolher a maneira de realizar as atividades e realocar o tempo para outras tarefas. Por exemplo, as roupas podem ser lavadas manualmente ou em lavadoras e podem ser secas em varal ou em secadoras domésticas. Além dessa escolha a ser feita, os consumidores também decidem sobre o programa de lavagem que será utilizado, temperatura de lavagem, dosagem de amaciante e detergente, entre outros. Todos esses fatores afetam o aspecto visual do tecido, que também tem suas propriedades influenciadas pela estrutura, tipo de fio e composição das fibras (ELLMER *et al.*, 2017).

Os processos de lavagem e secagem têm como principal função remover as sujidades e entregar as roupas limpas e secas. No entanto, estas atividades de lavanderia apresentam como inconveniente a diminuição da suavidade dos artigos têxteis. O aspecto amarrotado das roupas é um complicador, pois as pessoas buscam vestir roupas visualmente mais alinhadas, sem a presença de rugas (COLVERO; JUNIOR, 2016).

O amarrotamento do tecido após os processos de lavagem e secagem doméstica vem sendo estudado. Nesses trabalhos, diferentes parâmetros são avaliados a fim de reduzir a quantidade de rugas formadas nos tecidos (ARSLAN *et al.*, 2016; GOCEK *et al.*, 2013; KIM; YUN; PARK, 2019; LIU, H. *et al.*, 2019a, 2019b; YU *et al.*, 2018). O aspecto amarrotado

gerado após essas tarefas é avaliado pelos consumidores ao comprar os aparelhos elétricos de lavanderia (CONRADY; KRUSCHWITZ; STAMMINGER, 2014; FAN, L.; TONG; NIU, 2019). Caso as roupas saiam amarrotadas em demasia após lavagem e secagem, mais tempo será dispendido na tarefa subsequente de alisar os tecidos.

As roupas têm como característica a absorção de umidade, que pode alterar a estrutura da fibra devido à interação existente entre as moléculas de água e as moléculas da fibra. Além disso, a ação de forças momentâneas pode fazer com que as fibras se deformem e quando a força é removida a fibra pode se recuperar da deformação sofrida. Apesar disso, quando essa força perdura por mais tempo, vincos são formados e a remoção da força não permite que a fibra retorne completamente ao seu estado natural (TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012).

A presença de enrugamento em diferentes tecidos, fez com que a Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis (AATCC) produzisse um método que pudesse avaliar a lisura do tecido de maneira qualitativa a partir da atribuição de notas por observadores, mediante comparação com as notas padrão (AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS – AATCC, 2010). Dessa maneira, buscando maior rigor e confiabilidade nas análises, alguns estudos buscaram quantificar o amarrotamento dos diferentes tipos de tecido através de técnicas de processamento de imagem (ABRIL; MILLAN; VALENCIA, 2008; CARVALHO NETO, 2017; LIU, C.; FU; WU, 2014; ZAOUALI; MSAHLI; SAKLI, 2010).

Diante disso, este estudo buscou analisar o comportamento do consumidor catarinense quanto à atividade de lavanderia e classificar a tarefa mais cansativa. A partir dos resultados foi possível traçar uma metodologia capaz de avaliar os fatores responsáveis por amarrotar os tecidos após lavagem e secagem doméstica. Os tecidos de algodão e de linho foram postos para lavar em lavadora de carregamento frontal e foram secos em secadora de condensação e em varal. O nível de lisura foi avaliado por processamento de imagem. Parâmetros de umidade também foram avaliados. Dessa forma, pode ser desenvolvido um procedimento de lavagem com os melhores níveis estudados a fim de obter aparência mais suave dos tecidos após os processos de lavagem e secagem.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Diagnosticar o comportamento do consumidor catarinense quanto à atividade de lavanderia e identificar, por meio de técnica de processamento de imagem, o amarrotamento gerado em tecidos de algodão e de linho após lavagem em lavadora de carregamento frontal, e secagem, em secadora de condensação e em varal.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Examinar os principais hábitos das atividades de lavanderia por meio de aplicação de questionário;
- Avaliar o consumo energético dos principais aparelhos elétricos encontrados nas tarefas de lavanderia;
- Identificar a atividade doméstica mais cansativa;
- Analisar os parâmetros de lavagem, utilizando planejamento experimental fatorial, que causam maior amarrotamento nos tecidos;
- Verificar o amarrotamento gerado após a secagem em varal e secagem em máquina e comparar o amarrotamento em diferentes programas de secagem doméstica;
- Avaliar os parâmetros de secagem e a influência proporcionada ao amarrotamento dos tecidos de algodão e linho após lavagem e secagem doméstica;
- Analisar o efeito do uso de amaciante na etapa de enxágue na suavidade do tecido após a conclusão do ciclo de secagem.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para um melhor entendimento, esta dissertação foi organizada em capítulos.

O capítulo 2 trata da fundamentação teórica em que é apresentada a morfologia, estrutura e particularidades das fibras naturais estudadas nessa pesquisa. Também são abordadas as atividades de lavanderia, em especial as tarefas de lavar e secar artigos têxteis. Os métodos de detecção de amarrotamento propostos na literatura são discutidos, assim como

os principais trabalhos que tratam do enrugamento dos tecidos após os processos de lavagem e secagem doméstica.

No capítulo 3, o perfil do consumidor catarinense quanto à atividade de lavanderia é avaliado. Os principais hábitos quanto a essa tarefa são listados por meio de uma pesquisa exploratória descritiva. A partir dos dados obtidos o consumo energético dos principais aparelhos utilizados na lavanderia foram avaliados. Além disso, buscou-se conhecer a atividade doméstica apontada como a mais cansativa pelos consumidores e a partir disso uma árvore de decisão foi construída para melhor entender as variáveis que influenciam nesse processo.

No capítulo 4, são avaliados os fatores que contribuem para o amarrotamento dos tecidos de algodão e de linho após os processos de lavagem em lavadora de carregamento frontal e secagem em secadora de condensação e em varal. Para isso, é utilizado um software de processamento de imagem a fim de garantir maior isonomia na análise dos dados. A influência da absorção e extração de água no nível de lisura dos tecidos também é observada neste capítulo. Além disso, diferentes programas da secadora doméstica são avaliados e a influência de temperatura, tempo de secagem, taxa de extração de água no amarrotamento do tecido são analisados.

Finalmente, o último capítulo desta pesquisa traz as conclusões dos dois estudos realizados, as observações e as perspectivas para trabalhos futuros que vão ser desenvolvidos pelo grupo de pesquisa.

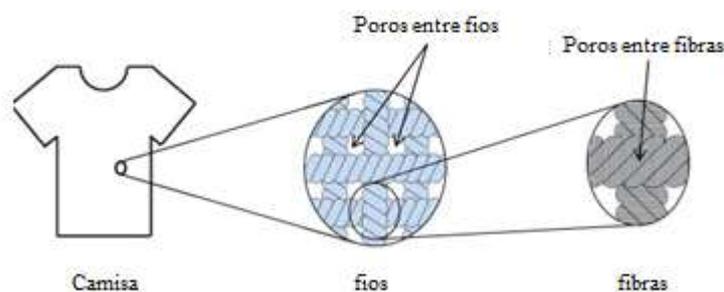
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os tópicos referentes à revisão da bibliografia existente sobre as fibras têxteis, atividades desempenhadas na lavanderia e a contribuição dos processos domésticos na formação de rugas nos tecidos. Para melhor entender os processos recentes de quantificação do nível de lisura dos tecidos, serão apresentadas as principais etapas do processamento de imagem. Além disso, os principais estudos que retratam o amarrotamento dos tecidos após os processos de lavagem e secagem doméstica serão abordados.

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

A fibra consiste na unidade básica presente em um material têxtil (MISNON *et al.*, 2014), conforme é possível ver na Figura 2.1. As fibras têxteis podem ser derivadas de uma grande gama de materiais, sendo em uma sua maioria de matriz polimérica (CARR, 2012). De acordo com a literatura, a classificação quanto à origem das fibras pode variar de autor para autor. No entanto, boa parte dos autores costuma dividir as fibras em dois grandes grupos, naturais e sintéticas (JAWAID; ABDUL KHALIL, 2011; MISNON *et al.*, 2014; TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012; YAN; KASAL; HUANG, 2016).

Figura 2.1 – Diagrama esquemático da estrutura de um tecido típico e sua dupla porosidade devido a espaços entre fios e espaços entre as fibras dos fios.



Fonte: Mac Namara *et al.* (2012).

2.1.1 Morfologia das fibras têxteis

Dentre as fibras naturais, destacam-se as fibras celulósicas, constituídas por celulose, hemicelulose, lignina, materiais cerosos e pectina, como componentes principais e em menor quantidade açúcares (YAN; KASAL; HUANG, 2016). A celulose, principal componente da fibra a base de planta, fornece resistência, estabilidade e rigidez à estrutura das fibras (KABIR *et al.*, 2012; SOOD; DWIVEDI, 2018).

As fibras celulósicas derivadas de plantas podem ser obtidas da semente, caule e folha (MATHER; WARDMAN, 2011). A estrutura e composição química das fibras vegetais varia de acordo com as condições climáticas, idade, condições do solo, tipo de planta e em diferentes partes de uma mesma planta (FARUK *et al.*, 2012). Na Tabela 2.1 é possível observar as diferentes composições presentes nas fibras de origem natural.

Tabela 2.1 – Composição química de diferentes fibras naturais.

Fibra	Celulose	Hemicelulose	Pectina	Lignina	Cera	Água
Algodão	82,7-90	5,7	0-1	<2	0,6	5-10
Linho	62-72	18,6-20,6	2,3	2-5	1,5-1,7	8-12
Juta	59-71,5	13,6-20,4	0,2-0,4	11,8-13	0,5	12,5-13,7
Sisal	60-78	10-14,2	10	8-14	2,0	10-22

Fonte: Dittenber e GangaRao (2012).

Tais fibras possuem caráter hidrofílico e absorvem umidade, pois apresentam ligações de hidrogênio nos grupos hidroxila ($-OH$), os quais estão situados nas macromoléculas na parede celular da fibra. Quando a umidade entra em contato com a superfície da fibra, a ligação de hidrogênio se quebra e os grupos $-OH$ formam novas ligações de hidrogênio com as moléculas de água (KABIR *et al.*, 2012).

A celulose consiste em um polissacarídeo altamente polar, que possui em sua cadeia polimérica diversos grupos hidroxila laterais. Na sua cadeia há regiões cristalinas bem ordenadas, além de regiões amorfas não ordenadas. A relação entre quantidade de regiões cristalinas e amorfas na molécula de celulose difere com as fibras celulósicas, sendo a porção cristalina responsável por conferir rigidez à fibra e a região amorfa responsável por garantir flexibilidade à celulose (TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012).

A lignina apresenta uma matriz amorfa hidrofóbica com aspecto rígido. Devido à hidrofobicidade existente na lignina, agentes deteriorantes têm dificuldade de penetração nas fibras. A proporção de lignina em relação à hemicelulose, hidrofílica, determina o quanto de

água pode adentrar nas fibras de origem vegetal. A água permeia a fibra pela região amorfa, assegurando maciez e flexibilidade (TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012).

2.1.2 Algodão

O algodão (*Gossypium spp.*) corresponde à fibra natural mais utilizada no setor têxtil (MISNON *et al.*, 2014; SHAHID-UL-ISLAM; SHAHID; MOHAMMAD, 2013; YAN; KASAL; HUANG, 2016; ZHOU *et al.*, 2014). Assim, em relação às fibras vegetais é a de maior importância comercial (CARR, 2012; EICHHORN *et al.*, 2009).

O algodão é obtido da semente do algodoeiro (YAN; KASAL; HUANG, 2016) e tem o crescimento e a produtividade influenciado por diversas variáveis, como pragas e patógenos (ZHOU *et al.*, 2014). A proporção de celulose, seu principal componente, varia com a origem, condições de cultivo e para uma dada fibra, a composição muda entre a superfície e o seu interior. O algodão possui grande sensibilidade às condições necessárias para o seu crescimento, sendo que climas quentes e úmidos, além de solos arenosos favorecem o crescimento dessa fibra (MATHER; WARDMAN, 2011).

Jeans, camisas, vestidos e roupas esportivas são algumas das aplicações encontradas para o uso do algodão. Além disso, frequentemente é misturado com outras fibras, como poliéster, viscose e nylon. As roupas de algodão podem ser lavadas e secas, porém, amarrutam com facilidade (MATHER; WARDMAN, 2011).

2.1.3 Linho

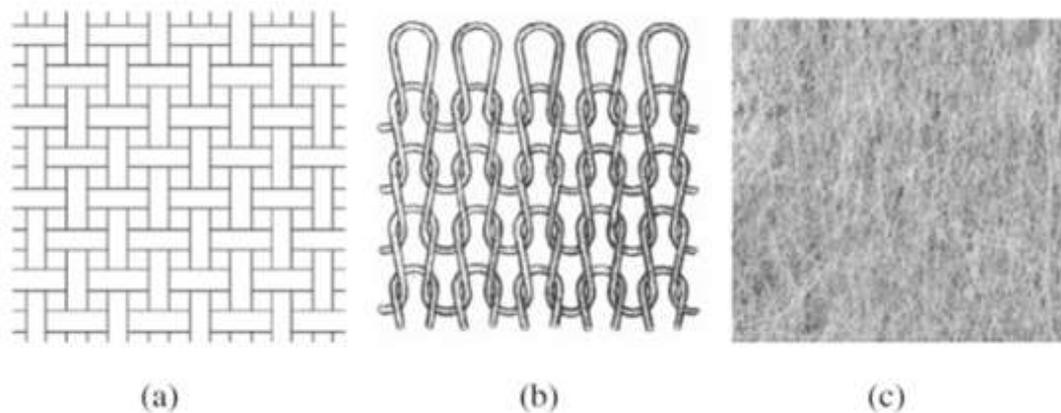
As fibras de linho são obtidas do caule da planta de espécie *Linum usitatissimum*, sendo a fibra têxtil mais antiga que se tem notícias. As roupas feitas de linho são frescas, agradáveis e possuem boa condutividade térmica. O linho requer um clima temperado para ser cultivado (MATHER; WARDMAN, 2011). Canadá, França, Bélgica e Holanda são grandes produtores de linho, os quais possuem clima propício ao cultivo do linho (RAMESH, 2019).

A estrutura da fibra de linho é mais cristalina do que amorfa, o que a torna mais forte e rígida e, dessa forma, mais susceptível ao amarrutamento. Também vale salientar que a fibra de linho é muito hidrofílica, apresentando grande absorção de umidade (YAN; CHOUW; JAYARAMAN, 2014).

2.2 TECIDOS

Os tecidos são materiais flexíveis que consistem em um conjunto de fibras naturais ou sintéticas formadas por diversos processos, como: tecelagem, tricô e crochê (LI *et al.*, 2017), além disso, processos de produção de não tecidos são utilizados (MISNON *et al.*, 2014). Tecidos, malhas e não tecidos são os três tipos de tecidos comuns encontrados (MISNON *et al.*, 2014). Na Figura 2.2 são apresentadas essas três diferentes estruturas de tecidos.

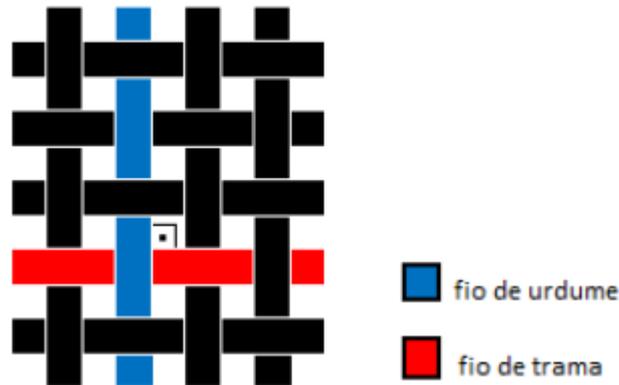
Figura 2.2 – Estrutura dos três tipos de tecidos: (a) tecido; (b) malha; (c) não tecido.



Fonte: Misnon *et al.* (2014).

A tecelagem consiste no entrelaçamento de dois conjuntos de fios perpendiculares entre si, resultando em um tecido com a superfície plana. O tecido plano apresenta dois conjuntos de fios, urdume e trama, que são entrelaçados transversalmente (MISNON *et al.*, 2014). Como é possível ver na Figura 2.3, os fios de urdume estão dispostos no sentido do comprimento, enquanto os fios de trama estão dispostos na direção da largura do tecido (AQUINO, 2008). O tecido plano é resistente ao desgaste, fácil de manusear, entretanto tende a amarrotar (ADUMITROAIE; BARBERO, 2011; SILVA, 2013).

Figura 2.3 – Representação gráfica do tecido plano.



Fonte: Silva (2013).

A malharia possui como características a flexibilidade e a elasticidade, fato que os diferencia dos tecidos de superfície plana (STEIN, 2013). Além disso, os tecidos de malha são confortáveis e não se desgastam com facilidade (YEOMAN *et al.*, 2010).

2.3 PROCESSO DE LAVAGEM

A lavagem pode ser compreendida como um processo presente na engenharia química, em que apresenta mecanismos de transferência de quantidade de movimento e de transferência de massa (MAC NAMARA *et al.*, 2012). Diferentes variáveis podem influenciar o desempenho da lavagem, destacando-se: temperatura da água, tempo de lavagem, quantidade de detergente, agitação e volume de água (MOZES *et al.*, 1998).

A água, utilizada como solvente no processo de lavagem, em conjunto com detergente e uso de ação mecânica remove eventuais sujidades presentes nos tecidos (FAN, J.; HUNTER, 2009). O solvente, nesse caso, promove o transporte dos agentes químicos e sujidades, além de atuar como o meio de aquecimento e agente umectante (RAGHAVA RAO *et al.*, 2003).

A remoção de manchas em uma superfície têxtil depende de agentes químicos e mecânicos. A emulsificação dos surfactantes em conjunto com a geração de atrito entre as roupas no processo de lavagem faz com que haja o desprendimento da sujidade existente no material têxtil (MAC NAMARA *et al.*, 2012).

2.3.1 Máquinas de lavar

A lavadora doméstica apresenta como principal objetivo a remoção de sujeira de uma determinada quantidade de tecidos, para isso, utiliza-se de processos mecânicos, térmicos e químicos. Esses processos acontecem durante o processo de lavagem de maneira simultânea (VAN DEN BREKEL, 1987). O ciclo de lavagem é composto por três etapas: (i) o molho, onde ocorre a lavagem química, nessa etapa o sabão em pó age sobre as sujeiras, (ii) a agitação, onde há a ação mecânica e as roupas são atritadas entre si e na própria máquina e (iii) a centrifugação, onde o excesso de água é extraído das roupas (BORTOLINI, 2014).

Entre os diferentes tipos de lavadoras, uma gama de fatores e parâmetros pode afetar o modo de lavagem, destacando-se: geometria do tambor e agitador, tempo de lavagem, velocidade de rotação, nível da água, temperatura da água e quantidade de produtos químicos (CAMPOS; HERMES, 2016). O transporte de massa e quantidade de movimento de um agitador para o fluido também são parâmetros importantes ao processo de lavagem (LOYOLA *et al.*, 2018).

As lavadoras de roupas domésticas podem ser classificadas de acordo com a direção do eixo de rotação de tambor, em: máquina de lavar com abertura superior e eixo vertical, conforme Figura 2.4, e máquina de lavar de com abertura frontal e eixo horizontal, como pode ser visualizada na Figura 2.5 (BUENO *et al.*, 2019). A escolha de qual tipo de máquina de lavar utilizar é muito relacionada à questão cultural e questões climáticas. A lavadora de eixo horizontal é a máquina mais utilizada na Europa e no Oriente Médio (BANSAL; VINEYARD; ABDELAZIZ, 2011), enquanto a máquina de eixo vertical está mais difundida na América, Austrália e Ásia (PAKULA; STAMMINGER, 2010).

Figura 2.4 – Lavadora de carregamento superior.



Fonte: Electrolux (2020a).

Figura 2.5 – Lavadora de carregamento frontal.



Fonte: Electrolux (2020b).

A ação mecânica ocorre de maneira diferente nessas máquinas. Na lavadora de carregamento superior, a agitação acontece por intermédio de um agitador, localizado no eixo vertical da lavadora doméstica. O agitador transfere energia mecânica para a água e têxteis presentes na lavadora (BORTOLINI, 2014). Já na lavadora de carregamento frontal, a ação mecânica acontece por meio de um sistema de tombamento, em que os tecidos são friccionados uns contra os outros e são atritados com a própria lavadora (BORTOLINI, 2009).

A quantidade de água também varia, de acordo com a geometria da lavadora. Na máquina de carregamento frontal, apenas a parte inferior do cesto é preenchida com água, no entanto, todo o cesto é ocupado com água em boa parte das máquinas de carregamento superior, fazendo com que o ciclo de lavagem nesse tipo de máquina consuma um volume maior de água (PAKULA; STAMMINGER, 2010).

A velocidade de rotação na etapa de centrifugação também costuma variar entre os tipos de lavadoras. A lavadora de eixo vertical opera a rotações mais espaçadas durante o período de centrifugação, fazendo com que as roupas saiam mais úmidas. Já a lavadora de eixo horizontal apresenta rotações mais rápidas na centrifugação, entregando roupas menos úmidas e demandando menor consumo de energia pelas secadoras. Além disso, de maneira geral, a lavadora de carregamento superior apresenta maior capacidade de carga, quando comparada a lavadora de carregamento frontal (BORTOLINI, 2014).

2.3.2 Produtos utilizados na lavagem doméstica

Os produtos utilizados na lavagem de roupas podem reduzir significativamente a ação mecânica durante o processo de lavagem. Esse fato é conferido à presença de espuma, que reduz a ação de bater e friccionar, evitando danos às fibras. Além disso, a absorção de surfactantes na superfície das fibras têxteis promove a redução do atrito entre as fibras (CARR, 2012). Os sabões e detergentes, parte da química da lavagem, são adicionados à água com o objetivo de reduzir a tensão superficial, facilitando a limpeza das roupas presentes na lavadora (SINCLAIR, 2014).

Os surfactantes consistem em uma molécula heterogênea, em que sua cadeia apresenta regiões hidrofílicas, polares, e uma longa cadeia apolar, hidrofóbica (PARIA, 2008). Os surfactantes podem ser classificados quanto ao tipo de carga presente na porção hidrofílica, detergente, da molécula em aniônicos, catiônicos e neutros (SINCLAIR, 2014).

Os catiônicos podem ser utilizados no amaciamento de tecidos (KONER; PAL; ADAK, 2011), já os surfactantes aniônicos e neutros são apropriados para remoção de sujidades durante o processo de lavagem de roupas, pois tanto os tecidos, quanto as partículas de sujeira possuem carga negativa na presença de água (KOGAWA *et al.*, 2017).

Como a água pode apresentar diferente composição físico-química, é necessária a presença de outras substâncias para auxiliar na limpeza dos artigos de vestuário. Os detergentes pertencem à classe dos surfactantes e são responsáveis por quebrar a tensão superficial das moléculas de água e formar micelas que aprisionam e removem as partículas de sujeira. (PÉREZ-LÓPEZ; ARREOLA-ORTIZ; MALAGÓN ZAMORA, 2018). Os surfactantes são depositados na superfície do tecido, agindo de maneira a reduzir as forças de atrito ao lubrificar as fibras (HERNANDEZ; NOWACK; MITRANO, 2017).

O amaciante é outro produto utilizado no processo de lavagem de extrema relevância, quando concentrado, apresenta cerca de 10 a 15 % em massa de surfactantes e tem como finalidade tornar os tecidos macios, frescos e sem rugas (OIKONOMOU *et al.*, 2018). As fibras têxteis apresentam estruturas porosas, o que faz com que os ativos do amaciante possam se depositar tanto na superfície externa, quanto no interior do tecido (KUMAR *et al.*, 2019).

O amaciamento de roupas se dá pela deposição de vesículas catiônicas em artigos têxteis porosos de caráter aniônico. Essas vesículas são normalmente compostas à base de lipídeos e podem se depositar tanto na superfície externa, quanto na superfície interna dos tecidos. A deposição ocorre por meio de interações eletrostáticas entre o substrato e a vesícula, ocasionando a formação de uma monocamada vesicular na superfície do tecido com carga oposta (KUMAR *et al.*, 2018). Assim, possibilitando o transporte rápido e eficiente para as superfícies dos têxteis (KUMAR *et al.*, 2016). O desempenho do amaciante depende da quantidade de ativos depositados na superfície externa do tecido (KUMAR *et al.*, 2018) e da localização desses ativos no material têxtil (KUMAR *et al.*, 2019).

Os amaciantes a base de silicone podem melhorar características inerentes à fibra, como maciez e hidrofiliabilidade. A distribuição e a quantidade de silicone no amaciante vai determinar a modificação das propriedades do substrato têxtil. As gotículas macroscópicas de emulsões de silicone podem revestir o tecido, tornando-o mais suave (PUROHIT; SOMASUNDARAN, 2014).

2.4 PROCESSO DE SECAGEM

A secagem de artigos de vestuário, tradicionalmente, é realizada por ação do vento e luz solar, contudo, o processo de secagem pode ser afetado por condições climáticas não favoráveis. Com a escassez de tempo e espaço, a secagem artificial é uma alternativa viável para contornar as condições climáticas adversas (STAWREBERG; BERGHEL; RENSTRÖM, 2012).

A melhoria dos padrões de vida possibilitou que a secadora doméstica fosse amplamente utilizada em diversos países e regiões do mundo (ZHAO *et al.*, 2018), fazendo com que as secadoras de roupas estejam cada vez mais presentes nas casas. Apesar disso, as secadoras convencionais apresentam como desvantagem o alto consumo de energia elétrica (STAWREBERG; NILSSON, 2013).

A operação de secagem, em uma secadora de roupas, pode ser dividida em três etapas: (i) pré-aquecimento, (ii) período de taxa constante e (iii) período de decréscimo na taxa de secagem (NG; DENG, 2008). Na primeira etapa, a maior parte da energia é utilizada para aquecer a carga molhada. Na etapa seguinte, tanto a umidade relativa, quanto a temperatura do tambor são relativamente constantes. No período de taxa decrescente, a secadora controla os aquecedores para que não ocorra o superaquecimento da carga. Por fim, normalmente, os aquecedores são desligados para que ocorra o resfriamento das roupas antes do término do ciclo de secagem (TEGROTENHUIS *et al.*, 2017).

Alguns parâmetros podem evidenciar o desempenho da máquina de secagem doméstica, como o teor de umidade e a taxa de extração de umidade (JIAN; ZHAO, 2017). Além disso, o consumo elétrico da secadora é afetado pela umidade relativa, vazão mássica de ar, teor de umidade da carga e temperatura externa, fatores esses que influenciam no desempenho da secagem (MA, *et al.*, 2018). Alguns estudos que retratam o desempenho dos diferentes tipos de secadoras domésticas estão listados na Tabela 2.2.

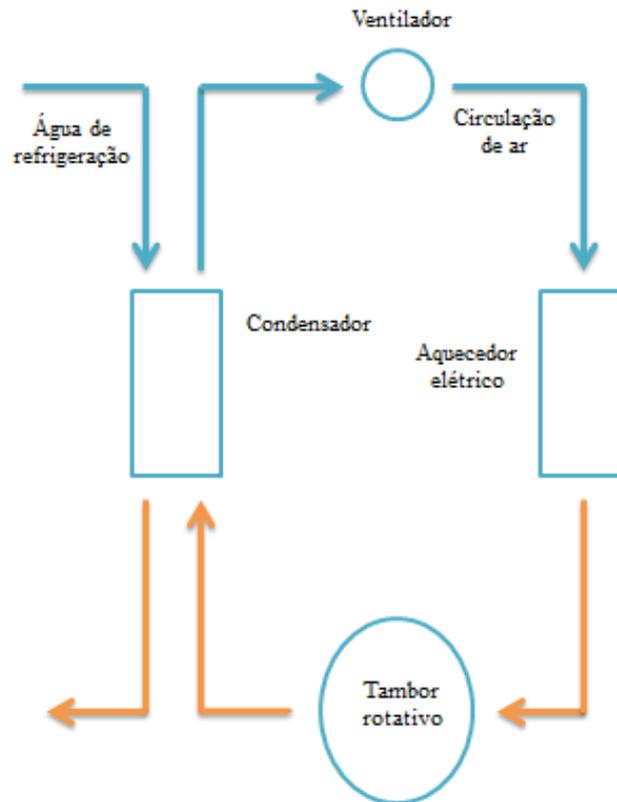
Tabela 2.2 – Trabalhos que retratam o desempenho de secagem em diferentes secadoras.

Tipo de secadora	Parâmetros	Objetivos	Referência
Secadora de condensação e secadora de bomba de calor	Quantidade de energia e índice de eficiência energética	Eficiência energética da secadora	Stawreberg e Wikström (2011)
Secadora de condensação	Taxa de extração de umidade e perdas de calor	Vazamento de gás e redução de energia	Stawreberg, Berghel e Renström (2012)
Secadora de condensação	Teor de umidade e taxa de extração	Desempenho da secadora	Jian e Zhao (2017)
Secadora de ventilação	Tempo de secagem, taxa de evaporação e coeficientes de transferência de massa	Desempenho da secadora	Novak, Gataric e Širok (2019)
Secadora de ventilação	Teor de umidade, tempo de secagem e taxa de extração	Características térmicas e desempenho de secagem	Ahn <i>et al.</i> (2019)
Secadora de bomba de calor	Tempo de secagem, consumo de energia e teor de umidade	Movimento do tecido e desempenho da secadora	Novak <i>et al.</i> (2020)
Secadora de ventilação	Taxa de extração e teor de umidade	Desempenho da secadora	Yu, Li e Ding (2020)

Fonte: Autor (2020).

No que tange a eficiência do processo, apenas 50 % da energia consumida, na maioria das secadoras domésticas, é utilizada para a atividade fim, secar roupas. Os outros 50 % são convertidos em calor residual e expelidos à atmosfera (MA *et al.*, 2018). O funcionamento, em geral, das secadoras de roupa ocorrem de maneira similar. Quando a secadora é ligada, um ventilador é responsável por distribuir o ar aquecido, por meio de um tambor rotativo, fazendo com que este ar entre em contato com os têxteis e a água seja evaporada (TO *et al.*, 2007). Há no mercado basicamente duas versões de secadoras domésticas, a secadora de condensação, conforme Figura 2.6, e a secadora de ventilação, conforme Figura 2.7.

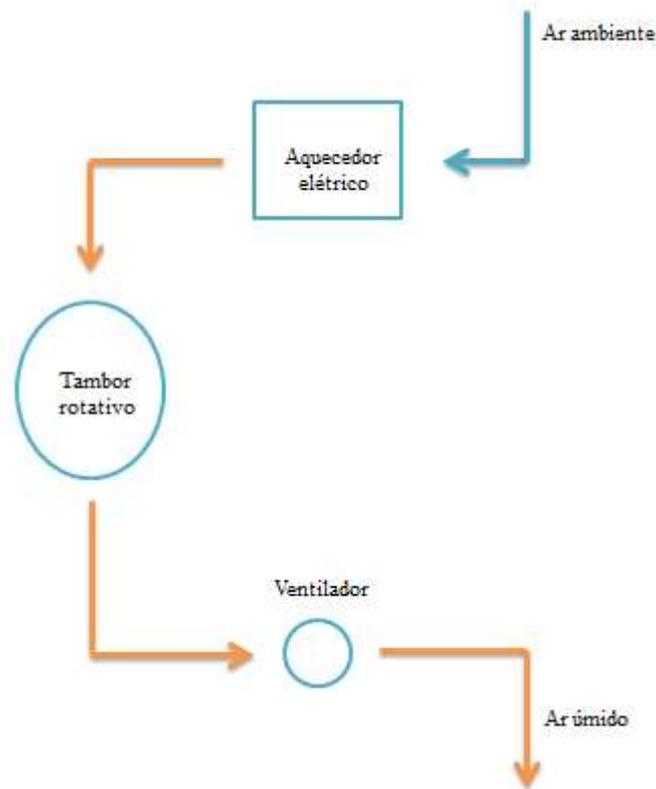
Figura 2.6 – Diagrama esquemático de uma secadora de condensação.



