UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

JORDANA RODRIGUES DE CASTRO

**Reprodução e caracterização de manchamentos causados por desodorante
antitranspirante em malha de algodão buscando melhorar o desempenho de remoção**

**São Paulo
2015**

JORDANA RODRIGUES DE CASTRO

Reprodução e caracterização de manchamentos causados por desodorante antitranspirante em malha de algodão buscando melhorar o desempenho de remoção

Dissertação apresentada a Escola de Artes Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Têxtil e Moda.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 09 de dezembro de 2014. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de Concentração:
Materiais e Processos Têxteis

Orientadora:
Prof(a). Dr(a). Sirlene Maria da Costa

São Paulo
2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Castro, Jordana Rodrigues de

Reprodução e caracterização de manchamentos causados por desodorante antitranspirante em malha de algodão buscando melhorar o desempenho de remoção / Jordana Rodrigues de Castro ; orientadora, Sirlene Maria da Costa. – São Paulo, 2015

124 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em 2014

Versão corrigida

1. Tecnologia têxtil. 2. Tecidos (Indústria têxtil). 3. Algodão.
4. Lavanderia - Processos. 5. Desodorizante. 6. Reação química.
I. Costa, Sirlene Maria da, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677

Nome: CASTRO, Jordana Rodrigues de

Título: Reprodução e caracterização de manchamentos causados por desodorante antitranspirante em malha de algodão buscando melhorar o desempenho de remoção

Dissertação apresentada a Escola de Artes
Ciências e Humanidades da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

À Escola de Artes Ciências e Humanidades (EACH/USP), pela oportunidade de ter feito este curso de Mestrado.

Ao Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Química e Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), pelas análises de caracterização do tecido de malha: análise qualitativa e quantitativa, título de fios retirados de tecido, gramatura, padronagem, resistência à pressão de ruptura (*Mullen Tester*), efusividade e condutividade térmica (TCi), avaliação colorimétrica instrumental; pelos processos de lavagem e secagem das camisetas e, pelos processos de remoção.

Ao Engenheiro Richard Palh, do Laboratório de Tecnologia Têxtil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – (IPT), pelos ensinamentos, orientações, amizade, participando dos momentos bons e ruins; por ser um exemplo de profissional, contribuindo para meu crescimento profissional.

À minha orientadora Dra. Sirlene Maria da Costa, pela confiança, paciência e indiscutível compreensão nos momentos difíceis, sempre me ajudando e incentivando, mostrando o caminho da ciência.

À Professora Dra. Silgia Aparecida da Costa, pela dedicação, paciência e por acreditar no futuro deste trabalho, enriquecendo a minha formação e mostrando o caminho da ciência.

À Liz M Zanchetta, do Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelas análises de MEV e EDS.

À Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo pelas análises de Espectrometria de Emissão Atômica (ICP-OES).

A todas as pessoas que não mencionei, por esquecimento, mas que colaboraram para este trabalho.

RESUMO

CASTRO, J.R. Reprodução e caracterização de manchamentos causados por desodorante antitranspirante em malha de algodão buscando melhorar o desempenho de remoção. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Este trabalho teve como objetivo a reprodução, avaliação e caracterização de manchamentos provocados por desodorante antitranspirante, suor, produtos do processo de lavagem como detergente em pó, amaciante, temperatura de passadoria em camisetas de malhas de algodão. Buscando uma melhor caracterização destes manchamentos, foram realizados três grupos de estudo com indivíduos selecionados, propensos à obtenção de manchas na região das axilas. Os indivíduos fizeram uso de desodorante com e sem perfume e utilizaram camisetas por um período de onze dias, sendo que um dos indivíduos fez uso apenas da camiseta sem desodorante e, uma das camisetas foi submetida ao desodorante sem uso por indivíduos. Ao final de cada dia, as camisetas foram lavadas com detergente em pó, amaciante, secas em secadora e passadas, simulando uma condição de uso doméstico. As camisetas manchadas foram submetidas às avaliações instrumentais de espectrofotometria (colorímetro), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), análise por Dispersão de Energia (EDS) e medição da efusividade e condutividade térmica e Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Essas camisetas também foram submetidas a dois processos de remoção: por lavagem a seco (LS) e por agentes químicos (RAQ). Após o processo de remoção, as camisetas foram submetidas à avaliação colorimétrica instrumental, condutividade e efusividade térmica, MEV, resistência à ruptura. As análises colorimétricas para todas as camisetas utilizadas pelos participantes dos grupos de estudo mostraram valores de ΔE^* de (0,87 a 32,43), indicando uma alteração de cor perceptível visualmente na região das axilas. As microscopias das amostras também mostram um acúmulo de alguns materiais nessa região que pode ter influenciado a troca de calor do material com o ambiente, como mostraram os resultados de efusividade e condutividade. Este material acumulado, analisado pela técnica de ICP-OES, mostrou que a camiseta manchada apresentou 99,7% de alumínio a mais do que na camiseta original na região da axila, o que pode ser oriundo do contato com o desodorante que também apresenta elevados teores de alumínio em sua formulação. Os métodos utilizados para remoção apresentaram resultados satisfatórios, promovendo a remoção dos manchamentos nas camisetas, observado através da diminuição dos valores de ΔE^* e nos índices da Escala Cinza de Alteração da Cor, na avaliação colorimétrica instrumental. Entretanto, o processo de remoção por agentes químicos apresentou melhores resultados, tendo cerca de 70% de eficácia quando comparados ao método de lavagem a seco, podendo ser um método mais efetivo na remoção deste tipo de manchamento.

Palavras-chave: Têxtil, Manchamentos, Desodorante, Detergente, Amaciante, Processos de lavagem, Passadoria, Remoção.

ABSTRACT

CASTRO, JR. **Reproduction and characterization of antiperspirant deodorant staining caused by cotton knit seeking to improve the removal performance.** 2015. 124 f.

Dissertation (Master of Science) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

This work was carried out to reproduction, evaluation and characterization of staining caused by antiperspirant deodorant, sweat, products of the washing process and detergent powder, fabric softener, temperature ironing shirts in cotton knits. Searching for a better characterization of these staining, three groups of studies selected, prone to getting stains on the underarm area individuals, were performed. Individuals made use deodorant and fragrance with shirts and used for a period of eleven days, and one of the subjects only used the shirt without deodorant and one of the shirts was submitted to without deodorant use by individuals. At the end of each day the shirts were washed with detergent powder, fabric softener, dryer dried and pressed, simulating a condition of household. The stained shirts were subjected to instrumental evaluations spectrophotometry (colorimeter), Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive analysis (EDS) and measuring the effusivity and thermal conductivity and Atomic Emission Spectrometry by Inductively Coupled Plasma (ICP-OES). These shirts were also subjected to two processes: removal by cleaning (LS) and chemicals (RAQ). After the removal process tees instrumental colorimetric evaluation, conductivity and thermal effusivity, SEM, tensile strength were submitted. colorimetric analyzes for all t used by the participants of the study groups showed values of ΔE^* (0.87 to 32.43), indicating a change of color visually noticeable in the underarm area. The microscopy of the samples also showed an accumulation of some materials in this region that may have influenced the heat exchange material with the environment as showed the results of effusivity and conductivity. This accumulated material, analyzed by ICP-OES technique, showed that the stained shirt showed 99.7% more aluminum than the original shirt, which can be derived from contact with the deodorant that also has a high concentration of aluminum in its formulation.

The methods used for removal showed satisfactory results, promoting the removal of staining tees, observed by decreasing the values of ΔE^* and indexes of Gray Scale Change Colors, instrumental colorimetric evaluation. However, the process of removal by chemical agents showed better results, about 70% efficiency when compared to the method of cleaning, may be a more effective method in removing this type of stain.

Keywords: Textiles, Staining, Deodorant, Detergent, Softener, Washing processes, Ironing, Removal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Estrutura da pele.....	30
Figura 2– Círculo de Sinner.	43
Figura 3– Sistemas de lavagem: (a) tombamento, (b) agitador e (c) impulsor	46
Figura 4– Máquina moderna de lavagem a seco que utiliza no seu processo de limpeza o percloroetileno como solvente.....	49
Figura 5– Representação gráfica das coordenadas de cor CIELab	51
Figura 6– Micrografias e espectros de EDS da amostra Original, (a) aumento 400X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 400X avesso, (d) aumento 400X avesso	86
Figura 7– Micrografias e espectros de EDS da amostra 2MAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	87
Figura 8– Micrografias e espectros de EDS da amostra 4FAG1Y, (a) aumento 2500X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 400X direito, (d) aumento 1000X direito	87
Figura 9– Micrografias da MEV e espectros de EDS da amostra 6FAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	88
Figura 10– Micrografias e espectros de EDS da amostra 7FAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito	89
Figura 11– Micrografias e espectro de EDS da amostra 11FAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	90
Figura 12– Micrografias e espectros de EDS da amostra 12FBG2Y, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	91
Figura 13– Micrografias e espectros de EDS da amostra 13FBG2X, (a) aumento 5000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 400X avesso, (d) EDS avesso	91
Figura 14– Micrografias e espectros de EDS da amostra 13FBG2Y, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	92
Figura 15– Micrografias e espectros de EDS da amostra 14FBG2X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	93
Figura 16– Micrografias e espectros de EDS da amostra 2MAG1X após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	94
Figura 17– Micrografias e espectros de EDS da amostra 4FAGY após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	95
Figura 18– Micrografias e espectros de EDS da amostra 7FAG1X após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	95

Figura 19– Micrografias da MEV e espectros de EDS da amostra 7FAG1Y após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	96
Figura 20– Micrografias e espectros de EDS da amostra 12FBG2Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	97
Figura 21– Micrografias e espectros de EDS da amostra 13FBG2Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	97
Figura 22– Micrografias e espectros de EDS da amostra 13 FBG2X após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	98
Figura 23– Micrografias da MEV e espectros de EDS da amostra 14FBG2X após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso	99
Figura 24– Micrografias e espectros de EDS da amostra 15AG3Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	99
Figura 25– Micrografias e espectros de EDS da amostra 16FG3X após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	100
Figura 26– Micrografias e espectros de EDS da amostra 16FG3Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correspondência entre o Índice da Escala Cinza de Alteração da Cor e o valor de leitura no espectrofotômetro.....	52
Tabela 2 – Protocolo de participação no grupo de estudos	59
Tabela 3 – Dados referentes aos participantes do primeiro grupo de estudo para reprodução dos manchamentos e identificação das camisetas com desodorante	60
Tabela 4 – Dados referentes aos participantes do segundo grupo de estudo para reprodução dos manchamentos e nomenclaturas das camisetas.....	61
Tabela 5 – Dados referentes aos participantes do terceiro grupo de estudo para reprodução dos manchamentos e nomenclaturas das camisetas	62
Tabela 6 – Análise qualitativa e quantitativa do tecido de malha da camiseta	67
Tabela 7 – Gramatura do tecido de malha.....	67
Tabela 8 – Padronagem de malha de trama.....	68
Tabela 9 – Título de fios retirados de tecidos.....	68
Tabela 10 – Resistência de pressão à ruptura – <i>Mullen Tester</i>	69
Tabela 13 – Avaliação da Condutividade e Efusividade Térmica das amostras avaliadas	85
Tabela 14 – Resultados da concentração de Alumínio por ICP das amostras de desodorante A, amaciante, detergente em pó, água, camiseta original, com mancha e após remoção	103
Tabela 11 – Valores de dL^* , da^* , db^* , dE^* , alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e remoção	115
Tabela 12 – Média dos índices avaliados das camisetas expostas	123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Representação gráfica dos índices de dE^* das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ.....	71
Gráfico 2 – Representação gráfica dos índices de dE^* das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante com perfume (B), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ.....	72
Gráfico 3 – Representação gráfica dos índices de dE^* das camisetas avaliadas com desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e camiseta sem desodorante com suor.....	74
Gráfico 4 – Representação gráfica dos índices de alteração da cor da Escala Cinza das camisetas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ.....	76
Gráfico 5 – Representação gráfica dos índices de alteração da cor da Escala Cinza das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante com perfume (B), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ.....	77
Gráfico 6 – Representação gráfica dos índices de alteração da cor da Escala Cinza das camisetas avaliadas com desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e suor, (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ.....	78
Gráfico 7 – Representação gráfica dos brancura (WI) das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ.....	80
Gráfico 8 – Representação gráfica dos índices de brancura (WI) das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante com perfume (B), após remoção LS e (b) após remoção RAQ..	81
Gráfico 9 – Representação gráfica dos índices de brancura (WI) das camisetas avaliadas com desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e suor, (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação segundo a origem das principais fibras têxteis.....	21
Quadro 2 – Estrutura celular da fibra de algodão.....	25

LISTA DE ABREVIACÕES, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS UTILIZADOS

ABIT	Associação Brasileira de Indústria Têxtil
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.	Antes de Cristo
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AATCC	<i>American Association of Textile Chemistry and Colorists</i>
CIE	<i>Commission International de l'Éclairage</i>
CO	Algodão
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CO ₂	Gás carbônico
EDS	:Espectroscopia de energia dispersiva
EN	<i>European Standard</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FEG	Microscópio eletrônico de varredura de efeito de campo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP	Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente
ISO	<i>International Standard Organization</i>
LS	Remoção por lavagem a seco
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
RAQ	Remoção por agente químico
TCI	Análise de efusividade e condutividade térmica
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
	3.1 Indústria têxtil	19
	3.2 Fibras têxteis	21
	3.2.1 Algodão	22
	3.2.2 Características das fibras de algodão	24
	3.3 Tecidos de malha	26
	3.4 Pele.....	28
	3.5 Estrutura da pele	29
	3.6 Anexos cutâneos	30
	3.6.1 Glândulas écrinas	31
	3.6.2 Glândulas apócrinas	32
	3.7 Micro-organismos da pele	32
	3.8 Transpiração.....	34
	3.9 Desodorantes.....	36
	3.10 Mecanismo de ação dos antitranspirantes.....	37
	3.11 Sujidades em tecidos.....	38
	3.12 Forças de adesão entre sujeiras e têxteis.....	39
	3.12.1 Sujeira não polar	40
	3.12.2 Sujeira iônica e polar.....	41
	3.12.3 Sujeira polar e não polar	41
	3.13 Principais processos de lavagem.....	42
	3.13.1 Tempo	43
	3.13.2 Agentes térmicos	43

3.13.3	Agentes químicos	44
3.13.4	Agentes mecânicos.....	44
3.14	Máquinas de lavar roupa.....	46
3.14.1	Lavadoras front load	47
3.14.2	Lavadoras top load	47
3.14.3	Lavadoras tipo “tanquinho”	48
3.14.4	Lavadoras a seco	48
3.15	Avaliação da cor em têxteis	50
3.16	Avaliação da condutividade e efusividade térmica.....	53
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
4.1	Camisetas	53
4.2	Desodorantes.....	54
4.2.1	Desodorante antitranspirantes roll-on, denominado A.....	54
4.2.2	Desodorante antitranspirante roll-on, denominado B	54
4.2.3	Desodorante base alcoólica spray, denominado C.....	54
4.3	Detergente em pó	55
4.4	Amaciante	55
4.5	Caracterização da camiseta original	55
4.5.1	Análises qualitativa e quantitativa	55
4.5.2	Massa por unidade de área	56
4.5.3	Padronagem de tecido de malha.....	57
4.5.4	Título de fios	57
4.6	Grupos de estudo	58
4.6.1	Primeiro grupo de estudo	59
4.6.2	Segundo grupo de estudo	61
4.6.3	Terceiro grupo de estudo.....	61
4.7	Procedimento de uso das camisetas pelos participantes dos grupos de estudo	62

4.8	Processo de lavagem domésticas das camisetas após uso diário	62
4.9	Secagem e passadoria das camisetas	63
4.10	Avaliação colorimétrica instrumental	63
4.11	Avaliação da condutividade e efusividade térmica.....	64
4.12	Microscopias Eletrônica de Varredura (MEV) e Análises por Dispersão de Energia (EDS)	64
4.13	Remoção dos manchamentos das camisetas	64
4.13.1	Remoção por lavagem a seco (LS)	64
4.13.2	Remoção por agentes químicos (RAQ)	65
4.14	Espectrometria de Emissão Atômica (ICP-OES)	66
4.15	Determinação da resistência à pressão de ruptura das camisetas originais e após remoção LS e RAQ	66
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
5.1.1	Caracterização da camiseta	66
5.1.2	Determinação da massa por unidade de área	67
5.1.3	Determinação da padronagem.....	68
5.1.4	Determinação do título de fios	68
5.1.5	Determinação da resistência de pressão à ruptura.....	68
5.2	Caracterização das sujidades	69
5.3	Avaliação colorimétrica instrumental das camisetas submetidas ao uso de desodorante antitranspirante sem perfume (A), desodorante antitranspirante com perfume (B), desodorante base alcoólica com perfume (C) e camiseta sem desodorante.....	69
5.3.1	Avaliações colorimétrica do dE*	69
5.3.2	Avaliações colorimétricas da escala cinza de alteração da cor	74
5.3.3	Avaliações colorimétricas do índice de brancura.....	79
5.4	Avaliação da condutividade e efusividade térmica.....	83
5.5	Avaliação da Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) e da Dispersão de Energia (EDS) das camisetas originais e manchadas	86

5.6	Avaliação da Microscópica Eletrônica por Varredura (MEV) e da Dispersão de Energia (EDS) após remoção LS e RAQ.....	94
5.7	Avaliação da concentração de alumínio por Espectrometria de Emissão Óptica (ICP-OES)	102
5.8	Avaliação da resistência à ruptura das camisetas expostas aos processos de remoção	104
6	CONCLUSÃO	105
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	ANEXO A	115

1 INTRODUÇÃO

Os manchamentos provenientes da interação de desodorantes antitranspirantes e suor, em tecidos de malha 100% algodão, quando impregnados não são removidos facilmente, pelo simples processo de lavagem a úmido, utilizando-se um tensoativo e água.

O corpo humano emite uma variedade de compostos orgânicos voláteis que contribuem para o odor corporal de uma pessoa (LIU et al., 2013). Estes podem derivar a partir de secreções glandulares e suas interações com a pele e bactérias residentes. O suor como principal secreção das glândulas da pele é inicialmente inodoro. Quando é misturado com a população de bactérias, traços de substâncias precursoras contidas no suor (como proteínas, lipídios, aminoácidos e esteroides) são metabolizados pela microbiota da pele para a produção de odores corporais desagradáveis. O odor corporal componente dos indivíduos é determinado por muitos fatores que envolvem estado de saúde, características hereditárias, hábitos alimentares, além de sexo e idade. Portanto, os odores corporais contêm uma grande quantidade de informação relacionada com a química do corpo dos indivíduos (OMOKHODION et al., 1994).

Os substratos têxteis, quando em contato com esses compostos orgânicos do suor mais desodorante, detergentes, amaciantes e processos passadoria, podem manchar na região das axilas, causando desconforto e transtornos estéticos para o indivíduo.

Casos em que a remoção não é efetiva, geralmente ocorre o descarte do tecido com o manchamento, o que contribui para aumentar os resíduos no meio ambiente. A busca por uma metodologia eficaz para a remoção de manchamentos, provenientes do uso de desodorantes antitranspirantes, permite o reaproveitamento desses tecidos por mais tempo e até mesmo o consumo excessivo de água no processo de tentativa de remoção. Os processos de produção e beneficiamento das fibras de algodão já consomem uma grande quantidade de água.