Fonte: Adaptado de Zhao *et al.* (2018).

A secadora de condensação apresenta alta eficiência e baixo consumo de energia (JIAN; ZHAO, 2017). A secagem em uma secadora de condensação se dá por um processo cíclico até que a roupa esteja seca. Essa secadora possui um aquecedor elétrico por onde passa o fluxo de ar que vai ser aquecido e assim transfere calor para o material têxtil presente no tambor rotativo. Em seguida, o ar aquecido ao entrar em contato com as roupas dentro do tambor faz com que a umidade do material molhado evapore no fluxo de ar. O ar úmido, então, entra em um condensador, onde a água no estado líquido presente no ar úmido será condensada ao entrar em contato com água resfriada. Por último, o ar flui para o aquecedor elétrico por intermédio de um ventilador e o ciclo volta a acontecer (ZHAO *et al.*, 2018).

Figura 2.7 – Diagrama esquemático de uma secadora de ventilação.



Fonte: Adaptado de Stawreberg (2011).

O ar ambiente é direcionado para a secadora de ventilação, lá o ar é aquecido em um aquecedor elétrico. Em seguida, o ar quente é conduzido ao tambor rotativo, onde entrará em contato com as roupas úmidas, dessa forma adquirindo umidade. Por fim, o ar úmido é posto para fora da secadora e da lavanderia com o auxílio de um ventilador (STAWREBERG, 2011).

2.5 PROCESSO DE ALISAMENTO DOS TECIDOS

Passar roupas consiste em uma atividade doméstica amplamente adotada nas residências, sendo essa tarefa normalmente realizada por diferentes usuários e pode dispendir grande quantidade de tempo. Devido a isso, desconforto, fadiga e dor podem vir a ser consequência da repetição sucessiva da atividade, ou do mau uso do ferro de passar (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

O ferro de passar e o vaporizador, principais equipamentos utilizados na tarefa de passar roupas, são responsáveis por garantir a lisura do tecido (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

Ao comparar esses aparelhos, Dos Santos *et al.* (2019) verificaram que o ferro elétrico apresenta maior usabilidade e ao avaliar o esforço percebido, constataram que ambos os aparelhos apresentaram um nível baixo, devido ao curto tempo reduzido para a realização da tarefa no estudo, menos de um minuto, em média. Na vida cotidiana, mais tempo é requerido para a atividade de passar roupas, devido à quantidade maior de roupas a serem passadas, o que pode aumentar a percepção de desconforto do usuário (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

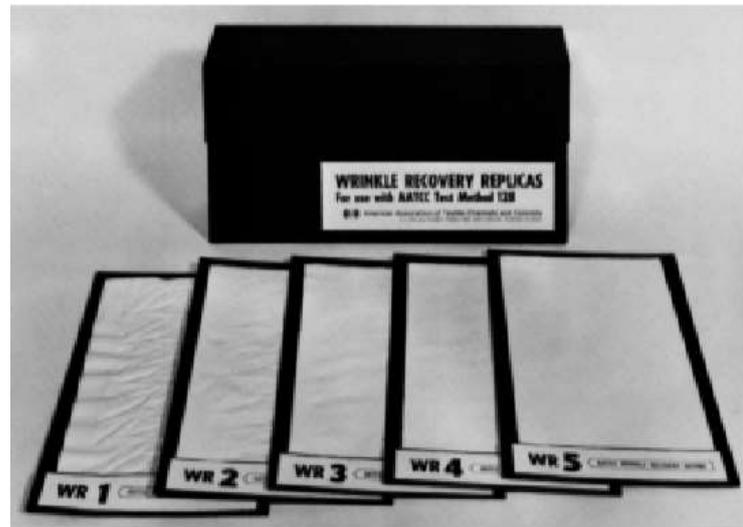
A etapa de passar roupas é sucedida por outras atividades, como dobrar e guardar roupas. Uma forma prática de eliminar algumas rugas grandes é puxando as extremidades do artigo de vestuário, mesmo assim algumas rugas permanecem. As pessoas não passam apenas os locais que estão amarrotados, normalmente, toda a superfície da peça é passada, eliminando os vincos formados e alisando a peça por completo. A atividade de passar roupas requer bastante zelo, pois existem diferentes materiais, texturas e formas que precisam ser passados de maneira específica (ESTEVEZ *et al.*, 2020).

2.6 GRAU DE SUAVIDADE EM ARTIGOS TÊXTEIS

2.6.1 Método AATCC 124

Diante do enrugamento encontrado em tecidos de diferentes fibras, a Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis (AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS – AATCC, 2010), desenvolveu o método – AATCC 124 2009 - para medir o grau de suavidade em tecidos de diferentes tipos de fibras. Nesse método, três observadores treinados avaliam cada amostra de maneira independente e uma média é então tirada dessas medições. O nível de lisura proposto varia de uma escala de um a cinco, conforme Figura 2.8, em que o nível cinco apresenta maior lisura, enquanto o nível um representa uma aparência mais enrugada.

Figura 2.8 – Amostras padrão da AATCC.



Fonte: AATCC (2010).

2.6.2 Análise do amarrotamento por meio de processamento de imagem

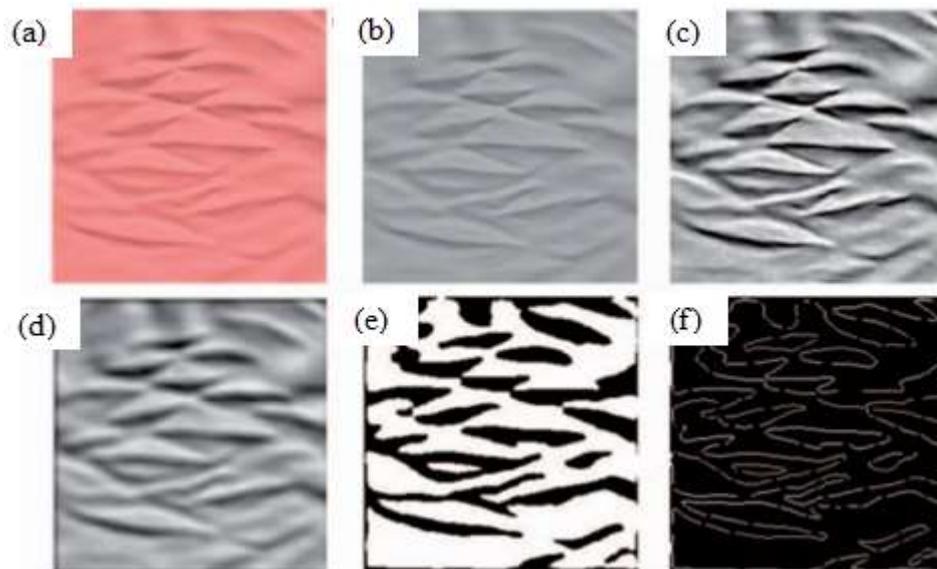
Além do método proposto pela AATCC, alguns autores buscaram desenvolver procedimentos alternativos que realizassem a leitura do amarrotamento do tecido através do processamento da imagem.

Uma metodologia de processamento de imagem foi proposta por Abril, Millan e Valencia (2008) a fim de avaliar a suavidade de tecidos. Duas imagens da amostra em posições perpendiculares foram capturadas e, em seguida, filtradas com o uso de um filtro da mediana e, então, o detector de borda Canny foi aplicado a cada uma das imagens. Dessa forma, as informações de ambas as imagens contribuíram para a leitura da suavidade do tecido, onde realizou-se a medição da lisura das amostras a distâncias curtas, médias e longas.

A avaliação de rugas em diferentes tipos de tecidos coloridos foi proposta por Zaouali, Msahli e Sakli (2010) através da captura de imagem por scanner e posterior processamento de imagem no Matlab[®]. A imagem colorida digitalizada foi convertida em escala de cinza, depois disso, foi filtrada para melhorar a visualização das rugas e, em seguida, modificada em imagem binária (preto e branco). Por fim, a imagem foi convertida em imagem esquelética, onde o amarrotamento foi lido. As imagens tratadas pelos pesquisadores apresentaram boa margem de concordância com o método convencional utilizado.

A suavidade de diferentes tipos de tecido foi analisada por meio de processamento de imagem por Liu, Fu e Wu (2014). A imagem digitalizada em scanner foi posteriormente processada, seguindo uma sequência de passos (Figura 2.9). A imagem colorida foi convertida em escala de cinza e, em seguida, aprimorada, ocorrendo a redução de ruídos por meio da filtragem em mediana. Por fim, a imagem filtrada foi transformada em imagem binária e então a técnica de detecção de bordas pode ser aplicada para quantificar o amarrotamento presente no tecido.

Figura 2.9 – Processamento da imagem: (a) imagem colorida; (b) escala de cinza; (c) imagem melhorada; (d) redução de ruído; (e) imagem binária; (f) bordas detectadas.

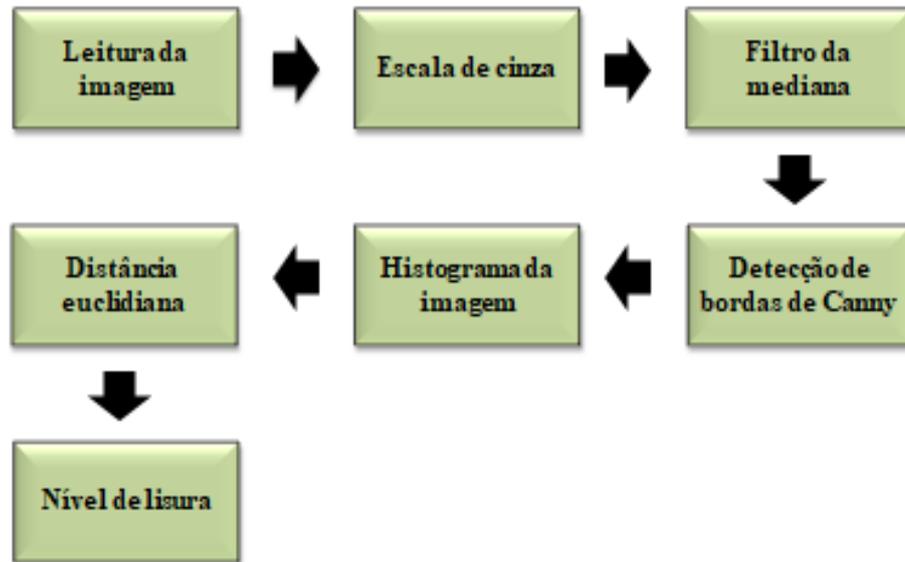


Fonte: Liu, Fu e Wu (2014).

Carvalho Neto (2017) desenvolveu um método de análise do enrugamento de tecido de algodão por meio de processamento de imagem. A metodologia consistiu em capturar a imagem dos tecidos amarrotados, em câmara escura que forneceu luminosidade uniforme. A imagem real foi então transformada em escala de cinza, onde os pixels da imagem variam do preto até o branco e na sequência, o filtro da mediana foi utilizado para eliminar eventuais ruídos que pudessem prejudicar o resultado final. Assim, a técnica de detecção das bordas de Canny pode ser executada e fez com que a imagem processada apresentasse as bordas da imagem original. No histograma da imagem, após detecção das bordas de Canny, pode-se comparar o histograma da amostra com o histograma padrão, imagem isenta de rugas. Essa comparação foi realizada pelo cálculo da distância euclidiana entre os histogramas, relacionando o valor dessa distância com o grau de suavidade proposto pela AATCC. Na

Figura 2.10 é possível ver o fluxograma realizado para o processamento de imagem sugerido pelo autor.

Figura 2.10 – Diagrama dos passos realizados no software, desde a leitura da imagem até a determinação do nível de lisura do tecido.



Fonte: Carvalho Neto (2017).

2.6.3 Técnica de processamento de imagem

O processamento de imagem consiste em um método que realiza operações matemáticas para que informações possam ser extraídas da imagem e ela possa ser aprimorada (YILDIRIM; KACAR, 2019). O processamento pode ser do tipo baixo, médio ou alto. O do tipo médio, que é o utilizado neste trabalho, tem a entrada na forma de imagem e a saída, normalmente, é um atributo extraído da imagem. A imagem digital apresenta um número finito de elementos, com localização e valor determinado. Esses elementos são conhecidos como pixels (GONZALEZ; WOODS, 2002).

2.6.3.1 Processo de filtragem

Uma forma de eliminar ruídos das imagens é por meio da aplicação de filtragens que buscam aprimorar a sua qualidade visual. O ruído consiste em um pixel corrompido, que é indesejável para o processamento da imagem. O pixel corrompido pode ser causado por

diversos fatores, como: pouca luz, aquecimento do sensor e obturador lento (SHAH *et al.*, 2020). Para remoção do ruído são utilizados filtros que buscam atenuar ou eliminar os ruídos. Dentre os tipos de filtros, destacam-se: filtro da mediana e o filtro gaussiano.

2.6.3.1.1 Filtro da mediana

O filtro da mediana utiliza o valor mediano para substituir o pixel corrompido pela mediana de todos os pixels circundantes, conforme Equação 2.1. O filtro reduz o ruído, protege a borda e outras informações da imagem (CUI; CRÉPUT, 2020). Normalmente o filtro é utilizado como uma técnica de pré-processamento, pois consegue remover grande parte dos ruídos formados na imagem e não desfoca muito a imagem, quando comparado a outros filtros (GONZALEZ; WOODS, 2002).

$$\text{Mediana}(x, y) = \text{med}(M_1, M_2, \dots, M_n) \quad (2.1)$$

Onde, n é o número de pixels e M é o valor de cada pixel.

2.6.3.1.2 Filtro gaussiano

O filtro gaussiano é utilizado para desfocar a imagem e remover tanto ruídos quanto detalhes adicionais da imagem (SOARES *et al.*, 2020). A função gaussiana bidimensional é dada na Equação 2.2, onde σ representa o desvio padrão, que determina o grau de suavização da imagem.

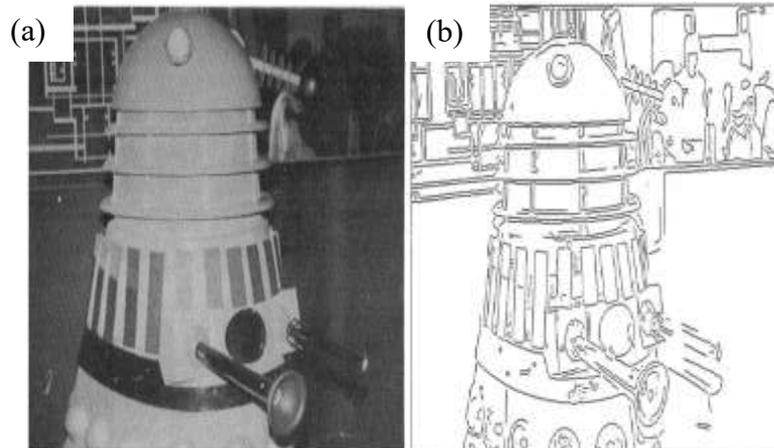
$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

2.6.3.2 Detecção de bordas

O método de detecção de bordas considera não somente o valor da intensidade do pixel, como também a intensidade dos elementos vizinhos, objetivando encontrar os limites dos objetos em uma imagem. Dentre os métodos de detecção, destaca-se o operador Canny, onde, cada borda da imagem é retratada e o ruído é cancelado (GANDHI; KAMDAR; SHAH,

2019). Na Figura 2.11 é possível observar a detecção de bordas realizada pelo operador Canny.

Figura 2.11 – Imagem capturada (a) e imagem após detecção das bordas de Canny (b).



Fonte: Canny (1986).

O detector de Canny busca (i) detectar todas as bordas da imagem, (ii) garantir que a distância entre a borda real e a borda localizada seja a menor possível e (iii) identificar apenas uma resposta para cada borda presente na imagem real (CANNY, 1986). Para isso, o algoritmo de detecção proposto por Canny apresenta as seguintes etapas básicas. Inicialmente é realizada a filtragem por meio do filtro Gaussiano para remover excesso de detalhamento da imagem. Em seguida, máscaras são aplicadas para encontrar as direções e magnitudes das bordas. Depois disso, é aplicada a supressão não máxima, que vai remover qualquer valor de pixel que não seja considerado como borda. Entretanto, mesmo depois da etapa anterior, ainda é possível verificar a presença de ruídos indesejáveis na imagem e bordas falsas. Assim, é realizado uma filtragem por meio do limite duplo para assegurar que as bordas verdadeiras estejam sendo detectadas. Após isso, é realizado o rastreamento das bordas por histerese. Então, as bordas fracas são removidas e as bordas verdadeiras, correspondentes as presentes na imagem, são detectadas (QIN, 2020).

2.7 ESTUDO DO MOVIMENTO DO TECIDO EM LAVADORA DOMÉSTICA

A dinâmica do movimento têxtil em uma lavadora de carregamento frontal foi estudada por Yun, Park e Park (2013) por meio de um programa de detecção de movimento.

Os movimentos foram classificados em quatro diferentes grupos de acordo com o seu padrão, sendo eles: deslizamento, queda e movimentos intermediários entre os padrões anteriores.

O tipo de tecido, quantidade de peças, tamanho do tecido e a velocidade de centrifugação da lavagem foram examinadas por Yun e Park (2014) a fim de determinar a eficiência do processo de lavagem. Os autores observaram que os tecidos, em máquina de carregamento frontal, apresentavam diferentes tipos de movimento, categorizados em movimentos de deslizamento, queda e rotação, conforme Figura 2.12. Os movimentos sofrem influência da força centrífuga recebida pelo tecido da lavadora, força de atrito entre a parede do tambor e os tecidos e força gravitacional.

Figura 2.12 – Diagramas conceituais para vários movimentos do tecido em lavadora com carregamento frontal.



Fonte: Yun e Park (2014).

Apesar disso, também foi percebido por Yun e Park (2014) que os movimentos poderiam ser padronizados em três tipos, com base no tipo e frequência do movimento, em: (i) movimento de deslizamento, (ii) movimento de deslizamento, queda e rotação e (iii) movimento de rotação com algumas poucas quedas.

Um sistema de captura e processamento de vídeo foi proposto por Liu *et al.* (2018) com o intuito de relacionar medições dinâmicas de tecidos com amarrotamento gerado em máquina de lavar doméstica com carregamento superior. Ao avaliar diferentes cargas de lavagem foi constatado que à medida que a carga aumentou a distância entre os tecidos diminuiu o que ocasionou maior quantidade de rugas. Quando foram analisadas diferentes velocidades de centrifugação, um valor maior da velocidade fez com que maior quantidade de rugas fosse gerada.

O movimento do tecido em uma lavadora de carregamento frontal também foi estudado por Liu *et al.* (2019b), onde um sistema de índice de movimento foi desenvolvido com a finalidade de caracterizar o movimento têxtil. Os autores observaram que há duas

regiões que caracterizam o movimento do tecido. Uma região passiva onde os tecidos são elevados pela parede do tambor e uma região ativa onde os tecidos caem livremente com uma velocidade mais alta que a região passiva. Os estudiosos também correlacionaram o movimento do tecido com o nível de lisura do tecido e constataram que há uma correlação negativa entre a área de movimento passivo e a suavidade, já a região de movimento livre apresentou correlação positiva com a suavidade do tecido.

2.8 FATORES QUE INFLUENCIAM O AMARROTAMENTO DOS TECIDOS

No dia a dia, com o uso, as roupas ficam amarrotadas e não conseguem se recuperar da deformação sofrida. Além disso, como já descrito, os processos de lavagem e secagem representam outras maneiras de amarrotar o tecido. O comportamento das rugas depende do tipo de fibra, do tipo de fio, da construção do tecido e do acabamento recebido pelo material têxtil (SINCLAIR, 2014). Na Tabela 2.3 são apresentados alguns estudos que retrataram o amarrotamento do tecido após lavagem e secagem doméstica.

Tabela 2.3 – Fatores que influenciaram o amarrotamento após lavagem e secagem.

Equipamento	Tecidos analisados	Fatores significativos	Referência
Lavadora e secadora doméstica	Tecidos de algodão	Amaciante e detergente	Higgins <i>et al.</i> (2003a)
Secadora doméstica e secagem em varal	Tecidos de algodão	Amaciante, número de ciclos de secagem tempo de secagem	Higgins <i>et al.</i> (2003b)
Lavadora de carregamento frontal	Tecido de linho	Quantidade de água, taxa mecânica, temperatura de lavagem e velocidade de centrifugação	Gocek <i>et al.</i> (2013)
Lavadora de carregamento frontal	Tecido de linho	Etapa de vapor, velocidade de centrifugação e aquecimento no enxágue	Arslan <i>et al.</i> (2016)
Secadora de ventilação	Tecidos de algodão	Ciclos de secagem	Wei <i>et al.</i> (2018a)
Lavadora de carregamento superior	Tecidos de algodão	Carga de lavagem e velocidade de centrifugação	Liu <i>et al.</i> (2018)

(continua)

(conclusão)			
Equipamento	Tecidos analisados	Fatores significativos	Referência
Secadora de condensação	Tecidos de algodão	Potência do aquecedor e umidade relativa	Yu <i>et al.</i> (2018)
Lavadora de carregamento frontal	Tecidos de algodão	Carga de lavagem e velocidade de centrifugação	Liu <i>et al.</i> (2019b)
Lavadora de carregamento frontal	Mescla (65 % poliéster + 35 % algodão)	Agitador	Kim, Yun e Park (2019)
Lavadora de carregamento superior	Tecido de algodão	Velocidade de lavagem, duração de lavagem e velocidade de enxágue	Liu <i>et al.</i> (2019a)

Fonte: Autor (2020).

Dois tipos de tecidos planos de algodão foram analisados quanto ao seu nível de lisura após lavagem em programa normal e secagem em máquina por Higgins *et al.* (2003a). Para isso, foi variada a quantidade de detergente, quantidade de amaciante, carga de lavagem, tipo de secagem e tempo de secagem. A utilização de amaciante proporcionou maior nível de lisura ao tecido tipo percal do que ao popeline, porém, fez com que houvesse diminuição do amarrotamento para ambos os tecidos estudados. O uso de detergente também favoreceu a diminuição das rugas em todas as amostras estudadas.

Higgins *et al.* (2003b) também observaram que a secagem em secadora, com ou sem a presença de amaciante, geralmente produz maior nível de lisura do que a secagem em varal, com ou sem amaciante. Além disso, secar os tecidos em máquina depois de utilizar o amaciante no processo de lavagem, causa menor quantidade de rugas e o nível de lisura, geralmente, aumenta com ciclos sucessivos de lavagem. Já para a secagem em varal, o uso de amaciante fez com que houvesse mais rugas nos tecidos. Com relação ao tempo de secagem na secadora, um período de secagem maior fez com que os tecidos apresentassem menor quantidade de rugas.

O amarrotamento de tecidos de linho puro, devido a sua grande facilidade de amassamento durante o uso, foi estudado por Gocek *et al.* (2013). Os autores analisaram a suavidade dos tecidos durante a lavagem em máquinas de lavar com carregamento frontal, observando fatores como temperatura da água, taxa de ação mecânica, velocidade de centrifugação no processo de lavagem e quantidade de água utilizada na lavagem. A fim de melhorar ainda mais o nível de lisura do tecido de linho, foram inseridos diferentes etapas de vaporização entre as etapas de lavagem. Como resultados, o maior nível de lisura foi obtido

quando se tinha maior quantidade de água, baixa taxa mecânica, maior temperatura de lavagem e uma velocidade de centrifugação mais elevada. Quando o vapor foi inserido após a última etapa de centrifugação, ocorreu o maior índice de suavidade.

O comportamento enrugado de tecidos de linho puro durante a lavagem em lavadoras de carregamento frontal com geradores de vapor foi avaliado por Arslan *et al.* (2016). Diferentes combinações de etapas de vapor foram inseridas no processo de lavagem. A aplicação de calor após qualquer etapa de centrifugação apresentou efeito positivo, maior nível de lisura, ou seja, o vapor fez com que as rugas recém-formadas se recuperassem. Além disso, aliado ao melhor perfil de combinação de vapor na lavagem, uma velocidade de centrifugação média, em torno de 800 rpm, e um aquecimento no enxágue proporcionaram o ensaio com maior grau de lisura, menos amarrotado.

A secagem repetida do tecido de algodão em secadora de ventilação doméstica foi avaliada por Wei *et al.* (2018a) a fim de determinar a influência da repetição dos ciclos de secagem no nível de suavidade dos tecidos. Houve uma redução da lisura do tecido independentemente da quantidade de ciclos de secagem, quando comparados à amostra padrão, sem ser lavada. De cinco a quinze ciclos houve um aumento do amarrotamento, já a partir disso, aconteceu uma melhora na suavidade do tecido.

Os parâmetros de lavagem que influenciavam o nível de lisura em tecidos de algodão foram analisados por Liu *et al.* (2018) em uma máquina de lavar doméstica com carregamento superior. Os pesquisadores analisaram a velocidade de rotação, tamanho da carga de lavagem, tempo de rotação e a espessura do tecido, e, após análise estatística foi verificado que a carga de lavagem apresentou uma ação negativa na suavidade do tecido. Quando a carga é menor, os tecidos apresentaram maior lisura, sendo este fato também observado ao analisar a velocidade de rotação na etapa de centrifugação. Quanto maior a velocidade de rotação, menor foi a suavidade do tecido. Tanto carga de lavagem, quanto velocidade de centrifugação foi estatisticamente significativa para o enrugamento do tecido.

O comportamento amarrotado do tecido de algodão foi analisado por Yu *et al.* (2018) em diferentes etapas da secagem em uma secadora doméstica de condensação. Os autores concluíram que as características físicas do tecido não tiveram influência significativa no enrugamento das roupas, no entanto a potência do aquecedor no período de taxa constante e a umidade relativa foram os fatores que mais afetaram a suavidade do tecido.

No trabalho de Carvalho Neto (2017), os parâmetros críticos que poderiam influenciar a suavidade do tecido foram testados na lavagem em máquina de carregamento

superior e na secagem em varal e em secadora doméstica. Os fatores avaliados foram: temperatura da água de lavagem, velocidade de centrifugação e quantidade de amaciante. Para os níveis avaliados, nenhum fator se mostrou estatisticamente significativo e ao comparar a lisura dos tecidos após lavagem e após secagens, foi verificado que em ambas as secagens houve diminuição da quantidade de rugas frente à lavagem.

O enrugamento de tecidos de algodão em uma lavadora de carregamento frontal foi estudado por Liu *et al.* (2019b). Carga de lavagem, velocidade de lavagem, volume de água e velocidade de centrifugação foram os fatores avaliados, sendo a carga de lavagem e a velocidade de centrifugação os maiores influenciadores para o processo. À medida que a carga aumenta, a lisura do tecido diminui, e, quando há aumento na velocidade de centrifugação, a suavidade do tecido também diminui. Os outros fatores não foram significativos estatisticamente.

Kim, Yun e Park (2019) modificaram uma lavadora de carregamento frontal com a adição de um agitador interno, que girava na direção oposta ao tambor. Os pesquisadores analisaram o amarrotamento que o acréscimo dessa modificação na máquina causaria a mescla (65 % poliéster + 35 % algodão). Após lavagem na lavadora com e sem modificação, as roupas foram postas para secar em secadora, onde foi possível observar que o amarrotamento do tecido foi mais severo na lavagem com o agitador interno do que a máquina sem modificação, porém, quando as amostras dos dois sistemas eram colocadas para secar, havia um melhoramento da suavidade do tecido.

A aparência lisa do tecido de algodão foi avaliada em uma lavadora de eixo vertical por Liu *et al.* (2019a), considerando fatores como: velocidade de lavagem, duração de lavagem, velocidade de enxágue e velocidade de centrifugação. Desses, velocidade de lavagem, duração de lavagem e velocidade de enxágue foram os parâmetros que apresentaram maior significância estatística para o processo. Os autores propuseram diminuir a velocidade de rotação em ambas as etapas para produzir um programa com menor quantidade de rugas.

A escassa quantidade de estudos presentes na literatura que abordem o amarrotamento de tecidos após lavagem e secagem domésticas motivou a realização do presente trabalho. Além disso, vale salientar que um número ainda menor de artigos analisou o nível de lisura dos tecidos por meio de softwares de processamento de imagem. Assim, este estudo contribui por elucidar lacunas ainda existentes na literatura quanto ao aparecimento de rugas nos processos de lavagem e secagem domésticos.

3 TEMPO DESTINADO À ATIVIDADE DE LAVANDERIA: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR E CONSUMO ENERGÉTICO

Este capítulo contém o artigo que descreve o comportamento e atitudes das pessoas quanto à rotina de lavanderia. No capítulo, é dado um enfoque ao tempo destinado as tarefas de lavar, secar e passar artigos de vestuário. Além disso, foi quantificado o consumo elétrico e qual a tarefa foi percebida pelos entrevistados como a mais cansativa.

3.1 INTRODUÇÃO

Diversas atividades, tanto no ambiente doméstico quanto fora dele, precisam ser executadas no dia a dia. As tarefas domésticas podem demandar grande quantidade de horas, de acordo com o número de residentes, sendo indispensáveis, pois garantem a limpeza e organização das residências. Diante disso, há no mercado aparelhos desenvolvidos com a finalidade de executar essas tarefas, garantindo melhor bem-estar, qualidade de vida e conforto ao usuário (COLVERO; JUNIOR, 2016).

A diminuição do tempo destinado às atividades domésticas com eletrodomésticos eficientes possibilita uma realocação de tempo para outras atividades. Novos eletrodomésticos vêm surgindo nas últimas décadas e sendo amplamente adotados pelos consumidores, além disso, vem ocorrendo uma melhora efetiva em tecnologias já existentes. Isso faz com que serviços domésticos passem a ser mais eficientes, demandando menos tempo, e que as famílias possam escolher a forma que realizarão tarefas domésticas básicas. Essa escolha afetará tanto o tempo despendido para realização de determinada atividade, como o gasto energético equivalente à atividade desempenhada (BRENČIČ; YOUNG, 2009).

Dentre as atividades domésticas, a atividade de lavanderia que compreende as etapas de lavar, secar e passar os artigos domésticos se destaca por demandar uma parcela significativa de tempo, garantir o aspecto visual desejado das roupas e depreender um grande consumo energético e hídrico. Contudo, poucos estudos ainda são relatados na literatura quanto o comportamento do consumidor a respeito dessas tarefas. Na base de dados Scopus ao utilizar os termos *laundry* e “*consumer behavior*” em conjunto com *and*, operador booleano de intersecção, constatou-se que há apenas 47 publicações entre artigos, livros, conferências, dos quais 42 são artigos que retratam o tema. Desses, a maior parte é

direcionada a Ciência Ambiental, Engenharia Química, Química e Energia. Além disso, 50 % dos trabalhos estão concentrados na Alemanha e nos Estados Unidos.

Os consumidores ao comprar equipamentos domésticos cada vez mais estão observando os danos ambientais ocasionados por esses eletrodomésticos. Fan, Tong e Niu (2019) constataram que tanto o consumo de água, quanto o consumo de energia foram fatores considerados importantes pelos consumidores chineses ao adquirir máquinas de lavar. Schmitz e Stamminger (2014) também observaram que os consumidores, em diferentes países da Europa, preconizam as informações presentes na etiqueta energética dos aparelhos ao realizarem a compra, sendo a eficiência energética e o consumo de água fatores muito importantes na decisão de compra. Alborzi, Schmitz e Stamminger (2017) observaram que há diferenças quanto aos hábitos dos consumidores no processo de lavagem em diferentes países europeus e que há variações entre as faixas etárias no gasto energético e no consumo de água. Em uma pesquisa realizada na Alemanha por Ellmer *et al.* (2017) foi constatado que os consumidores buscam adquirir máquinas de lavar com baixo consumo energético e baixo consumo de água. Logo, o consumo hídrico e energético da atividade de lavanderia está em evidência e representa uma preocupação recorrente das pessoas em diferentes países ao redor do mundo.