Para a obtenção de um quilograma de algodão, por exemplo, são requeridos em média oito mil litros de água. Isso acontece porque a água evapora e os sais permanecem no solo, o que causa a salinização deste e, futuramente, a erosão (VELD et al., 2008). Para a produção de uma camiseta, são utilizados mais de quatro quilogramas de CO₂ (NOLAN, 2008). O preço médio nacional para se produzir um quilo de malha é 10,30 US\$ (IEMI, 2014).

Visando estudar metodologias de remoção eficazes para este tipo de manchamento produzido pelo uso de desodorante antitranspirante por indivíduos que possuem tendência a formação deste manchamento, foram formados grupos de estudo com indivíduos selecionado

já propensão a formação de manchamentos. Os indivíduos fizeram uso de desodorante antitranspirante com e sem perfume e, após o uso diário por um certo período, tiveram suas camisetas expostas submetidas ao processo de lavagem doméstica de forma repetitiva, com detergente em pó, amaciante e, posteriormente, ao processo de passadoria ao final de cada dia de uso.

A caracterização desses manchamentos por algumas técnicas analíticas, tais como espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), avaliação colorimétrica instrumental por espectrofotômetro calorímetro, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS), condutividade e efusividade térmica, que permitem quantificar alumínio (princípio ativo dos desodorantes antitranspirantes) presente, avaliar a deposição deste e dos produtos residuais da lavagem doméstica, determinar a troca de calor com o ambiente, relacionado ao conforto térmico do indivíduo, contribuíram para a escolha de dois processos de remoção que, aplicados nestes manchamentos, apresentam diferenças de desempenho.

Esta diferença de desempenho pode ser observada em comparação aos resultados iniciais obtidos na caracterização e estar associada às características dos indivíduos participantes dos grupos de estudo, suas atividades. Isso permitiu estabelecer correlações entre os resultados e a eficiência das metodologias de remoção aplicadas neste trabalho.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal a reprodução e caracterização de manchamentos provocados pela interação de diversos fatores como suor, desodorante, produtos do processo de lavagem como detergente em pó e amaciante e da temperatura do processo de passadoria em camisetas 100% algodão. As camisetas manchadas foram utilizadas para o estudo de remoção, em que se pretendeu alcançar o desenvolvimento de uma metodologia para remoção deste tipo de sujidade, evitando-se a degradação das características originais do tecido.

Para cumprir esse objetivo, foram propostas as seguintes etapas:

- Preparo de grupos de estudo objetivando-se a reprodução de manchas provocadas pelo uso de desodorantes antitranspirantes;
- Caracterização das camisetas original, manchadas e após remoção, por meio de técnicas analíticas como espectrofotômetro colorímetro, microscopia eletrônica de varredura, análise de condutividade e efusividade térmica,

- Avaliação do teor de alumínio por espectrometria de absorção atômica por plasma;
- Estudo de formas de remoção dos manchamentos;
- Avaliação do desempenho de remoção e do impacto degradante deste sobre o tecido de malha, por meio de ensaios resistência de pressão à ruptura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria têxtil

A ascensão da indústria têxtil no século XIX inicia-se com a produção de tecidos grossos para vestimenta de escravos e trabalhadores livres e para o ensacamento de açúcar e café. Contudo, a produção deste tipo de tecido ocorria, pelo menos, desde o século XVIII.

No final do século XVIII, as fábricas de tecidos inglesas começaram a expandir-se. Começava-se a perceber no Brasil que a demanda de algodão tendia ao crescimento, com a possibilidade de haver produção industrial. Entretanto, em 1785, um alvará havia proibido até então a manufatura têxtil no país. A partir de 1808, a restrição à produção brasileira de tecidos foi suspensa com a vinda da família real portuguesa ao Brasil, o que levou ao aparecimento de pequenas empresas. Estima-se que entre os anos de 1846 e 1847 surgiram as primeiras fábricas na Bahia, com a suspensão das taxas alfandegárias sobre máquinas e matérias-primas, devido à presença de matéria-prima, fontes de energia, mercados rurais e urbanos relativamente grandes e sistema portuário (LIMA, 2008).

A novidade no século XIX foi a organização em bases empresariais. Além disso, somente a partir da década de 1880 é que as empresas brasileiras começaram a substituir as importações de tecidos mais elaborados. Em 1920, a maior parte do tecido importado de consumo corrente havia sido substituída, com exceção de produtos de melhor qualidade (LIMA, 2008).

Com a abertura da economia, entre 1989 e 1995, a indústria têxtil sofreu uma queda do número de empresas, principalmente nos segmentos de fiação e tecelagem, variando de 40% a 50%. Entretanto, não implicou um declínio significativo do volume de produção de fios e tecidos, sendo de 17% e 7% respectivamente. Em contraste, a produção de confeccionados cresceu neste mesmo período. Não obstante, entre 1995 e 1996, a produção física de artigos de vestuário declinou, acumulando queda de preços de 0,79% no ano (GORINI; SIQUEIRA, 2002).

Para alcançar a competitividade desejada, foi necessária uma reestruturação do setor, envolvendo o deslocamento regional para o Nordeste e Sul de Minas, especialmente no segmento de jeans, malhas e confecção, relacionados a incentivos fiscais e ao menor custo de mão de obra (GORINI; SIQUEIRA, 2002).

Em nível mundial, o complexo têxtil, englobando a produção de fibras, fiação, tecelagem, malharia, setor de acabamento e confecção, vem passando por transformações estruturais. Outra característica é a heterogeneidade em relação ao porte das empresas que o compõem, incluindo grandes empresas integradas até pequenas empresas confeccionadas (GORINI; SIQUEIRA, 2002).

Com a crise mundial, houve uma queda nos níveis de investimentos nas atividades e projetos de pesquisa e desenvolvimento devido à falta de crédito e dificuldade de acesso a recursos e financiamento. Houve uma queda de 13% na produção que culminou no fechamento de mais de 14 mil vagas, levando a um aumento no custo que não se consegue repassar para o consumidor final. As empresas tiveram sua situação financeira piorada, aumentando a inadimplência (FIESP, 2009).

A indústria têxtil no Brasil existe há quase 200 anos. Este setor da economia foi considerado o segundo maior empregador da indústria, perdendo apenas para o setor de alimentos e bebidas juntos (ABIT, 2013).

Dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção referentes ao ano de 2013 mostram que houve um faturamento de US\$ 53 bilhões; exportações (sem fibra de algodão) de US\$ 1,26 bilhão; importações (sem fibra de algodão) de US\$ 6,76 bilhões, saldo da balança comercial (sem fibra de algodão) de US\$ 5,5 bilhões e investimentos de US\$ 1,6 bilhões. A produção média de confecção no país foi de 9,8 bilhões de peças, com 1,7 milhão de empregados diretos e 8 milhões se adicionar os indiretos, dos quais 75% são de mão de obra feminina. Existem no país 30 mil empresas. O Brasil é quarto maior parque produtivo de confecção do mundo, segundo maior produtor e terceiro maior consumidor de denim do mundo (ABIT, 2013). A indústria têxtil representa 16,4% dos empregos e 5,5% do faturamento da indústria de transformação (IEMI, 2014).

O Brasil é ainda a última cadeia têxtil completa do Ocidente, ou seja, é o único que tem desde a produção de fibras, como plantação de algodão até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e forte varejo (ABIT, 2013).

O desenvolvimento de um artigo têxtil começa com a seleção da matéria-prima fibrosa que vai dar origem ao produto. Torna-se importante o conhecimento das propriedades morfológicas, físicas e químicas das fibras têxteis.

3.2 Fibras têxteis

Fibra têxtil é um termo genérico empregado para qualquer um dos tipos de materiais que formam os elementos básicos do produto têxtil e que é caracterizado por ter um comprimento, no mínimo, cem vezes maior que seu diâmetro (MALUF; KOLBE, 2003). As fibras podem ser classificadas segundo a sua origem conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação segundo a origem das principais fibras têxteis.

Naturais	Vegetais		de sementes e frutos		coco, algodão					
			de caules		cânhamo, juta, linho malva, rami					
			de folhas		Sisal					
	Animais		de pelos	Lãs	Ovelhas					
				pelos finos	alpaca, angorá, cashmere, camelo, coelho, lhama, mohair, vicunha					
				pelos grossos	Cabra					
de secreção			seda cultivada ou seda Tussah							
Minerais		amianto ou asbesto		Crisotila						
Manufaturadas	Base Orgânica		Artificiais (de polímeros naturais)		vegetais (celulósicas)		celulose regenerada	viscose, liocel, modal, polinósica		
							éster de celulose	acetato, acetato saponificado, triacetato		
					de algas		Alginato			
					de látices		Borracha			
					Animais		de caseína (leite)			
			Sintéticas (de polímeros sintéticos)		por policondensação		Poliéster			
							Poliamida		cadeia normal	
									cadeia aromática	
							Oleofinas		Polietileno, polipropileno, elastodieno	
							combinações polivinílicas		acrílicas, modacrílicas, vinial, poli (cloreto de vinila), poli (cloreto de vinilideno)	
	de flúor									
	por poliadição				elastana, poliuretana					
	bicomponente		Tipo		S/S (<i>side-by-side</i>)					
					C/C (<i>centric-covercore</i>)					
					M/E (<i>matrix-fibril</i>)					
	Base Inorgânica		Carbono cerâmica lã de escória lã de rocha metálica metalizada vidro							

Fonte: (MALUF; KOLBE, 2003, apud ABNT NBR 12744, 1992)

Fibra natural é o nome de vários gêneros de fibras (incluindo filamentos, por exemplo, a seda) de origem vegetal, animal e mineral ou fibra manufaturada, que é um termo empregado para vários gêneros de fibras (incluindo filamentos) produzidas por substâncias com propriedades diversas. As fibras manufaturadas podem ser de polímeros sintetizados a partir dos compostos químicos simples (exemplos: poliamida, poliéster, polietileno, elastano); polímeros naturais modificados ou transformados (exemplos: alginatos, acetatos, viscose, liocel); de base inorgânica (exemplos: fibra de vidro, metálica, de cerâmica) (MALUF; KOLBE, 2003). As fibras manufaturadas também são conhecidas por fibras de origem não natural (química) (ARAÚJO; MELO, 1986).

Dados de consumo mundial de fibras em 2003 e 2013 mostram que o consumo *per capita* era de 10,3 kg/habitante e passou para 12,4 kg/habitante em 2013, ou seja, houve um aumento de 21,2% no consumo por pessoa. Foram consumidas em 2013 em todo mundo 89,1 milhões de toneladas (IEMI, 2014).

Das fibras vegetais, o algodão está entre as mais importantes culturas no mundo. Todos os anos, uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada por todo o planeta. O comércio mundial do algodão movimentava anualmente cerca de US\$ 12 bilhões e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, desde as fazendas até a logística, o descaroçamento, o processamento e a embalagem (ABRAPA, 2014).

3.2.1 Algodão

Os primeiros indícios do uso de algodão são da Índia e a data designada de tecidos para esta fibra é de 3000 a.C. O cultivo de algodão se iniciou nos Estados Unidos, nos séculos XVII e XVIII, entretanto, somente ganhou importância com a invenção da máquina descaroçadeira, pois até então a produção deste era inferior quando comparada as demais fibras naturais, como linho e a seda. Desta forma, o maior aumento da produção de algodão está relacionado ao desenvolvimento da tecnologia, resultando em grandes mudanças na indústria de fiação e tecelagem, principalmente na Inglaterra (GUILLÉN, 1991).

A produção de algodão e de seus manufaturados constitui um dos ramos de maior relevância para as economias mundial e brasileira.

Desde o final do século XVIII, o algodão tornou-se a principal matéria-prima da indústria têxtil no mundo, com a interrupção do fornecimento deste pelos Estados Unidos no fim do século XIX, uns dos principais produtores, além da China, Índia e Paquistão,

responsáveis por cerca de 60% do total do mercado até 2002. As políticas públicas sempre foram implementadas no sentido de garantir o suprimento às unidades fabris, sendo a exportação considerada uma atividade marginal, feita às custas de excedentes (BARBOSA, 2002).

A cotonicultura é uma atividade relevante tanto do ponto de vista econômico, pois o algodoeiro é uma planta onde se aproveita o caroço (cerca de 65% do peso de produção) e a fibra (cerca de 35% do peso), quanto social, pois a planta é resistente à seca, tornando-se uma opção de cultivo em regiões semiáridas, gerando emprego e renda na área rural. A fibra que é o principal produto do algodoeiro, além do caule, folhas, maçãs e caroço, possui mais de 400 aplicações industriais, dentre elas: confecção de fios para malharia e tecelagem, algodão hidrófilo para têxteis médicos, confecção de feltro, estofamentos e obtenção de celulose (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2007).

As pesquisas de campo realizadas pela CONAB em novembro de 2013 apontam um volume de produção de 1.638,1 mil toneladas de pluma de algodão. Com relação à exportação, os dados mostram 527 mil toneladas, as expectativas eram de 560 mil toneladas, resultando em um remanescente a ser exportado de aproximadamente 32.400 toneladas de pluma.

O Brasil exportou, de agosto de 2013 a junho de 2014, ou seja, quase totalidade do período da safra 2013/14, cerca de 141 mil toneladas da pluma, o que gera um volume de receita para o país da ordem de US\$ 275 milhões. A produção mundial de algodão na safra 2013/14 foi de 26,1 milhões de toneladas, o consumo atingiu o montante de 23,3 milhões de toneladas e o estoque de passagem, um volume de 20,6 milhões de toneladas. Diante desses números, em que a produção excede o consumo em 11% e o estoque mundial é suficiente para atender aproximadamente 10 meses de uso mundial da pluma, é simples fundamentar o movimento de queda observado nas cotações internacionais da pluma de algodão (CONAB, 2014).

Nas regiões produtoras do país, a área plantada com algodão para a safra 2013/14 é de 1.102,8 mil hectares, superior em 23,3% à cultivada na safra 2012/13. A recuperação dos preços no mercado interno ao longo de 2013, favorecida pela oferta mais restrita, a elevação dos preços no mercado externo com tendência de manutenção e os atuais níveis de preços da *commodities* concorrentes, justificam o referido incremento na área plantada com o algodão no país (CONAB, 2014).

A primeira estimativa para a safra 2014/15 espera que a área semeada com algodão em Mato Grosso a partir de dezembro fique em 568.406 hectares, o que representa uma queda de 12% ante a área cultivada na safra 2013/2014 (645.916 hectares) (IMEA, 2014).

3.2.2 Características das fibras de algodão

As fibras de algodão pertencem ao gênero das malváceas. As diferentes espécies de algodão cultivado no mundo são: *Gossypium hirsutum* (87%), *Gossypium barbadense* (8%) e *Gossypium herbaceum* (5%) (GUILLÉN, 1991).

O algodão, uma fibra natural de celulose, possui várias características como: toque macio e confortável, boa absorção, retenção de calor, permite estamparia e ser lavado à máquina, a seco, possui boa resistência, bom caimento, além de ser fácil de manusear (HEDGE; DAHIYA; KAMATH, 2004).

Após o florescimento da planta, as células individuais na epiderme das sementes que estão contidos no capulho começam a crescer na direção longitudinal (comprimento). Essas células consistem essencialmente de seiva envolvida por uma membrana ou cutícula contendo pectina, proteína e cera. Esta membrana desenvolve internamente uma fina camada de celulose, componente de maior percentual presente na fibra, para formar a parede primária da fibra (MALUF; KOLBE, 2003). O Quadro 2 apresenta a estrutura celular da fibra de algodão.

Quadro 2 – Estrutura celular da fibra de algodão.

Estrutura celular	Estrutura química
Celulose
Pectina	<p>R = H ou CH₃</p>
Cera	<p>Álcoóis graxos C₂₄ – C₃₀ ex., n-C₃₀H₆₁OH (triacontanol), Ácidos graxos, ex., n-C₂₁H₄₃COOH (ácido behênico), Ésteres destes ácidos, colestерina, hidrocarbonetos.</p>
Proteínas	<p>e.g. NH</p> <p>HC-(CH₂)x-COOH</p> <p>CO</p> <p>x = 2, ácido glutâmico x = 1, ácido aspártico</p>
Cinzas	Fosfato, carbonato de cálcio, magnésio, potássio (sódio)
Compostos orgânicos	Oligômeros (celobiose, celotriose,...), Ácidos orgânicos, ex., ácido málico.

Fonte: MALUF; KOLBE, 2003.

A maturidade do algodão é uma medida do grau de desenvolvimento da parede celular, expressa pela relação entre a espessura da parede e o diâmetro. Outras propriedades das fibras de algodão são: título, variando entre 1-4 dtex, comprimento entre 10-60 mm, densidade de 1,54 g/cm³, tenacidade variável de 20-50 cN/tex, alongamento entre 6%-10%, temperatura de decomposição entre 180-220 °C, teor de umidade variando entre 7%-9,5%,

além da boa resistência aos ácidos (hidrolisa em soluções ácidas a quente e ácidos fortes a frio) e aos álcalis, entretanto, apresenta baixa resistência a agentes oxidantes, normalmente presentes na composição de detergentes (GUILLÉN, 1991).

O consumo de fibras de algodão para os processos de malharia foi 262.557 toneladas em 2013 (IME, 2014).

3.3 Tecidos de malha

Segundo Pezzolo (2007), os tecidos podem ser classificados de acordo com a sua estrutura: planos; tecidos de laçada; tecidos; não tecidos; e malha – as malhas surgem do entrelaçamento de laçadas de um ou mais fios, podendo ser por trama, urdume ou mistas. Os tecidos de malha se diferenciam dos tecidos planos por sua estrutura de laçadas. Tecidos planos são formados basicamente pelo entrelaçamento dos fios de trama e urdume. A malha pode ser feita por um só fio, a exemplo do tricô – malharia por trama, quando o fio corre horizontalmente; ou por vários fios, um por agulha, como a meia-malha – malharia por urdume, em que o fio corre longitudinalmente e assume a forma de laçadas, de formas curvas, que se sustentam entre si. As laçadas são livres para se movimentar quando submetidas a alguma tensão, o que torna o tecido de malha capaz de se adaptar a diversos tipos de formas, retornando à sua forma original ao fim da tensão (PEZZOLO, 2007).

A malha circular é como um tubo. Pode ter diâmetro pequeno, médio ou grande, para tecidos de malha comercializados na forma tubular, ou abertos, quando uma das laterais é aberta (PEZZOLO, 2007). Para esse tipo de tecido, a fibra de algodão tem utilização predominante, pois, além de antigo, é hoje a fibra mais utilizada no mundo.

O Brasil encontra-se entre os 10 maiores produtores mundiais de fios/filamentos, tecidos e malhas, especialmente de algodão. Nesse último segmento de malhas com predominância de algodão, o país é o terceiro maior produtor mundial, somente atrás dos Estados Unidos e da Índia. A produção têxtil cresceu moderadamente entre 1990 e 1999: a produção de fios (em toneladas) teve uma taxa acumulada de 10% nesse período (média de 1% ao ano), a de tecidos planos acumulou 3% e a de malhas 30% (média de 2,9% ao ano). Paralelamente, a indústria têxtil, incluindo fiação, tecelagem, malharia e acabamento, encolheu em número de unidades industriais (declínio acumulado de 25% entre 1990 e 1999) e empregos (declínio acumulado de 67% no mesmo período) (GORINI; SIQUEIRA, 2002).

Segundo dados regionais do IBGE, a indústria de produtos têxteis nordestina registrou um decréscimo (-5,2%) em 2013, influenciada pela redução na produção de celulose e tecidos de algodão. Da mesma forma ocorre na indústria de produtos têxteis pernambucana, que apresentou um decréscimo de (-33,9%) influenciada pela produção de tecidos de algodão tintos e estampados e na indústria catarinense, com um recuo de (-15,1%), influenciada pela produção toalhas de banho de algodão, artefatos de tecidos para cozinha e tecidos de algodão. Enquanto que a indústria de produtos têxteis cearense aumentou 10,9% influenciada pela produção de tecidos de algodão e de malha de fibras artificiais e de fios de algodão (IBGE, 2013).

Devido à globalização dos mercados e da regionalização do fornecimento de produtos têxteis, o padrão de concorrência entre as empresas líderes no mercado brasileiro é o preço e a qualidade do produto ofertado (HERMANN; NASSAR, 1997).

Consumidores conscientes da qualidade exigem que suas roupas satisfaçam suas necessidades e expectativas em termos de aparência, ajuste e conforto, tanto quando novo quanto após um período de desgaste (com o uso) aceitável. O conforto compreende geralmente conforto térmico e mecânico, sendo o primeiro avaliado a partir da permeabilidade dos tecidos ao ar, à água e ao calor e, o conforto mecânico obtido pela avaliação subjetiva visual e por meio tátil (FAN; HUNTER, 2004).

Os tecidos de malha são procurados pelo extremo conforto que oferecem ao vestir, por ser formado a partir de laçadas, possuir uma característica elástica, e certa porosidade que lhe confere excelente conforto. Mas como contrariedade a todo este conforto, principalmente malhas feitas com a fibra de algodão, ou misturadas com o elastano, não possuem estabilidade dimensional, comprometendo a produção industrial com medidas padronizadas e a qualidade do produto (SCHAEFFER; OLIVEIRA, 2010).

Cherem (2004) atribui esta condição ao fato de que o algodão é a fibra natural que mais oferece conforto ao vestir. Essas propriedades, junto às propriedades dos tecidos de malharia circular, se transformam no que há de ideal para a pele, por ser um tecido que, sob condições de baixa tensão, possui ampla elasticidade e alongamento, que permite vestir um indivíduo sem que haja desconforto. Contrariando as vantagens do conforto e elasticidade da malha, existe o fato de que os tecidos de malha de algodão, ou mesmo outras malhas em conjunto com fibras de elastano, possuem péssima estabilidade dimensional. Podem sofrer alterações no comprimento e/ou largura após os processos industriais do tecido e da peça confeccionada (SCHAEFFER; OLIVEIRA, 2010).

Além disso, os tecidos podem apresentar um ambiente propício para o desenvolvimento de micro-organismos que é favorecido tanto pelo tipo de fibra que o compõe: como os tecidos produzidos com fibras naturais, por exemplo o algodão; tecidos produzidos com fibras de origem sintética, como, por exemplo, poliamida, poliéster; bem como pelo tipo de estrutura: como tecido de malha, tecido plano, que podem levar a evoluções diferenciadas na proliferação de bactérias na superfície têxtil. Estudos demonstram que estes fatores favorecem em maior ou menor proporção o desenvolvimento de bactérias, conforme o tipo de fibra e de bactéria (VASCONCELOS, 2011).

O tecido pode ser um substrato para o crescimento microbiano devido a sua constituição orgânica, como no caso do algodão que é constituído principalmente pela celulose que serve de alimento para os micro-organismos e que está em contato direto com os micro-organismos e a pele humana (VASCONCELOS, 2011).

Devido à representatividade da utilização de camisetas de algodão no Brasil, neste estudo elas foram selecionadas para serem utilizadas na reprodução de manchas causadas pelo suor e desodorantes antitranspirante com e sem perfume em contato com a pele.

3.4 Pele

A pele é o maior órgão do corpo, tanto em peso quanto em área de superfície e mostra marcante variação na estrutura em diferentes locais da superfície corporal, como, por exemplo, com relação à espessura, sendo que a pele mais espessa está na parte superior do dorso (aproximadamente 5 mm), enquanto a mais fina é a delicada pele das pálpebras superiores e inferiores (menos de 1 mm) (YOUNG; DEAKIN, 2007). E apresenta as diversas funções, como:

- Proteção: contra uma ampla variedade de estímulos danosos externos, incluindo a radiação ultravioleta e ações químicas, térmicas e mecânicas. Ainda oferece uma barreira contra a umidade excessiva e também contra invasões bacterianas e fúngicas (SINGH; KUMAR, 2014).

- Sensibilidade: é o maior órgão sensitivo no corpo e contém uma gama de diferentes receptores para tato, pressão, dor e temperatura.

- Termorregulação: apresenta um importante papel na conservação do calor através dos espessos grumos de pelos na superfície. Se houver necessidade de perda de calor, há um

aumento do fluxo sanguíneo através da rica rede vascular na pele e pela secreção de suor, uma secreção aquosa das glândulas sudoríparas écrinas na superfície da pele e, conseqüentemente, a evaporação do suor produzindo um efeito refrescante (SINGH; KUMAR, 2014; YOUNG; DEAKIN, 2007).

- Funções metabólicas: é responsável pela síntese de vitamina D3 (colecalfiferol) pela ação da luz ultravioleta sobre o precursor (YOUNG; DEAKIN, 2007).

3.5 Estrutura da pele

A pele apresenta três camadas principais:

- Epiderme: um epitélio estratificado pavimentoso queratinizado, autorregenerativo, que produz uma camada superficial de células preenchidas principalmente por filamentos intermediários constituídos pela família de proteínas caracterizadas como citoqueratinas, que formam a chamada camada córnea, que é o componente da pele com contato direto com o meio externo.

- Derme: uma camada de tecido conjuntivo denso não modelado, rico em colágeno e fibras elásticas e que contém vasos sanguíneos, nervos e receptores sensitivos;

- Tecido subcutâneo ou hipoderme: a camada mais profunda da pele, constituída principalmente por tecido adiposo, mas que também contém os vasos maiores que suprem e drenam a vascularização sanguínea dérmica.

Além dessas camadas, há os anexos cutâneos, estruturas especializadas, como os folículos pilosos, glândulas sudoríparas e glândulas sebáceas, as quais se originam de invaginações epidérmicas para dentro da derme durante o desenvolvimento embriológico. Estes anexos ocupam principalmente a derme e, ocasionalmente, a parte superior do tecido subcutâneo e derme (YOUNG; DEAKIN, 2007), conforme mostra a Figura 1.

Figura 1– Estrutura da pele

Fonte: BEAR; CONNORS; PARADISO, 2002.

Cosméticos para a pele são projetados para permanecer na superfície da pele ou permanecer dentro do estrato córneo. Uma vez que a superfície da pele é carregada negativamente, cosméticos que apresentam em sua formulação polímeros catiônicos são absorvidos pela superfície da pele. Em todos os casos, a penetração dos ativos pela pele ocorre através da difusão pelos apêndices da pele, tais como as glândulas sudoríparas (KOHN, 2005).

3.6 Anexos cutâneos

Os anexos cutâneos se desenvolvem inicialmente no segundo trimestre do desenvolvimento intrauterino, os quais vão finalmente se tornar a derme e o tecido subcutâneo. Os anexos cutâneos incluem:

- os folículos pilosos, os quais produzem longas e delgadas estruturas cilíndricas (hastes dos pelos ou pelos propriamente dito). No reino animal, a função dos pelos é a termorregulação (conservação do calor) e a exibição;
- as glândulas sebáceas secretam uma mistura de lipídios chamada sebo, a qual pode oferecer alguma impermeabilidade para a superfície da pele e para as hastes do pelo;

- as glândulas sudoríparas écrinas estão espalhadas por toda pele, são mais numerosas nas palmas das mãos, plantas dos pés e testa. Elas estão localizadas ao nível da junção entre a derme e o tecido subcutâneo e sintetizam um fino líquido aquoso (suor aquoso), que é transportado pelo ducto e depositado sobre a superfície da pele. A evaporação desse suor reduz a temperatura corporal.

As glândulas sudoríparas apócrinas estão confinadas a algumas áreas localizadas, principalmente nas regiões das axilas e área anal-genital e virilha (PIOTR; PIOTR; WÓJCICKI; 2012). Como as glândulas sudoríparas écrinas, o componente secretor está localizado na parte inferior da derme reticular ou no tecido subcutâneo e um sistema de dutos carrega a secreção para ser liberada na parte superior do canal do folículo piloso, acima do ducto sebáceo. As secreções da glândula sudorípara apócrina nos seres humanos não possuem função definida, mas nos animais são responsáveis pela produção de odor típico, usado na demarcação de território e como atrativo sexual (YOUNG; DEAKIN, 2007).

3.6.1 Glândulas écrinas

As glândulas sudoríparas écrinas ocorrem em praticamente em todo o corpo humano, numa quantidade que varia de 1,4 a 4 milhões, de acordo com as diferentes partes do organismo e, são particularmente frequentes nas palmas das mãos, nas plantas dos pés, na testa e nas axilas. Elas surgem como invaginações da epiderme durante o segundo trimestre da vida intrauterina e sua função é secretar um líquido chamado suor aquoso (YOUNG; DEAKIN, 2007).

A evaporação do suor aquoso produzido por estas glândulas, a partir da superfície da pele, oferece um meio de diminuição da temperatura corporal e é um importante componente do sistema de termorregulação (YOUNG; DEAKIN, 2007). Enquanto a maioria das glândulas écrinas responde a estímulo térmico, as glândulas presentes na axila respondem a estímulos emocionais (BENOHANIAN, 2001).

Histologicamente, a unidade écrina interna possui dois componentes principais. O componente secretor principal da glândula é uma porção secretora enovelada, situada na derme reticular profunda ou na parte superior do tecido subcutâneo. As secreções formadas aí são passadas para um ducto único, inicialmente com trajeto espiralado próximo à porção

secretora; o duto então se torna retilíneo na medida em que ascende verticalmente, através da derme em direção à superfície da pele (YOUNG; DEAKIN, 2007).

3.6.2 Glândulas apócrinas

As glândulas sudoríparas apócrinas estão principalmente confinadas às auréolas das mamas, às regiões genital e axilar, onde elas produzem uma secreção viscosa e leitosa, que se torna malcheirosa depois da ação das bactérias comensais da pele. Estas glândulas se tornam funcionais até a puberdade e, nas mulheres, elas sofrem alterações cíclicas sob a influência dos hormônios do ciclo menstrual (YOUNG; DEAKIN, 2007).

O suor apócrino ocorre como uma resposta emocional e é responsável pela expressão dos feromônios (androgênios e estrogênios), essenciais para a interação química do organismo (MCGRATH, 2009).

3.7 Micro-organismos da pele

Uma coleção abundante e diversificada de bactérias, fungos e vírus está presente na pele humana. Estes micro-organismos variam entre os indivíduos e entre diferentes tipos de pele. Os fatores responsáveis pela variabilidade única do microbioma da pele são apenas parcialmente compreendidos. Os resultados das pesquisas de Schommer e Gallo (2013) sugerem que as influências genéticas e ambientais do hospedeiro exercem um papel importante.

Na pele, existem níveis mínimos de bactérias e fungos, os quais proliferam em ambientes quentes e úmidos que lhes proporcionem nutrientes adequados. Estes podem sobreviver em condições muito severas e, quando proliferam excessivamente, causam problemas de odor, coloração e até mesmo infecções (VASCONCELOS, 2011). A umidade e o calor são condições ideais para proliferação de fungos.

A presença de micro-organismos na pele não é homogênea, pois as regiões do corpo de pouca umidade, que produzem substâncias ácidas e que estão expostas a radiação, desestimulam a vida microbiana. Algumas partes do corpo, contudo, como a axila, têm umidade suficiente para suportar populações bacterianas relativamente grandes. Outras

regiões suportam números relativamente pequenos de micro-organismos (TORTORA; FUNKE; CASE, 2000).

A pele é uma barreira física e ecológica e é quase impossível para os patógenos penetrá-la. Contudo, alguns podem entrar através de soluções de continuidade da pele, que são facilmente visíveis (TORTORA; FUNKE; CASE, 2000).

A transpiração fornece umidade e alguns nutrientes para o crescimento microbiano. Contudo, contém sal, que inibem muitos micro-organismos, e lisozima, que é capaz de romper a parede celular de certas bactérias.

Embora a pele seja inóspita para a maioria dos micro-organismos, suporta o crescimento de certos micróbios, que fazem parte da flora microbiana normal. Na superfície da pele, certas bactérias aeróbicas produzem ácidos graxos a partir do sebo. Estes ácidos tendem a inibir muitos micróbios e permitem que as bactérias mais bem adaptadas floresçam.

Os micro-organismos que têm a pele como um ambiente satisfatório tendem a ser resistentes ao ressecamento e a concentrações relativamente elevadas de sal. A flora normal da pele contém grandes números de bactérias gram-positivas como os estafilococos e os micrococcos. Algumas destas são capazes de crescer em concentrações de cloreto de sódio de 7,5% ou mais (TORTORA; FUNKE; CASE, 2000). Elas tendem a se agrupar em conjuntos pequenos. A lavagem vigorosa pode reduzir seu número, mas não as elimina. Os micro-organismos remanescentes nos folículos pilosos e glândulas sudoríparas, após a lavagem, logo restabelecerão as populações normais. As áreas do corpo com mais umidade, como as axilas e virilha, possuem populações maiores de micróbios. Estes metabolizam as secreções das glândulas sudoríparas e são os principais contribuintes para o odor do corpo (TORTORA; FUNKE; CASE, 2000).

Além disso, parte da flora normal da pele consiste de bacilos pleomórficos gram-positivos, denominados difteórides. Alguns destes, como o *Propionibacterium acnes*, são tipicamente anaeróbicos e habitam os folículos pilosos. Seu crescimento é suportado pelas secreções das glândulas sebáceas (sebo) que fazem com que eles sejam importantes na acne. Estas bactérias produzem ácido propiônico que auxilia a manter o pH da pele baixo, geralmente entre 3 e 5. Esta acidez tem efeito bacteriostático sobre muitos micróbios potencialmente nocivos. Outros difteórides como o *Corynebacterium xerosis*, são aeróbicos e ocupam a superfície da pele. Um fungo, *Pityrosporum ovale*, é capaz de crescer nas secreções oleosas da pele; acredita-se que ele seja responsável pela condição descamativa da pele conhecida como caspa (TORTORA; FUNKE; CASE, 2000).

O corpo humano produz uma variedade considerável de cheiros, sendo que as axilas é a região que produz um odor mais pungente, pois são áreas que apresentam uma oclusão parcial com o aumento do nível de temperatura e umidade. Também nestas encontram-se a microbiota cutânea que é reconhecida como microbiota residente e transitória.

A microbiota residente é composta de pequeno número de micro-organismos presentes na superfície do extrato córneo, parte superior do folículo piloso e nas glândulas sebáceas, em um ponto profundo e de difícil eliminação. Dentre os diferentes gêneros que compõem esta classe encontram-se *Staphylococcus coagulase* negativa, *Micrococcus*), *Corynebacterium* (ambos responsáveis pelo odor), *Propionibacterium*, *Streptococcus* e *Sarcina* (MCGRATH, 2009).

As bactérias aeróbicas presentes na axila, da espécie *Coryneform*, transformam o suor apócrino (secreção androgênica) em odores androgênicos, podendo ser mais de cem diferentes moléculas esteroidais no suor que provocam o odor, mudança de comportamento e endócrinas (MCGRATH, 2009).

A microbiota transitória se constitui de grande variedade de micro-organismos na superfície da pele, facilmente eliminada por simples higienização. É composta de bactérias gram-negativas presentes no trato gastrointestinal e que podem ser passadas das mãos para as axilas devido à má higiene.

A composição da microbiota axilar é, na sua maioria, de bactérias gram-positivas (84%) e as gram-negativas de apenas 16%. Dentre as gram-positivas, o micro-organismo predominante é o *Staphylococcus coagulase* negativa (50%). Já na classe das Gram-negativas, o micro-organismo predominante é do gênero *Proteus mirabilis*, sendo considerados, devido a sua pequena presença, como micro-organismos contaminantes na região axilar (COSTA, 2005).

3.8 Transpiração

Sob condições emocionais extremas, sensoriais, estresse, a resposta do corpo humano é evidenciada na forma de gotículas que aparecem na superfície da pele. Essas gotículas, ou transpiração, são produtos de 2 a 3 milhões de estruturas da pele que são, coletivamente, conhecidas como glândulas sudoríparas, mas individualmente são identificadas como glândulas écrinas e apócrinas (COSTA, 2005).

A transpiração é favorecida por roupas, luvas, sapatos e certos equipamentos que reduzem a possibilidade de dissipação de calor por um organismo para prevenir a perda de calor necessária, posteriormente, como resultado de um aumento do esforço psicológico, conseqüentemente, aumentando a transpiração, multiplicada pelo esforço e condições ambientais.

Dentre a ampla variedade dos fatores influenciam a transpiração, alguns dos fatores mais importantes segundo (BENOHANIAN, 2001) são:

- a elevada umidade relativa promove uma superprodução de suor (ao menos que o movimento de ar seja alto) porque o resfriamento prejudicado da superfície corporal permite o aumento da temperatura;
- tempo variável é necessário para atingir o equilíbrio da transpiração, sendo, em alguns casos, necessário horas;
- estímulos emocional e mental causam aumento da transpiração, sendo considerado uma variável incontrolável;
- a variação na produção do suor é observada em diferentes áreas o que corresponde a variação do número de glândulas em diferentes partes do corpo;
- temperatura da pele tem uma influência localizada na transpiração, locais de temperatura elevada levam a um aumento na produção de suor. Temperatura acima de 33 °C mostram este efeito;
- sob diferentes condições, o mesmo estímulo deve extrair diferentes respostas das glândulas sudoríparas; isto é conhecido como “condicionamento” das glândulas sudoríparas écrinas;
- existe diferenças entre sexo no período de surgimento das glândulas na superfície da pele, através do estímulo das glândulas; entretanto, nas axilas a quantidade de glândulas é a mesma em ambos sexos;
- Metabolismo, influenciado pelo exercício, funcionamento da tireoide, febre, ingestão de alimentos etc., afetam a quantidade de suor produzido.

O suor, produto de secreção elaborado pelas glândulas écrinas, é constituído de uma solução de eletrólitos diluídos, em que cerca de 99% é água e 1% de solutos, principalmente, sais de sódio, potássio, amônia e bicarbonato, além de compostos orgânicos como lactato e ureia (BENOHANIAN, 2001). Segundo McGrath, além dos elementos citados acima, o suor ainda apresenta na sua composição cálcio, cobre e fosfato (MCGRATH, 2009).