Os hábitos dos consumidores ao lavar, secar e passar os têxteis são fortemente influenciados por diversos fatores. Observa-se que famílias com a mesma quantidade de integrantes podem ter práticas distintas em diferentes regiões do mundo, por isso, o comportamento do consumidor já foi estudado em diferentes países. A rotina de lavanderia dos australianos foi relatada por Jack (2013), onde foi observado que os australianos lavavam, em média, 2,5 vezes as roupas por semana. Na Alemanha, Conrady, Kruschwitz e Stamminger (2014) observaram que as famílias costumam utilizar cargas próximas a 3 kg e temperaturas próximas a 40 °C. Kruschwitz *et al.* (2014) também avaliaram o desempenho de lavagem nas residências alemãs e concluíram que as famílias, independentemente da quantidade de integrantes, realizavam, em média, 2 lavagens semanais com cargas de 5 kg.

No estudo mais recente que retrata o cenário alemão no que diz respeito as hábitos de lavanderia, Ellmer *et al.* (2017) observaram que 97 % das residências alemãs tem máquinas de lavar e dentre esses, a maioria apresenta carregamento frontal e utiliza temperatura de 40 °C no processo de lavagem e que a frequência de lavagem depende da quantidade do número de integrantes familiares. Em uma pesquisa mais ampla, Alborzi, Schmitz e Stamminger (2017) concluíram que a atividade de lavanderia difere substancialmente entre os

países estudados na Europa. Miilunpalo e Räisänen (2019) analisaram a rotina de lavanderia dos finlandeses e observaram que a maioria dos entrevistados lavavam suas roupas várias vezes durante a semana e as roupas eram lavadas de acordo com a cor; quanto à secagem, a secagem interna foi a mais utilizada no verão e no inverno.

Como foi possível ver, há na literatura alguns estudos relacionados aos hábitos de consumo e uso de insumos nas atividades de lavanderia em diferentes regiões do mundo, mas, a atividade de lavanderia varia muito em relação aos hábitos adotados em diferentes partes do mundo, tendo apenas o registro de uma pesquisa realizada sob esses termos no Brasil. No estudo de Spencer, Lilley e Porter (2015) foram comparados os hábitos de lavagem desenvolvidos no Brasil, Índia e Reino Unido, o qual captou o comportamento de 7 famílias brasileiras, 6 famílias inglesas e 6 famílias indianas e focou no consumo de água e energia da atividade de lavanderia e do fluxo das roupas nessa tarefa.

Na maioria dos estudos é dado um enfoque maior no processo de lavagem e o que pode ser feito para reduzir os danos ambientais proporcionando nessa atividade. Diferentemente dos estudos anteriores reportados, este artigo traz as seguintes contribuições para a literatura de comportamento do consumidor na rotina de lavanderia. Em primeiro lugar, o presente estudo contribui por quantificar os hábitos de lavanderia em um país que carece de estudos a respeito do tema e que possui um amplo mercado consumidor. Em segundo lugar, nesse artigo não apenas é analisada o processo de lavagem, como também são exploradas as demais tarefas de secar e passar artigos têxteis, proporcionando uma visão ampla dos padrões de consumo. Por fim, esse estudo aborda o esforço percebido pelos usuários ao realizar as atividades domésticas e propõe medidas a fim de mitigar esses problemas.

O restante do artigo está estruturado em cinco seções. A segunda seção inclui a fundamentação teórica acerca das atividades de lavanderia e os fatores mais observados pelos consumidores ao comprar um aparelho doméstico. A seção três traz a metodologia realizada. A quarta seção contém a compilação de dados. A quinta seção traz (i) as discussões oferecidas no estudo, (ii) as contribuições teóricas e (iii) limitações e futuras direções de pesquisa. Por fim, a última seção fornece as conclusões do artigo.

3.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os equipamentos utilizados nas atividades de lavanderia têm papel fundamental na manutenção dos atributos especificados pelo consumidor com relação ao aspecto desejado da

roupa. Além disso, diante da praticidade cada vez mais recorrente no dia a dia, esses equipamentos devem minimizar problemas ou diminuir a quantidade de etapas (HUANG; YANG; LV, 2018). A atividade de lavanderia não consiste em um processo automatizado, pois os consumidores decidem quais os parâmetros e níveis que serão atribuídos a máquina, com base no que julgar adequado. Depois de lavada em máquina, as roupas são postas para secar e posteriormente passadas, dobradas e armazenadas (ELLMER *et al.*, 2017).

A lavadora doméstica apresenta como principal objetivo a remoção de sujeira de uma determinada quantidade de tecidos, para isso, utiliza-se de processos mecânicos, térmicos e químicos (VAN DEN BREKEL, 1987). A máquina de lavar pode ser classificada de acordo com a direção do eixo de rotação de tambor, como: máquina de lavar de carregamento superior e máquina de lavar de carregamento frontal (BUENO *et al.*, 2019).

A secagem de artigos de vestuário, tradicionalmente, é realizada por ação do ambiente, como vento e luz solar. Todavia, o processo de secagem pode ser afetado por condições climáticas não favoráveis. Com a escassez de tempo e espaço, a secagem artificial consiste em uma alternativa viável para contornar as condições climáticas adversas (STAWREBERG; BERGHEL; RENSTRÖM, 2012). A melhoria dos padrões de vida possibilitou que a secadora doméstica fosse amplamente utilizada em diversos países e regiões do mundo (ZHAO *et al.*, 2018). As secadoras de roupas se fazem cada vez mais presente nas casas, entretanto, apresentam como desvantagem o alto consumo de energia elétrica (STAWREBERG; NILSSON, 2013).

Passar roupas consiste em uma atividade doméstica fundamental para garantir a lisura dos artigos têxteis. Essa tarefa normalmente é realizada por diferentes pessoas e pode dispendir grande quantidade de tempo. Devido a isso, desconforto, fadiga e dor podem vir a ser consequência da repetição sucessiva da atividade, ou do mau uso do ferro de passar, ou por questões ergonômicas (DOS SANTOS *et al.*, 2019). As pessoas não passam apenas os locais que estão amarrotados, normalmente, toda a superfície da peça é passada, eliminando os vincos formados e alisando a peça por completo. A atividade de passar roupas requer bastante zelo, pois existem diferentes materiais, texturas e formas que precisam ser passados de maneira específica (ESTEVEZ *et al.*, 2020).

No dia a dia, com o uso, as roupas ficam amarrotadas e não conseguem se recuperar da deformação sofrida, além disso, os processos de lavagem e secagem também promovem o amarrotamento das roupas. Consequentemente, maior esforço será ocasionado ao usuário que for realizar a atividade de passar roupas a fim de garantir a lisura das roupas. Diante disso,

estudos robustos vêm sendo desenvolvidos a fim de determinar os fatores que mais influenciam o amarelecimento dos tecidos após as etapas de lavagem e secagem doméstica. Geometria da lavadora (ARSLAN *et al.*, 2016; GOCEK *et al.*, 2013; LIU, H. *et al.*, 2018), uso de produto amaciante (HIGGINS *et al.*, 2003a), velocidade de centrifugação (LIU, H. *et al.*, 2018, 2019b), carga de lavagem (LIU, H. *et al.*, 2018, 2019b), tipo de secadora (YU *et al.*, 2018; YU; LI; DING, 2020) e secagem em varal (HIGGINS *et al.*, 2003b) foram alguns dos parâmetros avaliados que influenciam o enrugamento das roupas após os processos de lavagem e secagem.

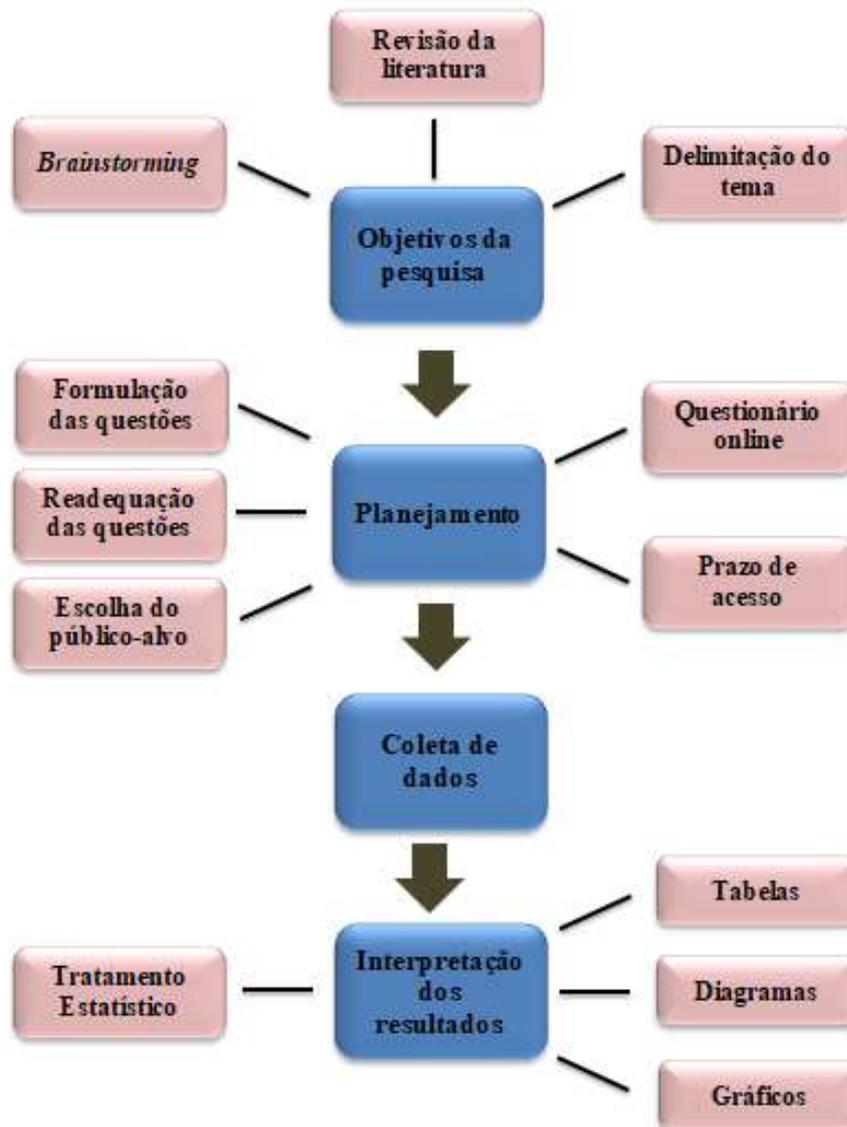
A máquina de lavar é um exemplo claro de produto que está em constante desenvolvimento, uma vez que, com o passar do tempo, ampliou a quantidade de funções disponíveis (HUANG; YANG; LV, 2018). Os consumidores chineses, inclusive, apontaram que as lavadoras de eixo horizontal proporcionam tecidos mais suaves após a lavagem e são as mais buscadas (FAN, L.; TONG; NIU, 2019). Para os consumidores europeus, eficiência de lavagem e o baixo consumo de energia foram os atributos de grande importância apontados na hora da compra de um novo eletrodoméstico, no entanto, um número menor também apontou que design estético inovador é primordial ao fazer a aquisição de um novo eletrodoméstico (SCHMITZ; STAMMINGER, 2014). Já ao analisar as principais demandas dos consumidores alemães a respeito do processo de lavagem verifica-se que eles buscam tecidos não enrugados, bom cheiro e poder de limpeza (CONRADY; KRUSCHWITZ; STAMMINGER, 2014). Longa durabilidade, baixo consumo energético e baixo consumo de água também foram os principais critérios apontados pelos alemães ao comprar uma máquina de lavar, além disso, muitas funções adicionais e funções especiais adicionais também foram assinaladas como importantes para um menor número de consumidores (ELLMER *et al.*, 2017). Logo, possuir um aparelho que realiza diversas funções, apresentando grande gama de atividades e programas é o ideal, pois ter um aparelho para realização de cada tarefa se torna inviável, devido a limitações de espaço e dinheiro (ESTEVEZ *et al.*, 2020).

3.3 METODOLOGIA

O estudo focou na identificação dos hábitos dos respondentes com relação às etapas de lavar, passar e secar artigos têxteis. A pesquisa realizada foi de caráter exploratório, descritivo e apresentava natureza qualitativa e quantitativa. O método de estudo de campo foi utilizado com a aplicação de questionários e posteriormente realizou-se o tratamento de dados

por meio de técnicas estatísticas. O procedimento metodológico utilizado neste artigo pode ser visualizado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Procedimento metodológico utilizado.



Fonte: Autor (2020).

Inicialmente, foi delineado o questionário, que foi construído após ser realizada extensa revisão da literatura acerca dos principais temas que estão sendo abordados a respeito do comportamento do consumidor quanto à atividade de lavanderia em diferentes regiões do mundo. As questões, então, foram desenvolvidas de maneira que uma ampla gama de informações pertinentes ao escopo do estudo pudesse ser extraída.

O desenvolvimento e aprimoramento das sentenças foram realizados por meio de reuniões entre os membros de diferentes áreas do grupo de pesquisa, que contava com

professores do departamento de Engenharia Têxtil e Engenharia Química da UFSC, e com estudantes em nível de Pós-Graduação desses departamentos. Nessas conversações foi possível adequar e refinar as perguntas. Além disso, um pré-teste foi realizado com um pequeno grupo de colaboradores e o feedback recebido foi analisado pelo grupo de pesquisa, resultando em algumas alterações nas perguntas e no formato das respostas do questionário, conforme Apêndice A.

A pesquisa foi dividida em três seções, totalizando 19 questões. Na primeira parte os dados socioeconômicos dos entrevistados foram conhecidos. Já na segunda parcela da pesquisa buscou-se conhecer a percepção dos respondentes quanto às atividades de lavanderia. Perguntas relacionadas ao processo de lavagem de roupas foram realizadas. Buscou-se conhecer o modo com que os tecidos eram lavados, o tipo de lavadora utilizada, quantas vezes por semana as roupas eram lavadas, o programa de lavagem mais utilizado e o tempo destinado para realização da lavagem. Em seguida, foi perguntado como as roupas eram secas. Depois disso, no último subitem dessa etapa, o tempo despendido para a atividade de passar roupas e quais roupas eram passadas foram quantificados. Por fim, perguntou-se qual etapa o entrevistado julgava ser a mais trabalhosa no processo de lavanderia e qual a atividade, entre todas as tarefas desempenhadas em casa o entrevistado julgava ser a mais cansativa. Além disso, no final do questionário foi deixado um espaço para que o respondente, caso quisesse, deixasse alguma sugestão. Assim, para cada tarefa foram feitas perguntas específicas quanto à atividade desempenhada.

A escolha do público-alvo foi realizada de acordo com a facilidade de contatar pessoas próximas ao local de estudo e diante da falta de informações a respeito do tema no estado de Santa Catarina. Assim, o questionário foi enviado de maneira on-line a diferentes respondentes no estado catarinense. O tempo de acesso foi delimitado entre os meses de junho a agosto de 2019.

O universo da pesquisa diz respeito à população do estado de Santa Catarina, Brasil, que tem uma população da ordem de 7 milhões de pessoas para o ano de 2019 (IBGE, 2020). Santa Catarina tem as seguintes características segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE):

- Densidade demográfica: 65,29 hab/km² (2010);
- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH): 0,774 (2010) ;
- Renda domiciliar per capita: US\$ 316,50 (R\$ 1769,00) (2019).

Uma amostra de natureza não probabilística por conveniência foi utilizada. Nesse tipo de técnica de amostragem as pessoas se encontram disponíveis no momento da pesquisa (MALHOTRA, 2011). Um total de 255 pessoas responderam o estudo, os questionários respondidos que não pertenciam ao local delimitado no estudo foram removidos e por fim, 247 questionários válidos foram considerados para as análises.

Os respondentes foram contatados por e-mail e por outras redes sociais pelos autores do trabalho, onde foi pedido o compartilhamento da pesquisa entre os vários utilizadores. O questionário estava disponível no *Google Forms* e vale salientar que a participação na pesquisa foi completamente voluntária.

Os dados deste artigo foram coletados e então analisados com o auxílio do pacote estatístico LHStat[®], onde foi possível realizar análise univariada e multivariada da amostra. No software foi possível realizar a interpretação dos dados por meio da frequência relativa, análise de correlações, gráficos e árvores de decisão.

Na análise descritiva buscou-se efetuar a caracterização do comportamento do consumidor em relação às atividades de lavanderia, por meio da frequência relativa, que é o quociente entre o valor observado na classe e o total observado, obtendo uma visão ampla do conjunto de dados. O consumo energético dos principais aparelhos elétricos utilizados nas etapas de lavar, passar e secar roupas também foi quantificado.

Análises de correlação (correlação de Goodman e Kruskal) foram realizadas entre as variáveis pesquisadas e uma árvore de decisão foi construída com o intuito de prever o comportamento das pessoas quanto às escolhas a serem tomadas quanto à tarefa de passar roupas, assinalada como a tarefa mais cansativa entre as atividades de lavanderia. Dos 247 questionários validados, 75 % foram utilizados para o treinamento da árvore e 25 % foram utilizados para verificação do modelo. O nível de confiança utilizado para podar a árvore foi de 25 %, ou seja, os atributos que possuíram um nível de confiança igual ou maior a 25 % serão usados como nó da árvore, caso o nível de confiança fosse inferior a 25 %, o nó será substituído por uma folha. Esse parâmetro é importante para eliminar testes em que os dados de treinamento tivessem o mesmo resultado (WITTEN *et al.*, 2011).

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Perfil do consumidor

As atividades de lavanderia são diariamente realizadas e estão presentes no cotidiano das residências brasileiras. Com base nos resultados da pesquisa, é possível notar que os respondentes apresentam composições familiares diversas, idades variadas e rendas líquidas distintas. A população de estudo é majoritariamente pertencente às regiões da Grande Florianópolis e Vale do Itajaí, ambas pertencentes ao estado de Santa Catarina, Brasil. Isso ocorre porque os pesquisadores direcionaram os questionários, em boa parte, aos alunos tanto da pós-graduação, quanto da graduação de universidades presentes nessas duas regiões.

As características sociais demográficas dos participantes estão resumidas na Tabela 3.1. As pessoas que participaram da pesquisa se concentram na faixa etária de 20 a 30 anos, devido ao direcionamento dos questionários. No entanto, a pirâmide etária de SC construída no último censo realizado pelo IBGE em 2010 também mostra um maior número de pessoas entre os 20 e 29 anos (IBGE, 2020). Já, com relação à renda familiar líquida, há uma variabilidade, lembrando que o Salário Mínimo (SM) em vigência no Brasil corresponde a US\$ 187,31 (R\$ 1045,00). Na pesquisa houve, em maior quantidade, pessoas com renda familiar superior a 5 salários mínimos, cerca de 36 % dos entrevistados. Além disso, apresentam uma composição familiar heterogênea, com cada classe possuindo mais de um quinto de representantes.

Tabela 3.1 – Características demográficas da amostra estudada.

Informações do entrevistado	Frequência relativa
Total	247 (100 %)
Idade	
Abaixo de 20 anos	20 (8,1 %)
De 20 e 30 anos	142 (57,5 %)
De 31 e 40 anos	52 (21,1 %)
De 41 e 50 anos	24 (9,7 %)
Acima de 50 anos	9 (3,6 %)
Renda familiar líquida	
Entre 1 e 2 SM	50 (20,2 %)
Entre 2 e 3 SM	44 (17,8 %)
Entre 3 e 4 SM	36 (14,6 %)
Entre 4 e 5 SM	27 (10,9 %)
Acima de 5 SM	90 (36,4 %)

(continua)

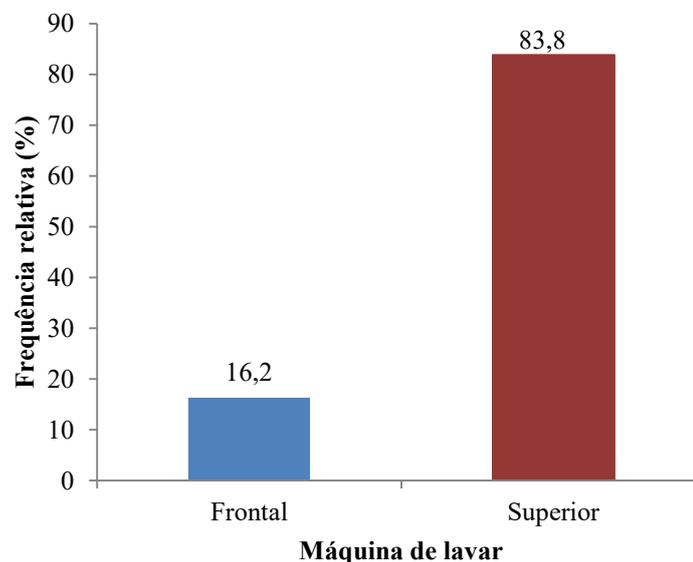
Informações do entrevistado	Frequência relativa
(conclusão)	
Quantidade de moradores	
1	54 (21,9 %)
2	89 (36,0 %)
3	53 (21,5 %)
Acima de 3	51 (20,6 %)

Fonte: Autor (2020).

3.4.2 Características e hábitos de lavagem

Na Figura 3.2 é retratado qual lavadora doméstica é utilizada pelos entrevistados. A máquina de lavar automática está presente em 66 % das moradias brasileiras, de acordo com a Pesquisa de Posses e Hábitos (PPH) realizada entre os anos de 2018 e 2019 pela Eletrobras (2019). Dessas lavadoras, de acordo com os dados obtidos no presente estudo, em torno de 84 % são de carregamento superior e apenas 16 % são de carregamento frontal. Essa grande proporção das lavadoras de eixo vertical é acompanhada no Brasil e em países da América do Sul, Austrália e Ásia (PAKULA; STAMMINGER, 2010).

Figura 3.2 – Tipo de máquina de lavar doméstica presente nas residências.



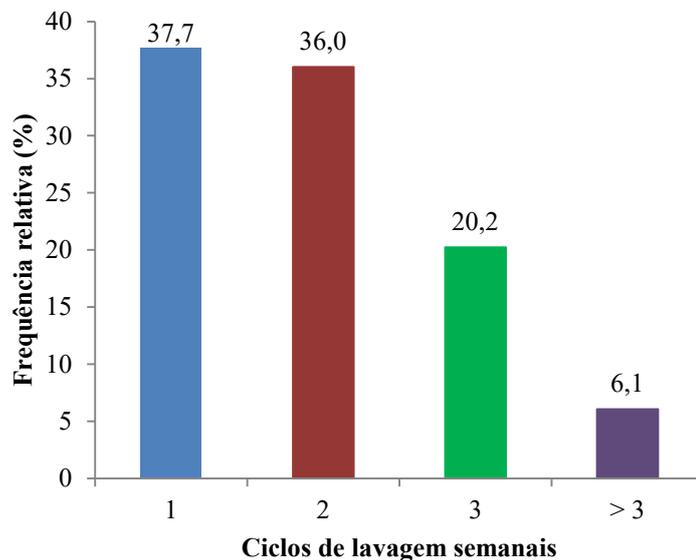
Fonte: Autor (2020).

As famílias estudadas com até três componentes costumam lavar as roupas apenas uma vez por semana, já as famílias que apresentam acima de três componentes lavam as roupas, em sua maioria, três vezes por semana. Ao analisar todos os respondentes, a grande maioria lava suas roupas de uma a duas vezes por semana, conforme Figura 3.3, fato este que

pode estar relacionado a uma preocupação com o consumo de energia e com a quantidade de água utilizada no processo. Na pesquisa realizada por Schmitz e Stamminger (2014) foi observado que metade dos participantes considerou informações do rótulo energético importantes para a decisão de compra da máquina de lavar. Desses 50 %, uma quantidade significativa apontou a classe de eficiência energética e informações sobre o consumo de água como as mais relevantes para a compra do eletrodoméstico.

A frequência de uso semanal também foi avaliada pela PPH, a qual constatou que aproximadamente dois terços dos brasileiros lavavam as roupas de uma a três vezes por semana (ELETROBRAS, 2019). No estudo de Alborzi, Schmitz e Stamminger (2017) foi observado que as famílias da República Tcheca eram compostas por, em média, 3 pessoas e utilizavam aproximadamente 3,4 ciclos por semana. Já Kruschwitz *et al.* (2014) verificaram que as famílias alemãs com apenas uma pessoa gastavam em média 2 ciclos, enquanto que as que tinham cinco ou mais componentes lavavam suas roupas em aproximadamente 7 ciclos. No geral, os estudos apontam para uma menor quantidade de ciclos de lavagem semanais, quando a composição familiar é pequena, tendo um aumento na quantidade de lavagens, quando se há mais pessoas na residência.

Figura 3.3 – Quantidade de ciclos de lavagem semanais.

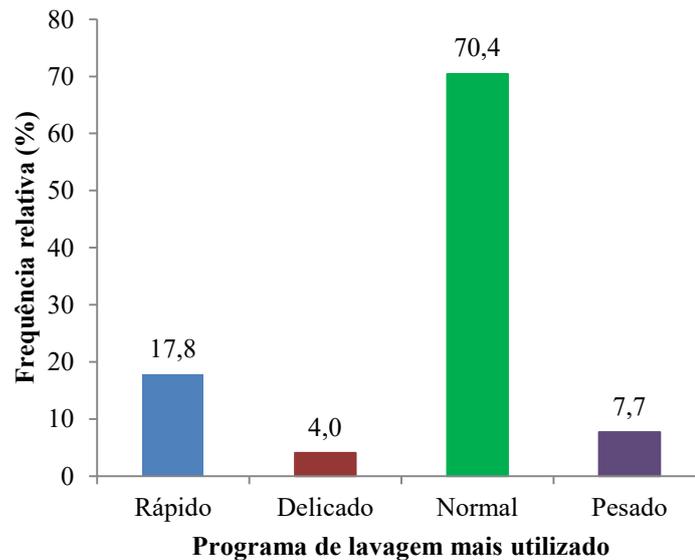


Fonte: Autor (2020).

Os programas “normal” e “rápido” foram os mais citados, respectivamente, na pesquisa, como pode ser visto na Figura 3.4. Além disso, os entrevistados demandam, em sua

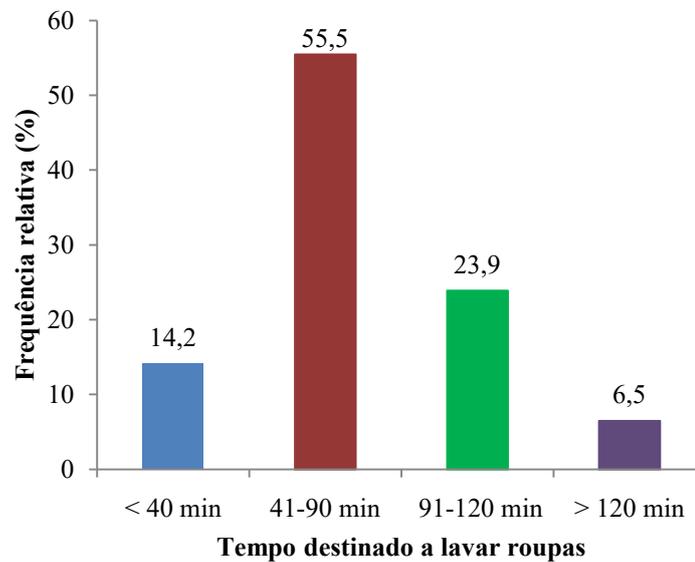
maioria, entre 40 e 120 minutos para lavar as roupas e artigos domésticos, conforme Figura 3.5, o que corrobora a escolha dos programas mais citados no estudo que normalmente estão compreendidos nessa faixa temporal. O período do dia com maior incidência de lavadoras domésticas ligadas nas residências brasileiras foi durante a manhã entre 8 e 10 horas, de acordo com os dados da Eletrobras (2019), indicando que se gasta, na maioria das vezes, até 120 minutos para se lavar roupas. Laitala, Klepp e Boks (2012) verificaram que os moradores da Noruega utilizam em sua maioria o programa destinado a lavar tecidos de algodão, seguido dos programas rápidos. Enquanto isso, Ellmer *et al.* (2017) analisaram o comportamento do consumidor alemão em relação à etapa de lavar roupas e observaram que os programas mais utilizados foram o de lavagem de tecidos de algodão, seguido do delicado e lavagem expressa. Ainda, 50 % dos entrevistados relataram ter um programa favorito, os de algodão e lavagem expressa foram os mais citados.

Figura 3.4 – Programa de lavagem mais utilizado.



Fonte: Autor (2020).

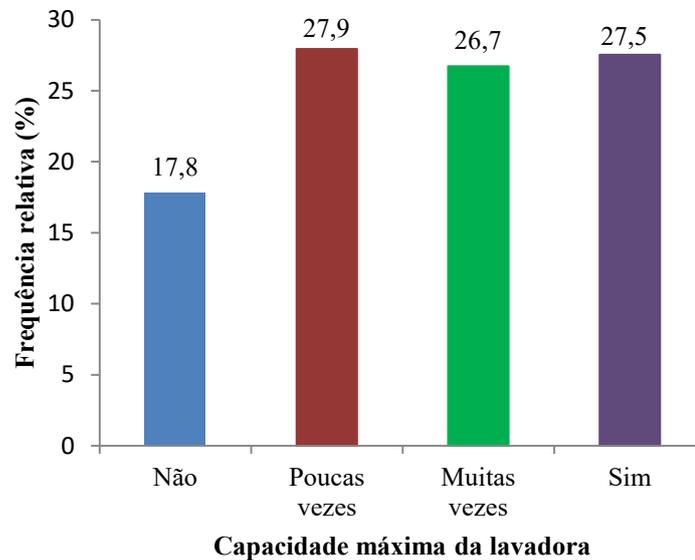
Figura 3.5 – Tempo médio destinado a lavar roupas.



Fonte: Autor (2020).

O uso da capacidade nominal da lavadora foi escolhido por 27,5 % dos entrevistados, tendo valores próximos aos que utilizam toda a capacidade da máquina de lavar na maioria das vezes, como pode ser visto na Figura 3.6. Ou seja, 54 % dos consumidores estão esperando uma quantidade razoável de itens sujos para poder lavar na menor quantidade de vezes possível. 60 % dos europeus entrevistados por Schmitz e Stamminger (2014) utilizam toda a capacidade da lavadora doméstica. Mais de 70 % das famílias da Alemanha e França costumam usar a capacidade total da máquina de lavar, sem sobrecarregá-la e cerca de 50 % dos finlandeses utilizam a capacidade nominal da lavadora (ALBORZI; SCHMITZ; STAMMINGER, 2017). Esses números mostram que os entrevistados em ambos os estudos estão preocupados com o uso demasiado da lavadora, mesmo em países diferentes, com culturas diferentes, a busca pelo menor consumo energético e menor utilização de água se faz presente.