O suor também contém albumina, gamaglobulinas, resíduos traços de elementos químicos, fármacos e várias outras substâncias encontradas no sangue. O pH médio do suor, para indivíduos em repouso é 5,8. Contudo, em temperatura ambiente superior a 31 °C e após exercício físico, a produção e o pH do suor aumentam, podendo este último chegar em 6,1 a 6,7 (FOLLADOR, 2004).

A presença de roupas limita a evaporação do suor para a superfície da pele e, nas axilas em particular, a absorção do suor pelas roupas pode ser desconfortável, invisível e, frequentemente, danoso ao tecido (OLIVIER; SIMONE, 1998). Isso porque os produtos têxteis estão em estreito contato com a pele e, neste processo de interação, normalmente aparecem condições propícias à proliferação de bactérias, ao estabelecimento de colônias de bactérias advindas do contato direto com a pele ou com o suor.

A proliferação dos micro-organismos nos tecidos, provocada pelas propriedades intrínsecas das fibras têxteis (PEIXOTO; VASCONCELOS, 2011) de forma diferente, pode causar a degradação como o aparecimento de manchas, descoloração, até mesmo a destruição do material têxtil onde se desenvolvem e tendem a provocar problemas de higiene, pois as bactérias convertem o suor em substâncias de mau cheiro como ácido carbônico, aldeídos e aminas (VASCONCELOS, 2011).

3.9 Desodorantes

A maioria dos desodorantes disponíveis no mercado é considerada antitranspirante e apresenta princípio ativo que controla o suor e mau cheiro gerado. Segundo o FDA (*Food and Drug Administration*), que define os produtos com base no seu uso final, os antitranspirantes são considerados drogas, pois afetam as funções do organismo, reduzindo a produção de suor. Estes não interrompem plenamente a produção de suor. Os desodorantes que não possuem princípio ativo antitranspirante são considerados cosméticos, pois estes não reduzem a produção de suor, apenas alteram a aparência mascarando o suor, sem afetar na estrutura e função organismo.

Estes produtos são desenvolvidos para homens e mulheres nas formas: aerossol, líquido, *roll-on*, *sticks*, gel e creme.

Enquanto os desodorantes não antitranspirantes dependem da fragrância para exercer sua função, aqueles considerados antitranspirantes dependem de compostos de sais de

alumínio para formar um tampão ou placas que recobrem os ductos, reduzindo o fluxo de suor.

O FDA considera que, para um produto ser classificado como antitranspirantes, deve reduzir em 20% o nível de suor para um produto com apelo de “proteção 24h” e de 30% para aqueles cujo apelo é de “proteção 24h extra”. Além disso, o apelo de rótulo do produto antitranspirante deve mencionar “reduz a transpiração devido ao estresse” (MCGRATH, 2009).

3.10 Mecanismo de ação dos antitranspirantes

Os sais de alumínio utilizados como princípio ativo nos desodorantes antitranspirantes são, dentre outros, o cloridrato de alumínio (MCGRATH, 2009). Em meados de 1940, o cloridrato de alumínio foi introduzido na indústria de cosméticos, na produção de desodorantes antitranspirantes, como princípio ativo. Dentre os mais utilizados, era o que apresentava caráter menos ácido do que os sais de cloreto e sulfato, causando menos irritação à pele e menos danos aos tecidos. O composto original é o cloreto de alumínio básico, que contém uma relação de dois átomos de alumínio para um átomo de cloro ($\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$). Segundo Shefter, as relações alumínio/cloro mais utilizadas são: 2/3, 3/4 e 5/6, sendo que no último caso o cloridrato de alumínio é formado pela neutralização parcial de cinco mol de cloreto de alumínio (AlCl_3) e seis mol de hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ (SHEFTER; GIANNINI, 1978).

A absorção transdérmica de alumínio dos antitranspirantes pode ser aumentada pela presença de outros constituintes da formulação, em particular aqueles de caráter lipolítico que se ligam a porção lipolítica do alumínio, aumentando a absorção em sua magnitude (EXLEY, 2004).

O cloridrato de alumínio atua como antitranspirante pela precipitação, no interior da glândula écrina, de hidróxido de alumínio que obstrui a glândula e bloqueia a secreção de suor (DARBRE, 2005). A propriedade do cloridrato de alumínio de reduzir a transpiração está relacionada ao grau de dissociação da molécula associada à carga média do complexo, sendo que estes apresentam tanto uma elevada condutividade molar (como indicador do grau de dissociação) quanto uma elevada carga positiva (SHEFTER; GIANNINI, 1978).

A quantidade de alumínio absorvida é difícil de ser mensurada, no sistema biológico, devido à pequena concentração da substância no desodorante antitranspirante. Sem o uso de

um marcador radiológico, fica impossibilitada a detecção de um aumento da concentração de alumínio no plasma, urina e tecidos no organismo, pois esta fica mascarada pela concentração natural presente no organismo, proveniente de fontes alimentares. Entretanto, estudos demonstram que a aplicação única de desodorantes antitranspirantes contendo cloridrato de alumínio não aumenta significativamente a carga de alumínio no organismo (DARBRE, 2005).

O potencial do antitranspirante é baseado na redução dos níveis de suor observados durante a exposição em uma condição ambiental de 68 °C e (30%-40%) U.R. e de estresse mental.

A atividade do antitranspirante é a mesma na redução da transpiração se o suor ocorre numa condição térmica ou em fatores de estresse e/ou emocional. Somente cerca de 1% do suor produzido pelo organismo em razões de condições térmicas é produzido nas axilas, pela ação das glândulas écrinas, que estão envolvidas na termorregulação.

O mecanismo de ação das drogas transdérmicas é a liberação controlada do princípio ativo na pele para obter níveis terapêuticos sistemáticos desejados. Essas substâncias são caracterizadas pela baixa massa molar (≤ 500 Da).

Existem três principais rotas potenciais de penetração dessas substâncias: pelas glândulas anexas (ductos glandulares ou folículo piloso que está ligado às glândulas sebáceas), permeação transcelular através do estrato córneo ou intracelular, sendo que as glândulas anexas, especialmente o folículo piloso, têm sido consideradas um reservatório intracutâneo (MCGRATH, 2009).

3.11 Sujidades em tecidos

As possíveis sujidades que podem ser encontradas nos tecidos são classificadas de acordo com o processo de sua remoção em:

- Sujeira superficial: é a sujeira que está fracamente inteirada fisicamente à superfície das fibras ou outros materiais presentes na superfície do substrato têxtil e assim pode ser removida por técnicas de limpeza de superfície, como, por exemplo, por aspiração ou escovação.

- Sujeira impregnada: é a sujeira que permanece na superfície do substrato têxtil após a limpeza de superfície. Algumas sujeiras podem ser removidas por limpeza a úmido, lavagem a seco (limpeza com solvente orgânico) ou outro método de remoção, incluindo tratamentos

químicos. Entretanto, pode ser impossível remover algumas sujeiras impregnadas (BALÁZSY, 2007).

3.12 Forças de adesão entre sujeiras e têxteis

O processo fundamental na remoção de sujeiras indesejáveis de substratos têxteis durante a lavagem a úmido ou limpeza a seco envolve a separação de materiais indesejáveis da complexa estrutura das fibras e a transferência para a solução com mínima redeposição da sujeira no substrato têxtil.

A sujeira no substrato têxtil é mantida por interações físicas secundárias (forças) que promove a adesão entre a sujeira e as moléculas das fibras. As seguintes forças de adesão devem diminuir durante a limpeza para separar a sujeira do tecido (BALÁZSY, 2007):

- as interações físicas secundárias (coesão) entre as próprias moléculas de sujeira;
- a coesão (interações físicas primárias e secundárias) entre as partículas de sujeira se a sujeira não pode ser separada em suas moléculas constituintes.

A adesão da sujeira ao tecido e entre as moléculas de sujeira é determinada por muitos fatores, incluindo:

- a polaridade da molécula de sujeira, que fundamentalmente determina a sua interação com grupos funcionais na superfície das fibras por interações físicas secundárias;
- a polaridade de grupos funcionais na superfície das fibras, que determina a energia de superfície das fibras poliméricas. Fibras celulósicas, que contêm muitos grupos funcionais hidroxila, cuja ligação molecular à sujeira é mais forte do que, por exemplo, com fibras de polipropileno que apresenta ligações não polares dos grupos. A polaridade similar do poliéster e gorduras e óleos explica por que manchas gordurosas são rapidamente absorvidas pelo poliéster;
- as condições ambientais tanto da sujeira quanto do tecido, como, por exemplo, o meio ácido ou alcalino, influenciam a força das interações físicas secundárias entre a sujeira e a fibra e outros materiais presentes no interior dos tecidos;
- a morfologia das fibras. Por exemplo, as fibras de lã e as de algodão que apresentam torção e, com isso, aumentam os locais para depósito de sujeiras diferente dos filamentos de seda;
- a morfologia e a consistência da sujeira (por exemplo, se é formado a partir de formato esférico, partículas sólidas ou massa pegajosa) têm um papel determinante na adesão

da sujeira ao tecido. Por exemplo, cera de parafina liga-se a fibras por forças secundárias fracas, mas que não podem ser removidas por uma limpeza superficial simplesmente, como se poderia esperar das interações fracas: isso porque as moléculas de cadeia longa da cera adapta-se a superfície texturizada das fibras;

- o tempo de permanência da sujeira no tecido. Por exemplo, gorduras e óleos podem se difundir mais e mais através das fibras ao longo do tempo e passam a interações físicas cruzadas;
- a estrutura dos fios e fibras. Por exemplo, a sujeira pode penetrar mais profundamente em fibras não fiadas ou fios fiados ou tecidos com ligamentos mais abertos. A presença de alguns acabamentos pode inibir a sujeira, pois estes preenchem os espaços onde a sujeira poderia se acumular.

Como a sujeira é mantida no substrato têxtil por interações físicas secundárias, o fator mais importante a ser levado em consideração é a solubilidade da sujeira e sua polaridade. As seguintes classes de sujeira podem ser distinguidas por sua polaridade e mecanismo de adesão às fibras.

3.12.1 Sujeira não polar

Sujeiras inorgânicas com caráter não dipolo (por exemplo, carbono preto ou partículas de ferro) e sujeiras orgânicas sem caráter dipolo (algumas ceras com base de parafina) ligam-se às fibras principalmente por interações físicas secundárias fracas, chamadas forças de van der Waals (também conhecida como força de dispersão). As forças de van der Waals surgem do movimento sincronizado e flutuante dos elétrons ligados nas moléculas vizinhas e, são forças fisicamente fracas entre as moléculas covalentes. A força da interação entre a sujeira e o tecido também depende da forma física da sujeira, como mencionado acima. Por exemplo, o contato da sujeira-tecido é menor com um grão de areia do que com uma massa de cera (BALÁZSY, 2007).

Alguns desses tipos de sujeira podem ser removidos por uma limpeza de superfície ou lavagem a úmido. Quando o tecido é imerso em água, uma dupla camada elétrica é formada, tanto na interface água-fibra quanto água-partícula.

3.12.2 Sujeira iônica e polar

Compostos inorgânicos iônicos, como sais e produtos corrosivos, consistem em íons carregados positiva e negativamente. Muitos compostos iônicos são solúveis em água. Compostos polares, como a maioria das sujeiras orgânicas, contêm grupos polares funcionais que são carregados negativamente ao redor de seus heteroátomos. Moléculas polares têm uma distribuição desequilibrada dos elétrons (moléculas dipolo). Além das interações de van der Waals, compostos polares também podem formar interações dipolo e/ou interações de hidrogênio entre suas próprias moléculas e com grupos funcionais polares das fibras; o tipo e a força das interações dependem dos grupos funcionais presentes. Interações de hidrogênio são uma forma extrema de atração dipolo que ocorre quando o átomo de hidrogênio interage-se diretamente a um átomo de oxigênio ou nitrogênio (por exemplo, heteroátomos). O oxigênio ou o nitrogênio da molécula vizinha atrai o hidrogênio tão fortemente que penetra na nuvem de elétrons do oxigênio e nitrogênio. Nisso resulta a interação de hidrogênio, a interação mais forte, entre moléculas vizinhas.

3.12.3 Sujeira polar e não polar

Moléculas polares e não polares de sujeiras podem ocorrer em substratos têxteis, historicamente, em duas formas diferentes: tanto em partes polares e não polares de moléculas individuais ou como moléculas não polares embutidas em matérias polares.

Sujeira orgânica, como gorduras, óleos, cola vegetal e animal, proteínas, ceras e corantes que contêm tanto cadeia carbônica não polar quanto grupos funcionais polares. Enquanto a porção não polar da sujeira liga-se ao tecido por forças de van der Waals, os heteroátomos dos grupos polares funcionais formam ligações dipolo e ponte de hidrogênio com os grupos polares dos tecidos (BALÁZSY, 2007).

Além das forças de van der Waals entre as porções não polares dessas moléculas existe também o contato físico entre a cadeia longa de hidrocarbonetos das sujeiras de gordura. Este contato prevê uma coesão extra no material, que torna a separação das moléculas mais difícil do que seria se estivessem atraídas somente pelas forças de van der Waals. Estes feixes de cadeia de hidrocarbonetos podem ser vistos como cadeia longa e fina, semelhante à cobra (BALÁZSY, 2007).

Moléculas não polares (como poeira, carbono preto, pigmentos e produtos corrosivos de metais) são frequentemente mantidas na superfície de substratos têxteis por sujeiras de moléculas polares (como açúcares) ou por sujeiras de moléculas polar e não polar (como gorduras, óleos, proteínas e adesivos sintéticos). Nesses casos, a remoção de sujeiras de moléculas polares ou misturadas é geralmente o pré-requisito para liberar as moléculas não polares da sujeira (BALÁZSY, 2007).

3.13 Principais processos de lavagem

A limpeza das superfícies pode ser definida como a remoção mais completa possível dos resíduos depositados decorrente de um determinado processo, levando-se em consideração as dificuldades inerentes a esta remoção e ao resultado final, que pode ou não atingir seu objetivo (CORREIA, 2009).

Portanto, pode-se dizer que a limpeza é um processo dinâmico, onde ocorrem diversas reações químicas de forma simultânea, condicionadas ou melhoradas pelas condições em que o processo ocorre (ex.: temperatura), removendo a sujeira de determinada superfície, sem que esta se altere ou danifique. Desta forma, promove-se a higiene da mesma e ao mesmo tempo sua conservação, impedindo a ação corrosiva que alguns tipos de sujeira podem induzir (CORREIA, 2009).

Diferentes variáveis podem influenciar no resultado final do processo de limpeza, como a água, a temperatura, o tipo de detergente e sua quantidade, a influência do operador; são alguns exemplos de condicionantes da limpeza. O método de limpeza escolhido, bem como os equipamentos utilizados são outros fatores que podem influenciar todo o procedimento de limpeza (CORREIA, 2009).

O principal modelo de interferências foi proposto por Hebert Sinner, químico alemão, em 1959, sendo chamado de Círculo de Sinner. Este relaciona os agentes térmicos, químicos, mecânicos e o tempo necessário para romper as ligações que mantêm as sujidades aderidas às superfícies, conforme mostra a Figura 2 (FORNI, 2007). O objetivo era mostrar que a redução de um fator pode ser compensada por qualquer um dos outros três fatores (PICCHIAI, 2013).

Figura 2– Círculo de Sinner.

Fonte: MONTEIRO, 2014.

3.13.1 Tempo

O número de ligações físicas rompidas durante o processo de limpeza é diretamente proporcional ao tempo da reação. Quanto mais tempo as sujidades estão expostas aos produtos químicos, maior será o número de ligações rompidas (FORNI, 2007).

Dessa forma, a quantidade de sujidade diminui com o tempo de limpeza, sendo que a parte externa da sujidade é removida mais facilmente e a parte interna com maior dificuldade. O tempo estabelecido para o contato entre a sujidade e a solução de limpeza deve ser estritamente necessário para que ocorram todas as reações e não seja inviável economicamente. Além do mais, quase todas as reações químicas ocorrem com maior velocidade no início (SANTOS, 2010).

A adesão entre as sujidades à superfície é um processo físico que envolve liberação de energia e, Dessa forma, energia também é requerida para que o processo de adesão seja removido (SANTOS, 2010).

3.13.2 Agentes térmicos

Pela cinética química, quanto maior a temperatura, maior a agitação das moléculas da matéria e, para que as reações ocorram, é necessário fornecer uma energia inicial, chamada energia de ativação, sendo a temperatura uma fonte desta energia (FORNI, 2007).

Dessa forma, a temperatura influencia a difusão, transferência de massa e as características do líquido, adaptando-se ao agente químico e ao tipo de sujidade, permitindo uma limpeza mais rápida e profunda (MONTEIRO, 2014).

3.13.3 Agentes químicos

Um dos principais produtos químicos utilizados na limpeza, além da água, são as soluções de detergente (SANTOS, 2010). Os agentes químicos atuam por meio de soluções com detergente, compreendendo um composto básico ativo (agente tenso-ativo) e componentes complementares. O termo comercialmente utilizado é sabão em pó, mas o correto, para a maioria dos produtos, é detergente em pó, devido a sua formulação (ANVISA, 2014). A alteração da concentração da solução química é a principal forma de aumentar ou diminuir os efeitos dos agentes químicos (MONTEIRO, 2014). Sempre que possível, é indicado uma proporção menor do que 5% entre a água e as substâncias químicas, para tornar o processo menos dispendioso economicamente, tanto pelo volume utilizado quanto no aspecto ambiental, pois o volume de resíduos a ser tratado também diminuirá (SANTOS, 2010).

O incremento na concentração de detergentes maximiza a taxa de limpeza e uma ótima concentração dos produtos químicos reduz o tempo de operação (SANTOS, 2010). Assim como a ação da temperatura da solução de detergente relaciona-se com a cinética química, acelerando a velocidade das reações químicas (MONTEIRO, 2014).

Hoje, a tecnologia dos produtos já permite a redução do uso de produtos químicos para produtos biológicos. Neste caso, a biolavagem, que é a lavagem com produtos biológicos, reduz tempo, ação mecânica e temperatura, influenciando nos fatores sinérgicos de Sinner (PICCHIAI, 2013).

3.13.4 Agentes mecânicos

A energia mecânica é requerida para remover as partículas quimicamente modificadas, quebrar maiores agregados em menores e prevenir a sedimentação e a readerência das partículas já desprendidas, exercendo um papel fundamental para a redução dos tempos dos ciclos de limpeza (SANTOS, 2010).

A ação mecânica pode ser obtida através do escoamento de fluido na superfície da sujidade ou através da colisão de um jato fluido com uma superfície. No caso do escoamento de fluido, há a ação de tensões de cisalhamento, que atuam arrancando as partículas da sujidade aderida a superfície. Além do efeito causado pelas tensões de cisalhamento, o escoamento permite uma homogeneização da solução química (FORNI, 2007). Com o aumento da velocidade de escoamento, diminui o tempo de contato, de qualquer forma, é suficiente para promover uma ótima limpeza (SANTOS, 2010).