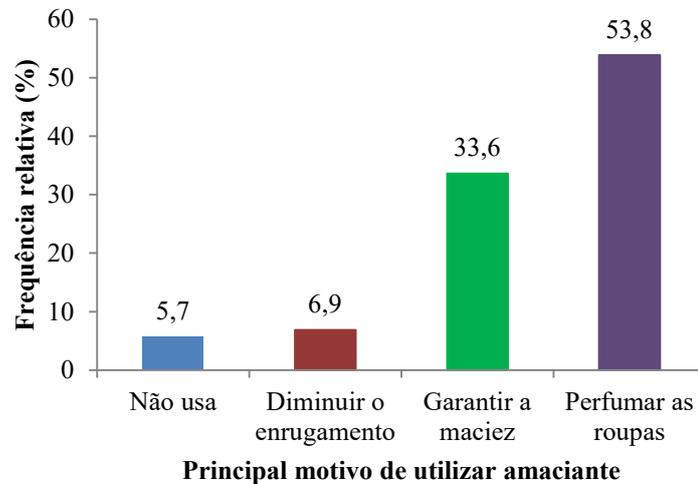
Figura 3.6 – Utilização da capacidade máxima da lavadora.



Fonte: Autor (2020).

A maior parte dos entrevistados, 54 %, de acordo com a Figura 3.7, utiliza produto amaciante devido ao odor característico deixado nas peças e 34 % utilizam porque promove maior maciez nos artigos têxteis. Laitala, Klepp e Boks (2012) também avaliaram que cerca de 60 % dos entrevistados utilizam amaciante com frequência para os mais variados propósitos, como: perfumar as roupas, suavizar os tecidos e facilitar o alisamento do tecido. O amaciante consiste em outro produto utilizado no processo de lavagem que é de extrema relevância, pois tem como finalidade tornar os tecidos macios, frescos e sem rugas (OIKONOMOU *et al.*, 2018). A pesquisa desenvolvida por Abeliotis *et al.* (2015) observou o impacto do uso de amaciante na dureza da água em lavadoras domésticas em diferentes países da Europa e verificou que 80 % dos entrevistados do Reino Unido nunca utilizaram esse produto, enquanto que 20 % dos russos e 15 % dos italianos costumam utilizar amaciante a cada lavagem.

Figura 3.7 – Motivo de usar amaciante.



Fonte: Autor (2020).

3.4.3 Consumo energético nas tarefas de lavanderia

O comportamento das pessoas em termos do consumo de energia é influenciado pelas condições e hábitos das atividades de lavanderia. O aumento do consumo está intimamente ligado a uma maior quantidade de aparelhos que desempenhem as mais variadas funções e que permitam a redução do tempo destinado à sua realização. As lavadoras domésticas, por exemplo, têm o consumo de energia afetado pela frequência de operação, programa de lavagem escolhido, temperatura da água, quantidade de detergente e a carga de lavagem utilizada (SCHMITZ; STAMMINGER, 2014). Enquanto isso, o consumo elétrico das secadoras domésticas é influenciado pela umidade relativa, vazão mássica de ar, teor de umidade da carga e temperatura externa (MA *et al.*, 2018). Já a atividade de passar roupas tem o consumo energético determinado pela frequência de uso, tempo de utilização do ferro elétrico, temperatura do ferro de passar e programa escolhido para cada tipo de tecido.

Neste trabalho, devido à quantidade de parâmetros que podem influenciar o consumo energético das atividades de lavar, secar e passar roupas, alguns fatores foram selecionados para exemplificar o consumo de energia elétrica dos aparelhos utilizados para realização dessas tarefas. O número de ciclos de lavagem e secagem, o tempo destinado a cada tarefa e a potência de cada equipamento foi utilizado para calcular o consumo energético. O valor a ser pago na conta de luz foi calculado utilizando a tarifa cobrada pela distribuidora elétrica do estado de Santa Catarina, Brasil, estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), para uma residência comum (ANEEL, 2019). As potências dos aparelhos foram

selecionadas de acordo com os dados da Cemig (2017). O número de ciclos de lavagem por semana e o tempo médio de utilização tanto da lavadora quanto do ferro elétrico foram determinados seguindo a pesquisa. Já o número de ciclos de secagem em secadora doméstica e o tempo médio de secagem foram determinados de acordo com os dados da PPH efetuada pela Eletrobras entre os anos de 2018 e 2019. Dessa forma, levando em conta essas suposições foi possível estimar a quantidade de energia elétrica gasta por uma família nas tarefas de lavanderia, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Consumo energético nas atividades de lavanderia.

Aparelho elétrico	Número de ciclos semanais	Tempo de uso por ciclo (min)	Potência* (W)	Consumo mensal (kWh)	Valor mensal** (US\$)
Lavadora	1	65	1500	6,5	0,55
Secadora	3	45	1100	9,9	0,83
Ferro elétrico	1	45	1000	3,6	0,30

Fonte: Autor (2020).

* Dados retirados da CEMIG

** Valores de referência em acordo com a ANEEL (2019)

Como mencionado anteriormente, as pessoas buscam praticidade e economia de tempo. A secadora doméstica consiste no aparelho elétrico que consome maior quantidade de energia elétrica em relação às atividades de lavanderia, responsável por cerca de 50 % do consumo elétrico dessas tarefas. No entanto, vale salientar que a secagem em secadora doméstica é realizada em menos de 10 % dos domicílios investigados. Além disso, em determinadas estações do ano, na qual as temperaturas são mais elevadas e com baixo índice pluviométrico, uma parcela das pessoas que tem secadora doméstica costuma utilizar a secagem em varal.

Schmitz e Stamminger (2014) observaram que, em média, 55 % de todos os ciclos de secagem no verão foram realizados no varal e mesmo no inverno, em média, 40 % das pessoas ainda utilizaram a secagem em linha nos países europeus analisados. Na Austrália, de acordo com Jack (2013), 64 % dos entrevistados secam os artigos têxteis em linha e só 17 % secam as roupas em máquina de secar. Já Alborzi, Schmitz e Stamminger (2017) observaram que no verão países como Alemanha, Suécia e Reino Unido utilizam a secadora doméstica cerca de 20 %, enquanto que Hungria e República Tcheca usam apenas em 3 % das ocasiões. E ao investigarem a taxa de utilização desses aparelhos no inverno, constataram que em geral

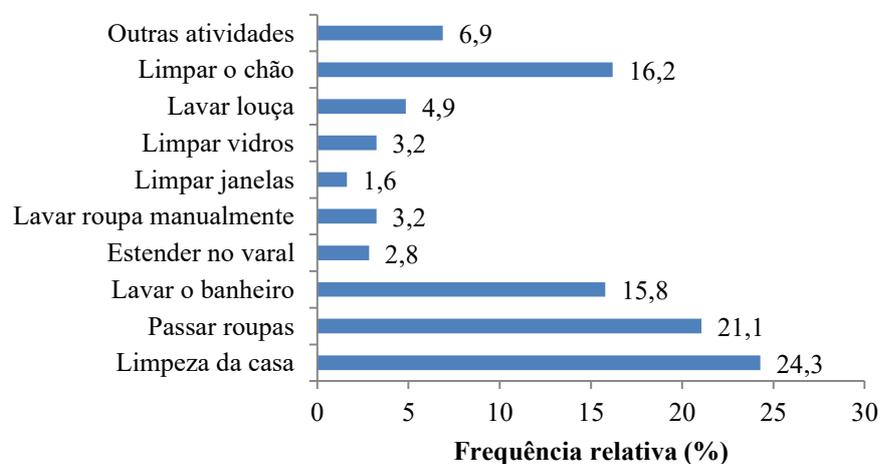
nos países europeus estudados há uma inversão, utilizavam a secagem em varal em apenas 20 % das ocasiões.

Além da secagem, a atividade de engomar, dependendo da quantidade de artigos de vestuários passados, também contribui bastante para o consumo total de energia da lavanderia (STAMMINGER, 2011). O ferro elétrico é o aparelho comumente utilizado para a realização do alisamento dos artigos têxteis. Os ferros de passar a vapor estão presentes em 15,65 % dos domicílios brasileiros, enquanto que os ferros a seco estão em 43,74 % das residências. Normalmente os ferros elétricos são utilizados uma vez por semana e o utilizam quando o máximo de roupa possível é acumulado (ELETROBRAS, 2019).

3.4.4 Etapa mais cansativa entre as atividades domésticas

A compreensão dos requisitos buscados pelo consumidor em relação ao design e funções ofertadas pelo produto é fundamental para os fabricantes. A empresa busca satisfazer o cliente, e, desse modo, criar um vínculo de lealdade com o usuário. Diante disso, a melhora da satisfação do cliente por meio do melhoramento de atributos do produto que afetam a satisfação do consumidor é requerida (WANG; LU; TAN, 2018). Então, buscou-se por meio de uma pergunta aberta saber qual a atividade doméstica que o entrevistado julgasse ser a mais cansativa, conforme Figura 3.8. A partir dos resultados obtidos novos estudos podem ser desenvolvidos a fim de dirimir os problemas observados pelos consumidores no tocante ao esforço percebido ao realizar a atividade doméstica.

Figura 3.8 – Atividade doméstica mais cansativa.

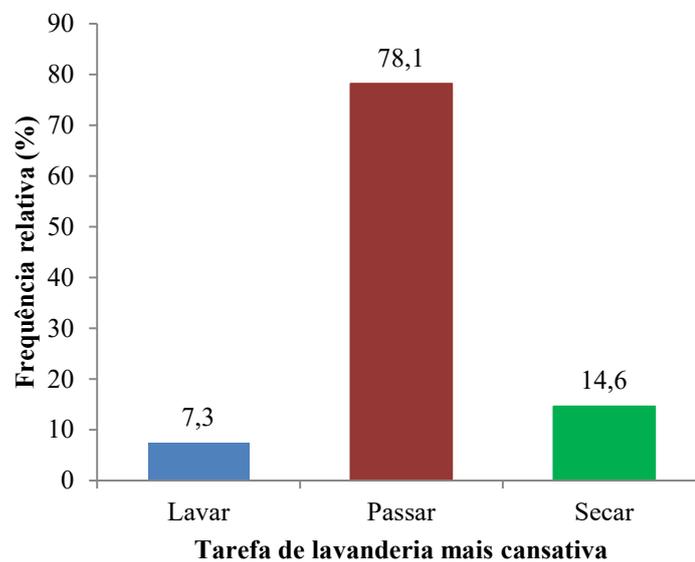


Fonte: Autor (2020).

A atividade limpeza da casa foi a mais pontuada entre os entrevistados, seguida de passar roupas, limpar o chão e lavar o banheiro. A limpeza da casa é uma tarefa agregada, que engloba atividades realizadas em conjunto a fim de deixar a casa limpa e arrumada, normalmente essa atividade recebe o nome de faxina. Por ser uma atividade que engloba a limpeza de todos os cômodos da casa, é compreensível que a limpeza da casa seja apontada como a mais cansativa por 24 % dos respondentes. Enquanto isso, passar roupas, que consiste em apenas uma atividade, que é realizada com o auxílio do ferro elétrico ou vaporizador e de uma tábua de passar, foi a tarefa mais cansativa para 21 % dos entrevistados. Em menor número, as tarefas agregadas de limpar o chão e lavar o banheiro foram apontadas por 16 % e 15 % dos entrevistados.

Normalmente, o público-alvo é ditado pelas especificações buscadas por clientes com diferentes expectativas. As pessoas podem buscar inovações no design, maior quantidade de funções e o encurtamento de tarefas ou apenas o produto que exerça a sua finalidade. Como o foco do trabalho é a atividade de lavanderia, logo se buscou quantificar qual seria a tarefa, dentro desse conjunto específico de atividades, a mais cansativa, conforme Figura 3.9.

Figura 3.9 – Etapa mais cansativa do processo de lavanderia.



Fonte: Autor (2020).

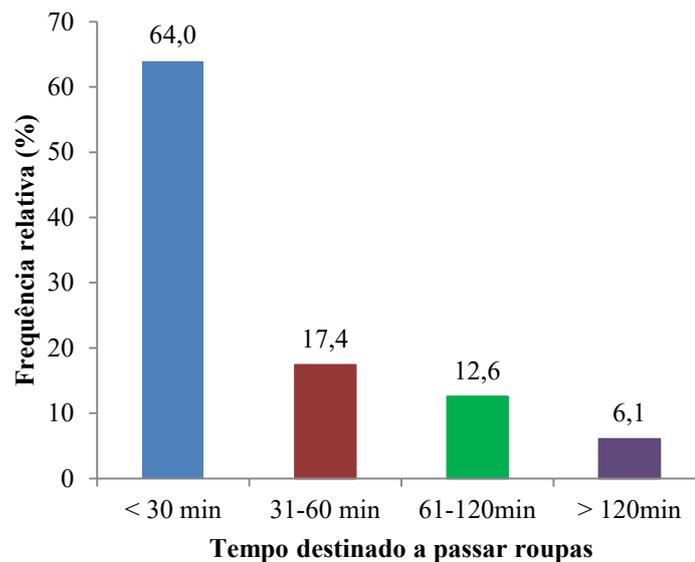
Fica nítido que a atividade de passar roupas é a etapa do processo mais trabalhosa e cansativa, sendo assinalada por mais de 75 % dos entrevistados. As tarefas de secar e lavar roupas também foram pontuadas, assim como na Figura 3.8. Provavelmente a atividade de secar roupas foi assinalada porque quem as assinalou faz uso da secagem em varal. Logo, é

necessário estender as roupas úmidas e após secas, recolhê-las. A tarefa de lavar também foi pontuada, muito provavelmente, por ser realizada de maneira manual ou já ter sido realizada dessa forma por alguns dos entrevistados. A lavagem manual exige esforço físico, pois a roupa deve ser esfregada e após isso enxaguada para retirar o excesso de sabão e amaciante, caso tenha sido utilizado.

3.4.5 Tempo destinado a passar roupas

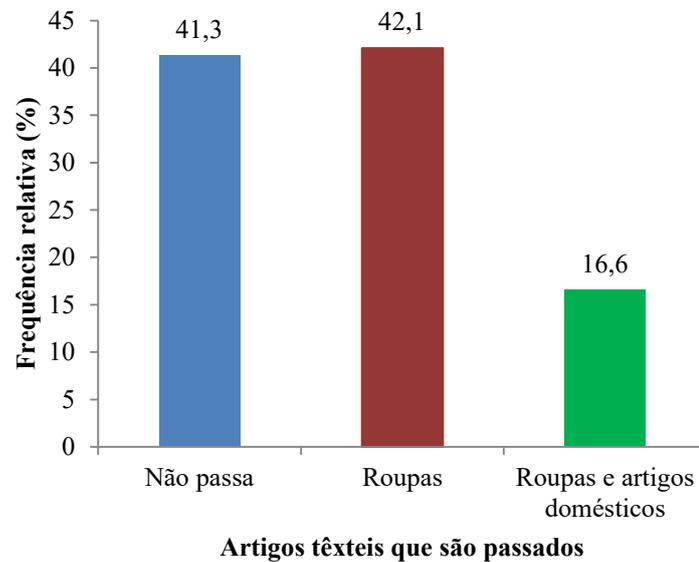
No questionário também foi perguntado o tempo destinado para a realização da atividade de passar roupas e quais as roupas e artigos domésticos que eram passados, conforme Figuras 3.10 e 3.11. Aproximadamente 60 % dos entrevistados passam roupas ou algum artigo doméstico e realizam essa atividade normalmente em tempos inferiores a 30 minutos, porém, 18,5 % das pessoas gastam mais de 60 minutos para a realização dessa tarefa. Quando comparado aos dados obtidos por Alborzi, Schmitz e Stamminger (2017), verifica-se que em países como Finlândia e Suécia, a taxa de pessoas que costumam passar suas roupas fica em torno de 15 %, enquanto que em países como Itália, 40 % dos entrevistados passam suas roupas. Esses valores podem estar relacionados ao tipo de composição das fibras têxteis que constroem os artigos de vestuário majoritariamente utilizados em cada região.

Figura 3.10 – Tempo destinado a passar roupas.



Fonte: Autor (2020).

Figura 3.11 – Artigos têxteis que são passados.



Fonte: Autor (2020).

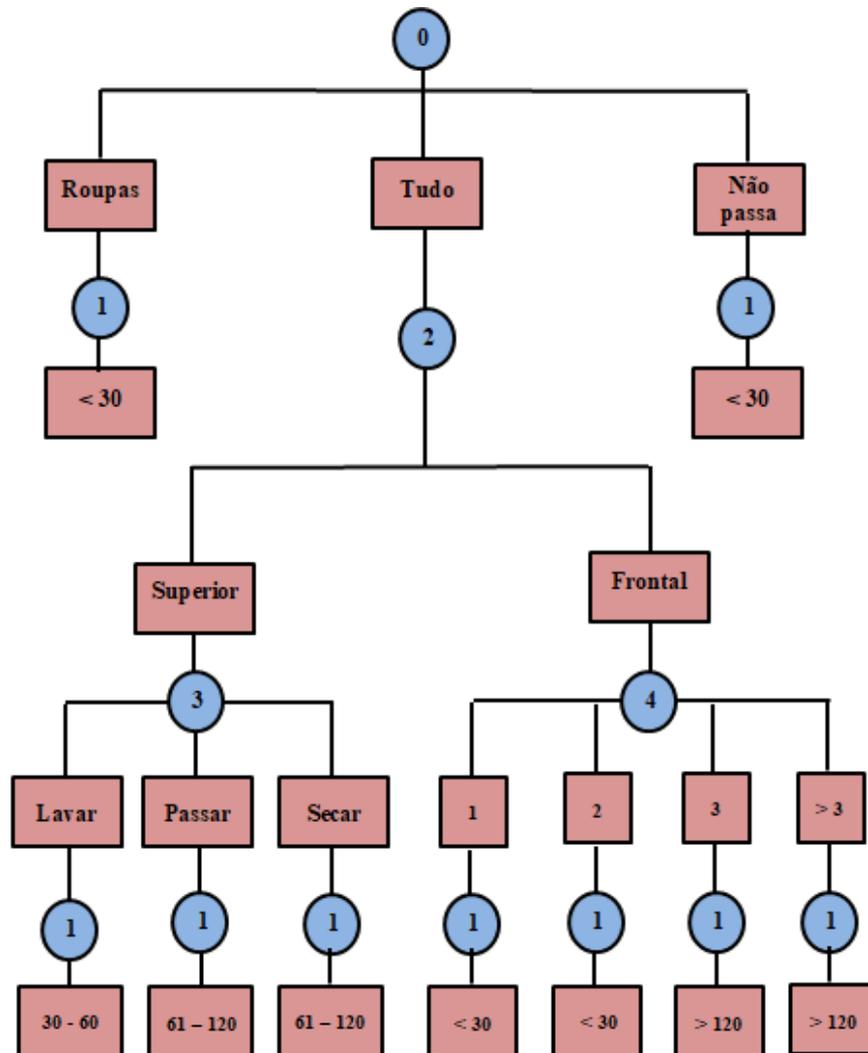
Ao fazer uma análise bivariada das variáveis presentes nas Figuras 3.10 e 3.11, constatou-se que as variáveis são fortemente correlacionadas ($\gamma = 0,897$) para um nível de significância $p = 0,001$. É possível verificar que as pessoas que demandam mais de 120 minutos na atividade de alisamento de tecidos em sua maioria passam roupas e artigos domésticos. Já as pessoas que gastam entre 30 e 60 minutos, costumam passar apenas as roupas, enquanto que as pessoas que requerem menos de 30 minutos em grande parte não faz uso dessa atividade ou em menor número passa apenas as roupas. Esses números são diretamente afetados pelo tipo de material que é utilizado no vestuário do dia a dia e com o grau de exigência dos consumidores ao alisar suas roupas.

Também foi constatado que o tempo destinado a passar está correlacionado ao número de moradores ($\gamma = 0,363$), a renda per capita familiar ($\gamma = 0,454$) e a quantidade de vezes que as roupas são lavadas durante a semana ($\gamma = 0,503$), todos ao nível de significância $p = 0,001$. Ou seja, à medida que a quantidade de moradores aumentou o tempo destinado a passar roupas foi maior, pois maior volume de roupas foi lavado. Quanto maior a renda per capita familiar, maior será o tempo destinado a passar roupas, provavelmente devido ao tempo demorado em cada peça para se garantir a maior lisura possível do material. E, quanto mais dias são precisos para lavar as roupas durante a semana, maior será o tempo de passa-las, pois (i) maior quantidade de roupas estará sendo lavada semanalmente, e/ou (ii) a cada lavagem, as roupas serão passadas, o que resultará em maior tempo para montar a tábua, aquecer o ferro e consequentemente passar as roupas.

A etapa assinalada pelos entrevistados como a mais cansativa foi a de passar roupas. Logo, é pertinente conhecer os fatores que contribuem com a duração desta tarefa, mesmo que o ferro elétrico, responsável por alisar os artigos têxteis, apresente o menor consumo energético dentre os aparelhos domésticos analisados. Então, uma árvore de decisão (AD) foi criada para prever quais características do processo de lavanderia são determinantes no tempo atribuído à atividade de passar roupas. Esse algoritmo levou em consideração oito características presentes no ambiente doméstico que poderiam influenciar o tempo de passar artigos têxteis. Os parâmetros analisados foram: número de moradores, tipo da máquina, programa de lavagem utilizado, carga de lavagem, número de vezes que as roupas eram lavadas, uso de amaciante, artigos têxteis que eram passados e a etapa julgada ser a mais trabalhosa dentre as atividades de lavanderia. Por meio da utilização da AD é possível considerar a relação entre as variáveis e identificar as mais importantes para classificação da árvore.

O algoritmo de mineração de dados C4.5 foi executado para analisar as regras de associação entre as variáveis independentes e a variável resposta. Na árvore de decisão é possível focar a análise nas variáveis que estão presentes em sua estrutura, sendo essas as mais relevantes para o estudo. A árvore possui nós, ramos e folhas. Os nós são compostos por atributos de decisão, as folhas são compostas pelos atributos de classe e os ramos são os caminhos entre os nós ou entre um nó e uma folha. A análise da AD produziu 13 folhas e 9 ramos. Um caminho do nó raiz até o nó folha na AD formava uma regra de associação “se-então” entre todas as variáveis independentes e a variável dependente. As regras de classificação são para identificação do tempo destinado a passar roupas. O teste de validação possui uma taxa de exatidão de 66,1 % indicando que o modelo é estável e com precisão aceitável. A seguir, na Figura 3.12, a árvore de decisão podada construída no LHStat®.

Figura 3.12 – Árvore de decisão para o tempo destinado a passar artigos têxteis.



Fonte: Autor (2020).

Notas: 0: Quais itens têxteis são passados a ferro, 1: Tempo gasto passando roupas, 2: Tipo de máquina de lavar, 3: A etapa mais trabalhosa do processo de lavanderia, 4: Número de residentes.

Os artigos têxteis destinados a passar configuraram como parâmetro mais importante na AD, seguido do tipo de lavadora doméstica, número de residentes e etapa mais cansativa do processo de lavanderia. As roupas a serem passadas estão intimamente relacionadas ao tempo destinado a passar, sendo a variável independente mais próxima à raiz. Uma quantidade maior de artigos de vestuário vai requerer maior tempo para realização dessa atividade. O tipo de lavadora doméstica pode influenciar no enrugamento gerado nas roupas. Dependendo do tipo de máquina e dos parâmetros selecionados para realizar a lavagem, os tecidos podem ser entregues, após a lavagem, mais ou menos amarrotados. A quantidade de moradores também está correlacionada ao tempo destinado a essa tarefa, uma vez que quanto maior o número de residentes, maior será a quantidade de artigos domésticos passados

e conseqüentemente mais tempo será destinado a passar. A etapa mais cansativa também está ligada ao tempo destinado a passar roupas, pois, as pessoas que a classificaram como a mais cansativa, também são aquelas que demandam mais tempo para a realização dessa tarefa.

A análise da árvore permitiu extrair algumas regras que relatam a probabilidade de o indivíduo demandar determinado tempo para a realização da atividade de passar roupas. Dentre as regras geradas no algoritmo de classificação extraídos do modelo da AD, destacam-se os nós 1 e 6. O nó 1 apresentou 98,1 % de precisão, nesse nó se as pessoas não passavam artigos têxteis, então o tempo destinado a essa atividade era inferior a 30 minutos. E, o nó 6 apresentou 63 % de precisão, nesse nó quando os artigos domésticos e artigos de vestuários eram passados, se esses tecidos tivessem sido lavados em lavadora de carregamento frontal e tivesse mais de 3 moradores na residência, então o tempo gasto para alisar os tecidos era superior a 120 minutos.

3.5 DISCUSSÃO

Este estudo explorou a relação existente entre as atividades domésticas, com enfoque nas tarefas de lavanderia. Dessas, foram observados os hábitos dos moradores e tendências de consumo energético. Em particular, o presente trabalho contribuiu ao conseguir explorar um número maior de entrevistados e captar a percepção de um espectro mais amplo de consumidores, quando comparado ao estudo de Spencer, Lilley e Porter (2015). No artigo, também foi observado a relação percebida entre cansaço e tarefas domésticas, importante elemento a ser averiguado em pesquisas de mercado para modificar produtos e melhorar funções já disponíveis.

A atividade de lavanderia consiste em uma tarefa, muitas vezes, diária realizada pelas famílias brasileiras. Os respondentes costumam acondicionar suas roupas antes de lavar em um recipiente específico e após acumular determinada quantidade de roupas sujas, dar início ao processo de lavagem. Normalmente, são realizadas de uma a três lavagens semanais, com a capacidade máxima da lavadora. O tipo de máquina utilizada, em sua grande maioria, é a de carregamento superior e o programa de lavagem normal é o mais utilizado. Também costumam usar produto amaciante para perfumar as roupas. Em seguida prosseguem com a secagem em varal dos artigos têxteis. Isso se deve ao clima propício no Brasil para a realização da secagem das roupas, que consegue extrair toda a água do artigo têxtil em curto período de tempo. Por fim, as roupas e artigos domésticos são passados. Logo, a análise dos

dados destaca o papel crucial que o consumidor tem e a sua influência na realização das atividades. Fato este também observado por Ellmer *et al.* (2017), que concluíram que os consumidores são os principais responsáveis pelo consumo de recursos na atividade de lavanderia.

Consistente com a expectativa, a atividade de lavanderia, como mencionado anteriormente, apresenta características próprias em diferentes países, devido às culturas diversas e percepções distintas dos povos (PAKULA; STAMMINGER, 2010). Além disso, a quantidade de energia elétrica consumida pelos moradores ao lavar, secar e passar artigos têxteis foi mensurada. Os resultados mostraram que há um forte consumo energético na atividade de lavanderia. Os três principais aparelhos consomem anualmente 240 kWh, sendo a secadora doméstica o eletrodoméstico que mais consome eletricidade, totalizando cerca de 50 % da energia das atividades de lavanderia. Esse percentual elevado ocorre porque o equipamento necessita aquecer o material têxtil para que haja remoção da umidade adquirida após o processo de lavagem. Dessa forma, as roupas são entregues secas no tempo estipulado pelo programa de secagem ofertado pela máquina. O ferro elétrico foi o aparelho com o menor consumo energético, sendo responsável por cerca de 20 % da energia consumida na atividade de lavanderia. Vale salientar que o tempo utilizado para fazer a comparação com os outros equipamentos foi selecionado de acordo com as respostas obtidas dos questionários. A maioria dos entrevistados costuma lavar as suas roupas com a capacidade máxima da máquina e, como observado nesse estudo, normalmente, apenas algumas peças são passadas pelos consumidores.

Mesmo que não tenha sido o foco principal do trabalho, é possível notar que os consumidores estão cada vez mais atentos às questões de redução de consumo energético e hídrico. Fato este corroborado por estudos que também observaram uma tendência mais sustentável ao desenvolver as tarefas de lavanderia (ALBORZI; SCHMITZ; STAMMINGER, 2017; ELLMER *et al.*, 2017; FAN, L.; TONG; NIU, 2019; SCHMITZ; STAMMINGER, 2014). Além disso, os consumidores também estão atentos ao comprar os eletrodomésticos, analisando os rótulos e as informações importantes, contudo, as informações nem sempre são depreendidas pelos consumidores, devido a presença de informações técnicas poucos usuais no dia a dia (FAN, L.; TONG; NIU, 2019).

O estudo também levantou a problemática da atividade julgada pelos consumidores como a mais cansativa. Os resultados do questionário indicaram claramente que a tarefa de passar roupas é a mais trabalhosa, embora ela demande menos tempo quando comparada aos

demais afazeres domésticos analisados. Alguns fatores que já foram pontuados em estudos anteriores podem justificar essa afirmação. A reprodução continuada da ação de passar seria um dos motivos, pois as pessoas que exercem essa função repetem diversas vezes o mesmo movimento e a tábua de passar, essencial para o desenvolvimento da tarefa, apresenta falta de regulagem de altura, o que pode causar desconforto, fadiga e problemas posturais (DOS SANTOS *et al.*, 2019). Além disso, o tipo de tecido, o uso no dia a dia, a forma como o tecido é lavado, a lavadora doméstica que é utilizada e o tipo de secagem efetuado podem contribuir para um maior número de rugas, e conseqüentemente, maior esforço para o usuário que for realizar a atividade de passar roupas a fim de garantir a lisura do vestuário (HIGGINS *et al.*, 2003b, 2003a; LIU, H. *et al.*, 2018, 2019b; SINCLAIR, 2014).

Com os dados coletados, o comportamento do consumidor brasileiro, especificadamente do estado de Santa Catarina, pode ser descrito com mais clareza e entendido. O feedback recebido pelos respondentes revelou que o questionário foi sucinto e de fácil compreensão. Além disso, alguns respondentes avaliaram a pesquisa como interessante, os quais nunca haviam avaliado o tempo investido em cada processo doméstico. Outro ponto é que alguns consideraram a tarefa de passar roupas cansativa e contraproducente e que por isso deixaram de realizá-la.

Finalmente, os fatores analisados na construção do modelo da AD em conjunto com a análise descritiva e consumo energético dos aparelhos elétricos da rotina de lavanderia são poderosos elementos de predição. Desse modo, pôde-se focar no que o consumidor busca em relação a essas etapas que consomem um período elevado de tempo do dia a dia de quem as executa. Logo, buscou-se focar na atividade de passar roupas, que foi relatada pela grande maioria dos entrevistados como a atividade mais desgastante entre as listadas no estudo. Ela é responsável por causar desgaste seja físico, seja psicológico. Portanto, sabendo que os consumidores estão em busca de maior praticidade, seria razoável fazer uma análise preliminar de que a aglutinação das etapas de lavar, secar e passar em um mesmo equipamento seria o caminho natural a ser desenvolvido. Isso faria com que houvesse menor desgaste por parte de quem executa as tarefas, pois, os consumidores só iriam se preocupar em decidir com base em sua compreensão pessoal os fatores mais importantes que representem o seu objetivo final ao realizar essas atividades em conjunto.

3.5.1 Contribuições e implicações gerais

O estudo apresenta implicações não somente para a comunidade acadêmica, como também para setores do mercado. Poucas pesquisas foram realizadas acerca do hábito do consumidor na atividade de lavanderia em diversas regiões do mundo, como explicitado anteriormente. No Brasil, por exemplo, há registro de apenas um estudo que retrata a rotina de lavanderia desenvolvida pelos brasileiros. Todavia, o presente trabalho é dedicado a compreender: (i) os hábitos dos consumidores nas tarefas de lavanderia, (ii) o consumo energético dos principais aparelhos elétricos dessas tarefas e (iii) os problemas da atividade de passar roupas, que foi apontada como a tarefa mais cansativa no âmbito doméstico. Dessa forma, esse estudo deu um passo importante ao relacionar diferentes pontos cruciais ao se buscar compreender o comportamento e dificuldades percebidas pelos consumidores brasileiros.