As quatro variáveis responsáveis pela limpeza não apresentam uma reação linear (SANTOS, 2010). De sua combinação simultânea surge o resultado final: a remoção da sujidade. Entretanto, em função da situação da qual se está em presença, uma ou outra variável poderá adquirir maior importância relativamente às demais. Este fato pode ocorrer não só pelo tipo de sujidade, bem como, pela impossibilidade de utilizar o método ideal para a situação em causa, até mesmo pelos custos associados a alguma das variáveis. Por isso, pode ser necessário ou mais adequado privilegiar uma variável em detrimento de outra e vice-versa.

Com relação à sujidade, deve ser considerada a sua composição, a quantidade presente e o estado em que se encontra, para que se proceda uma melhor adequação dos produtos e métodos a empregar, melhorando a eficácia da limpeza e reduzindo o desperdício (CORREIA, 2009).

A remoção de um complexo de lipídio cristalizado em uma sujeira, durante um processo de lavagem, exige tempo, energia e temperatura elevada, mesmo com detergentes modernos. Apesar das enzimas serem ingredientes chave nos detergentes atualmente disponíveis no mercado, não conseguem hidrolisar o lipídio cristalizado a temperatura ambiente, pois precisam de alta mobilidade na superfície do lipídio para facilitar a atividade catalítica na interface lipídio-água (CUI, et al., 2012).

Segundo Cui et al., 2012 nanopartículas de diamante (nanodiamantes) de detonação, conhecidos por possuir características hidrofóbicas, podem auxiliar a remoção de lipídios da superfície, à temperatura ambiente, de forma efetiva, auxiliando a detergência dos agentes tensoativos, além de alterar a superfície do lipídio após a deposição e outros mecanismos. Apesar da tendência das nanopartículas em se autoagregarem em solução aquosa ou no ar, minimizando a energia de superfície, seu uso na presença tensoativos aniônicos ou não iônicos, que estabilizam as suspensões, mostra bons resultados na remoção de lipídios cristalizados em um típico processo a temperatura entre 15 e 25 °C (CUI, et al., 2012).

Essas nanopartículas promovem a remoção do lipídio pelo aumento da rugosidade da superfície deste, aumentando consequentemente a adsorção do tensoativo da solução e proporcionando sítios de curvatura negativa na interface que, acredita-se, auxilia a reduzir a energia da fase de inversão e, talvez, a formação de uma fase intermediária. Sendo assim, a remoção do lipídio se correlaciona com a superfície química do nanodiamante e potencial zeta (CUI, et al., 2012).

3.14 Máquinas de lavar roupa

O processo de lavagem de roupas em máquinas de lavar sofre a influência de quatro fatores principais: ação mecânica, ação química (detergentes), temperatura de lavagem e o tempo de lavagem (relacionado aos ciclos de lavagem). Quanto mais otimizada a combinação desses fatores, melhor será o desempenho para um determinado tipo de tecido e sujidade (ZIRONDI, 2009). No entanto, não existe num só produto ou sistema todos os fatores na sua combinação ótima.

As lavadoras de roupas são classificadas quanto: ao sistema de lavagem, ao grau de automação e aos aspectos estruturais e ergonômicos.

Quanto ao sistema de lavagem: atualmente se destacam três sistemas de lavagem: o sistema de lavagem por tombamento (máquinas *front load*); os sistemas de lavagem por agitador (máquinas *top load*); e os sistemas de lavagem por impulsor (tanquinhos), conforme a Figura 3.

Figura 3– Sistemas de lavagem: (a) tombamento, (b) agitador e (c) impulsor

Fonte: ZIRONDI, 2009.

Quanto ao grau de automação: as lavadoras são automáticas (*top load* e *front load*) ou semiautomáticas (*tanquinho*). Nas lavadoras automáticas, a roupa, detergente, amaciante e/ou alvejante são colocados na máquina no início do ciclo e a máquina se encarrega de completar a tarefa, sendo necessário apenas retirar e colocar em varal ou secadora. Nas lavadoras semiautomáticas é necessário fazer o abastecimento manual da água, assim como do detergente, amaciante e/ou alvejante na etapa da lavagem. Ao término do processo faz-se a drenagem da água para remover o excesso de umidade (ZIRONDI, 2009).

Quanto aos aspectos estruturais e econômicos: na categoria construtiva, as lavadoras são classificadas quanto à posição do eixo: em vertical (*top load* e *tanquinho*) e horizontal (*front load*). Na categoria ergonômica são classificadas quanto ao sentido de abastecimento em: superior (*top load* e *tanquinho*) e frontal (*front load*).

3.14.1 Lavadoras front load

Estas máquinas apresentam sistema de tombamento e eixo horizontal. A ação mecânica é dada tanto pelo impacto da roupa na água quanto pelo atrito da roupa com outra roupa e desta com as aletas arrastadoras de roupas. As roupas são movimentadas de baixo para cima pelas aletas e caem devido à ação da gravidade, impactando-se contra a água para remover a sujeira. Nesse sistema, a ação mecânica é menor que nos outros sistemas, sendo muito adequado para roupas delicadas como seda e lã. Roupas normais também têm desgaste menor ao longo do tempo. No entanto, o baixo atrito requer um tempo maior para completar um ciclo de lavagem com desempenho equivalente, além de necessitar de aquecimento da água para aumentar a ação química. Esse sistema requer pouca quantidade de água, quase 70% menos quando comparado com os outros sistemas, pois a roupa não precisa estar submersa (ZIRONDI, 2009).

3.14.2 Lavadoras top load

Estas máquinas são carregadas por sua parte superior, apresentam sistema de agitador e eixo vertical. A ação mecânica é bem maior quando comparada ao sistema de tombamento, embora menos agressiva quando comparada ao sistema de impulsor. As “pás” do agitador movimentam a roupa, diluem o detergente e promovem o atrito direto com a roupa. O consumo de energia é baixo, pois na grande maioria dos casos esse sistema trabalha com água

fria ou água quente proveniente do aquecimento central da residência. Normalmente não se faz máquinas de agitação com autoaquecimento devido à grande quantidade de água a ser aquecida. O grande contribuinte da lavagem nesse sistema é a ação mecânica promovida pelo agitador (ZIRONDI, 2009).

3.14.3 Lavadoras tipo “tanquinho”

Essas máquinas apresentam sistema impulsor e eixo vertical automático. A ação mecânica é mais agressiva, promovendo o maior desgaste dos tecidos por ciclo. O desgaste é mais intenso porque toda a massa da roupa, pela ação da gravidade, se concentra sobre o impulsor rotativo. O movimento da água, na forma de redemoinho, é gerado pelo impulsor. O consumo de água e energia nesse sistema é comparável ao sistema de agitação (ZIRONDI, 2009).

3.14.4 Lavadoras a seco

As máquinas de lavagem a seco, diferentemente das lavadoras domésticas, utilizam solventes para promover a retirada de óleos e gorduras, presentes na maior parte das sujeiras. Sujeiras com terra e poeira, que são solúveis em água, podem não ser removidas.

Essas funcionam como lavadora/extratora/secadora, com capacidade de 9 a 45 kg de roupas e tecidos, alocados em um cesto rotatório perfurado de aço inoxidável (tambor). Como a lavadora e secadora estão na mesma máquina, possibilita a recuperação quase que total do solvente usado durante o processo de lavagem, o que é melhor para o meio ambiente e econômico para a lavanderia.

Enquanto as roupas giram no cesto perfurado da máquina, há um fluxo constante de solvente que sai da bomba e do sistema de filtragem. O solvente é borrifado constantemente no cesto e na câmara, fazendo não apenas que as roupas fiquem imersas, mas também que sejam atiradas gentilmente contra as aletas do cilindro. O solvente sujo é bombeado continuamente através do filtro e circula novamente limpo e livre da sujeira, que fica presa no filtro.

O próximo ciclo seca e gira as roupas rapidamente para expelir o solvente, depois entre em um ciclo seco em que ar quente circula através das roupas. Os vapores e solventes remanescentes são vaporizados pelo ar quente e condensados em bobinas refrigeradoras. O

solvente destilado é separado de qualquer traço de água (que pode ter permanecido nas roupas ou no sistema) e devolvido ao tanque com solvente destilado.

Figura 4– Máquina moderna de lavagem a seco que utiliza no seu processo de limpeza o percloroetileno como solvente.

Fonte: BORGES; MACHADO, 2013 apud BÖWE, 2011.

Desvantagens:

- o solvente à base de petróleo é inflamável e são necessárias várias medidas de prevenção de incêndio;
- é um pouco mais leve do que a água, portanto, se misturam com facilidade;
- há necessidade de temperaturas mais altas para secar e desodorizar as peças de roupas, fazendo com que o encolhimento ou deposição de poeira nas roupas seja mais provável (MARKS; LUHRING 2010).

Estudos recentes têm centrado na redução de ruído e vibração das máquinas de lavar roupas. Embora a maioria das máquinas de lavar roupa atenda aos padrões de nível de ruído, muitos usuários reclamam do barulho, no entanto. Portanto, as avaliações de qualidade de som e análises de ruídos das máquinas de lavar roupa precisam levar em consideração não apenas os níveis de ruído, mas também as percepções humanas.

Normalmente, uma máquina de lavar roupa tem um longo tempo de trabalho de 50-90 min, com ciclos de trabalho de preenchimento (abastecimento de água), lavar, escorrer e secar com centrifugação. O ciclo de lavagem produz menos ruído, mas leva mais tempo (20-25 min); portanto, é a maior fonte de ruído em geral. O ciclo de operação de lavagem é fortemente associado às queixas dos consumidores sobre o barulho da máquina de lavar e, conseqüentemente, tem de ser reavaliado em termos de qualidade de som.

Ruído durante o ciclo de lavagem é gerado a partir de uma variedade de fontes de ruído (por exemplo, o ruído caindo: o barulho das gotas de lavanderia, barulho de água: o barulho de gotas de água, o ruído do motor e ruído bomba de circulação). Portanto, os estudos sobre a qualidade do som do ciclo de lavagem são necessários para construir um índice de qualidade de som que reflète os impactos dessas fontes de ruído e para determinar qual fonte de ruído tem o maior impacto sobre a qualidade do som (JEONG et al., 2015).

3.15 Avaliação da cor em têxteis

A colorimetria é a ciência que analisa a composição da cor e transforma em números as características das cores. Os espectrofotômetros, equipamentos utilizados para a medição da cor, utilizam uma fonte de luz para iluminar a amostra a ser medida.

Esta luz, refletida ou transmitida pelo objeto, passa por uma rede de difração que a separa em um espectro. O espectro cai em uma matriz de diodos, que mede a luz a cada comprimento de onda. Os dados espectrais são enviados a um processador, no qual são multiplicados com os valores das tabelas para o iluminante CIE e o observador a 10° selecionado para obter valores de X, Y, Z. Outro aspecto importante é com relação à geometria do equipamento que pode ser: geometria 45°/0° ou geometria difusa/0°. Neste estudo, utilizou-se a geometria difusa/0°, em que o feixe de luz incide de maneira difusa sobre a amostra, e reflète a 0° com a reta normal que passa pela mesma, incidindo na fotocélula, que registra o comprimento de onda característico da amostra.

Atualmente, o sistema colorimétrico mais utilizado na indústria têxtil é o sistema CIELab. Estes sistemas baseiam-se na comparação entre os valores obtidos em um padrão e os valores obtidos numa amostra (CRISCUOLLO, 2008). Este sistema foi criado em 1976, pela *Commission International de l'Éclairage* (CIE) para expressar a cor numericamente para substituir o diagrama de cromaticidade, que não era adequado para o controle de qualidade das indústrias que controlavam padrões colorimétricos. É um sistema de coordenadas tridimensional, L^* , a^* e b^* , em que os valores destes eixos são calculados a partir dos valores tristímulos (X, Y, Z) (BERTOLINI, 2010).

A representação gráfica destas coordenadas pode ser observada na Figura 5. Por meio destas coordenadas conseguimos localizar cores no espaço $L^*a^*b^*$ (CRISCUOLLO, 2008).

Figura 5— Representação gráfica das coordenadas de cor CIELab

Fonte: BERTOLINI, 2010.

Em que:

- L^* = Representa o nível de luminosidade da amostra, com valores variando de 0 (totalmente preto) a 100 (totalmente branco);
- a^* = Representa o nível de verde e vermelho da amostra, em que valores (+) indicam que a amostra está avermelhada e valores (-) está
- b^* = Representa o nível de azul e amarelo da amostra, em que valores (+) indicam que a amostra está amarelada e valores (-) está azulada.

O espectro da luz visível é compreendido por uma faixa muito estreita de comprimento de onda, que vai de 400 a 700 nm. Cada cor está associada a um faixa de comprimentos de onda específica dentro do espectro visível (CRISCUOLLO, 2008) e sua percepção depende da interação de três componentes: iluminante, observador e objeto (RUIZ, 2003).

O grau de emissão ou reflexão espectral de uma determinada superfície corresponde à porcentagem de luz refletida em cada faixa da luz visível (normalmente em intervalos de 10 nm). É, portanto, a relação entre a luz refletida e a luz incidente em cada comprimento de onda. O branco, por exemplo, teria uma reflexão teórica de 100%, enquanto o preto, de 0%.

As grandezas colorimétricas utilizadas neste estudo como parâmetro de performance são: as coordenadas L^* a^* b^* , a diferença da cor nos três eixos L^* a^* b^* (ΔE^*), índice de brancura CIE e a avaliação de cor comparada a escala cinza de alteração da cor.

Os valores de L^* a^* b^* são calculados a partir dos tristímulos X_n , Y_n e Z_n que, para um branco perfeito, dependem do iluminante e do ângulo do observador (CRISCUOLLO, 2008).

Os valores de ΔE^* foram calculados através da Equação 1:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad \text{Equação 1}$$

O índice de brancura CIE é calculado a partir dos valores de tristímulos, que utilizam todo o espectro da luz visível, o que faz com que seu valor seja muito mais próximo do que está sendo observado pelo olho humano do que a alvura, que é calculada só por uma pequena parte do espectro. Quanto maior o índice de brancura (WI), mais branca a amostra analisada. (CRISCUOLLO, 2008).

A alteração da cor avaliada é representada por índices baseados nos cinco pares de tonalidades variadas de cinza, não brilhantes, que ilustra as diferenças de cor perceptíveis que correspondem à avaliação da solidez: 5, 4, 3, 2 e 1, podendo apresentar valores intermediários: 4/5, 3/4, 2/3, 1/2. Estes índices foram medidos através de espectrofotômetro, apresentando uma correlação, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Correspondência entre o Índice da Escala Cinza de Alteração da Cor e o valor de leitura no espectrofotômetro

Índice da Escala Cinza de Alteração da Cor	Correspondência no CIELab	Tolerância
5	0	$\pm 0,2$
4/5	0,8	$\pm 0,2$
4	1,7	$\pm 0,3$
3/4	2,5	$\pm 0,35$
3	3,4	$\pm 0,4$
2/3	4,8	$\pm 0,5$
2	6,8	$\pm 0,6$
1/2	9,6	$\pm 0,7$
1	13,6	$\pm 1,0$

Fonte: ISO 105 A-02, 1993.

3.16 Avaliação da condutividade e efusividade térmica

A condutividade térmica é uma propriedade dos materiais utilizada para descrever o comportamento de transferência térmica do fluxo de calor através de um tecido, devido à combinação da condução e da radiação, em que a convecção no tecido seja insignificante (HU et al., 2006). É definida como a taxa de calor transferido através de um material com espessura determinada, por unidade de tempo. Esta condutividade vai depender da composição química do material, do estado físico, textura e temperatura (FERREIRA, 2011).

A efusividade térmica é a propriedade de um material de trocar calor com o ambiente. Esta é relacionada à energia térmica que um material é capaz de absorver. Essa propriedade é determinante para a sensação de quente e frio quando se toca um material. Assim, a superfície com maior efusividade é percebida como mais fria (PAN, 2006).

Visando comparar o comportamento de transferência térmica do fluxo de calor e a troca de calor das camisetas manchadas e sem mancha com o ambiente, foram realizadas as avaliações dos materiais para verificar a possibilidade do manchamento influenciar nestas propriedades.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

4.1 Camisetas

Como substrato têxtil para adesão da mancha utilizaram-se 32 camisetas, sendo 28 na cor branca e 4 preta, de composição 100% algodão, de tamanhos variados, dependendo das medidas antropométricas de cada indivíduo participante. O tecido da camiseta de malha foi caracterizado quanto a composição (ABNT NBR 13538:1995, ISO 1833.4:2006 e ISO 1833.5:2006), gramatura (EN 12127:1998), padronagem (ABNT NBR 13460: 1995 e ABNT NBR 13462:1995), título de fios retirados de tecido ou suporte (ISO 7211.5:1984) item 4.5. A camiseta original também foi caracterizada quanto a resistência à pressão de ruptura (ISO 13938.1:1999), avaliação colorimétrica instrumental (ISO 105 J-01:1997, ISO 105 J-02:1997 105 A-05:1996, AATCC EP 1:2007 e ASTM E 313:2010), condutividade e efusividade térmica (TCi *Application Focus*), avaliação microscópica eletrônica de

varredura (MEV) e análise por dispersão de energia (EDS) itens 4.11, 4.12, 4.14 e 4.15. Os ensaios foram realizados em um único substrato, escolhido de forma aleatória, no estado original, antes de ser submetido ao primeiro processo de lavagem.

4.2 Desodorantes

Neste estudo foram utilizados três desodorantes.

4.2.1 Desodorante antitranspirantes roll-on, denominado A

Desodorante sem perfume – proteção termooativa 24h, 0% álcool, validade 05/13, volume de 50 ml, apresentando a seguinte composição: água, cloridrato de alumínio, 2-estearato, óleo de semente de girassol, 20-estearato, dimetil silicato de sílica, ácido etilenodiamino tetra-acético EDTA, triclosan BHT, extrato de calêndula e extrato de camomila.

4.2.2 Desodorante antitranspirante roll-on, denominado B

Desodorante com perfume, 0% álcool, validade 09/13, volume de 50 ml, apresentando a seguinte composição: pentacloroidrato zircônio de alumínio, 2-estearato, óleo de semente de girassol, 20-estearato, dimetil silicato de sílica, EDTA dissódico, silicato de benzila, citronelol, cumarina, hexil cinnamal e perfume.

4.2.3 Desodorante base alcoólica spray, denominado C

Desodorante com perfume, validade 08/14, volume 100 ml, apresentando a seguinte composição: álcool, água, propilenoglicol, triclosan e fragrância.

4.3 Detergente em pó

Foi utilizado detergente em pó comercial para uso doméstico, embalagem de 5 kg, fabricado em 16/07/11, validade de 24 meses após a data de fabricação, com a seguinte composição: tensoativos aniônicos, tamponantes, coadjuvantes, sinergista, corantes, enzima, branqueador óptico, fragrância, água, carga, alquil benzeno sulfonato de sódio e lauril sulfato de sódio.

4.4 Amaciante

O amaciante utilizado foi o de uso doméstico, embalagem de 5 l, fabricado em 13/07/11, validade de 24 meses após a data de fabricação, com a seguinte composição: cloreto de dialquil dimetil amônio, atenuador de espuma, espessante, fragrância, 1-2 benzotiazolin-3-ono, corantes, coadjuvante, acidificante e água.

Metodologia

Primeiramente, foi realizada a caracterização das camisetas utilizadas neste estudo, denominadas “camisetas originais”. Depois de caracterizadas, as camisetas originais foram utilizadas pelos indivíduos selecionados para os grupos de estudo, visando reprodução dos manchamentos. Essas camisetas originais e manchadas foram submetidas a ensaios, resistência à pressão de ruptura, avaliação colorimétrica instrumental condutividade e efusividade térmica (TCi), avaliação microscópica eletrônica de varredura (MEV) e análise por dispersão de energia (EDS). As camisetas manchadas foram utilizadas nos estudos de remoção e foram novamente caracterizadas pelas mesmas técnicas.

4.5 Caracterização da camiseta original

4.5.1 Análises qualitativa e quantitativa

As análises qualitativa e quantitativa foram utilizadas para identificar as fibras componentes do tecido e para determinar a porcentagem de cada fibra constituinte. Para a

identificação, as fibras foram avaliadas quanto ao seu comportamento ao calor e à chama, solubilidade e reação, ponto de fusão e análise de microscopia óptica da secção transversal, utilizando a norma ABNT NBR 13538:1995 – Material têxtil – Análise qualitativa.

Posteriormente, pesou-se uma massa de tecido de cerca de 1g para constituir os corpos de prova que foram condicionados à temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(65 \pm 4) \%$ por um período de 24 h. Foram pesados em uma balança analítica Sartorius Genius com certificado de calibração nº 125.091-101 de 24/06/2013 e dissolvidos com solvente hipoclorito de sódio P.A, a quente. Após a dissolução, os resíduos foram secos em estufa e recondicionados a temperatura e umidade iniciais e pesados novamente na mesma balança. Os ensaios foram realizados baseados na norma ISO 1833.4: 2006 – Textiles – Quantitative chemical analysis – Part 4: Mixtures of certain protein and certain other fibres (method using hypochloride), no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos e Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

4.5.2 Massa por unidade de área

A massa por unidade de área é a relação entre a massa e uma determinada área de um tecido. Os corpos de prova foram condicionados à temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(65 \pm 4) \%$ por um período de 24 h. Posteriormente, foram recortados utilizando-se um cortador com área aproximada de 100 cm^2 , com certificado de calibração nº D 20.323-12 de 16/10/2012 e pesados em uma balança analítica Sartorius Genius com certificado de calibração nº 125.091-101 de 24/06/2013. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos e Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), utilizando a norma EN 12127:1998 – Textiles – Fabrics – Determination of mass per unit área using small samples. Os cálculos da massa por unidade de área foram realizados conforme Equação 2.

$$G = \frac{M}{A} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

$G =$ Massa por unidade de área do tecido, em g/m^2 ;

$m =$ Massa do corpo de prova, em g;

$A =$ Área do corpo de prova retirado do tecido, em m^2 .

4.5.3 Padronagem de tecido de malha

A padronagem é o estudo da forma e da ordem pela qual os fios de urdume e trama são entrelaçados (MALUF; KOLBE, 2003). Os corpos de prova foram analisados utilizando-se uma lente conta-fios e classificados comparando-se o ligamento obtido com dados da literatura. O ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos e Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), utilizando as normas ABNT NBR 13460:1995 – Tecido de malha por trama – Determinação da estrutura, ABNT NBR 13462:1995 – Tecido de malha por trama – Estruturas fundamentais.

4.5.4 Título de fios

O título de fios é representado por um número que expressa a relação entre a massa do fio e seu comprimento (MALUF; KOLBE, 2003). Os corpos de prova foram condicionados a temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(65 \pm 4) \%$ por um período de 24 h. Posteriormente, foram pesados em uma balança analítica Sartorius Genius com certificado de calibração nº 125.091-101 de 24/06/2013 e medidos em régua de aço graduada (HOPE 600 mm) com certificado nº D 10.732/11 de 03/06/2011. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos e Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), utilizando as normas ISO 2060:1994 – Textiles – Yarn from packages – Determination of linear density (mass per unit length) by the skein method, ISO 1139:1973 – Textiles – Designation of yarns. Os cálculos do título de fios foram realizados conforme Equação 3.

$$T = \frac{M}{L} \times 1000 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

T = Título do fio, em tex;

m = Massa individual da meada condicionada, em g;

L = Comprimento individual da meada, em m.

Os sistemas mais usuais para expressar o título são:

- Tex – título de uso internacional e no Brasil por lei, expressa o número de gramas de 1000 m de fio (g/1000 m), ou quilos por 1000 km de fio (kg/1000 km). É empregado tanto para fios de fibras quanto para fios de filamentos.

- denier (den) – expressa o número de gramas de 9000 metros de fio (g/9000 m). É empregada somente para designar o título de fio de filamentos químicos.

4.6 Grupos de estudo

Foram elaborados três grupos de estudo, que foram formados por indivíduos selecionados por meio de uma entrevista. Todos os participantes declararam propensão à formação de manchas na região das axilas. Também foi preenchido um protocolo com dados pessoais e relacionados com as atividades desenvolvidas pelo participante, conforme a Tabela 2. Todos os indivíduos participantes dos grupos fizeram uso dos respectivos desodorantes por um período de 7 dias antes do início da utilização das camisetas, para evitar a presença de outros resíduos. Foram 11 dias de uso, lavagem, secagem e passadoria das camisetas. As camisetas eram recolhidas no final do dia e outras entregues para o uso no dia seguinte.

Tabela 2 – Protocolo de participação no grupo de estudos

Nome:
Sexo:
Idade:
Peso:
Altura:
Atividade que desenvolve durante a jornada de trabalho:
Temperatura aproximada do local de trabalho em que fica exposto:
Tamanho de camiseta:
Aplica desodorante quantas vezes ao dia:
<p>Protocolo de utilização das camisetas e do produto</p> <p>Serão distribuídas duas camisetas de malha 100% algodão, na cor branca e/ou preta, para cada pessoa e um frasco de desodorante <i>roll on</i>, que deverá ser aplicado quantas vezes forem necessárias.</p> <p>Deve-se utilizar uma camiseta por dia, durante a jornada de trabalho. A camiseta usada deverá ser entregue para lavagem e, após limpa, devolvida para ser utilizada no dia seguinte, intercalando-se o uso das camisetas.</p> <p>A duração deste estudo é de vinte e dois dias, portanto, cada camiseta será utilizada onze vezes.</p> <p>Termo de aceite</p> <p>Eu, _____, concordo e me comprometo a seguir o protocolo de utilização das camisetas e do produto, acima citado.</p> <p>São Paulo, ____ de _____ de 2011</p>

Fonte: CASTRO, 2012.

4.6.1 Primeiro grupo de estudo

O primeiro grupo de estudo, codificado como G1 (*vide* Tabela 3) foi composto de 11 indivíduos, sendo 5 do sexo masculino e 6 do sexo feminino. Dentre os indivíduos, 10 deles utilizaram unicamente o desodorante antitranspirante *roll-on* sem perfume, codificado como A e apenas um utilizou unicamente o desodorante base alcoólica spray, codificado como C, com perfume.

Tabela 3 – Dados referentes aos participantes do primeiro grupo de estudo para reprodução dos manchamentos e identificação das camisetas com desodorante

Participante Grupo 1 (G1)	Sexo	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)	Tam. Camiseta	Atividade	Temp. Ambiente Trabalho (°C)	Aplicação (X)	Identificação camiseta
1	M	22	90	1,8	GG	Professor e estagiário no laboratório	20-25	1 a 2	1MAG1X
									1MAG1Y
2	M	23	86	1,78	GG	Estudante	22	2	2MAG1X
									2MAG1Y
3	M	24	73	1,78	G	Pedalada	25	2	3MAG1X
									3MAG1Y
4	F	26	49	1,62	P	Estagiária em laboratório	20-25	2	4FAG1X
									4FAG1Y
5	M	30	73	1,67	G	Sentado utilizando computador	25-28	1	5MAG1X
									5MAG1Y
6	F	26	61	1,6	G	Limpeza	25-28	3	6FAG1X
									6FAG1Y
7	F	48	70	1,69	G	Laboratório	20-28	1	7FAG1X
									7FAG1Y
8	F	38	58,6	1,49	G	Entrada de amostra, etiquetagem, relatório (sentada)	20-28	2	8FAG1X
									8FAG1Y
9	M	28	90	1,71	G	Ensaio laboratoriais	20	2	9MAG1X
									9MAG1Y
10	F	23	62	1,69	M	Sentada utilizando computador	24	2	10FCG1X
									10FCG1Y
11	F	31	81	1,7	M	Sentada utilizando computador	20-25	2	11FAG1X
									11FAG1Y

M= Masculino, F= Feminino, A= Desodorante antitranspirante *roll-on*, sem perfume, C= Desodorante base alcoólica *spray*, com perfume, G1= Grupo de estudo 1, X e Y= Camisetas X e Y utilizadas pelos participantes.

Fonte: CASTRO, 2012.

4.6.2 Segundo grupo de estudo

O segundo grupo de estudo, codificado como G2 (*vide* Tabela 4) foi composto de 3 indivíduos do sexo feminino que utilizaram unicamente o desodorante antitranspirante *roll-on* com perfume, codificado como B.

Tabela 4 – Dados referentes aos participantes do segundo grupo de estudo para reprodução dos manchamentos e nomenclaturas das camisetas

Participante Grupo 2 (G2)	Sexo	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)	Tam. Camiseta	Atividade	Temp. Ambiente Trabalho (°C)	Aplicação (X)	Identificação camiseta
12	F	26	49	1,62	P	Estagiária em laboratório	20-25	2	12FBG2X
									12FBG2Y
13	M	30	73	1,67	G	Sentada utilizando computador	25-28	1	13FBG2X
									13FBG2Y
14	F	38	58,6	1,49	G	Entrada de amostra, etiquetagem,	20-28	2	14FBG2X
									14FBG2Y

F= Feminino, M= Masculino, B= Desodorante antitranspirante *roll-on*, com perfume, G2= Grupo de estudo 2, X e Y= Camisetas X e Y utilizadas pelos participantes.

Fonte: CASTRO, 2012.

4.6.3 Terceiro grupo de estudo

O terceiro grupo de estudo, codificado como G3 (*vide* Tabela 5) foi composto de 1 indivíduo do sexo feminino que não utilizou desodorante para determinar a influência do suor na camiseta. Também foram realizados ensaios utilizando duas camisetas, que foram expostas unicamente ao desodorante antitranspirante *roll-on* sem perfume, codificado como A, para determinar a influência do desodorante na camiseta.

Tabela 5 – Dados referentes aos participantes do terceiro grupo de estudo para reprodução dos manchamentos e nomenclaturas das camisetas

Participante Grupo 3 (G3)	Sexo	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)	Tam. Camiseta	Atividade	Temp. Ambiente Trabalho (°C)	Aplicação (X)	Identificação camiseta
15	-	-	-	-	GG	-	20-25	1	15AG3X
									15AG3Y
16	F	62	100	1,65	GG	Atividades domésticas	20-30	-	16FG3X
									16FG3Y

F= Feminino, A= Desodorante antitranspirante *roll-on*, sem perfume, G3= Grupo de estudo 3, X e Y= Camisetas X e Y utilizadas pelos participantes.

Fonte: CASTRO, 2012.

4.7 Procedimento de uso das camisetas pelos participantes dos grupos de estudo

Cada um dos participantes dos grupos de estudo receberam duas camisetas, sendo atribuída uma nomenclatura para cada uma, e que foram denominadas da seguinte forma: a numeração do indivíduo (1 a 16), seguido do sexo (F ou M), o desodorante utilizado (A, B e C), o grupo de estudo participante (G1, G2 e G3) e a nomenclatura da camiseta (X ou Y), como, por exemplo: 1MAG1X. Cada camiseta foi utilizada por 11 dias, de forma intercalada (camiseta X e camiseta Y), conforme as Tabelas 3, 4 e 5. Ao término de uso por um dia das camisetas X, estas eram lavadas e secas, sob condições específicas, simulando uma lavagem doméstica. Da mesma forma procedeu-se para as camisetas Y.

4.8 Processo de lavagem domésticas das camisetas após uso diário

As lavagens foram realizadas utilizando uma máquina *top load* da marca Brastemp Active Clean 6th Sense, de uso doméstico com capacidade de 9 kg. As lavagens foram realizadas seguindo o ciclo de lavagem nas condições: nível de água: baixo; temperatura da água de lavagem: fria; enxágue: duplo; e centrifugação: normal, totalizando um processo de 57 minutos. Foi utilizada uma concentração de banho de 1,11 g/l de detergente em pó no processo de lavagem de todas as camisetas, de acordo com instrução do fabricante.

Após a lavagem com o detergente, houve a aplicação de amaciante comercial em uma concentração de banho de 0,14 g/l de amaciante no processo de lavagem de todas camisetas.

4.9 Secagem e passadoria das camisetas

Após a lavagem, as camisetas foram colocadas em uma secadora doméstica da marca Brastemp Active, capacidade de 6 kg, seguindo o ciclo de secagem de 180 min de ar quente e 10 min de ar frio, tempo suficiente para secar completamente as camisetas.

Posteriormente, a cada ciclo de lavagem e secagem doméstica, todas as camisetas foram submetidas ao processo de passadoria, expostas a uma temperatura de 200 °C, totalizando os 11 dias de uso, lavagem e secagem doméstica.

4.10 Avaliação colorimétrica instrumental

Foram realizadas as avaliações colorimétricas na camiseta original, manchadas e após remoção das manchas. Foram 32 camisetas originais, medidas na manga esquerda e direita, denominadas de “após 1ª lavagem”, 32 camisetas manchadas, medidas na manga esquerda e direita, denominadas “após 11ª lavagem” e 27 camisetas após processo de remoção RAQ ou LS, medidas na manga esquerda ou direita, denominadas “após remoção”, conforme a Tabela 11. A avaliação colorimétrica instrumental foi realizada baseada nas diretrizes gerais das normas ISO 105 J01:1997, ISO 105 A05:1996, ISO 105 J02:1997, ASTM E 313:2010 e AATCC EP 1:2007. Os corpos de prova foram condicionados à temperatura de (20 ± 2) °C e umidade relativa de (65 ± 4) % por um período de 24 h. Posteriormente, foram determinados os parâmetros na escala CIEL*a*b*: iluminante D₆₅, ângulo do observador de 10°, medida de reflexão especular exclusiva e filtro UV excluído para a calibração, seguido da medição da cor dos corpos de prova antecedendo a lavagem e posteriormente ao processo de lavagem e de remoção, no espectrofotômetro colorímetro UltraScan Pro nos parâmetros: diferença de cor nos três eixos (ΔE^*), a comparação com a escala cinza de alteração da cor e o índice de amarelecimento. O equipamento utilizado está disponível no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

4.11 Avaliação da condutividade e efusividade térmica

A avaliação da condutividade e efusividade térmica foi realizada baseada nas referências *TCi Application Focus: Advanced Fabrics & Textiles e Operating Procedure for the TCi™: Small Volume Test Kit for Thermal Conductivity Testing. Document N°: TH060073-OP. C-Therm Technologies Ltd. 2009*, em que se avaliou a condutividade e a efusividade da camiseta de malha original e com manchas, verificando-se o comportamento de transferência térmica do fluxo de calor através do tecido de malha da camiseta e a propriedade de trocar calor com o ambiente. Foi utilizado um instrumento de análise de condutividade e efusividade; -50°C a 200°C; análise em 5s da marca Mathis Tci, disponível no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

4.12 Microscopias Eletrônica de Varredura (MEV) e Análises por Dispersão de Energia (EDS)

As amostras de camisetas original, manchadas com desodorante com e sem perfume (lado direito e avesso), foram colocadas em um suporte com fita de carbono e revestidas com platina; as análises de MEV foram realizadas em baixo vácuo. Também foram realizados os EDS das amostras. Foi utilizado um microscópio Quanta 600 FEG da marca FEI do Laboratório de Caracterização Tecnológica LCT do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A amplitude utilizada para a análise das foi 50 a 1000 vezes.

4.13 Remoção dos manchamentos das camisetas

4.13.1 Remoção por lavagem a seco (LS)

As camisetas 1MAG1Y, 2MAG1X, 4FAG1Y, 5MAG1Y, 6FAG1X, 7FAG1X, 8FAG1X, 9MAG1X, 10FCG1X, 11FAG1Y, 12FBG2Y, 13FBG2Y, 14FBG2Y, 15AG3Y e 16FG3Y foram submetidas ao processo de lavagem a seco, na máquina de lavagem a seco Firbimatic utilizando método indicado para peças brancas, contemplando 4 min de lavagem

com solvente percloroetileno PA à quente, 10 min de secagem, 3 min de resfriamento e 3 min de deodorizador. O equipamento utilizado está disponível no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Após a remoção, foram condicionadas à temperatura de (20 ± 2) °C e umidade relativa de (65 ± 4) % por um período de 24 h.

Foram selecionadas 11 camisetas após o processo de remoção LS para a caracterização quanto à resistência à pressão de ruptura do tecido de malha. As camisetas foram ensaiadas em uma única região cada, que foi exposta ao processo de remoção (item 4.15). As camisetas submetidas à avaliação colorimétrica, condutividade e efusividade e MEV conforme os itens 4.10-4.12.

4.13.2 Remoção por agentes químicos (RAQ)

As camisetas 1MAG1X, 2MAG1Y, 5MAG1X, 7FAG1Y, 8FAG1Y, 9MAG1Y, 10FCG1Y, 11FAG1X, 13FBG2X, 14FBG2X e 16FG3X foram submetidas ao processo de remoção manual por agentes químicos em duas etapas: primeiro, foi aplicada a solução de hidróxido de sódio 0,5%. A superfície manchada da camiseta ficou imersa em 200 ml desta solução por um período de 60 min a frio. Cada manchamento foi tratado separadamente. Ao término deste período, foi removido o excesso da solução de hidróxido de sódio da superfície manchada e, em seguida, a mesma foi exposta em 200 ml de solução de peróxido de hidrogênio 1%, ficando imersa nesta por um período de 30 min a frio. Posteriormente, foi removido o excesso da solução de peróxido de hidrogênio, enxaguada por 5 min com água de torneira e colocadas em secadora doméstica, conforme descrito no item 4.9. Esta atividade foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Após a secagem, as camisetas foram condicionadas à temperatura de (20 ± 2) °C e umidade relativa de (65 ± 4) % por um período de 24 h. Foram selecionadas 8 camisetas após o processo de remoção RAQ para a caracterização quanto à resistência à pressão de ruptura do tecido de malha. As camisetas foram ensaiadas em uma única região cada, que foi exposta ao processo de remoção (item 4.15). As camisetas submetidas à avaliação colorimétrica, condutividade e efusividade e MEV conforme os itens 4.11-4.12.

4.14 Espectrometria de Emissão Atômica (ICP-OES)

Foram avaliadas as concentrações de alumínio (Al) nas amostras: camiseta original, desodorante A, detergente em pó, amaciante, água de torneira utilizada nas lavagens, camiseta manchada 6FAG1Y, camiseta 7FAG1X após remoção LS e camiseta 6FAG1Y após remoção RAQ. As análises foram realizadas utilizando um Espectrômetro Óptico de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES Radial) da marca Spectro, modelo Arcos, comprimento de onda Al: 167,078 nm. Equipamento disponível na Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo.