As descobertas desse estudo possibilitaram criar uma visão assertiva sobre qual mercado consumidor deve ser trabalhada as inovações tecnológicas no ramo de eletrodomésticos brasileiros. A partir deste artigo, verificou-se que a máquina de lavar mais listada entre as pessoas com maiores rendimentos foi a de carregamento superior. As pessoas mais jovens, em grande parte, não são adeptas de passar roupas, já os mais velhos costumam passar as roupas e alguns artigos domésticos. Também vale destacar que as famílias maiores e com maiores rendimentos mensais foram as que demandaram mais tempo ao realizar a tarefa de passar roupas. Com base nisso, os profissionais responsáveis pelo desenvolvimento do produto podem, a partir do nosso estudo, buscar soluções que atendam ao perfil dos consumidores que listaram a tarefa de passar roupas como a mais cansativa.

3.5.2 Limitações e sugestões para futuras pesquisas

Este estudo contribui com várias implicações em diversas áreas, no entanto apresenta algumas limitações que podem ser o ponto de partida de futuras pesquisas. A partir de uma análise descritiva dos dados foi possível conhecer o perfil social e econômico dos entrevistados. Além disso, foram obtidos os hábitos dos respondentes quanto às tarefas de lavar, secar e passar roupas. Apesar disso, os respondentes se concentraram em um estado específico do território brasileiro, e como o Brasil é um país continental, pesquisas complementares com amostras maiores são necessárias para traçar o perfil do consumidor em

relação à tarefa de lavanderia e planejar ações direcionadas a um maior público-alvo que compartilhe dos mesmos desejos.

Outro fator importante é que o tempo destinado a passar roupas foi a variável de resposta escolhida para realização da técnica de mineração de dados, pois a tarefa de passar roupas foi apontada pelos entrevistados como a mais cansativa. O algoritmo de AD mostrou que a quantidade de artigos domésticos alisados em conjunto com o tipo de lavadora doméstica utilizada foram os fatores que mais afetaram o tempo de duração da atividade. Embora a técnica de classificação tenha apresentado boa concordância com o modelo de classificação, a AD apresenta melhores resultados com bancos de dados maiores. Diante disso, espera-se que um maior banco de dados e a incorporação de outras variáveis, além das já estudadas nesta pesquisa, possam orientar novos trabalhos que aprimorem o método apresentado.

Finalmente, o presente estudo empregou a metodologia de aplicação de questionários para poder relacionar diferentes panoramas e interconectá-los a fim de ter maior clareza a respeito do perfil do consumidor brasileiro. Mesmo que a pesquisa tenha sido direcionada a um estado em particular, consegue retratar de maneira satisfatória a relação existente entre as tarefas de lavar, secar e passar roupas, sendo esse um caminho que deve continuar a ser explorado em pesquisas no futuro. Inclusive, esse estudo se mostra relevante por servir como base para trabalhos futuros de natureza experimental do processo de lavagem e secagem dentro do próprio grupo de pesquisa. Pois, conhecendo as condições de carga de lavagem, tipo de lavadora, programa de lavagem e tempo desempenhado nos respectivos processos será possível traçar metodologias que incorporem os hábitos dos usuários e, dessa forma, pesquisas focadas na redução do amarrutamento das roupas, que vem a ser o fator desencadeador da atividade de passar roupas, possam ser desenvolvidas.

3.6 CONCLUSÕES

Os hábitos de lavanderia variam de acordo com as diferentes culturas e países, logo as soluções devem ser ajustadas aos anseios e necessidades locais. Este trabalho, embora seja baseado em uma amostra da população do sul do Brasil, descreve o comportamento e atitudes das pessoas quanto à rotina de lavanderia e são interessantes por fornecer informações valiosas sobre os hábitos de lavanderia, tempo demandado e consumo energético das famílias brasileiras. A pesquisa explorou diferentes aspectos destas atividades, desde o consumo

energético à quantificação da etapa mais cansativa do processo. A partir deste estudo é possível traçar metodologias capazes de minimizar o tempo destinado a passar roupas, já que essa tarefa foi apontada como a mais cansativa entre todas as atividades domésticas.

Este trabalho possibilitou estabelecer relações entre hábitos e necessidades de consumidores de modo a auxiliar na tomada de decisões de disponibilidade de tecnologias por parte de fabricantes de equipamentos domésticos, direcionando os estudos de pesquisa e desenvolvimento a fim de atender os anseios dos clientes. A percepção dos respondentes, quanto à execução e o tempo despendido para realização das atividades estudadas, é essencial na busca de soluções que venham a mitigar dificuldades encontradas no processo de lavanderia.

4 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE SECAGEM E QUANTIFICAÇÃO DA LISURA DOS TECIDOS DE ALGODÃO E DE LINHO POR MEIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM

Este capítulo contém o artigo que analisa a interação entre diferentes parâmetros de lavagem e secagem com a formação de rugas nos tecidos após secagem em varal e em secadora de condensação. Para avaliar o nível de lisura, foi utilizada uma técnica de processamento de imagem a fim de localizar as rugas nos tecidos e identificá-las.

4.1 INTRODUÇÃO

Os tecidos são materiais flexíveis que consistem em um conjunto de fibras naturais ou sintéticas formadas por diversos processos, como: tecelagem, tricô e crochê (LI *et al.*, 2017). O tecido ao ser dobrado forma vincos, por meio da ação de forças impostas aos fios e fibras, pois resistem à flexão gerada, mas, se as forças não excederem o limite de elasticidade, as fibras poderão se recuperar sem vincar permanentemente (TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012). Durante o processo de enrugamento, deformações complexas como flexão, torção e compressão são causadas às fibras (FAN, J.; HUNTER, 2009). O comportamento das rugas depende do tipo de fibra, do tipo de fio, da construção do tecido e do acabamento recebido pelo material têxtil. Os artigos de vestuário e do lar amarrotam em função do uso ou durante processos de lavagem e secagem, e a recuperação da deformação não é espontânea (SINCLAIR, 2014).

Os materiais têxteis naturais normalmente apresentam estrutura porosa, flexibilidade e são de natureza hidrofílica (WEI, D. W. *et al.*, 2020). Dentre as fibras que dispõem dessas características, destacam-se as fibras de algodão e linho. As duas fibras possuem majoritariamente celulose, que é o componente estrutural mais importante e apresentam em menor quantidade em sua estrutura hemicelulose e lignina (DITTENBER; GANGARAO, 2012). Os três componentes estão quimicamente e fisicamente ligados (UMMARTYOTIN; MANUSPIYA, 2015). As fibras de algodão e de linho, devido sua estrutura, apresentam boa absorção de água e podem ser utilizadas para a confecção de diversas vestimentas e artigos domésticos. No entanto, as roupas feitas por essas fibras amarrotam com facilidade (MATHER; WARDMAN, 2011).

A lavagem apresenta mecanismos de transferência de quantidade de movimento e de transferência de massa (MAC NAMARA *et al.*, 2012). No processo de lavagem, a água em conjunto com detergente e uso de ação mecânica remove eventuais sujidades presentes nos tecidos (FAN, J.; HUNTER, 2009). Entre os diferentes tipos de lavadoras, uma gama de fatores e parâmetros pode afetar o modo de lavagem, destacando-se: geometria do tambor e do agitador, tempo de lavagem, velocidade de rotação, nível da água, temperatura da água e quantidade de produtos químicos (CAMPOS; HERMES, 2016). As lavadoras podem ser classificadas de acordo com o eixo de rotação do tambor em lavadora de carregamento frontal e lavadora de carregamento superior (BUENO *et al.*, 2019).

Estudos recentes vêm analisando o amarrotamento dos tecidos gerado pelas lavadoras domésticas. O amarrotamento de tecidos de linho puro foi estudado por Gocek *et al.* (2013) devido a sua grande facilidade de amassamento durante o uso. Os autores analisaram a suavidade dos tecidos durante a lavagem em máquina com carregamento frontal e constataram que o maior nível de lisura foi obtido quando se tinha maior quantidade de água, baixa taxa mecânica, maior temperatura de lavagem e uma velocidade de centrifugação mais elevada. Arslan *et al.* (2016) também estudaram o comportamento enrugado do tecido de linho após lavagem em lavadora de carregamento frontal e verificaram que a aplicação de calor após qualquer etapa de centrifugação fez com que as roupas apresentassem maior nível de lisura e uma velocidade de centrifugação média e aquecimento na etapa de enxágue também ocasionaram melhor índice de lisura. Liu *et al.* (2018) analisaram os parâmetros de lavagem que influenciavam o nível de amarrotamento em tecidos de algodão em uma máquina de lavar doméstica com carregamento superior. Constataram que quanto menor a carga de lavagem e quanto menor a velocidade de centrifugação, maior era a lisura do tecido após o processo de lavagem. Liu *et al.* (2019b) também avaliaram o enrugamento do tecido de algodão em uma lavadora de carregamento frontal. Os parâmetros carga e velocidade de centrifugação contribuíram negativamente para a suavidade do tecido, à medida que esses parâmetros eram aumentados, a lisura diminuía.

A secagem das roupas costuma ser realizada em ambiente aberto por ação do vento e luz solar (STAWREBERG; BERGHEL; RENSTRÖM, 2012), conquanto, as secadoras domésticas estão cada vez mais populares nas residências em diferentes regiões do mundo (ZHAO *et al.*, 2018). Diversos estudos analisaram a eficiência e consumo energético dos variados tipos de secadoras domésticas (AHN *et al.*, 2019; COCHRAN *et al.*, 2009; JIAN; ZHAO, 2017; NOVAK *et al.*, 2020; NOVAK; GATARIĆ; ŠIROK, 2019; STAWREBERG;

BERGHEL; RENSTRÖM, 2012; STAWREBERG; WIKSTRÖM, 2011). Contudo, poucos estudos são relatados no que tange o aspecto visual amarrotado dos tecidos após o processo de secagem, na base de dados Scopus há apenas 32 publicações de artigos que tratam do tema quando são buscados os termos “*dryer*”, *wrinkling* e *fabric* em conjunto com *and*, operador booleano de intersecção. Desses, a maioria está direcionada as áreas de Ciências de Materiais, Engenharia e Engenharia Química.

Higgins *et al.* (2003) observaram que a secagem do tecido de algodão em secadora doméstica, com ou sem a presença de amaciante, geralmente produz maior nível de lisura do que a secagem em varal. Wei *et al.* (2018b) analisaram o enrugamento gerado no tecido de algodão após secagem em programa fixo e secagem em etapas em secadora comercial e observaram que a secagem em etapas apresentou resultados com maior lisura quando comparada ao programa fixo utilizado. A secagem repetida do tecido de algodão em secadora de ventilação doméstica foi avaliada por Wei *et al.* (2018a), sendo verificada a redução da lisura do tecido de algodão independentemente da quantidade de ciclos de secagem, quando comparados à amostra padrão, sem ser lavada. O nível de suavidade do tecido de algodão foi analisado por Yu *et al.* (2018) em diferentes etapas da secagem em uma secadora doméstica de condensação. Os autores concluíram que as características físicas (densidade, peso e espessura) do tecido não tiveram influência significativa no enrugamento das roupas. Yu, Li e Ding (2020) analisaram o efeito dos parâmetros de secagem em uma secadora de ventilação no enrugamento do tecido de algodão sob diferentes condições e verificaram que o tamanho da carga e velocidade de rotação do motor mostraram efeitos significativos.

Embora estudos significativos estejam sendo desenvolvidos a fim de determinar os parâmetros que influenciam o amarrotamento do tecido após os processos de lavagem e secagem doméstica, a quantificação do nível de lisura na grande maioria dos estudos é utilizando o método AATCC 124 (ARSLAN *et al.*, 2016; GOCEK *et al.*, 2013; KIM; YUN; PARK, 2019; LIU, H. *et al.*, 2019a, 2019b; YU *et al.*, 2018). Esse método faz a leitura do amarrotamento de maneira qualitativa através da análise visual de observadores treinados (AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS – AATCC, 2010). Alguns autores entendendo a lacuna do método indicado pela AATCC, que pode gerar interpretações distintas dependendo da análise dos avaliadores, propuseram procedimentos alternativos que realizassem a leitura do amarrotamento do tecido por meio de processamento de imagem, garantindo maior lisura e rigor às análises (ABRIL; MILLAN; VALENCIA,

2008; CARVALHO NETO, 2017; LIU, C.; FU; WU, 2014; ZAOUALI; MSAHLI; SAKLI, 2010).

Este artigo teve como objetivo avaliar a influência do conteúdo residual de água nos processos de lavagem e secagem (secadora de condensação e varal) doméstica sobre o grau de amarrotamento de tecidos de linho e de algodão gerado sob diferentes condições operacionais, por meio de técnica de processamento de imagem. A interação entre nível de lisura e parâmetros de secagem foi observada em diferentes etapas do processo de secagem tanto em varal quanto em secadora doméstica. Na primeira etapa foram avaliados os parâmetros de lavagem que poderiam gerar maior quantidade de rugas após os tecidos serem lavados e secos. Em seguida, os parâmetros de lavagem do ensaio com maior grau de acréscimo de água foram selecionados para analisar o desempenho da secagem em três diferentes programas da secadora doméstica, além da secagem em varal. Por fim, a utilização de produto amaciante foi observada no enrugamento dos tecidos. Dessa forma, é possível desenvolver um procedimento de lavagem com os melhores níveis estudados e, assim, obter aparência mais suave dos tecidos após os processos de lavagem e secagem, fazendo com que menos tempo e esforço sejam despendidos em etapas posteriores de lisura do tecido.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Material

Todas as amostras de tecido foram previamente lavadas com água a temperatura de 20 °C e detergente líquido na lavadora. Em seguida, os tecidos foram postos para secar em varal com temperatura controlada de 21 ± 2 °C a fim de eliminar qualquer tensão gerada nos tecidos no processo de fabricação. Por fim, as amostras foram acondicionadas por 24 horas a temperatura de 21 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 3 %, antes de serem realizados os testes. Todos os tecidos utilizados nas análises foram dobrados da mesma forma e depois colocados no tambor de uma maneira que garantisse uma distribuição uniforme a fim de minimizar o emaranhamento das peças.

Os tecidos utilizados no procedimento experimental consistiam em tecidos planos 100 % algodão e 100 % linho, adquiridos comercialmente. Os tecidos foram cortados em quadrados de 60 cm x 60 cm, dimensões semelhantes à de uma camiseta. Já a carga utilizada para o enchimento da máquina de lavar era composta por tecidos 100 % algodão cortados em

quadrados 50 cm x 50 cm. Os detalhes dos tecidos podem ser visualizados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 – Características dos tecidos utilizados no estudo.

Ter de fibra	Estrutura	Gramatura (g/m ²)	Densidade (fios/cm)	
			Trama	Urdume
100 % algodão	Tela	135	19	42
100 % linho	Tela	222	16	18

Fonte: Autor (2020).

Tabela 4.2 – Características do tecido utilizado como carga.

Teor de fibra	Estrutura	Gramatura (g/m ²)
100 % algodão	Tela	131

Fonte: Autor (2020).

O detergente líquido, próprio para lavar roupa doméstica da marca líder no mercado brasileiro, foi utilizado de acordo com a capacidade do compartimento específico para sabão líquido da lavadora. O detergente apresentava em sua composição os seguintes tensoativos: linear alquil benzeno sulfonato de sódio e alquil éter sulfato de sódio. Para uma carga de lavagem de 2 e 4 kg, 50 mL de detergente foram utilizados.

O amaciante utilizado foi do tipo concentrado, do mesmo fabricante do detergente e também de marca líder de mercado no Brasil. Na sua composição consta dialquioxietil hidroxietil metil amônio metil sulfato, coadjuvantes, atenuador de espuma, espessante, sequestrante, conservantes, fragrâncias, corantes e água.

4.2.2 Métodos

4.2.2.1 Planejamento fatorial dos ensaios de lavagem

O planejamento experimental fatorial de quatro fatores em dois níveis (2⁴), expresso na Tabela 4.3, foi aplicado. Foram avaliados os fatores: temperatura da água de lavagem, tipo de centrifugação, número de enxágues e a carga de lavagem. Esses parâmetros foram escolhidos conforme indicado pela literatura (CARVALHO NETO, 2017; HIGGINS *et al.*, 2003b; LIU, H. *et al.*, 2018, 2019b, 2019a; YU *et al.*, 2018). Os níveis selecionados foram definidos de acordo com a faixa ajustável da lavadora e seguindo sugestões do fabricante. As

variáveis de resposta analisadas foram o nível de lisura do tecido de algodão e de linho (i) após o processo de lavagem em lavadora de carregamento frontal e secagem em varal e (ii) após o processo de lavagem em lavadora de carregamento frontal e secagem em secadora de condensação, configurando quatro planejamentos fatoriais completos. O design experimental resultou em 16 experimentos, conforme Tabela 4.4, cujas combinações dos fatores resultam numa análise multivariada. Todos os ensaios foram realizados em triplicata para análise do erro.

Tabela 4.3 – Níveis de cada fator avaliado no planejamento fatorial.

Fator	Níveis	
	Baixo (-)	Alto (+)
Temperatura da água (°C)	20	40
Centrifugação	Normal	Turbo
Número de enxágues	1	3
Carga de lavagem (kg)	2	4

Fonte: Autor (2020).

Tabela 4.4 – Design experimental.

Ensaio	Temperatura da água (°C)	Centrifugação	Número de enxágues	Carga de lavagem (kg)
1	20	Normal	1	2
2	40	Normal	1	2
3	20	Turbo	1	2
4	40	Turbo	1	2
5	20	Normal	3	2
6	40	Normal	3	2
7	20	Turbo	3	2
8	40	Turbo	3	2
9	20	Normal	1	4
10	40	Normal	1	4
11	20	Turbo	1	4
12	40	Turbo	1	4
13	20	Normal	3	4
14	40	Normal	3	4
15	20	Turbo	3	4
16	40	Turbo	3	4

Fonte: Autor (2020).

O tempo total do procedimento de lavar, enxaguar e centrifugar variou de acordo com cada tratamento. Os tempos de lavagem corresponderam a 44 ± 2 minutos e 58 ± 2 minutos para as temperaturas de 20 e 40 °C, respectivamente. A etapa de enxágue demandou 22 ± 2 minutos, quando houve apenas um enxágue. Quando ocorreu três enxágues, o processo

descrito foi repetido e o tempo de duração foi de 58 ± 2 minutos, com o aumento do número de enxágues, ocorre à diminuição do tempo de agitação presente nessa etapa. Já o tempo destinado à centrifugação não variou para os níveis selecionados, tendo duração de 18 ± 2 minutos. Ao final do procedimento de lavagem, as amostras foram secas em secadora doméstica e em varal para, então, ter o grau de suavidade aferido.

4.2.2.1.1 Análise estatística

A análise estatística se deu por análise de variância ANOVA com 95 % de confiança utilizando-se o software Statistica[®] 13.0 (versão para Windows) (Statsoft). Foram realizadas análises do nível de lisura por meio de software de processamento de imagem dos tecidos de algodão e de linho após secagem em secadora doméstica e em varal. Os parâmetros de lavagem estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95 % foram determinados por análise de variância.

4.2.2.2 Lavagem

As lavagens ocorreram em máquina de lavar com abertura frontal e eixo horizontal (Electrolux, modelo LSI 09) com capacidade nominal de 9 kg de roupas secas, consumo médio de água de 72 L e velocidade máxima de rotação de 1400 rpm. O processo de lavagem dos artigos têxteis é compreendido em três etapas: lavar, enxaguar e centrifugar. A máquina de lavar dispõe de 11 programas já configurados. Na Tabela 4.5 estão as opções de configurações disponíveis na lavadora. Foram escolhidas as temperaturas de lavagem fria e 40 °C, 1 e 3 enxágues e centrifugação tipo normal e turbo para a realização dos ensaios de lavagem.

Tabela 4.5 – Configurações disponíveis na máquina LSI 09.

Temperatura de lavagem	Número de enxágues	Tipo de centrifugação
Fria	1	Suave
40 °C	2	Normal
60 °C	3	Turbo
95 °C	4	

Fonte: Autor (2020).

Na lavagem, o detergente foi inserido no *dispenser* da lavadora e quando a máquina foi ligada ocorreu o abastecimento de água. Em seguida, houve o aquecimento da água, caso o programa selecionado apresentasse acréscimo de temperatura, depois disso, o sistema de tombamento da carga teve início. Nesse sistema, a lavagem ocorre por meio da ação mecânica de tombamento que permite a movimentação do tecido em um tambor de eixo horizontal rotativo. A ação mecânica possibilitou que os artigos têxteis fossem carregados até certa altura do cesto e, em seguida, se desprendessem caindo uns sobre os outros. O impacto causado pela queda e o atrito existente entre as peças ajuda na remoção de sujidades. Movimento similar do tecido em máquina de carregamento frontal foi observado por Yun e Park (2014), onde foi constatado que os tecidos apresentavam diferentes tipos de movimento, categorizados em movimentos de deslizamento, queda e rotação.

A segunda etapa consistiu no processo de enxágue, ocorrendo a drenagem da água da máquina e remoção de espuma formada no processo de lavagem. Também ocorreu o balanceamento da carga de lavagem, processo realizado pela lavadora, que consiste na distribuição uniforme da carga no cesto da lavadora, e então a lavadora foi abastecida com água.

A última etapa do processo de lavagem consistiu na centrifugação, iniciando-se ao drenar toda a água que foi utilizada durante a operação de enxágue, após isso foi realizada a verificação do balanceamento da carga por meio de sequências de revoluções sucessivas. Com a carga balanceada se iniciou a centrifugação da roupa a fim de retirar o excesso de água encontrado no artigo têxtil, nesse momento, no final da etapa de centrifugação, foi atingida a máxima velocidade para o tipo de centrifugação selecionada.

4.2.2.2.1 Uso de produto amaciante

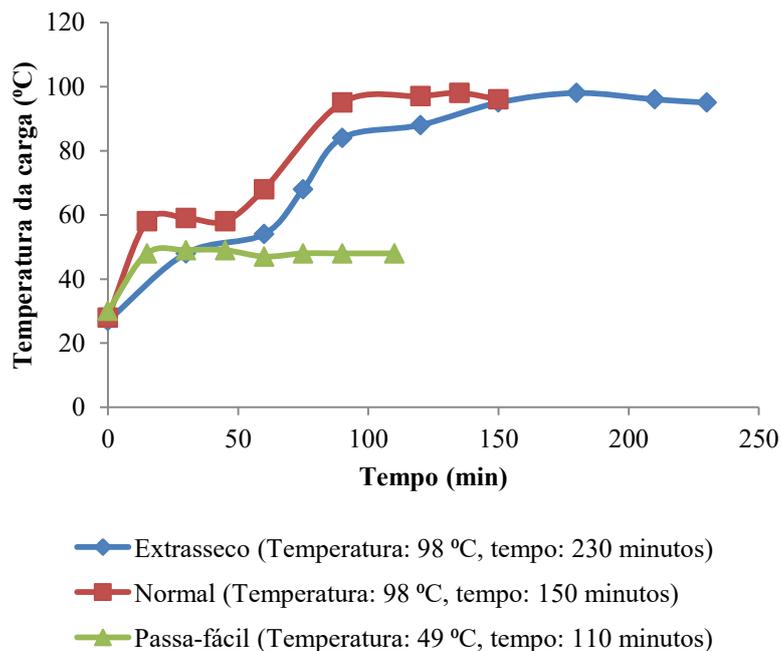
A influência do uso de amaciante, que foi adicionado em compartimento específico da máquina e liberado durante a etapa de enxágue, no amarrotamento de tecidos, foi avaliada. Em um primeiro tratamento foi utilizado 22,5 mL do produto amaciante conforme recomendação do fabricante para a carga de lavagem utilizada. Em um segundo tratamento foi utilizado 45 mL a fim de verificar o efeito desse produto na redução de rugas após o processo de lavagem e secagem. Esses valores foram comparados às amostras lavadas e secas em programa normal sem a utilização do produto amaciante. As condições de lavagem utilizadas

para a realização desse ensaio foram: temperatura fria, centrifugação normal, um enxágue e 2 kg de carga de tecido na lavagem.

4.2.2.3 Secagem

Como se trata de uma máquina com as funções de lavar e secar, a secagem de parte dos tecidos também foi efetuada na máquina com capacidade de secagem de 5,5 kg de roupa seca (Electrolux, modelo LSI 09). A secadora doméstica apresentava os seguintes programas de secagem: “normal”, “passa-fácil”, “extrasseco” e “tempo”, que pode ser definido pelo usuário. Desses, foi selecionado o programa normal para a análise do amarrotamento do tecido no planejamento experimental fatorial (2⁴). Os programas passa-fácil e extrasseco também foram avaliados a fim de determinar alguns parâmetros de secagem. Os programas analisados apresentaram tempos de duração fixos de secagem e a temperatura variava de acordo com o estágio do processo. Na Figura 4.1, as temperaturas e os tempos de duração dos programas trabalhados são observados. A temperatura foi aferida em diferentes momentos do processo de secagem com o auxílio de um termômetro que era inserido no centro da carga, quando a secadora era pausada.

Figura 4.1 – Perfil de temperatura da carga de lavagem durante os três programas de secagem executados.

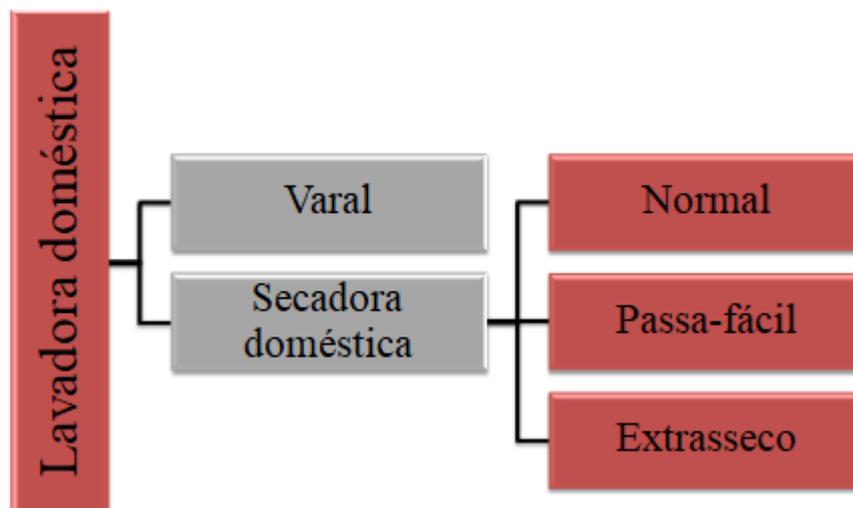


Fonte: Autor (2020).

O processo de secagem na secadora doméstica ocorreu por condensação. Na secadora de condensação o aquecedor elétrico aquece o fluxo de ar e assim transfere energia na forma de calor para o material têxtil presente no tambor rotativo. Depois disso, o fluxo de ar quente, ao entrar em contato com as roupas, faz com que a umidade do material molhado evapore para a corrente de ar. Em seguida, o ar úmido é direcionado ao condensador, onde as gotículas de água presentes na corrente de ar são condensadas ao entrar em contato com água resfriada. Por último, o ar flui para o aquecedor elétrico por intermédio de um ventilador e o ciclo, então, se repete (ZHAO *et al.*, 2018). Outra parte das amostras foi submetida à secagem em varal por um período de 4 horas com temperatura controlada em 21 ± 2 °C e umidade relativa do ar em 65 ± 3 %.

Nos experimentos realizados foi comparado à lisura do tecido após secagem em secadora doméstica e secagem em varal por técnica de processamento de imagem. As condições de lavagem do ensaio que apresentou maior acréscimo de água no planejamento experimental foram: temperatura da água de 40 °C, 2 kg de carga de lavagem, 1 enxágue e centrifugação tipo normal. Essas condições foram selecionadas para analisar o desempenho da secagem e o nível de lisura dos artigos têxteis após os tecidos terem sido submetidos a quatro tipos diferentes de secagem, conforme a Figura 4.2.

Figura 4.2 – Esquema das etapas realizadas para avaliação da influência do tipo de secagem sobre o nível de lisura dos tecidos.



Fonte: Autor (2020).

Após o processo de lavagem, os tecidos foram pesados em balança eletrônica de precisão (Marte, modelo BL-3200AS) e, em seguida, foram direcionados a secagem em

máquina. Os tecidos foram retirados em tempos determinados para que a remoção de água fosse quantificada em instantes diferentes nos ciclos de secagem avaliados. Todo o procedimento de retirada do tecido da máquina, pesagem e retorno a secadora de condensação ocorria em tempo inferior a 10 minutos, pois esse era o tempo máximo que a secadora permanecia pausada sem desligar. Alguns indicadores de medição do desempenho da secagem, como quantidade de água absorvida pelo tecido, quantidade de água evaporada, taxa de evaporação de água, grau de extração de água e taxa de extração de umidade (SMER) foram calculados, de acordo com as equações 1 a 5, respectivamente. Assim como, curvas de secagem foram construídas e foi quantificado o amarrotamento em diferentes pontos dessa etapa.

4.2.2.3.1 Grau de acréscimo de água no tecido

O grau de acréscimo, Equação 4.1, consiste na quantidade percentual de água incorporada ao artigo têxtil após o processo de lavagem.

$$y = \left(\frac{m_1 - m_0}{m_1} \right) * 100 \quad (4.1)$$

Onde, m_0 corresponde à massa do tecido em gramas antes do processo de lavagem e m_1 corresponde à massa do tecido em gramas após o processo de lavagem.

4.2.2.3.2 Quantidade de água evaporada no tecido

A água evaporada no processo de secagem foi medida pela diferença entre a massa da amostra após a etapa de centrifugação, amostra úmida, e após o processo de secagem, amostra seca, conforme Equação 4.2.

$$m_w = m_1 - m_2 \quad (4.2)$$

Onde, m_1 representa a massa do tecido após o processo de centrifugação em gramas e m_2 representa a massa do tecido após a secagem dada em gramas.

4.2.2.3.3 Taxa de evaporação de água

A quantidade de água evaporada durante o processo de secagem foi calculada dividindo a massa de água evaporada em gramas (m_w) pelo tempo da operação de secagem em horas (t), conforme Equação 4.3.

$$\vartheta = \frac{m_w}{t} \quad (4.3)$$

4.2.2.3.4 Grau de extração de água no tecido

O grau de extração (x), Equação 4.4, consiste na quantidade percentual de água extraída após a etapa de secagem em base úmida, ou seja, a quantidade de água extraída do tecido após a secagem.

$$x = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) * 100 \quad (4.4)$$

4.2.2.3.5 Taxa de extração de umidade

A taxa de extração de umidade, Equação 4.5, consiste em um índice de desempenho que avalia o consumo energético em secadora doméstica.

$$SMER = \frac{t * Q}{m_w} \quad (4.5)$$

Onde, m_w é a massa de água evaporada em kg para toda a carga de lavagem, t é o tempo de secagem dado em horas e Q a energia fornecida em kW para o processo de secagem.

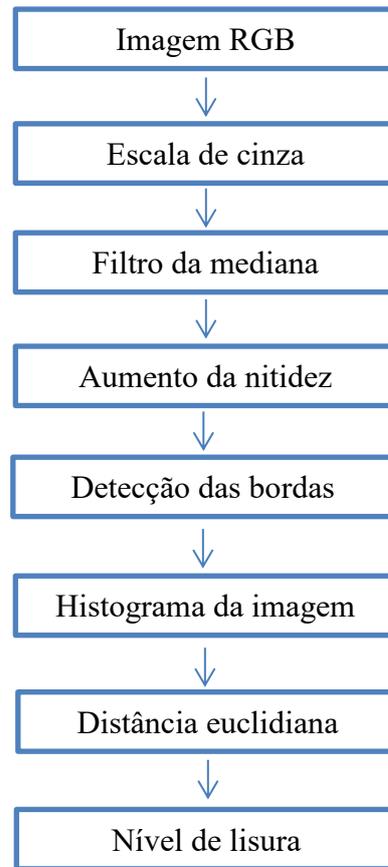
4.2.2.4 Análise do enrugamento do tecido

O enrugamento causado nos tecidos após lavagem e secagem foi mensurado por meio de processamento de imagem no ASAS - *Automated Smoothness Analysis System*, software desenvolvido no Matlab[®]. A câmera utilizada para a captura da imagem foi a

PowerShot (Canon, modelo SX530 HS) com resolução de 16 megapixels. O método desenvolvido neste trabalho foi o mesmo utilizado por Carvalho Neto (2017) para análise do enrugamento de tecido de algodão, com número de registro do programa BR512020000542-0. Todas as amostras foram avaliadas com condições atmosféricas padrão em uma câmara escura de aproximadamente 189 L.

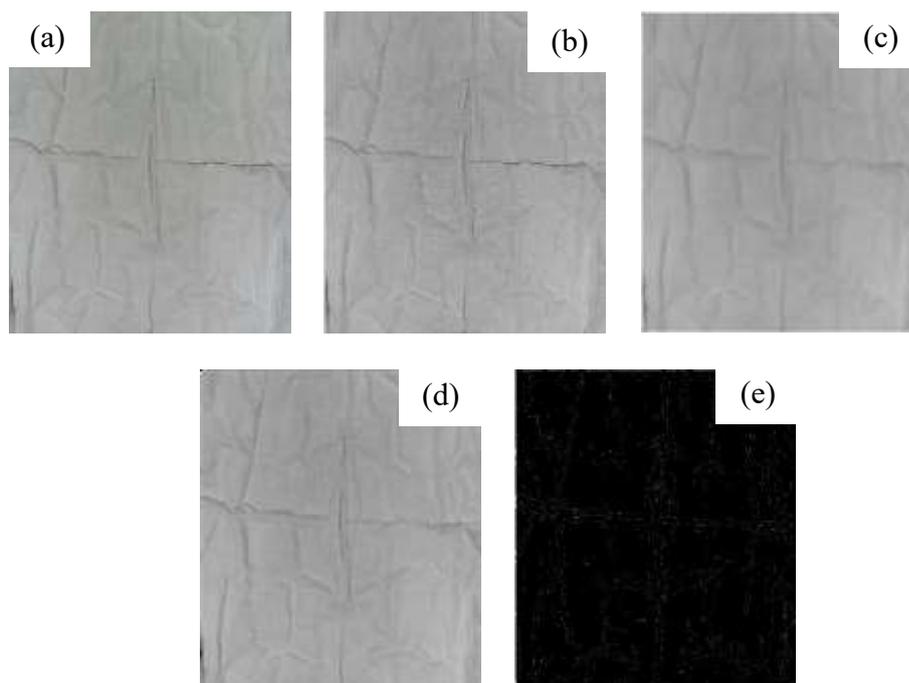
As amostras foram lavadas em lavadora doméstica, em seguida 50 % das amostras analisadas foram direcionadas a secadora doméstica e 50 % foram secas em varal com condições controladas de temperatura. Após o tempo determinado para os dois tipos de secagem, os tecidos foram posicionados na parte inferior da câmara escura e uma câmera localizada na parte superior capturou as imagens. Em cada aresta vertical foi posicionada uma lâmpada fluorescente que forneceu a quantidade de luminosidade adequada para a captura da imagem. Por fim, foi realizado o processamento da imagem a fim de se quantificar o nível de lisura dos tecidos. O diagrama esquemático das etapas realizadas no software para quantificar o nível de lisura do tecido de algodão e de linho é apresentado na Figura 4.3 e a imagem obtida após cada etapa do processamento de imagem é apresentada na Figura 4.4.

Figura 4.3 – Fluxograma das etapas realizadas no software para quantificar o nível de lisura.



Fonte: Autor (2020).

Figura 4.4 – Imagem do tecido de linho (a) RGB, (b) em escala de cinza, (c) após filtragem da mediana, (d) após realce da nitidez e (e) após detecção das bordas de Canny.



Fonte: Autor (2020).

4.2.2.4.1 Conversão de cores em escala de cinza

As cores primárias (vermelho, verde e azul), quando combinadas, podem reproduzir uma grande variedade de cores e elas dão nome ao modelo RGB. Entretanto, elas carregam uma quantidade excessiva de informações, fazendo com que maior esforço computacional seja requerido para realização do processamento da imagem. Logo, a conversão do formato RGB em escala de cinza, onde a intensidade do pixel da imagem varia do preto até o branco, em valores de 0 a 255, respectivamente, faz com que ocorra maior eficiência computacional (CUI; CRÉPUT, 2020). Além disso, muitos algoritmos de processamento e medição de imagem operam em escala de cinza (PATTON *et al.*, 2006). Assim, devido a esses fatores, a imagem em escala de cinza foi utilizada.

4.2.2.4.2 Processo de filtragem

A imagem em escala de cinza é submetida a processos de filtragem a fim de aumentar a qualidade visual da imagem, por meio da remoção de ruídos indesejáveis, os quais danificam as informações da imagem original. Dentre os ruídos, destaca-se o ruído de valor aleatório, que apresenta valor aleatório entre a escala de cinza (MA, C.; LV; AO, 2019). Para remoção desses ruídos, normalmente é aplicado o filtro não linear da mediana, o qual substitui o valor do pixel corrompido pelo valor mediano determinado pela máscara do filtro. O filtro é aplicado em um ponto da imagem e eles são recomendados para remoção de ruídos aleatórios (GONZALEZ; WOODS, 2002).

Para a quantificação do nível de lisura do tecido de algodão, o filtro da mediana foi utilizado para eliminar eventuais ruídos e excesso de detalhamento da imagem, como entrelaçamento da trama e urdume, que pudessem prejudicar o resultado final. Para a análise do enrugamento do tecido de linho foi necessário alterar a intensidade do filtro da mediana e incluir, após este filtro, uma etapa de realce das rugas no algoritmo de processamento de imagem. Tais modificações foram necessárias pois há maior distância entre os fios do tecido de linho, logo há uma maior formação de sombras entre os fios, além da detecção de espaços vazios, que são pretos, devido ao fundo da câmara escura.

As sombras e vazios são de cores diferentes do fio de linho, o que possibilitou a formação de gradientes de cores identificados na etapa posterior de detecção de bordas de Canny, assim, o filtro da mediana foi aprimorado. Entretanto, a filtragem realizada foi alta,

acarretando a filtragem, inclusive, de algumas rugas, o que é indesejável, por isso, foi acrescentado o mascaramento de nitidez usando a função *imsharpen* do Matlab[®] que permite melhorar os detalhes desfocados por algum motivo na aquisição de imagens, aumentando a nitidez. Essa tarefa na etapa do pré-processamento é amplamente utilizada na literatura para aprimorar a imagem (FIGUEIREDO *et al.*, 2019; GOEL; GUPTA; TIWARI, 2019; HARVEY; SMITHSON; SIVIOUR, 2018; HELMREICH *et al.*, 2020; ISKAKOV; KALIDINDI, 2020; TUZER *et al.*, 2018; ZHUANG *et al.*, 2017). Os parâmetros determinados para essas tarefas foram selecionados a partir de testes de sensibilidade visuais, garantindo que todas as rugas fossem detectadas no detector de Canny e que o excesso de detalhamento do tecido não.

4.2.2.4.3 Detecção de bordas de Canny

A técnica de detecção de bordas de Canny consiste em um método de operador de primeira ordem, em que as operações buscam detectar e destacar pontos de discontinuidades, conhecidas como bordas (QIN, 2020). Para isso, essa técnica reduz os ruídos da imagem por meio da aplicação do filtro gaussiano e elimina os pixels do contorno das bordas causados por variações de ruídos e iluminação (SOARES *et al.*, 2020). As bordas são definidas como diferenças significativas na intensidade dos pixels dentro de uma imagem (PATTON *et al.*, 2006). Para a detecção das bordas internas, que correspondem às rugas, o parâmetro de detecção foi aplicado com base em testes visuais.

4.2.2.4.4 Determinação do nível de lisura

O histograma consiste em um gráfico que expressa informações da imagem, quantificando a ocorrência de cada nível de cinza na imagem (PATTON *et al.*, 2006), logo, cada imagem apresenta um histograma característico. Dessa forma, a imagem após a detecção das bordas de Canny pode ser comparada ao histograma padrão, imagem isenta de rugas. Essa comparação foi realizada pelo cálculo da distância euclidiana entre os histogramas, então, o valor da distância euclidiana foi relacionado com o grau de suavidade proposto pela AATCC, por meio de uma equação linear. A escala de leitura do amarrotamento utilizada na confecção do software de processamento de imagem segue a mesma faixa proposta pelo método 124 da

AATCC, em que o nível de lisura varia em uma escala de 1 a 5, sendo o nível 5 o que apresenta maior suavidade e o nível 1 que representa uma aparência mais amarrotada.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do amassamento dos tecidos de algodão e de linho lavados, em diferentes condições de lavagem, e secos em secadora doméstica e em varal podem ser verificados na Tabela 4.6. Os substratos têxteis após serem secos em varal e em secadora doméstica tiveram níveis de lisuras distintos. As amostras secas em secadora doméstica apresentaram maior quantidade de rugas, pois havia o contato direto entre os tecidos, atritando-os e o efeito do peso dos tecidos no interior do equipamento. A dinâmica complexa do processo de secagem em máquina também contribuiu para a menor suavidade dos tecidos das fibras celulósicas estudadas. Ao analisar o desvio padrão, observa-se que o amarrotamento ocasionado após a secagem em varal possui menor variabilidade nos dados, pois nesse tipo de secagem, não há variação da temperatura e os tecidos sofrem a influência da força gravitacional, que realinhou as fibras, deixando-as menos amarrotadas.

Tabela 4.6 – Nível de lisura dos tecidos após secagem doméstica em secadora e em varal.

Ensaio	Após secagem em secadora		Após secagem em varal	
	Algodão*	Linho*	Algodão*	Linho*
1	2,95 ± 0,30	3,74 ± 0,15	4,23 ± 0,01	4,49 ± 0,03
2	3,33 ± 0,14	3,66 ± 0,14	4,21 ± 0,07	4,42 ± 0,03
3	3,04 ± 0,61	3,85 ± 0,22	4,17 ± 0,25	4,41 ± 0,06
4	3,26 ± 0,13	3,80 ± 0,20	4,07 ± 0,18	4,41 ± 0,07
5	3,07 ± 0,06	4,02 ± 0,17	4,26 ± 0,00	4,55 ± 0,02
6	3,36 ± 0,19	3,74 ± 0,28	4,43 ± 0,03	4,57 ± 0,02
7	3,04 ± 0,15	3,89 ± 0,14	4,15 ± 0,16	4,41 ± 0,03
8	3,43 ± 0,27	3,87 ± 0,13	4,34 ± 0,10	4,58 ± 0,02
9	3,39 ± 0,11	3,73 ± 0,18	4,22 ± 0,07	4,42 ± 0,06
10	2,97 ± 0,18	3,79 ± 0,47	4,18 ± 0,16	4,52 ± 0,06
11	2,92 ± 0,53	3,76 ± 0,20	4,39 ± 0,11	4,46 ± 0,02
12	2,95 ± 0,27	3,76 ± 0,13	4,41 ± 0,00	4,45 ± 0,10
13	2,89 ± 0,49	3,60 ± 0,27	4,40 ± 0,03	4,58 ± 0,02
14	3,13 ± 0,36	3,66 ± 0,09	4,53 ± 0,18	4,58 ± 0,06
15	3,06 ± 0,40	3,95 ± 0,06	4,48 ± 0,22	4,54 ± 0,09
16	3,47 ± 0,26	3,77 ± 0,11	4,55 ± 0,06	4,50 ± 0,04

Fonte: Autor (2020).

* Valores do nível de lisura acompanhados dos respectivos desvios padrões

4.3.1 Análise do planejamento fatorial dos ensaios de lavagem

Para o vinco formado em tecido de algodão após secagem em secadora doméstica, centrifugação e carga de lavagem foram os fatores estatisticamente significativos ao nível de significância de 5 %. Já para o amarrotamento encontrado no tecido de linho após secagem em secadora doméstica, a carga de lavagem foi o fator estatisticamente significativo. Enquanto isso, enxágue, carga e centrifugação foram os fatores estatisticamente significativos para o nível de lisura do tecido de algodão após secagem em varal ao mesmo nível de significância. Centrifugação, carga de lavagem, temperatura e enxágue foram significativos estatisticamente para o enrugamento do tecido de linho após secagem em varal. Além disso, algumas interações de segunda e terceira ordem também se mostraram significativas para os quatro planejamentos, conforme Tabela 4.7.

Os modelos para a lisura do tecido tanto de algodão quanto de linho após secagem em secadora doméstica apresentaram, respectivamente, bons ajustes, explicando 80,33 % e 82,30 %, das variabilidades encontradas nos processos. Já os modelos propostos para explicar o enrugamento dos tecidos de algodão e de linho após o processo de secagem em varal apresentaram excelentes ajustes, explicando 94,84 % e 93,40 % dos valores previstos nos modelos cúbicos para o tecido de algodão e para o tecido de linho, respectivamente.

Tabela 4.7 – Efeitos significativos para o nível de lisura do tecido após secagem.

Fatores	Secadora doméstica				Varal			
	Algodão		Linho		Algodão		Linho	
	Efeitos	p	Efeitos	p	Efeitos	p	Efeitos	p
Temperatura (1)	0,121	0,05	-0,011	0,77	0,030	0,09	0,035	< 0,01*
Centrifugação (2)	0,252	< 0,01*	0,037	0,33	0,042	0,02*	-0,058	< 0,01*
Enxágue (3)	0,007	0,90	0,072	0,06	0,185	< 0,01*	0,109	< 0,01*
Carga (4)	-0,157	0,01*	-0,136	< 0,01*	0,138	< 0,01*	0,036	< 0,01*
1 e 2	0,030	0,60	-0,903	0,02*	-0,027	0,13	-0,005	0,64
1 e 3	0,237	< 0,01*	-0,028	0,44	0,156	< 0,01*	0,031	< 0,01*
1 e 4	-0,109	0,07	0,1436	0,01*	0,044	0,02*	0,002	0,84
2 e 3	0,142	0,02*	0,102	0,01*	-0,081	< 0,01*	-0,007	0,48
2 e 4	0,100	0,10	0,033	0,37	0,079	< 0,01*	-0,006	0,52
3 e 4	-0,015	0,79	-0,087	0,03*	0,033	0,06	-0,007	0,48
1*2*3	-0,010	0,87	0,050	0,18	0,030	0,09	0,041	< 0,01*
1*2*4	0,062	0,29	-0,105	0,01*	0,041	0,02*	-0,063	< 0,01*
1*3*4	0,049	0,40	-0,059	0,12	-0,011	0,53	-0,037	< 0,01*
2*3*4	0,165	0,01*	0,151	< 0,01*	-0,094	< 0,01*	-0,014	0,18

Fonte: Autor (2020).

* Valores estatisticamente significativos ao nível de significância de 0,05

O número de enxágues foi estatisticamente significativo para o enrugamento dos tecidos de algodão e de linho após secagem em varal. O aumento da quantidade de enxágue fez com que houvesse maior contato do tecido com água, assim incorporando maior quantidade do líquido. A água age como agente plastificante, fazendo com que a fibra seja lubrificada.

As fibras de origem vegetal têm em sua estrutura a molécula de celulose, semicristalina, que possui afinidade pelas moléculas de água. Além disso, apresenta em sua estrutura grupos hidroxilas lateral que pode formar ligações de hidrogênio com as moléculas de água. As moléculas de água ao entrar em contato com as fibras se aderem fortemente aos grupos hidrofílicos e as demais moléculas de água serão absorvidas indiretamente por outros grupos que possuem afinidade, de uma maneira mais livre, ou podem se conectar às moléculas de água já absorvidas (MORTON; HEARLE, 2008).

A temperatura de lavagem foi estatisticamente significativa para o enrugamento do tecido de linho após a secagem em varal. O aumento da temperatura de lavagem para 40 °C fez com que a lisura do tecido de linho apresentasse maior nota. Alguns fatores estão atrelados a essa melhora; (i) o tecido de linho tem maior gramatura, logo consegue armazenar maior quantidade de água, quando comparado ao tecido de algodão; (ii) a água quente, em maior quantidade, no tecido de linho fez com que houvesse melhoramento da lisura, como pode ser visualizado pela interação estatisticamente significativa entre a temperatura de lavagem e número de enxágues. A temperatura mais elevada favorece a abertura das microfibras nas zonas amorfas da celulose, fazendo com que haja maior absorção de água. Gocek *et al.* (2013) tiveram resultados similares ao analisar a lisura do tecido de linho após lavagem em lavadora de carregamento frontal, em que temperatura de lavagem mais elevada e maior quantidade de água foram parâmetros que garantiram maior lisura ao tecido de linho.

A centrifugação foi estatisticamente significativa para o amarrotamento do tecido de algodão após os dois processos de secagem. À medida que a centrifugação aumentou do nível normal para turbo, houve uma pequena melhora no aspecto visual do tecido de algodão. Para o amassamento do tecido de linho após secagem em varal, a centrifugação também foi estatisticamente significativa, demonstrando correlação negativa, ou seja, quanto maior a centrifugação, menor a lisura do tecido de linho.

Os resultados encontrados para o fator tipo de centrifugação se deve a uma proximidade entre os níveis estudados, que fizeram o tecido acompanhar a movimentação do tambor rotativo junto à parede, devido à velocidade de rotação para ambos os níveis ser

elevada. A variação encontrada entre os valores de enrugamento dos tecidos de linho e de algodão entre os planejamentos em que este fator foi estatisticamente significativo para centrifugação foi pequena, ou seja, os valores de amarrotamento para ambos os níveis estudados foram muito próximos. Ao analisar a velocidade de rotação, Yu, Li e Ding (2020) constataram que velocidades de rotação mais altas fizeram com que os tecidos repousassem na parede do tambor rotativo e girassem de acordo com a rotação do tambor e amarrotassem menos. Já para velocidades mais baixas, os tecidos se comportaram na maioria das vezes como corpos rígidos na porção inferior do tambor e apresentaram maior quantidade de rugas.

A carga de lavagem teve influência no aspecto visual do tecido de algodão após a secagem em secadora doméstica e em varal e também teve influência na lisura do tecido de linho após secagem em secadora doméstica e em varal. Para o enrugamento gerado após secagem em secadora doméstica verificou-se que o aumento de 2 kg na carga de lavagem foi suficiente para que houvesse uma diminuição do nível de lisura dos tecidos de algodão e de linho após secagem em secadora doméstica. Os tecidos em contato com uma carga de lavagem maior se encontravam mais enrugados. Quando os tecidos foram postos a secar em secadora doméstica, 75 % da capacidade nominal da secadora doméstica estava preenchida, o que contribuiu para a diminuição do espaço livre no interior da máquina, fazendo com que os tecidos não pudessem se movimentar com facilidade.

A maneira como os tecidos se movimentam ao decorrer da secagem dentro do tambor afeta as taxas de transferência de calor e massa (NOVAK; GATARIC; SIROK, 2018). Além disso, devido a sua movimentação e conseqüente distribuição na secadora, os tecidos tendem a amarrotar. Yu, Li e Ding (2020) também observaram que para uma menor carga de secagem, os tecidos apresentaram maior suavidade, pois possuíam espaço livre para se movimentar sem gerar atrito entre si, e com isso, alterar a lisura do tecido, fazendo com que menos rugas fossem fixadas. Com maior carga, os tecidos ficaram presos ou emaranhados fazendo com que a suavidade fosse menor.

Já para o enrugamento do tecido após secagem em varal, o aumento da carga de lavagem fez com que houvesse aumento na lisura do tecido de algodão. Essa diminuição no amarrotamento dos tecidos se deve a um grande espaço livre presente na lavadora doméstica mesmo com a presença de 4 kg de carga de lavagem, que corresponde a 45 % da capacidade nominal da lavadora, resultando em menor pressão e conseqüente menor formação de vincos. Dessa forma, havia grande volume a ser ocupado pelas amostras no processo de lavagem.

Após os tecidos serem lavados, eles foram secados em varal, com condições controladas, o que também contribuiu com a suavidade do tecido de algodão.

4.3.2 Análise dos diferentes tipos de secagem

O processo de secagem compreende a transferência simultânea de calor e massa. Na secadora, a energia na forma de calor é transferida para o tecido molhado, que favorece a vaporização da água. A difusão mássica ocorre no sentido da menor concentração. As gotículas de água irão migrar do tecido para o interior livre da secadora e o movimento do ar é responsável por levar o vapor úmido para longe do artigo têxtil. Quanto maior a área superficial do tecido e a diferença de temperatura entre a superfície do tecido e o ar quente, maior será a taxa de transferência de calor (ETEMOGLU *et al.*, 2009).

O tecido dentro da secadora doméstica sofre a ação da força gravitacional, tangencial e centrífuga. A ação conjunta dessas forças faz com que o tecido se movimente no tambor rotativo presente na secadora (BASSILY; COLVER, 2003). Os tecidos se movimentam pela ação do fluxo de ar e pelo movimento de rotação no tambor, fazendo com que os tecidos caiam ou deslizem (STAWREBERG; NILSSON, 2013). Devido aos diferentes movimentos possíveis de serem executados na secadora e da localização do tecido dentro do equipamento, pode haver diferença entre o tempo e a área de contato entre os tecidos úmidos e o ar aquecido (WEI, Y.; HUA; DING, 2017). Essas são algumas das razões de ocorrer variabilidade em medições para as mesmas condições experimentais. A distribuição do tecido dentro da secadora muda constantemente, o que afeta as taxas de transferência de calor e massa ao longo do processo de secagem.

Os programas de secagem estudados apresentaram diferentes tempos de secagem e diferentes perfis de temperatura. A secagem realizada pelo programa passa-fácil entregou os tecidos mais úmidos, pois tinha o menor tempo de duração, 110 minutos, atingindo uma temperatura mais branda, em torno de 50 °C, quando comparado aos demais programas da secadora doméstica. Os programas normal e extrasseco tinham maiores tempos de secagem, 150 e 230 minutos, respectivamente, e alcançaram temperaturas próximas a 100 °C. A grande diferença entre os programas normal e extrasseco era o tempo de duração e o período de aquecimento fornecido por eles, conforme Figura 4.1. O programa extrasseco permaneceu a uma temperatura de aproximadamente 100 °C por 110 minutos, mais da metade do seu tempo

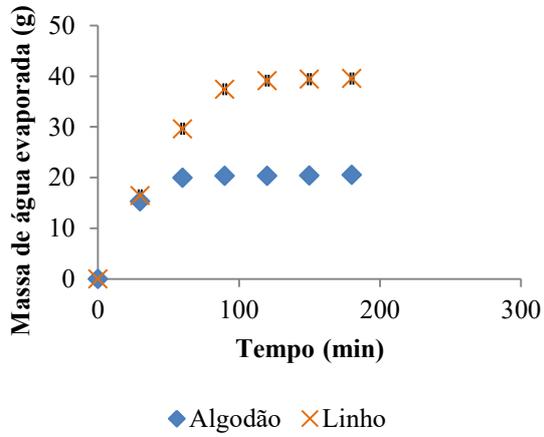
de duração, enquanto isso, o programa normal permaneceu em temperaturas similares por 60 minutos.

Alguns parâmetros de umidade são importantes para determinar a eficiência do processo de secagem. Entre esses parâmetros destacam-se, a quantidade de água evaporada, a taxa de secagem, a taxa de extração de água e o grau de extração de água.

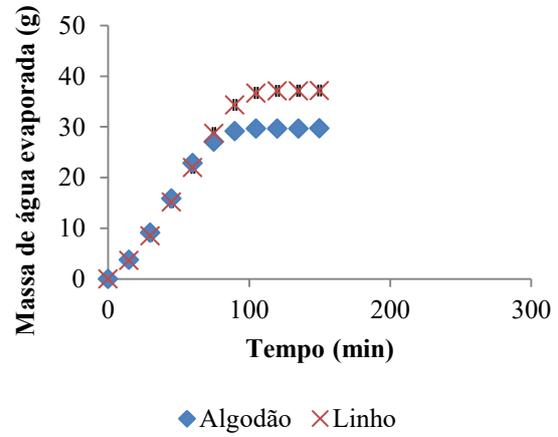
A massa de água evaporada nos diferentes processos e a taxa de evaporação para os diferentes tipos de secagem estudados estão presentes respectivamente nas Figuras 4.5 e 4.6. A maior quantidade de água evaporada aconteceu nos tecidos de linho. A fibra de linho apresenta em sua maior parte celulose, molécula altamente ordenada, e possui rápida absorção de água (FRANCK, 2005). A absorção de água por parte dos tecidos ajuda na proteção do corpo a mudanças repentinas de temperatura que possam acontecer, conferindo maior conforto. Devido à absorção de água, as fibras incham o que pode ocasionar mudanças dimensionais e de permeabilidade dos tecidos (MORTON; HEARLE, 2008). O tecido de linho apresenta maior gramatura e, dessa forma, consegue armazenar maior quantidade de água após o processo de lavagem, assim, possuindo maior teor de água a ser extraída na secagem.

Figura 4.5 – Massa de água evaporada nos tecidos durante os diferentes tipos de secagem.

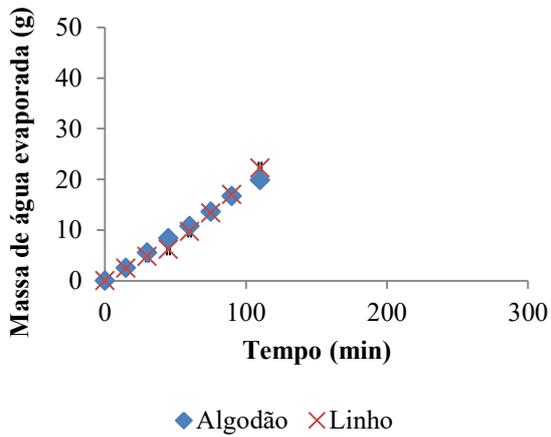
(a) Varal



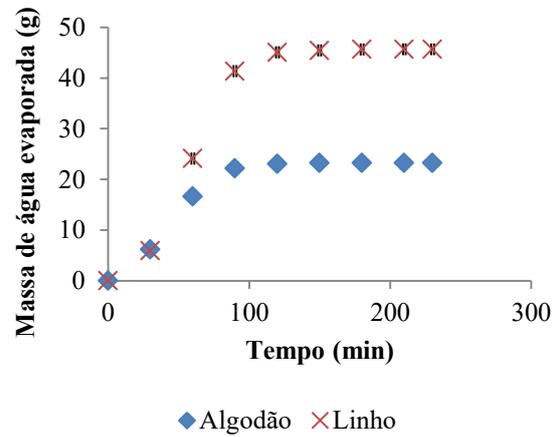
(b) Programa Normal



(c) Programa Passa-fácil

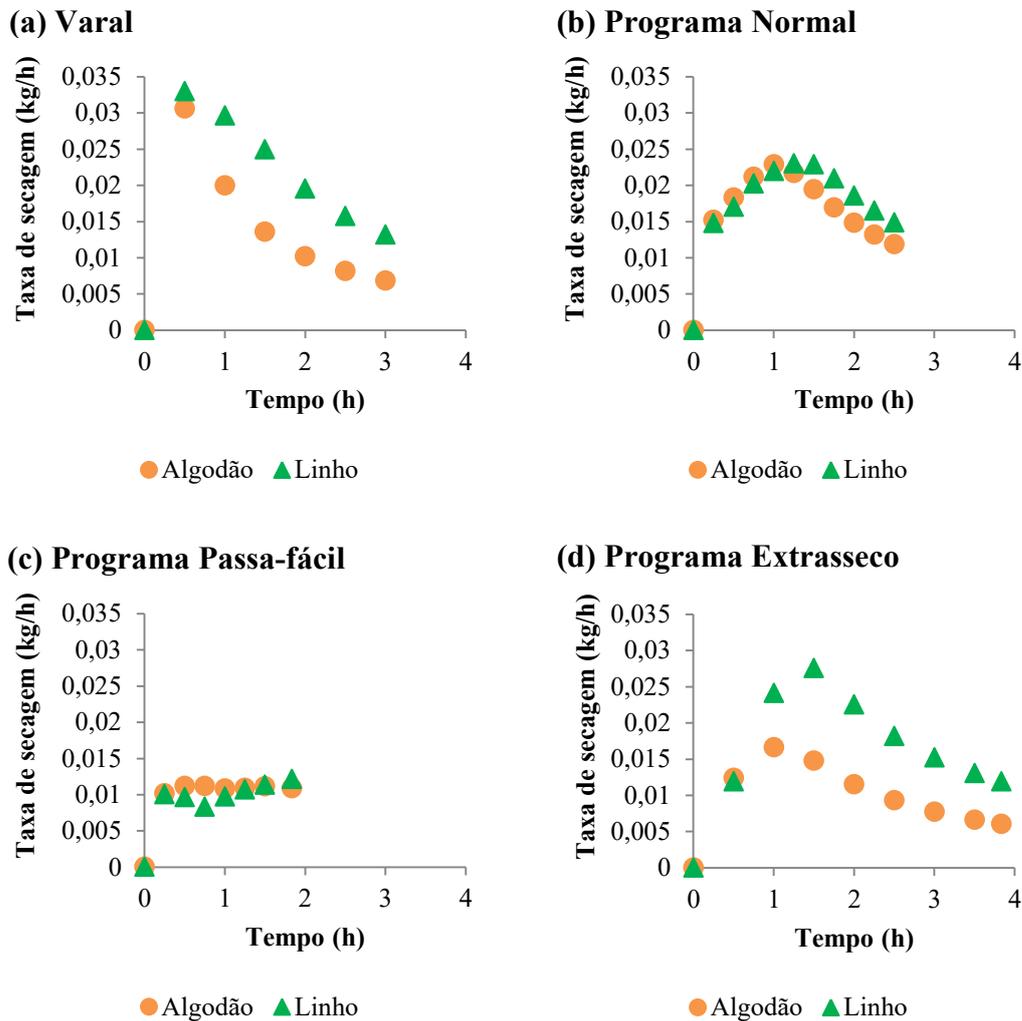


(d) Programa Extrasseco



Fonte: Autor (2020).

Figura 4.6 – Taxa de secagem nos tecidos durante os diferentes tipos de secagem.



Fonte: Autor (2020).

A remoção de água dos tecidos ocorreu em maior quantidade nos primeiros minutos para os programas normal e extrasseco e para a secagem em varal. Inclusive, esses programas tiveram comportamento de remoção de água semelhante à secagem em varal. A secagem em varal conseguiu extrair grande parte da água presente nos artigos têxteis nos primeiros 30 minutos do processo e após esse tempo, a extração de água ocorreu em menor quantidade e em tempos espaçados. Comparativamente, a secagem dos programas normal e extrasseco conseguiu remover grandes percentuais de água nos primeiros 90 minutos de processo, depois desse tempo ocorreu remoção muito pequena da água ainda encontrada no tecido de algodão e de linho.

Ao observar a taxa de secagem, também fica constatado que a secagem em varal conseguiu remover maior quantidade de água nos primeiros 30 minutos do processo. Ao

analisar as taxas de secagem alcançadas pelo programa normal e extrasseco, verifica-se que elas apresentaram comportamento similar ao da secagem em varal, mas, demoraram mais tempo para conseguir remover a maior parte da água por unidade de tempo. Toda a água adquirida no tecido de algodão e de linho na lavagem foi extraída após o ciclo de secagem dos programas normal e extrasseco. Isso ocorreu porque a carga estava sujeita a ação de fluxo de ar quente que deixou os tecidos a temperaturas próximas a 100 °C durante boa parte dos seus ciclos de secagem.