4.15 Determinação da resistência à pressão de ruptura das camisetas originais e após remoção LS e RAQ

A resistência à pressão de ruptura do tecido de malha está relacionada à pressão necessária para romper uma determinada área do tecido. Três camisetas originais foram condicionadas à temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(65 \pm 4) \%$ por um período de 24 h. Posteriormente, as três camisetas originais foram submetidas, em três regiões distintas cada, no equipamento *Mullen Tester* Regmed para a realização do ensaio. Os mesmos foram realizados no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Centro de Têxteis Técnicos e Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), utilizando a norma ISO 13938.1:1999.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1.1 Caracterização da camiseta

Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas para caracterizar a camiseta original, utilizadas pelos indivíduos que participaram dos grupos de estudo para reprodução das manchas causadas por desodorante antitranspirante.

A Tabela 6 apresenta os resultados das análises qualitativas e quantitativas, efetuadas no tecido de malha da camiseta original.

Tabela 6 – Análise qualitativa e quantitativa do tecido de malha da camiseta

Ensaio		Resultados
Microscopia óptica	Seção transversal	Algodão
	Imagem microscópica da seção transversal
Comportamento da fibra ao calor e à chama	Próximo à chama	Não fundem / Queima sem fusão
	Fora da chama	Continua a queimar sem fusão
	Cinzas produzidas	Pérolas friáveis claras
	Cheiro da fumaça liberada na queima na queima	Odor de papel queimado
Solubilidade e reação	Solúvel em	Cloreto de zinco e ácido sulfúrico 75%
	Insolúvel em	Zincato de sódio
Ponto de fusão		Decompõe-se a 200° – 250° C
Conclusão		100% Algodão

Fonte: CASTRO, 2012.

5.1.2 Determinação da massa por unidade de área

A Tabela 7 apresenta o resultado do ensaio de massa por unidade de área, efetuado no tecido de malha da camiseta original.

Tabela 7 – Gramatura do tecido de malha

Gramatura do tecido de malha	
Gramatura média (g/m ²)	Coefficiente de variação (%)
149,7 ± 1,5	2,9

Fonte: CASTRO, 2012.

5.1.3 Determinação da padronagem

A Tabela 8 apresenta a padronagem de malha de trama, efetuado no tecido de malha da camiseta original.

Tabela 8 – Padronagem de malha de trama

Padronagem de malha de trama	
Nomenclatura	Representação gráfica
Tipo de ligamento: Meia malha simples	<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> Lado direito Lado esquerdo </div>

Fonte: MACEDO, p. 15.

5.1.4 Determinação do título de fios

A Tabela 9 apresenta o resultado do ensaio de título de fios retirados de tecido, efetuado no tecido de malha da camiseta original.

Tabela 9 – Título de fios retirados de tecidos

Corpos de prova	Título médio (tex)
3	19,84 ± 0,27

Fonte: CASTRO, 2012.

5.1.5 Determinação da resistência de pressão à ruptura

A Tabela 10 apresenta o resultado do ensaio de resistência de pressão à ruptura (*Mullen Tester*), efetuado no tecido de malha da camiseta original.

Tabela 10 – Resistência de pressão à ruptura – *Mullen Tester*

Resistência de pressão à ruptura – <i>Mullen Tester</i>		
Pressão média (kPa)	Coefficiente de variação (%)	Sentido de Rompimento
784,4 ± 34,2	5,7	Coluna

Fonte: CASTRO, 2012.

Com os resultados observados nas Tabelas 6 a 10 pode-se concluir que se trata de uma camiseta de composição 100% algodão, com massa por unidade de área média de 149,7 g/m², constituída de fios com título médio de 19,61 tex, dispostos em ligamento meia malha simples e com resistência de pressão à ruptura média de 784,4 kPa, no estado original.

5.2 Caracterização das sujidades

As Tabelas 11 e 12, descritas no Anexo A, demonstram os resultados obtidos através da avaliação colorimétrica realizada na camiseta original após a 1ª lavagem, após 11ª lavagem e após os processos de remoção. A diferença de cor dE* foi calculada, utilizando como padrão a camiseta após primeira lavagem.

5.3 Avaliação colorimétrica instrumental das camisetas submetidas ao uso de desodorante antitranspirante sem perfume (A), desodorante antitranspirante com perfume (B), desodorante base alcoólica com perfume (C) e camiseta sem desodorante

Todas as camisetas foram submetidas a uma 1ª lavagem e estas foram denominadas como camiseta original ou padrão, conforme descrito nas avaliações colorimétricas realizadas com as amostras: dE*, Escala Cinza de alteração da cor e índice de brancura.

5.3.1 Avaliações colorimétrica do dE*

Das avaliações colorimétricas do dE* para as camisetas submetidas ao uso de desodorante antitranspirante sem perfume (A), constatou-se que todas as camisetas apresentaram uma diferença de cor em relação ao padrão (dE*), sendo que as camisetas

brancas que apresentaram maior variação foram, na seguinte ordem: 7FAG1X (6,60), 9MAG1X (6,24), 4FAG1Y (5,95) e 6FAG1X (5,92), sendo mulheres e homens que trabalham em laboratório e com a atividade de limpeza, aplicando o desodorante de 1 a 3 vezes ao dia e a que apresentou a menor variação foi a camiseta 11FAG1Y (3,10), que foi utilizada por uma pessoa do sexo feminino que trabalha em escritório e fez aplicação de desodorante duas vezes ao dia, conforme o Gráfico 1a.

Após os processos de remoção, todas as camisetas expostas ao uso de desodorante antitranspirante sem perfume (A) submetidas ao processo LS de remoção, apresentaram um aumento na diferença de cor (dE^*) em média de 39,90%, apresentando um indício da interferência do solvente neste processo, sendo que as duas camisetas submetidas ao processo LS que apresentaram menor diferença de cor (dE^*) quando comparadas a cor original (padrão) foram: 11FAG1Y (5,36) e 1MAG1Y (5,51). Porém, quando comparado o índice de dE^* destas camisetas após remoção LS Gráfico 1a com o valor delas manchadas. Os valores de dE^* apresentaram um aumento, sendo para as camiseta 1MAG1Y de 32,13% (4,17 para 5,51) e da camiseta 11FAG1X de 72,90% (3,10 para 5,36), mostrando que este processo de remoção aumentou a diferença de cor quando comparadas ao estado original.

Quanto às camisetas submetidas ao processo de remoção RAQ, com exceção da camiseta 8FAG1Y que apresentou um aumento de 2,75%, as demais apresentaram um decréscimo do índice de dE^* , em média de 72,97%, sendo as que apresentaram menor diferença de cor (dE^*) comparadas ao original (padrão) foram: 1MAG1X (1,95) e 3MAG1X (2,92), sendo camisetas usadas por indivíduos do sexo masculino, um deles exposto a atividade física e aplicando o desodorante duas vezes ao dia (3MAG1X) que, por sua vez, apresentou menor dE^* após manchada, mostrando que a atividade física não influenciou na formação do manchamento. Quando comparado ao índice destas mesmas camisetas manchadas, houve um decréscimo do índice de dE^* , sendo da camiseta 1MAG1X de 58,33% (4,68 para 1,95) e de 26,26% (3,96 para 2,92) da camiseta 3MAG1X, diminuindo a diferença de cor quando comparada ao estado original. Estes dados podem ser observados no Gráfico 1b.

Gráfico 1 – Representação gráfica dos índices de dE^* das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

No caso das camisetas submetidas ao uso de desodorante antitranspirante com perfume (B), constatou-se que todas apresentaram uma diferença de cor em relação ao padrão (dE^*), conforme a Tabela 12 do Anexo A, sendo que as camisetas brancas que apresentaram maior variação foram, na seguinte ordem: 13FBG2X (7,95), 13FBG2Y (7,59), 14FBG2X (4,95) e, a que apresentou a menor variação foi a camiseta 14 FBG2Y (4,78), conforme o Gráfico 2. A camiseta preta 12FBG2Y apresentou um dE^* de 5,61.

Após os processos de remoção, uma das camisetas exposta ao uso de desodorante antitranspirante com perfume (13FBG2Y) submetidas ao processo LS de remoção apresentou um aumento na diferença de cor (dE^*) de 9,35% (7,59 para 8,3) e as duas camisetas submetidas ao processo LS apresentaram um decréscimo do índice de dE^* , em média de 3,42%, quando comparadas ao valor delas manchadas foram: 14FBG2Y de 0,42% (4,78 para

4,76) e 12FBG2Y – preta de 6,42% (5,61 para 5,25), mostrando que este processo de remoção diminuiu em 1/3 a diferença de cor quando comparadas ao estado original.

Das camisetas submetidas ao processo de remoção RAQ, todas apresentaram um decréscimo do índice de dE^* quando comparadas ao índice destas mesmas camisetas manchadas, em média de 72,97%, sendo: 14FBG2X de 29,29% (4,95 para 3,50) e 13FBG2X de 18,62% (7,95 para 6,47). Isso mostra que este processo foi efetivo, diminuindo a diferença de cor quando comparada ao estado original. Estes dados podem ser observados no Gráfico 2.

As camisetas 13FBG2Y e 13FBG2X, usadas por uma pessoa do sexo feminino que atua em atividade administrativa trabalhando em ambiente com temperatura 25-28 °C com pouca movimentação, apresentaram os maiores manchamentos (dE^* elevado) dentre as camisetas expostas ao desodorante antitranspirante com perfume: 12FBG2X, 12FBG2Y, 14FBG2X, 14FBG2Y, usadas por duas pessoas do sexo feminino que exercem atividade laboratorial, com maior movimentação e que aplicam duas vezes ao dia. Estas camisetas apresentaram resultados divergentes após o processo de remoção. A camiseta 13FBG2Y, submetida ao processo LS, apresentou um aumento de dE^* , enquanto a 13FBG2X, submetida ao processo RAQ, apresentou uma diminuição do valor, mostrando a possível interferência do solvente, intensificando o manchamento.

Gráfico 2 – Representação gráfica dos índices de dE^* das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante com perfume (B), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

Para as camisetas submetidas ao uso de desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e camiseta sem desodorante constatou-se que todas as camisetas apresentaram uma diferença de cor em relação ao padrão (dE^*), conforme a Tabela 12 do Anexo, sendo que as camisetas brancas que apresentaram maior variação foram, na seguinte ordem: 15AG3Y (30,60), 16FG3Y (5,14) e 10FCG1X (1,45), conforme o Gráfico 3. Sendo que a 15AG3Y foi exposta ao desodorante antitranspirante sem perfume e não teve contato com o suor. A 16FG3Y foi usada por uma pessoa do sexo feminino, com atividades domésticas, sem uso de desodorante, exposta somente ao suor apresentou um manchamento superior ao da camiseta 10FCG1X usada por uma pessoa do sexo feminino, com atividade administrativa, fazendo a aplicação de desodorante à base de álcool com perfume (C) por duas vezes ao dia. Isso mostra a interferência do suor na produção do manchamento.

Uma das camisetas expostas ao uso de desodorante antitranspirante com perfume sem álcool (10FCG1X) submetidas ao processo LS de remoção apresentou um aumento na diferença de cor (dE^*) de 122,07% (1,45 para 3,22), mesmo tendo apresentado o menor valor de dE^* quando comparado às demais camisetas manchadas e as outras duas camisetas submetidas ao processo LS apresentaram um decréscimo do índice de dE^* , em média de 43,59%, quando comparadas ao valor delas manchadas foram: 15AG3Y de 81,93% (30,60 para 5,53) e 16FG3Y de 5,45% (5,14 para 4,86), mostrando que este processo de remoção diminuiu a diferença de cor, quando comparadas ao estado original, em 2/3 das amostras expostas e submetidas ao processo de remoção LS, sendo uma camiseta exposta somente ao desodorante antitranspirante com perfume e outra somente exposta ao suor humano. A camiseta exposta ao desodorante à base de álcool com perfume (10FCG1X) foi a que

apresentou pior resultado neste processo de remoção, conforme pode-se observar no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Representação gráfica dos índices de dE^* das camisetas avaliadas com desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e camiseta sem desodorante com suor

Fonte: CASTRO, 2012.

5.3.2 Avaliações colorimétricas da escala cinza de alteração da cor

Com relação às avaliações do índice de alteração da cor da escala cinza para as camisetas submetidas ao uso de desodorante antitranspirante sem perfume (A), quando comparadas ao original, pode-se observar que todas as camisetas apresentaram uma alteração de cor visual de acordo com a escala cinza de alteração da cor, perceptível ao olho humano, sendo as camisetas: 6FAG1X (sexo feminino, trabalha na limpeza, aplica três vezes ao dia e fica exposta a temperatura de 25-28 °C), 7FAG1X (sexo feminino, trabalha no laboratório aplica uma vez ao dia e fica exposta a temperatura de 20-28 °C) e 9MAG1X (sexo masculino, trabalha no laboratório, aplica duas vezes ao dia e fica exposta a temperatura de 20 °C) apresentaram índice 2, o que representa uma alteração visual significativa. Isso mostra que independentemente do sexo, da atividade exercida e da quantidade de desodorante aplicada (levando-se em consideração que as condições de aplicação do desodorante não foram rigorosamente controladas), o manchamento ocorreu de forma homogênea. E a camiseta 4FAG1X – preta apresentou índice 4 representando uma pequena alteração visual.

Das oito camisetas submetidas ao processo LS, pode-se observar, conforme o Gráfico 4, que nenhuma das camisetas apresentou uma redução do índice de alteração visual

da cor, quando comparadas as mesmas manchadas. As camisetas 1MAG1Y, 11FAG1Y e 9MAG1X apresentaram um aumento de $1/2$ do índice, passando de 3 para $2/3$ e de 2 para $1/2$, respectivamente. As camisetas que mantiveram seus índices foram: 6FAG1X e 7FAG1X (2). Estes resultados mostram que o processo de remoção LS removeu parcialmente as manchas das camisetas expostas ao desodorante antitranspirante sem perfume (A), pois as camisetas continuaram a apresentar uma alteração de cor visualmente perceptível, mesmo após o processo de remoção.

Enquanto, das dez camisetas submetidas ao processo de remoção RAQ, cerca de 60% apresentaram um aumento de $1/2$ no índice de alteração da cor, sendo as camisetas: 2MAG1X, 2MAG1Y e 11FAG1X de $2/3$ para 3, a 3MAG1X e 5MAG1X de 3 para $3/4$, mostrando que, apesar de pequena a alteração, após o processo de remoção a região avaliada passou a ter uma cor mais branca quando comparada as mesmas manchadas. A camiseta 1MAG1X apresentou um aumento de $2/3$ (índice de $2/3$ para 4), ou seja, ficou mais próxima a cor original (branca). Três camisetas avaliadas neste processo: 7FAG1Y, 9MAG1Y e 8FAG1Y, ou seja, 30% permaneceram com o mesmo índice quando comparadas as camisetas manchadas. Isso mostra que independentemente do sexo, da atividade exercida e da quantidade de desodorante aplicada ao dia (levando-se em consideração que as condições de aplicação do desodorante não foram rigorosamente controladas), a remoção foi homogênea nas camisetas submetidas a este processo. E apenas uma camiseta, 4FAG1X – preta, apresentou uma redução do índice de 4 para 3, indicando que após a remoção a camiseta ficou mais escura; entretanto, deve-se levar em consideração que a camiseta apresenta cor preta. Sendo assim, conforme mostra o Gráfico 4b, o processo de remoção RAQ foi mais eficaz do que o processo LS, uma vez que cerca de 60% das camisetas apresentaram um aumento do índice de alteração da cor, ficando mais próximas da cor original (branca).

Gráfico 4 – Representação gráfica dos índices de alteração da cor da Escala Cinza das camisetas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

Da mesma forma procedeu-se com as camisetas avaliadas com o uso do desodorante antitranspirante com perfume (B), em que se pode observar no Gráfico 5a que as três camisetas submetidas ao processo de remoção LS, 12FBG2Y – preta, 14FBG2Y e 13FBG2Y permaneceram com o mesmo índice: 2/3, 2/3 e 2 respectivamente.

As avaliações colorimétricas de alteração da cor da escala cinza mostrou que todas camisetas apresentaram uma diferença de cor em relação ao padrão (cor da camiseta original – branca após 1ª lavagem), sendo as camisetas 13FBG2X e 13FBG2Y um índice de 2 e, as camisetas 12FBG2Y – preta, 14FBG2X (2/3) e 14FBG2Y um índice de 2/3. Dessas camisetas, as duas que foram submetidas ao processo de remoção RAQ, uma, 13 FBG2X permaneceu sem alteração do índice (2) e a 14FBG2X apresentou um aumento de 1/2 no

índice (de 2/3 para 3) Gráfico 5b, mostrando que a região avaliada ficou mais próxima da cor original (branca). Portanto, no caso das camisetas expostas ao desodorante com perfume, o processo de remoção RAQ mostrou-se mais efetivo quando comparado ao LS, pois 50% das camisetas avaliadas apresentaram resultados positivos (remoção da mancha), enquanto no processo LS 100% das camisetas avaliadas não apresentaram alterações. Além disso, as camisetas 14FBG2Y e 14FBG2X usadas pelo mesmo indivíduo do grupo de estudos, apresentaram resultados diferentes, sendo que a camiseta 14FBG2Y, submetida ao processo LS de remoção não apresentou alteração no índice, enquanto a 14FBG2X apresentou um aumento de 1/2 no índice da Escala Cinza de Alteração da Cor.

Gráfico 5 – Representação gráfica dos índices de alteração da cor da Escala Cinza das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante com perfume (B), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

Observando-se os resultados obtidos com as camisetas avaliadas com o uso do desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e camiseta sem desodorante, pode-se observar que nas avaliações da alteração da cor da Escala Cinza que das camisetas submetidas ao processo de remoção LS, a 10FCG1X apresentou um aumento de 1 do índice (4 para 3), indicando que ficou mais escura a região analisada; a camiseta 15AG3Y uma diminuição do índice (1 para 2/3) ficando mais clara a região analisada e a 16FG3X não apresentou alteração do índice (2/3) Gráfico 6a.

Quando as camisetas 10FCG1Y e 16FG3X foram expostas ao processo de remoção RAQ, pode-se observar no Gráfico 6b que a primeira apresentou uma diminuição de 1/2 do índice (3/4 para 3), indicando que a região avaliada ficou mais escura e, a segunda, um aumento de 1/2 do índice, ficando mais clara, próximo ao original (branco). Ou seja, este processo mostrou-se cerca de 50% eficaz. Dessa forma, o processo RAQ mostrou-se mais eficaz do que o LS, pois o primeiro apresentou 50% de eficácia de remoção, enquanto o processo LS apresentou cerca de 33% de eficácia na remoção do manchamento.

Gráfico 6 – Representação gráfica dos índices de alteração da cor da Escala Cinza das camisetas avaliadas com desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e suor, (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

5.3.3 Avaliações colorimétricas do índice de brancura

A avaliação do índice de brancura (WI) para as camisetas submetidas ao uso de desodorante antitranspirante sem perfume (A) Gráfico 7, permitiu constatar que cerca de 88,9% das camisetas manchadas apresentaram índice de brancura inferior quando comparadas às camisetas no estado original (branca), com exceção das camisetas: 1 MAG1X (165,95) e 4FAG1X – preta (31,28), conforme a Tabela 12 do Anexo A (WI após 1ª lavagem) que apresentaram um WI das camisetas manchadas maior do que no estado original. Isso demonstra que a exposição destas ao desodorante sem perfume (A) diminui a aparência do branco das regiões expostas.