No início da operação de secagem os tecidos estão molhados, tem-se maior gradiente de temperatura, já na última etapa do processo de secagem a temperatura da roupa aumenta devido a menor umidade dos tecidos dentro da secadora. Assim, o coeficiente de transferência de calor diminui devido ao menor gradiente de temperatura. O coeficiente de transferência de massa apresenta comportamento semelhante, pois no início da secagem, ocorre maior gradiente de concentração e a maior migração de água do tecido para o fluxo de ar e na última etapa da secagem já tem ocorrido quase toda a extração de água do tecido. Logo, não há mais migração de água do tecido para o interior do tambor (WEI, Y.; HUA; DING, 2017).

Diferentemente, na secagem executada no programa passa-fácil, a extração de água ocorre de maneira espaçada, ou seja, quantidades próximas e menores de água são retiradas do tecido até o término do ciclo de secagem desempenhado, tornando a taxa de secagem com tendência constante durante a maior parte do processo. A menor remoção de água nesse ciclo de secagem é explicada pela exposição do tecido a temperatura de 50 °C e tempo de duração de 110 minutos, dessa forma, os tecidos analisados ainda saem úmidos ao término da secagem. O tecido de algodão apresentou $9,35 \pm 2,12$ g a mais do que antes de ser lavado, conforme Tabela 4.8, e o tecido de linho teve um acréscimo de $17,84 \pm 1,94$ g, conforme Tabela 4.9.

Tabela 4.8 – Valores obtidos para o tecido de algodão após diferentes programas de secagem em máquina.

Programa	m_0^* (g)	m_1^* (g)	m_2^* (g)	y^* (%)	x^* (%)
Normal	$44,53 \pm 1,22$	$64,21 \pm 2,54$	$43,36 \pm 1,24$	$30,61 \pm 1,47$	$32,41 \pm 0,98$
Passa-fácil	$45,20 \pm 1,83$	$65,18 \pm 2,87$	$54,55 \pm 3,50$	$30,64 \pm 1,70$	$16,33 \pm 3,41$
Extrasseco	$44,87 \pm 1,32$	$64,78 \pm 2,37$	$43,84 \pm 1,19$	$30,71 \pm 1,37$	$32,28 \pm 1,36$

Fonte: Autor (2020).

*Valores acompanhados dos respectivos desvios padrões

Tabela 4.9 – Valores obtidos para o tecido de linho após diferentes programas de secagem em máquina.

Programa	m_0^* (g)	m_1^* (g)	m_2^* (g)	y^* (%)	x^* (%)
Normal	72,49 ± 2,05	108,61 ± 4,87	70,32 ± 2,07	33,17 ± 2,91	35,21 ± 1,32
Passa-fácil	73,20 ± 3,77	107,71 ± 5,12	91,04 ± 5,30	32,04 ± 1,23	15,50 ± 1,87
Extrasseco	72,66 ± 2,20	109,41 ± 3,73	70,24 ± 1,84	32,33 ± 1,62	35,76 ± 1,53

Fonte: Autor (2020).

*Valores acompanhados dos respectivos desvios padrões

Quando as roupas saem mais molhadas após o processo de lavagem, os tecidos irão apresentar maior teor de umidade. Dessa forma, no início do processo de secagem, o aumento da temperatura da carga será mais lento, pois ainda há a presença de quantidade considerável de água. Logo, a secagem vai levar mais tempo para conseguir extrair a água do tecido. Um processo de secagem eficiente é aquele que dispõe de rápido aumento de temperatura do tecido possibilitando maiores coeficientes de transferência de calor e massa (ETEMOGLU *et al.*, 2009).

Após a lavagem, em torno de 30 % de água foi incorporada aos tecidos. Três programas disponíveis na máquina de secar foram selecionados para a análise do parâmetro de desempenho SMER, conforme Tabela 4.10, os quais apresentaram tempos de duração fixos e a potência do aquecedor fornecida por eles foi de 2,2 kW, a mesma para ambos os programas. A massa de água evaporada foi calculada para um tecido de algodão de 45 g e extrapolada para uma carga de 2 kg. Para a análise do SMER, uma carga fixa de 2 kg de roupas secas, antes do processo de lavagem, foi utilizada.

Tabela 4.10 – Estimativa do parâmetro de desempenho de secagem SMER em diferentes programas de secagem.

Programa	Tempo (h)	m_w (kg)	SMER (kWh/kg)
Passa-fácil	1,83	0,354	11,373
Normal	2,50	0,695	7,914
Extrasseco	3,83	0,698	12,071

Fonte: Autor (2020).

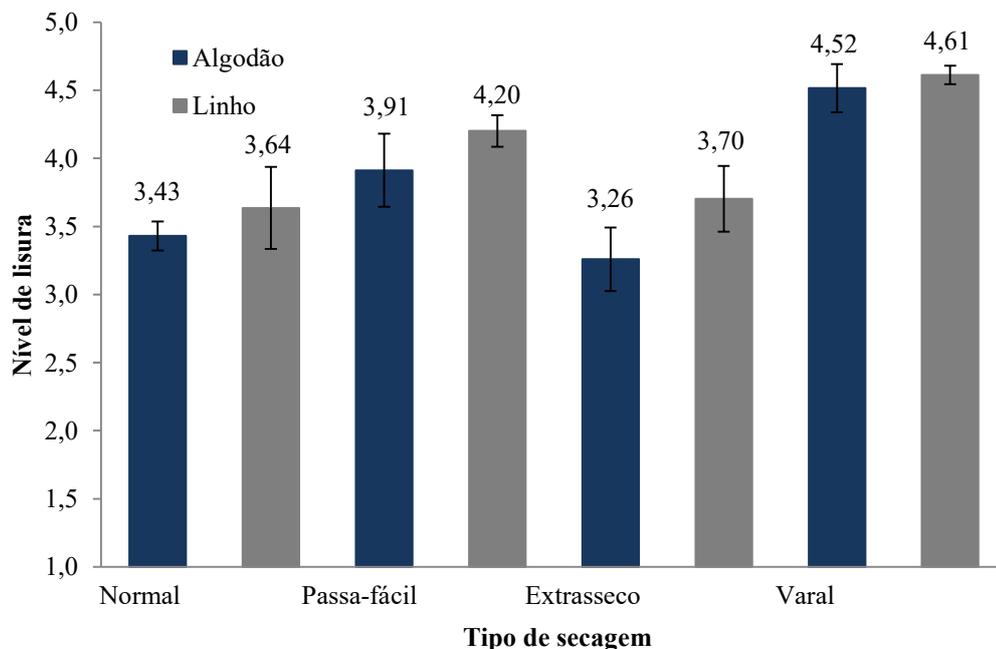
As taxas de extração de umidade dos programas passa-fácil e extrasseco apresentaram maior gasto energético. O primeiro extrai uma pequena quantidade de água em um curto período de tempo, o que faz com que a SMER seja alta, já o segundo extrai a maior quantidade de água, no entanto, seca em demasia os tecidos de algodão, o que faz com que haja ineficiência do processo de secagem e o parâmetro SMER seja elevado. O programa normal foi responsável por extrair quantidade de água do tecido similar ao do programa extrasseco com uma duração menor. Dessa forma, o programa normal consumiu menor

quantidade de energia ao extrair boa quantidade de água em um tempo satisfatório para a secagem do tecido de algodão. Stawreberg e Wikström (2011) constataram que o desempenho de secagem é afetado pelo tamanho da carga. Os pesquisadores verificaram que cargas menores que 3 kg apresentaram ineficiência energética, pois há uma grande área disponível no interior da secadora, o que diminui a área de contato entre os tecidos e o ar circundante no tambor da secadora e consequentemente ocorre a diminuição da transferência de umidade do tecido para o ar e da transferência de energia em forma de calor do ar para o tecido.

4.3.3 Amarrotamento em diferentes processos de secagem

Os tecidos de algodão e de linho apresentaram comportamento similar ao serem secos nos diferentes programas da secadora doméstica e em varal, conforme Figura 4.7. Para todos os casos, as amostras de linho tiveram maior lisura, quando comparadas às amostras de algodão. À medida que os tecidos foram expostos a maior temperatura por maior período de tempo na secadora, sofreram a ação de movimentos complexos por mais tempo e assim se deformaram, ocasionando menor lisura ao término do processo.

Figura 4.7 – Comparativo entre o enrugamento gerado entre os diferentes tipos de secagem (a) Normal, (b) Passa-fácil, (c) Extrasseco, (d) Varal.



Fonte: Autor (2020).

O ciclo de secagem do programa extrasseco foi responsável por promover o amarrotamento mais severo ao tecido de algodão. Como já mencionado anteriormente, ele dura 230 minutos, fazendo com que as fibras de algodão sequem em excesso, consolidando o amarrotamento no tecido após um longo tempo de atrito dentro da secadora. Ao analisar a secagem proporcionada pelos programas normal e extrasseco aos tecidos de linho, verifica-se que eles apresentaram níveis de lisura próximos. Diferentemente do algodão, as amostras de linho apresentam grande capacidade de armazenamento de água, pois possuem maior gramatura. Dessa forma, uma secagem mais prolongada, como a do programa extrasseco não estressou em demasia a fibra de linho, pois ainda havia presença de água, que promoveu a sua mobilidade.

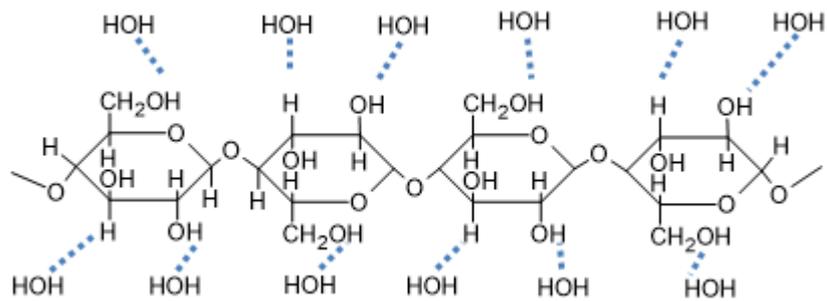
O programa passa-fácil foi o que garantiu a maior suavidade, entre os programas de secagem da secadora doméstica, possuindo o menor tempo de duração e o aquecimento da carga era mais brando, fazendo com que as amostras saíssem mais lisas. A secagem em varal foi a que garantiu maior índice de lisura tanto para os tecidos de linho, quanto para os tecidos de algodão. Nessa secagem, a força gravitacional promove o realinhamento das fibras e os tecidos são secos pela ação de gotejamento e evaporação, não havendo ação da radiação solar, já que os tecidos foram secos em ambiente fechado. Também não há interferência de outras forças, nem de movimentos que possam deformar a fibra. Na secagem em varal as condições de temperatura e umidade relativa foram constantes. Diferentemente, na secadora doméstica há o confinamento das amostras, ocasionando atrito constante com os demais tecidos e com o tambor rotativo, além disso, os tecidos são submetidos a diferentes condições de umidade relativa e temperatura.

As estruturas internas das fibras de algodão e de linho são compostas em sua maioria por celulose. Na celulose, há diversos grupos laterais de hidroxila e a sua molécula exibe regiões ordenadas e desordenadas. A porção ordenada, cristalina, confere rigidez à fibra e a porção não ordenada, amorfa, proporciona mobilidade à molécula. A região amorfa também permite maior acessibilidade às moléculas de água na fibra e devido à absorção de água, ocorre o inchaço da fibra, que normalmente é limitado a essa parte da molécula (TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012).

As fibras celulósicas apresentam caráter hidrofílico e absorvem umidade, conforme Figura 4.8. Elas possuem ligações de hidrogênio nos grupos hidroxila, os quais estão situados nas macromoléculas da parede celular da fibra. Quando a umidade entra em contato com a superfície da fibra, a ligação de hidrogênio se quebra e os grupos –OH formam novas ligações

de hidrogênio com as moléculas de água (KABIR *et al.*, 2012). A água, que atua como plastificante, permeia à fibra com certa facilidade, assegurando flexibilidade e maciez à fibra. Ainda percorre da superfície ao interior e se difunde nas regiões desordenadas da molécula de celulose. A ligação com a água ocorre devido à presença de grupamentos polares na molécula de celulose (TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012).

Figura 4.8 – Absorção de umidade na molécula de celulose.



Fonte: Autor (2020).

A água que é absorvida nas fibras pode ser água livre e água ligada. A água livre corresponde às moléculas de água que conseguem se movimentar livremente pela superfície da fibra e nos poros da fibra. Apesar disso, quando há absorção excessiva de água, ocorre diminuição da quantidade de água livre na fibra e maior quantidade da água ligada que é capaz de adentar a estrutura da celulose. A água irá se ligar aos grupos hidroxila presentes na estrutura da celulose, que permite a diminuição da rigidez da fibra, pois a água se comporta como agente plastificante, permitindo que a molécula de celulose consiga se mover mais livremente. Logo, com a molécula de celulose mais livre, as propriedades dimensionais da fibra podem ser modificadas por meio da aplicação de forças (DHAKAL; ZHANG; RICHARDSON, 2007). À medida que ocorre maior absorção de água, há maior penetração de água na fibra e a água não apenas irá se aderir à superfície da fibra, como também irá se ligar à molécula de celulose, conferindo mobilidade a fibra.

Após o processo de lavagem, os tecidos de ambas as fibras celulósicas foram submetidos a diferentes tipos de secagem em máquina e em varal, com condições operacionais distintas, que influenciaram na quantidade de água extraída e conseqüentemente na formação ou manutenção das rugas. As secagens mais prolongadas em máquina ocasionaram a extração não apenas da água encontrada na superfície do tecido, como também da água ligada as moléculas de celulose e essa remoção da umidade fixou as rugas nos tecidos

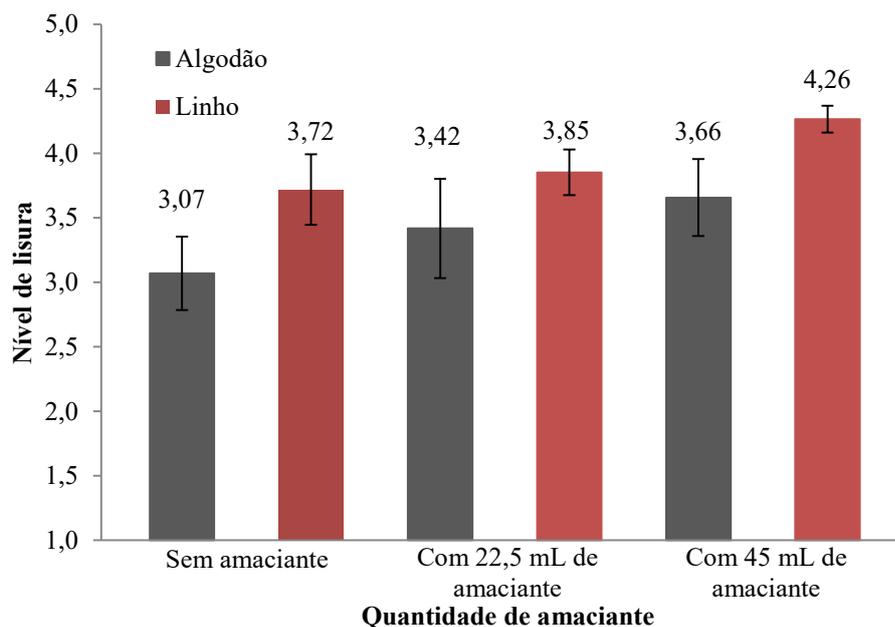
de algodão e de linho. Os programas mais extensos foram comprovadamente os que resultaram em níveis mais baixos de lisura e maior quantidade de extração de água, pois submeteram os tecidos a maior exposição em temperaturas mais altas, ao atrito prolongado no interior da secadora e a ação de forças complexas. Já os tecidos que tiveram menor contato com a secadora e a ação de temperaturas mais brandas, entregaram as amostras mais lisas e mais úmidas.

O comportamento encontrado para os tecidos de ambas as fibras celulósicas foi similar. As fibras celulósicas são formadas por uma estrutura semicristalina de cadeias de celulose, cujas zonas amorfas sofrem maiores deformações com a penetração da água. Os tecidos, quando estendidos, podem ter maior alinhamento das suas cadeias celulósicas, o que reflete em uma conformação visivelmente menos amarrotada em ambos os tecidos. Quando os tecidos foram secos em máquina houve maior quantidade de rugas. Os tecidos de linho tiveram maior suavidade, para os dois tipos de secagem, quando comparado ao tecido de algodão. A maior lisura da fibra de linho está relacionada à maior quantidade de lignina e hemicelulose, quando comparado à fibra de algodão (DITTENBER; GANGARAO, 2012). A lignina é hidrofóbica e a relação entre lignina e hemicelulose, hidrofílica, determina a quantidade de água que pode adentrar a fibra e assim assegurar maciez e flexibilidade à fibra (TIMÁR-BALAZSY; EASTOP, 2012). Como o tecido de linho possui maior gramatura, logo consegue adquirir maior quantidade de água, que ajuda na lubrificação das fibras e o torna mais suave quando comparado ao tecido de algodão.

4.3.4 Influência do produto amaciante na lisura do tecido

A influência da utilização do produto amaciante quanto ao amarrotamento do tecido foi verificada após lavagem e secagem doméstica, conforme Figura 4.9. Ao comparar a lisura após os dois processos, constatou-se que o uso de amaciante melhorou a suavidade do tecido em todos os casos analisados após secagem doméstica, pois quanto mais amaciante, maior lisura. A função lubrificante do amaciante contribuiu para a diminuição do atrito fibra a fibra, assim garantindo o amaciamento do tecido e maior suavidade. Estrutura molecular, morfologia e empacotamento das fibras são importantes características para a adsorção de amaciante nas roupas durante a lavagem. Os compostos catiônicos são feitos para se adsorver na superfície das fibras que possuem carga negativa estática (OBENDORF; DIXIT; WOO, 2009).

Figura 4.9 – Nível de lisura dos tecidos após lavagem e secagem em lavadora e secadora doméstica.



Fonte: Autor (2020).

O processo de secagem pode demandar muito tempo e gerar cargas eletrostáticas de acordo com Park, Chung e Yun (2007). Isso acontece devido ao atrito entre duas superfícies que se tocam ou decorrente do contato entre o tecido e a secadora, pois os tecidos já foram secos antes do término do ciclo de secagem e o atrito excessivo contribuiu para gerar cargas na superfície da fibra. A adição de amaciante na etapa de enxágue, nesse estudo, diminuiu as cargas eletrostáticas da maioria dos tecidos, pois o amaciante atua como agente lubrificante, diminuindo o atrito proporcionado no processo de secagem.

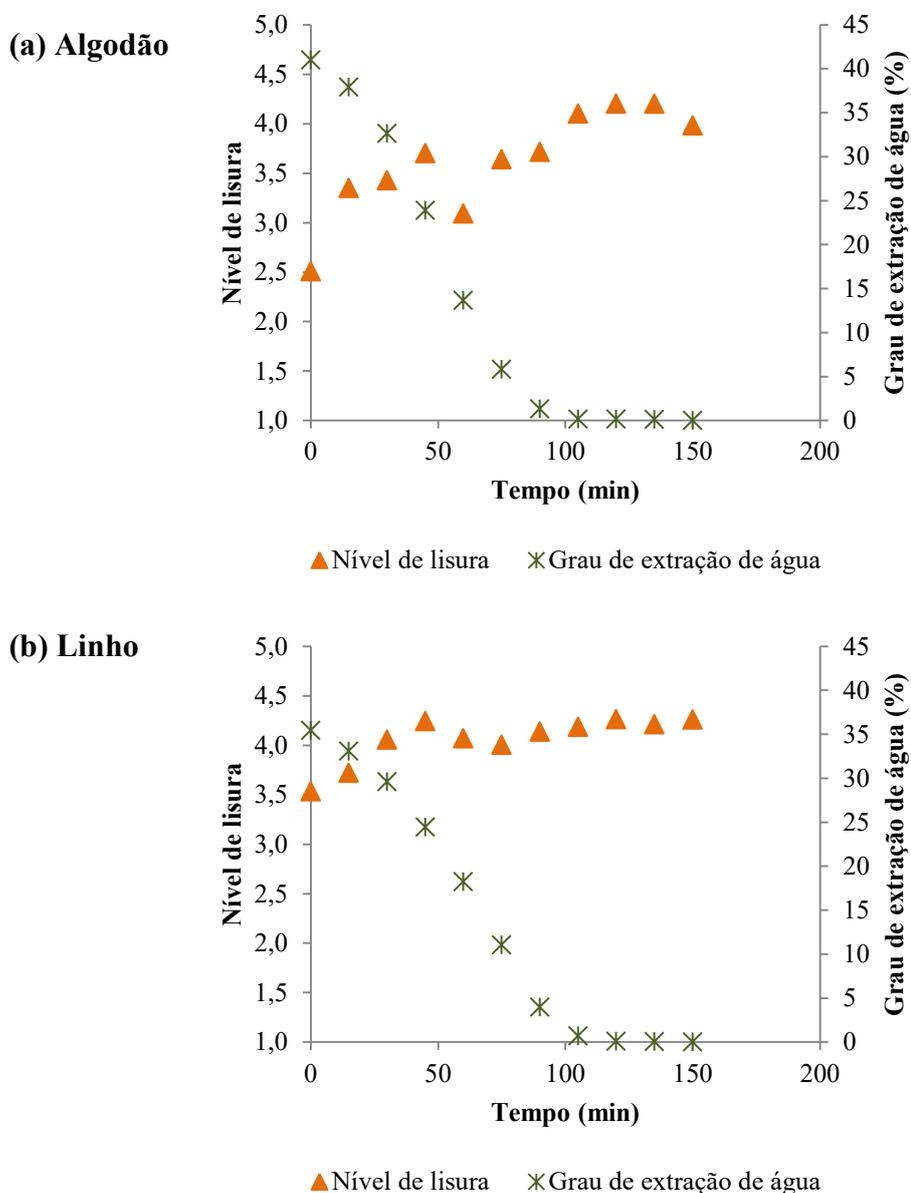
Kumar *et al.* (2018) observaram que as fibras de algodão apresentam estruturas porosas e irregulares permitindo que os ativos do amaciante pudessem se depositar tanto na superfície externa, quanto no interior do tecido. Portanto, no processo de amaciamento do tecido ocorre a deposição de vesículas catiônicas em substratos têxteis.

A diminuição do enrugamento do tecido observada neste estudo também foi proposta no artigo de Kan e Lau (2018). Eles observaram que o uso de amaciante melhorou a suavidade do tecido quando comparado ao tecido lavado sem a utilização de produto amaciante. Ao aplicar o amaciador durante a lavagem doméstica o amaciante serviu como lubrificante e reduziu o atrito dos tecidos.

4.3.5 Relação existente entre extração de água e lisura do tecido

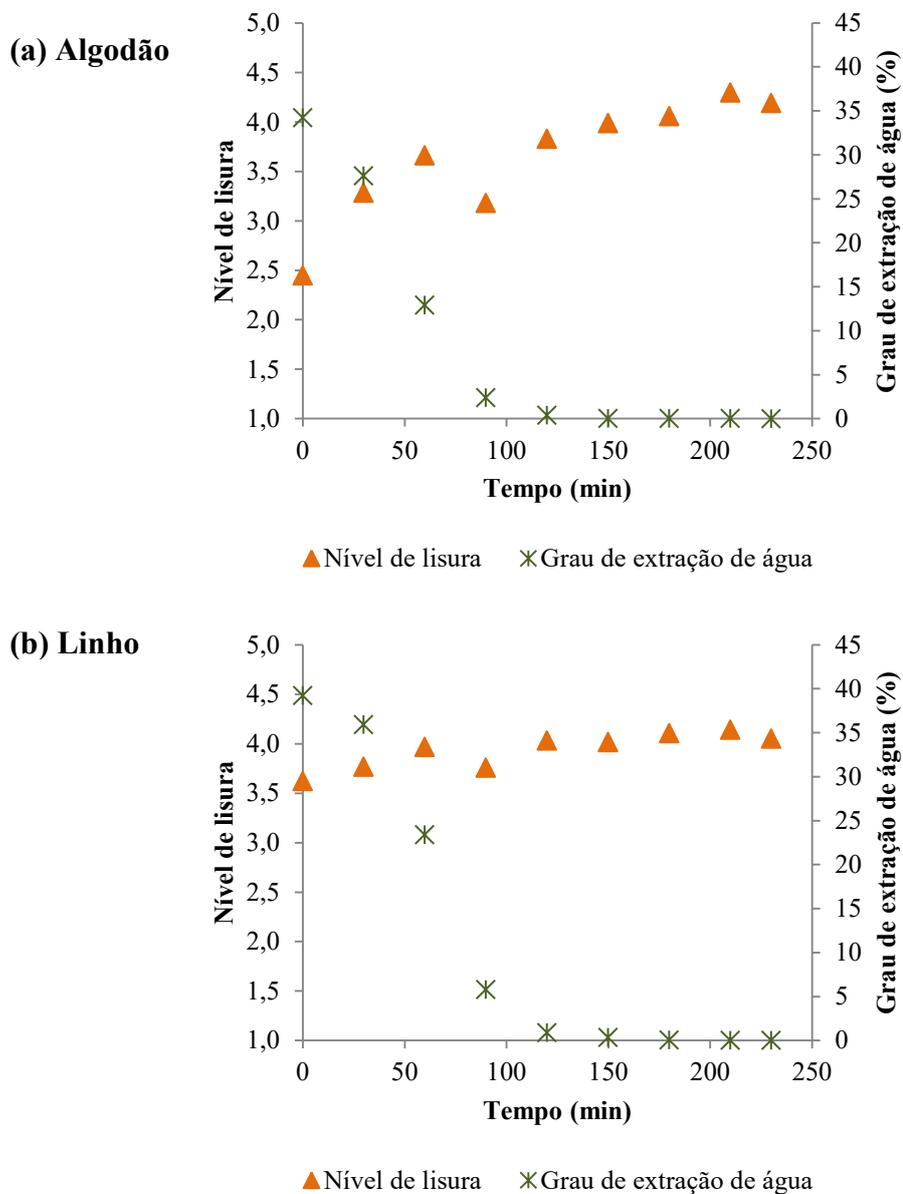
A extração de água em três diferentes programas da secadora doméstica foi relacionada ao comportamento da lisura obtido nesses ciclos de secagem, como pode ser visto nas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12. O tecido posto para secar em secadora já tinha menor quantidade de água, pois boa parte da água já havia sido removida na etapa de centrifugação. A temperatura mais elevada proporcionada pela secadora fazia com que a água residual encontrada no tecido fosse extraída.

Figura 4.10 – Relação entre o nível de lisura e grau de extração de água na secadora em programa normal.



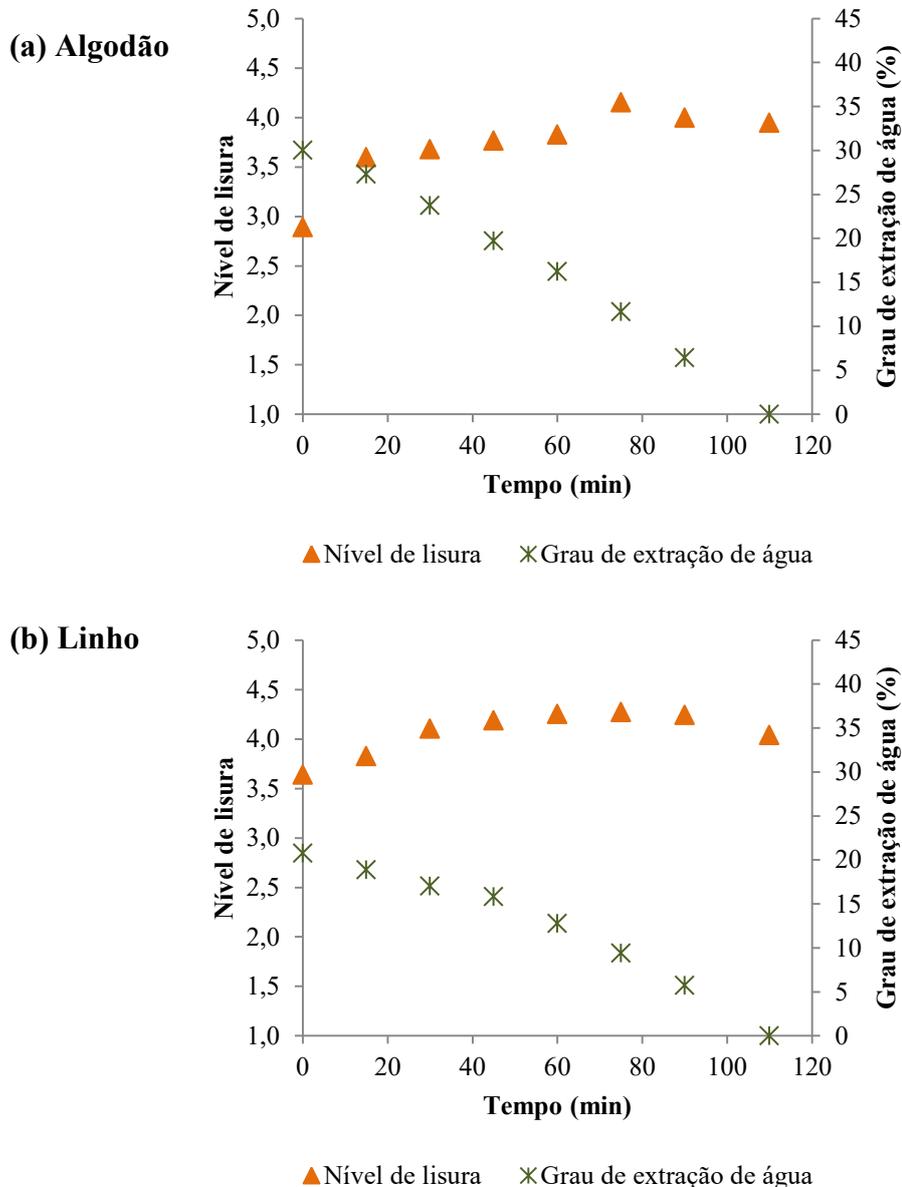
Fonte: Autor (2020).

Figura 4.11 – Relação entre o nível de lisura e grau de extração de água na secadora em programa extrasseco.



Fonte: Autor (2020).

Figura 4.12 – Relação entre o nível de lisura e grau de extração de água na secadora em programa passa-fácil.



Fonte: Autor (2020).

O processo de secagem em programa passa-fácil proporcionou ao tecido o aspecto mais liso, devido ao menor tempo de contato dos tecidos na secadora. O fato da carga de tecido abastecido ser baixa permitiu que os tecidos se movimentassem com mais liberdade, contribuindo, assim, para a diminuição das rugas. Além disso, ocorreu perda gradual de água ao longo do processo. Nos programas normal e extrasseco, embora a carga de roupas fosse baixa, ocorreu menor nível de lisura, pois os tecidos estavam submetidos a períodos maiores de secagem, em temperaturas mais elevadas. A disposição do tecido dentro da secadora em conjunto com o tempo prolongado de secagem desses programas contribuiu para fixar as

rugos. A temperatura elevada proporcionada por esses programas também ajudou a quebrar as ligações de hidrogênio da molécula de água que se ligou a fibra. Além disso, as rugas formadas no processo de lavagem perduraram em maior quantidade nesses programas, pois ao extrair mais água, as fibras se atritaram sem a ação plastificante da água, que minimizava o atrito fibra a fibra.

Quando os tecidos foram secos em secadora doméstica, a água foi evaporada por ação do fluxo de ar quente que permitiu a evaporação da água encontrada no tecido úmido. Ao comparar o nível de lisura dos tecidos após os processos de lavagem e secagem, constatou-se que houve melhora na lisura dos tecidos após secagem, no entanto, não se obteve nenhuma relação linear entre os processos, não havendo dependência do nível de lisura entre as etapas. Alguns fatores podem ter influenciado no maior amassamento do tecido após a lavagem em máquina. A lavagem em sistema de tombamento fez com que os tecidos estivessem em contato constante com os outros tecidos e com a superfície áspera da lavadora doméstica. A queda proporcionada pelo sistema de lavagem aos substratos têxteis também contribuiu para diminuir a lisura do tecido. A dinâmica da lavadora na etapa de centrifugação foi outro fator que contribuiu para o amarrotamento mais severo dos tecidos, que sofreram ação de forças centrífugas mais elevadas a fim de extrair a água absorvida pelo tecido no processo de lavagem.

4.4 CONCLUSÕES

Neste estudo, o desenvolvimento de software de processamento de imagem a fim de quantificar o amarrotamento dos tecidos de algodão e de linho permitiu reprodutibilidade às análises. O método proposto foi ajustado a partir do software desenvolvido para a medição da lisura do tecido de algodão, pois o tecido de linho apresenta características próprias. O software construído possui recursos robustos que garantem vantagens quando comparados a métodos subjetivos encontrados na literatura. Por meio do software foi possível quantificar de maneira isonômica as rugas presentes na superfície dos tecidos após os processos de lavagem e secagem. Inclusive, ele pode ser empregado por fabricantes de equipamentos que busquem avaliar o nível de lisura dos tecidos após as atividades de lavanderia.

A carga de lavagem foi o parâmetro da lavagem em máquina determinante ao verificar o amarrotamento dos tecidos e a presença de amaciante no enxágue foi importante, pois aumentou o nível de lisura dos tecidos. Ao analisar os diferentes programas de secagem,

constatou-se que eles foram responsáveis por amarrotar mais ambos os tecidos, quando comparados à secagem em varal. Contudo, a secagem em varal se torna inviável para pessoas que não tenham disponibilidade de espaço e em estações do ano que ocorre grandes índices pluviométricos.

O entendimento do comportamento da fibra e a sua relação com a água é fundamental para entender com clareza a influência da água, que atua como agente plastificante natural, na lisura dos tecidos de algodão e de linho. A água se liga a molécula de celulose, deixando-a mais flexível e conseqüentemente impacta no enrugamento gerado nos tecidos durante os processos de lavanderia. Ao ser seco em diferentes programas de secagem, a maior extração de água, devido ao maior tempo de duração do programa e exposição do tecido a temperaturas mais elevadas, ocasionou maior enrugamento dos tecidos, quando comparado às amostras secas em programa passa-fácil, nele as roupas saíam mais lisas e úmidas.

Logo, carga de lavagem de 2 kg e 45 mL de amaciante foram os parâmetros que proporcionaram maiores níveis de lisura para os tecidos de linho e de algodão. O programa de secagem passa-fácil foi o que apresentou maior suavidade, ele aquece a carga de maneira branda, temperatura próxima a 50 °C, e possui duração de 110 minutos, mas apresentou ineficiência energética com alto valor de SMER e entrega os tecidos ainda úmidos, sendo necessário passá-los em seguida para remover a umidade existente.

As descobertas deste estudo fornecem informações que podem ser utilizadas para aprimorar programas de lavagem e secagem doméstica a fim de diminuir o amarrotamento dos tecidos em lavadora de carregamento frontal e em secadora de condensação. Além disso, busca informar os consumidores sobre informações importantes acerca do processo estudado e dos cuidados que devem ser tomados com artigos têxteis caso desejem obter roupas mais alisadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo, por meio da aplicação do questionário, permitiu conhecer os hábitos desempenhados na atividade de lavanderia. As principais características listadas no estudo indicaram que os catarinenses possuem lavadora de carregamento superior, costumam acumular as roupas a fim de realizar a menor quantidade de lavagens semanais e utilizam amaciante, em grande maioria, para perfumar as roupas. Depois de lavadas, 90 % dos entrevistados secavam suas roupas em varal e cerca de 65 % tinham o hábito de passar roupas e/ou artigos domésticos.

Os dados do perfil dos entrevistados indicaram que a atividade de passar roupas é um ponto chave a ser estudado, por isso, foi construída uma árvore de decisão a fim de classificar os fatores mais importantes no que tange o tempo destinado a alisar as roupas e artigos domésticos. Verificou-se que a quantidade de artigos têxteis, o tipo de lavadora doméstica e o número de moradores afetavam o tempo destinado a realização da tarefa de passar roupas.

Diante disso, buscou-se analisar os parâmetros de lavagem e os programas de secagem doméstica que pudessem afetar o amarrotamento dos tecidos de algodão e de linho. A quantificação do nível de lisura foi realizada por meio de técnica de processamento de imagem a fim de garantir maior rigor e confiança às análises. Quantidade de enxágues, carga de lavagem e tipo de centrifugação foram os fatores que se mostraram estatisticamente significativos para a análise da lisura dos tecidos de algodão e de linho após secagem em varal. Já para a secagem em secadora doméstica, apenas a carga de lavagem foi estatisticamente significativo para o tecido de linho e para o tecido de algodão.

Além de analisar os tecidos amarrotados, buscou-se correlacionar a interação entre lisura do tecido e parâmetros de umidade em secagem em varal e em secadora doméstica. À medida que os tecidos eram expostos por maior quantidade de tempo a secagem em máquina, a temperaturas mais elevadas, eles apresentavam maior número de rugas.

Portanto, a partir das observações desse estudo, menor carga de lavagem, tipo de centrifugação normal, maior número de enxágues e presença de amaciante irão proporcionar menor quantidade de rugas aos tecidos de algodão e de linho. A secagem que forneceu menor temperatura de aquecimento, maior teor de água aos tecidos e menor duração foi capaz de entregar os tecidos após secagem em secadora doméstica com maior suavidade. Dessa forma, a pesquisa realizada foi fundamental para entender o perfil do consumidor e os seus anseios e

a partir disto a metodologia experimental realizada é capaz de direcionar fabricantes no desenvolvimento de lavadoras e secadoras que entreguem o tecido mais liso e conseqüentemente menor tempo será necessário para a realização da tarefa de passar roupas.

Por fim, como sugestões para trabalhos futuros, os seguintes estudos podem ser realizados:

- Desenvolver nova pesquisa com maior número de pessoas e com representatividade de outros estados brasileiros.
- Incluir questões que envolvam outros cuidados com as roupas, consumo de água, consumo energético, problemas enfrentados nessas tarefas e pontos importantes ao comprar os eletrodomésticos estudados.
- Analisar o enrugamento de tecidos em lavagens e secagens sucessivas.
- Estudar a ação das diferentes forças nos substratos têxteis na lavadora e na secadora.
- Analisar o consumo de água nas lavadoras e o grau de desbotamento dos tecidos em diferentes lavagens e secagens.
- Avaliar a influência da lavagem e secagem nos tecidos por meio de caracterização química, cristalina e morfológica.

REFERÊNCIAS

- ABELIOTIS, K. *et al.* Impact of water hardness on consumers' perception of laundry washing result in five European countries. **International Journal of Consumer Studies**, v. 39, n. 1, p. 60–66, 2015.
- ABRIL, H. C.; MILLAN, 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.
- ADUMITROAIE, A.; BARBERO, E. J. Beyond plain weave fabrics – I. Geometrical model. **Composite Structures**, v. 93, n. 5, p. 1424–1432, 2011.
- AHN, S. P. *et al.* Experimental study on drying time and energy consumption of a vented dryer. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 33, n. 5, p. 2471–2480, 2019.
- ALBORZI, F.; SCHMITZ, A.; STAMMINGER, R. Effects of socio-demographic factors on laundry behaviours in Europe and their implications on sustainability. **International Journal of Consumer Studies**, v. 41, n. 6, p. 671–684, 2017.
- AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS – AATCC. **AATCC Technical Manual**. Durham: American Association of Textile and Colorists, 2010.
- ANEEL. **Resolução Homologatória N° 2.593**. [S.l.], 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192593ti.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2020.
- AQUINO, M. S. **Apostila de Métodos e Processos de Manufatura da Malha I**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.
- ARSLAN, M. H. *et al.* A novel algorithm for easy-care laundering of linen fabrics: A cleaner solution to the wrinkling problem during care. **Textile Research Journal**, v. 86, n. 10, p. 1097–1108, 2016.
- BANSAL, Pradeep; VINEYARD, Edward; ABDELAZIZ, Omar. Advances in household appliances- A review. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 31, n. 17–18, p. 3748–3760, 2011.
- BASSILY, A. M.; COLVER, G. M. Correlation of the area-mass transfer coefficient inside the drum of a clothes dryer. **Drying Technology**, v. 21, n. 5, p. 919–944, 2003.
- BORTOLIN, A. R. **Avaliação do ciclo de vida: Principais métodos e estudo comparativo entre o cesto de plástico e de inox de uma lavadora de roupa**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- BORTOLINI, J. R. **Otimização estrutural da lateral de cestos para lavadoras de roupas de eixo vertical, utilizando abordagem multi-objetivo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina,

Florianópolis, 2014.

BRENČIČ, V.; YOUNG, D. Time-saving innovations, time allocation, and energy use: Evidence from Canadian households. **Ecological Economics**, v. 68, n. 11, p. 2859–2867, 2009.

BUENO, L. *et al.* Modelling the kinetics of stain removal from knitted cotton fabrics in a commercial Front Loader Washing Machine (FLWM). **Chemical Engineering Science**, v. 200, p. 176–185, 2019.

CAMPOS, L. G. C.; HERMES, C. J. L. Experimental evaluation and transient simulation of detergent transport in household vertical axis washing machines. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 109, p. 720–729, 2016.

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

CARR, C. M. **Chemistry of the Textiles Industry**. [S.l.]: Springer Science, Business Media, 2012.

CARVALHO NETO, S. L. **Avaliação de Amarrotamento por Meio de Processamento de Imagem de Tecidos 100% Algodão em Processos de Lavagem e Secagem Doméstica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CEMIG. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária – Rede de Distribuição Aérea – Edificações Individuais**. Belo Horizonte, 2017.

COCHRAN, M. *et al.* Condensing dryers with enhanced dehumidification using surface tension elements. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, n. 4, p. 723–731, 2009.

COLVERO, A. J.; JUNIOR, E. G. M. Mesa de passar roupa: uma nova proposta ergonômica. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 17, n. 1, p. 119–132, 2016.

CONRADY, T.; KRUSCHWITZ, A.; STAMMINGER, R. Influencing the sustainability of washing behavior by using motivational interviewing. **Energy Efficiency**, v. 7, n. 2, p. 163–178, 2014.

CUI, B.; CRÉPUT, J.-C. A Systematic Algorithm for Moving Object Detection with Application in Real-Time Surveillance. **SN Computer Science**, v. 1, n. 2, p. 106, 2020.

DHAKAL, H. N.; ZHANG, Z. Y.; RICHARDSON, M. O. W. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. **Composites Science and Technology**, v. 67, n. 7, p. 1674–1683, 2007.

DITTENBER, D. B.; GANGARAO, H. V. S. Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 43, n. 8, p. 1419–1429, 2012.

DOS SANTOS, A. D. P. *et al.* Usability evaluation and effort/discomfort perception during the operation of household product: the influence of product design. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12788–12804, 2019.

EICHHORN, S. *et al.* **Handbook of Textile Fibre Structure: Volume 2: Natural, Regenerated, Inorganic and Specialist Fibres**. [S.l.]: Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, 2009.

ELECTROLUX. **Lavadora Compacta Electrolux 12 Kg com Dispenser Autolimpante e Cesto Inox (LAC12)**. Disponível em: <https://loja.electrolux.com.br/lavadora-compacta-lac12-com-dispenser-autolimpante-cesto-inox-electrolux/p>. Acesso em: 24 mar. 2020a.

ELECTROLUX. **Lavadora de roupa Electrolux 10,2 Kg Front Load com Motor Inverter, Cesto Inox e Sistema Vapor (LFE10)**. Disponível em: <https://loja.electrolux.com.br/lavadora-front-load-lfe10-com-motor-inverter-sistema-vapor-branca/p>. Acesso em: 24 mar. 2020b.

ELETROBRAS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial**, [S.l.: s.n.], 2019.

ELLMER, K. *et al.* Research project Simulation Wäschepflege – Recommendations for improving resource efficiency in the laundry process in households in Germany. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 539–547, 2017.

ESTEVEZ, D. *et al.* Enabling garment-agnostic laundry tasks for a Robot Household Companion. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 123, p. 1–13, 2020.

ETEMOGLU, A. B. *et al.* Mathematical modelling of combined diffusion of heat and mass transfer through fabrics. **Fibers and Polymers**, v. 10, n. 2, p. 252–259, 2009.

FAN, J.; HUNTER, L. **Engineering apparel fabrics and garments**. [S.l.]: Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, 2009.

FAN, L.; TONG, Y.; NIU, H. Promoting consumer adoption of water-efficient washing machines in China: Barriers and countermeasures. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 1044–1051, 2019.

FARUK, O. *et al.* Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552–1596, 2012.

FIGUEIREDO, I. N. *et al.* Unsupervised segmentation of colonic polyps in narrow-band imaging data based on manifold representation of images and Wasserstein distance. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 53, p. 101577, 2019.

FRANCK, R. R. **Bast and other plant fibres**. [S.l.]: Crc Press, 2005.

GANDHI, M.; KAMDAR, J.; SHAH, M. Preprocessing of Non-symmetrical Images for Edge Detection. **Augmented Human Research**, v. 5, n. 1, p. 10, 2019.

GOCEK, I. *et al.* A study on easy-care laundering of linen fabrics. **Textile Research Journal**, v. 83, n. 18, p. 1961–1973, 2013.

GOEL, U.; GUPTA, B.; TIWARI, M. An Efficient Approach to Restore Naturalness of Non-uniform Illumination Images. **Circuits, Systems, and Signal Processing**, v. 38, n. 7, p. 3384–3398, 2019.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

HARVEY, J. S.; SMITHSON, H. E.; SIVIOUR, C. R. Visualization of acoustic waves in air and subsequent audio recovery with a high-speed schlieren imaging system: Experimental and computational development of a schlieren microphone. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 107, p. 182–193, 2018.

HELMREICH, G. W. *et al.* Enhanced method for analysis of individual UCO kernel phase fractions. **Nuclear Engineering and Design**, v. 363, p. 110625, 2020.

HERNANDEZ, E.; NOWACK, B.; MITRANO, D. M. Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 12, p. 7036–7046, 2017.

HIGGINS, L. *et al.* Effects of Various Home Laundering Practices on the Dimensional Stability Wrinkling, and Other Properties of Plain Woven Cotton Fabrics: Part I: Experimental Overview, Reproducibility of Results, and Effect of Detergent. **Textile Research Journal**, v. 73, n. 4, p. 357–366, 2003a.

HIGGINS, L. *et al.* 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, 2003b.

HUANG, H.; YANG, M.; LV, T. Ergonomic analysis of washing machines for elderly people: A focus group-based study. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 68, p. 211–221, 2018.

IBGE. **Santa Catarina**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>. Acesso em: 29 maio. 2020.

ISKAKOV, A.; KALIDINDI, S. R. A Framework for the Systematic Design of Segmentation Workflows. **Integrating Materials and Manufacturing Innovation**, v. 9, n. 1, p. 70–88, 2020.

JACK, T. Laundry routine and resource consumption in Australia. **International Journal of Consumer Studies**, v. 37, n. 6, p. 666–674, 2013.

JAWAID, M.; ABDUL KHALIL, H. P. S. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 1, p. 1–18, 2011.

- JIAN, Q.; ZHAO, J. Drying performance analysis of a condensing tumbler clothes dryer with a unique water cooled heat exchanger. **Applied Thermal Engineering**, v. 113, p. 601–608, 2017.
- KABIR, M. M. *et al.* Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 7, p. 2883–2892, 2012.
- KAN, C. W.; LAU, T. C. Use of softener in home laundering of cotton fabric—hand feel value measurement by PhabrOmeter. **Fibers and Polymers**, v. 19, n. 10, p. 2203–2207, 2018.
- KIM, H.; YUN, C.; PARK, C. H. Fabric movement and washing performance in a front-loading washer with a built-in pulsator. **Textile Research Journal**, v. 89, n. 21–22, p. 4732–4745, 2019.
- KOGAWA, A. C. *et al.* Synthetic detergents: 100years of history. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 25, n. 6, p. 934–938, 2017.
- KONER, S.; PAL, A.; ADAK, A. Utilization of silica gel waste for adsorption of cationic surfactant and adsolubilization of organics from textile wastewater: A case study. **Desalination**, v. 276, n. 1, p. 142–147, 2011.
- KRUSCHWITZ, A. *et al.* Consumer laundry practices in Germany. **International Journal of Consumer Studies**, v. 38, n. 3, p. 265–277, 2014.
- KUMAR, A. *et al.* Intact deposition of cationic vesicles on anionic cellulose fibers: Role of vesicle size, polydispersity, and substrate roughness studied via streaming potential measurements. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 473, p. 152–161, 2016.
- KUMAR, A. *et al.* Electrokinetic investigation of deposition of cationic fabric softener vesicles on anionic porous cotton fabrics. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 514, p. 132–145, 2018.
- KUMAR, A. *et al.* Charge and size matters—How to formulate organomodified silicones for textile applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 560, p. 180–188, 2019.
- LAITALA, K.; KLEPP, I. G.; BOKS, C. Changing laundry habits in Norway. **International Journal of Consumer Studies**, v. 36, n. 2, p. 228–237, 2012.
- LEROY, Y.; YANNOU, B. An activity-based modelling framework for quantifying occupants' energy consumption in residential buildings. **Computers in Industry**, v. 103, p. 1–13, 2018.
- LI, Y. *et al.* Study on the effects of the characteristics of textile substrates on the photonic crystal films and the related structural colors. **Surface and Coatings Technology**, v. 319, p. 267–276, 2017.
- 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.

LIU, H. *et al.* The relationships between washing parameters, fabric movement, and wrinkling in a top-loading washer. **Textile Research Journal**, v. 88, n. 12, p. 1367–1376, 2018.

LIU, H. *et al.* Implementing sustainable laundering program for textiles in an impeller washer in China and saving energy. **Energy Efficiency**, v. 12, n. 7, p. 1729–1736, 2019a.

LIU, H. *et al.* The mechanism of wrinkling of cotton fabric in a front-loading washer: The effect of mechanical action. **Textile Research Journal**, v. 89, n. 18, p. 3802–3810, 2019b.

LOYOLA, F. R. *et al.* Rheometric assessment and numerical simulation of steady-state and periodic flows of fabric-water mixtures in household top-load washing machines. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 137, p. 273–290, 2018.

MA, C.; LV, X.; AO, J. Difference based median filter for removal of random value impulse noise in images. **Multimedia Tools and Applications**, v. 78, n. 1, p. 1131–1148, 2019.

MA, S.-S. *et al.* Utilization of waste heat for energy conservation in domestic dryers. **Energy**, v. 162, p. 185–199, 2018.

MAC NAMARA, C. *et al.* Dynamics of textile motion in a front-loading domestic washing machine. **Chemical Engineering Science**, v. 75, p. 14–27, 2012.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de Marketing - Uma Orientação Aplicada**. 6. ed. São Paulo: Bookman, 2011.

MATHER, R. R.; WARDMAN, R. H. **The Chemistry of Textile Fibres**. [S.l.]: Royal Society of Chemistry, 2011.

MIILUNPALO, S.-M.; RÄISÄNEN, R. Clean laundry with pure conscience—A study on laundry practices among Finnish consumers. **International Journal of Consumer Studies**, v. 43, n. 2, p. 153–165, 2019.

MISNON, M. I. *et al.* Potentiality of utilising natural textile materials for engineering composites applications. **Materials & Design**, v. 59, p. 359–368, 2014.

MORTON, W. E.; HEARLE, J. W. S. **Physical properties of textile fibres**. 4. ed. [S.l.]: Elsevier, 2008.

MOZES, E. *et al.* Exergy analysis of the conventional textile washing process. **Energy Conversion and Management**, v. 39, n. 16, p. 1835–1843, 1998.

NG, A. B.; DENG, S. A new termination control method for a clothes drying process in a clothes dryer. **Applied Energy**, v. 85, n. 9, p. 818–829, 2008.

NOVAK, L. *et al.* Influence of load mass and drum speed on fabric motion and performance of a heat pump tumble dryer. **Drying Technology**, v. xx, p. xx–xx, 2020.

NOVAK, L.; GATARIĆ, P.; ŠIROK, B. Influence of drum inlet air conditions on drying process in a domestic tumble dryer. **Drying Technology**, v. 37, n. 6, p. 781–792, 2019.

OBENDORF, S. K.; DIXIT, V.; WOO, D. J. Microscopy Study of Distribution of Laundry Fabric Softener on Cotton Fabric. **Journal of Surfactants and Detergents**, v. 12, n. 3, p. 225–230, 2009.

OIKONOMOU, E. K. *et al.* Design of eco-friendly fabric softeners: Structure, rheology and interaction with cellulose nanocrystals. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 525, p. 206–215, 2018.

PAKULA, C.; STAMMINGER, R. Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide. **Energy efficiency**, v. 3, n. 4, p. 365–382, 2010.

PARIA, S. Surfactant-enhanced remediation of organic contaminated soil and water. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 138, n. 1, p. 24–58, 2008.

PARK, C. H.; CHUNG, S. E.; YUN, C. S. Effect of drying condition on the electrostatic characteristics of the laundry. **Fibers and Polymers**, v. 8, n. 4, p. 432–437, 2007.

PATTON, N. *et al.* Retinal image analysis: Concepts, applications and potential. **Progress in Retinal and Eye Research**, v. 25, n. 1, p. 99–127, 2006.

PÉREZ-LÓPEZ, M. E.; ARREOLA-ORTIZ, A. E.; MALAGÓN ZAMORA, P. Evaluation of detergent removal in artificial wetlands (biofilters). **Ecological Engineering**, v. 122, p. 135–142, 2018.

PUROHIT, P. S.; SOMASUNDARAN, P. Modification of surface properties of cellulosic substrates by quaternized silicone emulsions. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 426, p. 235–240, 2014.

QIN, X. A modified Canny edge detector based on weighted least squares. **Computational Statistics**, v. xx, p. xx–xx, 2020.

RAGHAVA RAO, J. *et al.* Recouping the wastewater: a way forward for cleaner leather processing. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 5, p. 591–599, 2003.

RAMESH, M. Flax (*Linum usitatissimum* L.) fibre reinforced polymer composite materials: A review on preparation, properties and prospects. **Progress in Materials Science**, v. 102, p. 109–166, 2019.

SCHMITZ, A.; STAMMINGER, R. Usage behaviour and related energy consumption of European consumers for washing and drying. **Energy Efficiency**, v. 7, n. 6, p. 937–954, 2014.

SHAH, A. *et al.* Comparative analysis of median filter and its variants for removal of impulse noise from gray scale images. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, v. xx, p. xx–xx, 2020.

SHAHID-UL-ISLAM; SHAHID, M.; MOHAMMAD, F. Perspectives for natural product

based agents derived from industrial plants in textile applications - A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 57, p. 2–18, 2013.

SILVA, C. B. **Comparativo das propriedades de transporte de umidade, capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade ao ar em tecidos planos de poliéster**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion Materials, Design and Technology**. [S.l.]: Elsevier, 2014.

SOARES, L. B. *et al.* An Energy-Efficient and Approximate Accelerator Design for Real-Time Canny Edge Detection. **Circuits, Systems, and Signal Processing**, v. xx, p. xx–xx, 2020.

SOOD, M.; DWIVEDI, G. Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 27, n. 4, p. 775–783, 2018.

SPENCER, J.; LILLEY, D.; PORTER, S. The opportunities that different cultural contexts create for sustainable design: a laundry care example. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 279–290, 2015.

STAMMINGER, R. Modelling resource consumption for laundry and dish treatment in individual households for various consumer segments. **Energy Efficiency**, v. 4, n. 4, p. 559–569, 2011.

STAWREBERG, L. **Energy Efficiency Improvements of Tumble Dryers**. 2011. Tese (Degree of Doctor of Environmental and Energy Systems) - Faculty of Technology and Science, Karlstad University, Karlstad, 2011.

STAWREBERG, L.; BERGHEL, J.; RENSTRÖM, R. Energy losses by air leakage in condensing tumble dryers. **Applied Thermal Engineering**, v. 37, p. 373–379, 2012.

STAWREBERG, L.; NILSSON, L. Potential energy savings made by using a specific control strategy when tumble drying small loads. **Applied Energy**, v. 102, p. 484–491, 2013.

STAWREBERG, L.; WIKSTRÖM, F. Does the energy labelling system for domestic tumble dryers serve its purpose? **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 12, p. 1300–1305, 2011.

STEIN, V. **Índice de proporcionalidade de cobertura: um fator para previsibilidade das características da qualidade nos tecidos de malha**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais - Centro Tecnológico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

TEGROTHENHUIS, W. *et al.* Modeling and design of a high efficiency hybrid heat pump clothes dryer. **Applied Thermal Engineering**, v. 124, p. 170–177, 2017.

TIMÁR-BALAZSY, Á.; EASTOP, D. **Chemical Principles of Textile Conservation**.

London, New York: Routledge, 2012.

TO, W. M. *et al.* Characterization of commercial clothes dryers based on energy-efficiency analysis. **International Journal of Clothing Science and Technology**, v. 19, n. 5, p. 277–290, 2007.

TUZER, M. *et al.* Multi-ray medical ultrasound simulation without explicit speckle modelling. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v. 13, n. 7, p. 1009–1017, 2018.

UMMARTYOTIN, S.; MANUSPIYA, H. A critical review on cellulose: From fundamental to an approach on sensor technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 402–412, 2015.

VAN DEN BREKEL, L. D. M. **Hydrodynamics and Mass Transfer in Domestic Drum – Type Fabric Washing Machines**. 1987. Tese (Degree of Doctor of Applied Sciences) - Faculty Applied Sciences, Delft University of Technology, Delft, 1987.

WANG, Y.; LU, X.; TAN, Y. Impact of product attributes on customer satisfaction: An analysis of online reviews for washing machines. **Electronic Commerce Research and Applications**, v. 29, p. 1–11, 2018.

WEI, D. W. *et al.* Superhydrophobic modification of cellulose and cotton textiles: Methodologies and applications. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2020.

WEI, Y. *et al.* Research on physical properties change and damage behavior of cotton fabrics dried in drum-dryer. **The Journal of The Textile Institute**, v. 109, n. 1, p. 121–132, 2018a.

WEI, Y. *et al.* Enhancing the Energy Efficiency of Domestic Dryer by Drying Process Optimization. **Drying Technology**, v. 36, n. 7, p. 790–803, 2018b.

WEI, Y.; HUA, J.; DING, X. A mathematical model for simulating heat and moisture transfer within porous cotton fabric drying inside the domestic air-vented drum dryer. **The Journal of The Textile Institute**, v. 108, n. 6, p. 1074–1084, 2017.

WITTEN, I. H. *et al.* **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques**. 3. ed. Boston: Morgan Kaufmann, 2011.

YAN, L.; CHOUW, N.; JAYARAMAN, K. Flax fibre and its composites – A review. **Composites Part B: Engineering**, v. 56, p. 296–317, 2014.

YAN, L.; KASAL, B.; HUANG, L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. **Composites Part B: Engineering**, v. 92, p. 94–132, 2016.

YEOMAN, M. S. *et al.* A constitutive model for the warp-weft coupled non-linear behavior of knitted biomedical textiles. **Biomaterials**, v. 31, n. 32, p. 8484–8493, 2010.

YILDIRIM, M.; KACAR, F. Adapting Laplacian based filtering in digital image processing to a retina-inspired analog image processing circuit. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, v. 100, n. 3, p. 537–545, 2019.

YU, X. *et al.* Wrinkling mechanism of woven cotton fabrics during domestic tumble drying. **Drying Technology**, v. 36, n. 9, p. 1098–1106, 2018.

YU, X.; LI, Y.; DING, X. Relationship between drying parameters and drying performance in domestic tumble dryers. **Textile Research Journal**, v. xx, p. xx–xx, 2020.

YUN, C.; PARK, C. H. The effect of fabric movement on washing performance in a front-loading washer II: under various physical washing conditions. **Textile Research Journal**, v. 85, n. 3, p. 251–261, 2014.

YUN, C.; PARK, S.; PARK, C. H. The effect of fabric movement on washing performance in a front-loading washer. **Textile Research Journal**, v. 83, n. 17, p. 1786–1795, 2013.

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

ZHAO, J. *et al.* The improvement on drying performance and energy efficiency of a tumbler clothes dryer with a novel electric heating element. **Applied Thermal Engineering**, v. 128, p. 531–538, 2018.

ZHOU, M. *et al.* Cotton proteomics for deciphering the mechanism of environment stress response and fiber development. **Journal of Proteomics**, v. 105, p. 74–84, 2014.

ZHUANG, P. *et al.* Image enhancement using divide-and-conquer strategy. **Journal of Visual Communication and Image Representation**, v. 45, p. 137–146, 2017.

APÊNDICE A – Questionário

1) Qual a sua idade?

- Abaixo de 20 anos
- De 20 a 30 anos
- De 31 a 40 anos
- De 41 a 50 anos
- De 51 a 60 anos
- Acima de 60 anos

2) Em qual cidade você mora?

- Florianópolis
- Blumenau
- Outras

3) Quantas pessoas, somando você, moram na sua residência?

- 1
- 2
- 3
- Acima de 3

4) Qual a sua renda familiar líquida?

- De 1 a 2 salários mínimos (R\$988,00 a R\$1976,00)
- De 2 a 3 salários mínimos (R\$1977,00 a R\$2964,00)
- De 3 a 4 salários mínimos (R\$2964,00 a R\$3952,00)
- De 4 a 5 salários mínimos (R\$3953,00 a R\$4940,00)
- Acima de 5 salários mínimos (Acima de R\$4940,00)

5) Como você acondiciona suas roupas antes de lavá-las?

- Cesto
- Coloca direto na máquina de lavar
- Outros

6) De qual forma você lava suas roupas?

- Manualmente
- Lavadora
- Lavanderia

7) Qual o tipo de lavadora você utiliza para lavar suas roupas?

- Lavadora de carregamento superior
- Lavadora de carregamento frontal

8) Qual a marca da sua lavadora doméstica?

- Brastemp
- Electrolux
- Consul
- LG
- Samsung
- Outras

9) Qual o programa de lavagem você mais utiliza para lavar suas roupas?

- Normal
- Delicado
- Rápido
- Pesado
- Outros

10) Você costuma utilizar a capacidade máxima de sua lavadora?

- Sim
- Não
- Na maioria das vezes (acima de 60%)
- Poucas vezes (menos que 50%)

11) Quanto tempo, em média, demora o processo de lavagem das suas roupas?

- Abaixo de 40 minutos
- Entre 40 minutos e 1h e 30 min

- Entre 1h e 31 min até 2 horas
- Acima de 2 horas

12) Quantas vezes por semana você costuma lavar suas roupas?

- Uma vez
- Duas vezes
- Três vezes
- Outras

13) Qual o principal motivo de utilizar produto amaciante?

- Perfumar as roupas
- Garantir a maciez das roupas
- Diminuir o enrugamento do tecido
- Outras

14) Como você seca suas roupas?

- Secador de tambor
- Secadora de pendurar
- Lava e seca
- Varal
- Outras

15) Quais artigos têxteis você costuma passar?

- Camisetas
- Camisas
- Toalhas
- Lençóis
- Roupas esportivas
- Calças
- Não passa roupa
- Outras

16) Quanto tempo por semana, em média, é destinado a atividade de passar roupas?

- Abaixo de 30 minutos
- Entre 30 minutos e 60 minutos
- Entre 61 minutos e 120 minutos
- Acima de 120 minutos

17) Qual das atividades listadas abaixo você julga ser a mais trabalhosa?

- Lavar roupas
- Secar roupas
- Passar roupas

18) Das atividades domésticas, como um todo, qual atividade você considere ser a mais cansativa?

19) Fique à vontade para sugestões, críticas ou comentários sobre o questionário.