Depois de submetidas aos processos de remoção, 100% das camisetas após o processo LS apresentaram um índice de brancura menor quando comparada ao WI no estado original e manchada, conforme o Gráfico 7a. Enquanto as camisetas submetidas ao processo RAQ, 20% apresentaram um índice WI maior, conforme pode-se observar na Tabela 12 e no Gráfico 7b. Quanto maior o valor do WI, maior a aparência de brancura.

Gráfico 7 – Representação gráfica dos brancura (WI) das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

Enquanto as camisetas submetidas ao uso do desodorante antitranspirante com perfume (B) – Gráfico –, 8 pode-se observar que nas avaliações colorimétricas de índice de brancura (WI) todas apresentaram um índice de brancura (WI) inferior em relação ao padrão (cor branca da camiseta original), mostrando que apresentaram um manchamento amarelado, atingindo plenamente o objetivo do painel de indivíduos para a reprodução da mancha provocada por desodorante antitranspirante, independentemente do sexo, da atividade desenvolvida e da quantidade de desodorante aplicada ao dia.

Pode-se observar que as camisetas submetidas ao processo de remoção LS, uma apresentou um aumento do índice de 1,11% (12FBG2Y), a camiseta 14FBG2Y mostrou-se com o índice inalterado (138,79) e a terceira amostra apresentou uma diminuição do índice de brancura de 3,07%, 13FBG2Y (123,68 para 119,88), conforme demonstrado no Gráfico 8a.

Da amostragem escolhida para a remoção pelo processo RAQ, 100% das camisetas analisadas apresentaram um aumento do índice de brancura, em torno de 5,79%, sendo a camiseta 13FBG2X de 5,92% e a 14FBG2X de 5,66%, conforme o Gráfico 8b. Portanto, o método de remoção RAQ mostrou-se mais eficaz para as camisetas expostas ao desodorante antitranspirante com perfume. Além disso, as camisetas 13FBG2Y e 13FBG2X usadas pelo mesmo indivíduo do sexo feminino, assim como as 14FBG2Y e 14FBG2X usadas por outro indivíduo do sexo feminino, apresentaram diferentes comportamentos, sendo que as camisetas 13FBG2Y e 14FBG2Y submetidas ao processo LS apresentaram WI inalterado ou inferior, enquanto as 13FBG2X e 14FBG2X submetidas ao processo RAQ apresentaram um aumento do WI, mostrando as diferenças de resultados entre os processos de remoção.

Gráfico 8 – Representação gráfica dos índices de brancura (WI) das camisetas avaliadas com desodorante antitranspirante com perfume (B), após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

Pode-se observar no Gráfico 9a que após o processo de remoção LS, 2/3 as camisetas analisadas apresentaram um aumento do índice de brancura, sendo a camiseta 15AG3Y de 1473%, camiseta exposta somente ao desodorante sem perfume e a 16FG3Y de 1,56%, exposta somente ao suor, quando comparadas à respectiva camiseta manchada. Isso mostra que no caso da camiseta 15AG3Y o manchamento é superficial, sendo removido em grande proporção. A camiseta 10FCG1X (141,90), usada por um indivíduo do sexo feminino, aplicando desodorante a base de álcool com perfume duas vezes ao dia, apresentou menor WI quando comparada às camisetas manchada (149,52) e original (153,50), mostrando que este processo não foi eficiente para a camiseta submetida ao desodorante à base de álcool com perfume (C). Com relação ao processo de remoção RAQ (Gráfico 9b), a camiseta 10FCG1Y, também usada pelo mesmo indivíduo da camiseta 10FCG1X, apresentou um índice de brancura menor, em torno de 4,44%, quando comparada a camiseta manchada. Dessa forma, pode-se observar que ambos os processos apresentaram uma eficiência similar, sendo de 66,66% para o processo LS e de 50% para o processo RAQ. Estes dados podem ser observados na Tabela 12 e no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Representação gráfica dos índices de brancura (WI) das camisetas avaliadas com desodorante a base de álcool com perfume (C), desodorante antitranspirante sem perfume (A) e suor, (a) após remoção LS e (b) após remoção RAQ

(a) Após remoção LS

(b) Após remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

5.4 Avaliação da condutividade e efusividade térmica

Os resultados obtidos de condutividade e efusividade térmica mostraram que todas as camisetas manchadas apresentaram os mesmos valores de condutividade térmica quando comparadas à amostra original, conforme se pode observar na Tabela 13. Com exceção da amostra 11FAG1Y (0,07) que apresentou condutividade térmica menor do que a amostra original (após a 1ª lavagem antecedendo ao uso) (0,08).

Observando-se os valores obtidos nas avaliações de efusividade térmica, constatou-se que cerca de 90,9% das camisetas analisadas apresentaram efusividade maior do que a amostra original sendo: 2MAG1X (1,19%), 4FAG1Y (3,57%), 6FAG1Y (5,95%), 7FAG1Y (4,76%), 11FAG1X (4,17%), 12FBG2Y (3,57%), 13FBG2X (13,69%), 13FBG2Y (9,52%), 14FBG2X (7,14%) e 14FBG2Y (4,17%). Enquanto a amostra 11FAG1Y apresentou efusividade cerca de 5% menor do que a original, conforme a Tabela 13, aumentando a troca de calor com o ambiente, diminuindo a taxa de transferência de calor do meio interno para o externo. A camiseta 13FBG2X apresentou uma efusividade cerca de 14% maior que a original, o que significa menor troca de calor com o ambiente, o que pode ser resultado do acúmulo de resíduos do suor, desodorante, detergente em pó, amaciante e temperatura na malha de algodão. A microscopia da Figura 10 mostra uma grande quantidade de material depositado nas fibras da malha dessa amostra. Destas camisetas, cuja efusividade é maior do que a amostra original, todas apresentaram maior grau de alteração da cor comparada a escala cinza de alteração da cor.

Em uma análise das mesmas camisetas após os respectivos processos de remoção, todas apresentaram uma redução da condutividade térmica, independentemente do tipo de

remoção, de cerca de 25% a 38%. Dentre as camisetas submetidas ao processo de remoção RAQ, a que apresentou uma variação 38% menor da condutividade térmica, comparada a camiseta manchada, foi a 13FBG2X (0,05), enquanto das camisetas submetidas ao processo LS, cuja variação foi similar, foram: 11FAG1Y (0,05) e 14GBG2Y (0,05). Os valores de efusividade térmica das camisetas submetidas ao processo de remoção RAQ também apresentaram um decréscimo nos valores, quando comparadas às camisetas manchadas, sendo a camiseta 13FBG2X que apresentou menor efusividade (99), obtendo-se uma maior variação (48%) e a que apresentou maior efusividade foi a camiseta 14FBG2X (110) e uma variação de 39%. Em ambos os casos, como a efusividade das camisetas após remoção é menor do que a da camiseta original, pode-se dizer que a capacidade de absorver energia térmica das camisetas aumentou, uma vez que diminuiu o manchamento destas, diminuindo a barreira para a troca de calor. Já nas camisetas submetidas ao processo de remoção LS, todas apresentaram um decréscimo dos valores de efusividade térmica, quando comparadas às camisetas manchadas, sendo a 11FAG1X que apresentou menor efusividade (66), correspondendo a um decréscimo de 58% e, a que apresentou maior efusividade foi a 13FBG2Y (120), correspondendo a um decréscimo de 35%. Em ambos os casos, como a efusividade das camisetas após remoção é menor do que a da camiseta original, pode-se dizer que a capacidade de absorver energia térmica das camisetas aumentou, uma vez que o processo de remoção diminuiu a barreira (manchamento) que dificulta a troca de calor.

Tabela 11 – Avaliação da Condutividade e Efusividade Térmica das amostras avaliadas

Participante	Camiseta manchada				Camiseta após remoção			
	Efusividade (WxÖ(s)/m²xK)	Variação da efusividade ^[1] (%)	Condutividade (W/mK)	Variação da condutividade ^[1] (%)	Efusividade (WxÖ(s)/m²xK)	Variação da efusividade ^[2] (%)	Condutividade (W/mK)	Variação da condutividade ^[2] (%)
Original	168	-	0,08	-	-	-	-	-
2 MAG1 X	170	1	0,08	0	105	-38	0,06	-25
4 FAG1 Y	174	4	0,08	0	109	-37	0,06	-25
6 FAG1 Y	178	6	0,08	0	-	-	-	-
7 FAG1 Y	176	5	0,08	0	110	-38	0,06	-25
11 FAG1 X	175	4	0,08	0	-	-	-	-
11 FAG1 Y	159	-5	0,07	-13	66	-58	0,05	-29
12 FBG2 Y	174	4	0,08	0	105	-40	0,06	-25
13 FBG2 X	191	14	0,08	0	99	-48	0,05	-38
13 FBG2 Y	184	10	0,08	0	120	-35	0,06	-25
14 FBG2 X	180	7	0,08	0	110	-39	0,06	-25
14 FBG2 Y	175	4	0,08	0	98	-44	0,05	-38

^[1] Variação (%) da efusividade e condutividade é a diferença da camiseta manchada em relação a original.

^[2] Variação (%) da efusividade e condutividade é a diferença da camiseta após a remoção em relação a manchada.

Remoção LS: 2MAG1X, 4FAG1Y, 6FAG1Y, 11FAG1Y, 12 FBG2Y, 13 FBG2Y, 14 FBG2Y

Remoção RAQ: 7FAG1Y, 11FAG1X, 13FBG2X, 14FBG2X

Fonte: CASTRO, 2012.

A condutividade térmica foi medida na região da camiseta onde ficou em contato com as axilas, suor, desodorante, produtos de lavagem e passadoria, e formaram-se manchas. Essas regiões foram também avaliada por MEV.

5.5 Avaliação da Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) e da Dispersão de Energia (EDS) das camisetas originais e manchadas

O estudo morfológico permite evidenciar modificações ocorridas com os materiais ao longo dos processos empregados para reprodução das manchas de desodorante.

As Figuras 6 a 15 mostram os resultados das micrografias e EDS da camiseta original e com desodorante sem e com perfume. Na Figura 8 referente à camiseta original, pode-se observar traços de material depositado na superfície das fibras. Esses materiais podem ser resíduos do processo de lavagem como detergente e amaciante.

Figura 6— Micrografias e espectros de EDS da amostra Original, (a) aumento 400X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 400X avesso, (d) aumento 400X avesso

(a) Amostra Original (direito) – Aumento 400X

(b) Amostra Original (direito) – EDS

(c) Amostra Original (avesso) – Aumento 400X

(d) Amostra Original (avesso) – Aumento 400X

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 7– Micrografias e espectros de EDS da amostra 2MAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

Fonte: CASTRO, 2012.

Pode-se observar na Figura 7 que a amostra 2MAG1X foi a que apresentou o maior pico de alumínio.

Figura 8– Micrografias e espectros de EDS da amostra 4FAG1Y, (a) aumento 2500X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 400X direito, (d) aumento 1000X direito

(c) Amostra 4FAG1Y (direito) – Aumento 400X.

(d) Amostra 4FAG1Y (direito) – Aumento 1000X.

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 9– Micrografias da MEV e espectros de EDS da amostra 6FAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 6 FAG1X (direito) – Aumento 1000X.

(b) Amostra 6 FAG1X (direito) – EDS

(c) Amostra 6FAG1X (avesso) – Aumento 1000X.

(d) Amostra 6FAG1X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 10– Micrografias e espectros de EDS da amostra 7FAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito

Fonte: CASTRO, 2012.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é uma técnica de análise muito utilizada para avaliação da qualidade da fibra, que permite avaliar a presença ou não de escamas, irregularidade de espessura ou forma ao longo das fibras, modo como as fibras se agrupam, se possui ou não marcas no seu interior, a presença ou não uma medula, forma da seção transversal e longitudinal, diferenças de cor, presença de partículas de agentes acabamentos (ARAÚJO; CASTRO, 1984). No caso deste trabalho, pode-se observar a presença de material depositado (suor, desodorante, detergente e amaciante) em todas as amostras de camisetas dos painéis.

A morfologia e a consistência da sujeira (por exemplo, se é formado a partir de formato esférico, partículas sólidas ou massa pegajosa) têm um papel determinante na adesão da sujeira ao tecido. Por exemplo, cera de parafina liga-se a fibras por forças secundárias fracas, mas que não podem ser removidas por uma limpeza superficial simplesmente, como se poderia esperar das ligações fracas: isso porque as moléculas de cadeia longa da cera adapta-se a superfície texturizada das fibras; as fibras de lã e as de algodão que apresentam torção, devido a sua morfologia, aumentam os locais para depósito de sujeiras, diferente dos filamentos de seda, que não são torcidos.

A espectroscopia de energia dispersiva (EDS) fornece um espectro que representa a análise química da amostra. Para a análise quantitativa dos elementos, devem-se utilizar padrões com concentrações conhecidas dos elementos a serem analisados. No caso deste trabalho, a EDS foi utilizada para se verificar indícios dos elementos presentes nas amostras, não foi realizada uma análise quantitativa.

Figura 11– Micrografias e espectro de EDS da amostra 11FAG1X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 11FAG1X (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 11FAG1X (direito) – EDS

(c) Amostra 11FAG1X (avesso) – Aumento 1000X.

(d) Amostra 11FAG1X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

A Figura 11d referente à amostra 11FAG1X mostra grande quantidade de material depositado nas fibras. Algumas fibras estão abertas e com material depositado. Observa-se também que elas estão mais achatadas, o que pode ser em função da passadoria. A passagem a ferro com temperatura ajuda a fixar as manchas nas fibras. Deve-se também levar em consideração que a região das axilas é uma área de atrito das dobras da pele e movimento dos braços.

(c) Amostra 13FBG2X (avesso) – Aumento 400X

(d) Amostra 13FBG2X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 14– Micrografias e espectros de EDS da amostra 13FBG2Y, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 13FBG2Y (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 13FBG2Y (direito) – EDS

(c) Amostra 13FBG2Y (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 13FBG2Y (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 15– Micrografias e espectros de EDS da amostra 14FBG2X, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 14FBG2X (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 14FBG2X (direito) – EDS

(c) Amostra 14FBG2X (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 14FBG2X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

5.6 Avaliação da Microscópica Eletrônica por Varredura (MEV) e da Dispersão de Energia (EDS) após remoção LS e RAQ

As Figuras 16 a 26 mostram as MEV e EDS das amostras de camisetas após remoção LS e RAQ.

Figura 16– Micrografias e espectros de EDS da amostra 2MAG1X após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 2MAG1X (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 2MAG1X (direito) – EDS

(c) Amostra 2MAG1X (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 2MAG1X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

(c) Amostra 7FAG1X (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 7FAG1X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 19– Micrografias da MEV e espectros de EDS da amostra 7FAG1Y após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 7FAG1Y (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 7FAG1Y (direito) – EDS

(c) Amostra 7FAG1Y (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 7FAG1Y (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 20– Micrografias e espectros de EDS da amostra 12FBG2Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 12FBG2Y (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 12FBG2Y (direito) – EDS

(c) Amostra 12FBG2Y (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 12FBG2Y (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 21– Micrografias e espectros de EDS da amostra 13FBG2Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 13FBG2Y (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 13FBG2Y (direito) – EDS

(c) Amostra 13FBG2Y (averso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 13FBG2Y (averso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 22– Micrografias e espectros de EDS da amostra 13 FBG2X após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 13 FBG2X (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 13 FBG2X (direito) – EDS

(c) Amostra 13FBG2X (averso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 13FBG2X (averso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 23– Micrografias da MEV e espectros de EDS da amostra 14FBG2X após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 14FBG2X (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 14FBG2X (direito) – EDS

(c) Amostra 14FBG2X (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 14FBG2X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 24– Micrografias e espectros de EDS da amostra 15AG3Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 15AG3Y (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 15AG3Y (direito) – EDS

(c) Amostra 15AG3Y (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 15AG3Y (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 25– Micrografias e espectros de EDS da amostra 16FG3X após remoção RAQ, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 16FG3X (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 16FG3X (direito) – EDS

(c) Amostra 16FG3X (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 16FG3X (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Figura 26– Micrografias e espectros de EDS da amostra 16FG3Y após remoção LS, (a) aumento 1000X direito, (b) EDS direito, (c) aumento 1000X avesso, (d) EDS avesso

(a) Amostra 16FG3Y (direito) – Aumento 1000X

(b) Amostra 16FG3Y (direito) – EDS

(c) Amostra 16FG3Y (avesso) – Aumento 1000X

(d) Amostra 16FG3Y (avesso) – EDS

Fonte: CASTRO, 2012.

Das amostras submetidas ao processo de remoção LS, as que apresentaram maior pico de alumínio, segundo os espectros de EDS, foram as camisetas: 2MAG1X (avesso), 4FAG1Y (avesso), 7FAG1X (direito), seguidas das camisetas 13FBG2Y (direito e avesso), menor pico. Entretanto, ambas já apresentavam um pico de alumínio antes do processo de remoção. A camiseta 15AG3Y (direito e avesso), exposta somente ao desodorante antitranspirante com perfume, foi a amostra que apresentou maior pico de alumínio, mesmo após a remoção, quando comparada às demais amostras analisadas.

Das amostras submetidas ao processo de remoção RAQ, as que apresentaram maior concentração de alumínio foram as camisetas 4FAG1Y (avesso), 7FAG1Y, entretanto, estas já apresentavam uma concentração elevada antes do processo de remoção.

A amostra 13FBG2X apresentou um maior pico de alumínio do lado avesso, semelhante a 13FBG2Y e um baixo pico do lado direito, conforme a Figura 22. Enquanto a amostra

14FBG2X apresentou baixa concentração de alumínio, semelhante a camiseta 12FBG2Y, em ambos os lados, semelhante a concentração após a lavagem com detergente em pó.

A amostra 16FG3X, exposta somente ao suor, tanto lado direito quanto avesso, apresentou uma concentração muito baixa de alumínio, semelhante a 12FBG2Y e 14FBG2X, após a remoção. Já a camiseta 16FG3Y, utilizada pelo mesmo indivíduo do terceiro grupo de estudos, exposta somente ao suor, não apresentou picos de alumínio em ambos os lados.

As micrografias das Figuras 7, 9, 11 e 13 mostram uma grande quantidade de material depositado nas fibras abertas e achatadas, quando comparadas à Figura 6, o que pode ser em função da passadoria, sendo que a passagem de ferro com temperatura ajuda a fixar as manchas nas fibras.

Por meio dos espectros obtidos da análise de EDS, conforme as Figuras 6, 7, 9, 11 e 13, pode-se observar que todas as amostras apresentaram os seguintes elementos: alumínio (Al) nos respectivos espectros, além de demais elementos como carbono (C), oxigênio (O), potássio (K), cálcio (Ca), silício (Si), entre outros. Entretanto, a que apresentou maior teor de alumínio foi a amostra 2MAG1X, seguida das amostras 11FAG1X e 13 FBG2X, quando comparadas à amostra original, cujo teor de alumínio é inferior.

5.7 Avaliação da concentração de alumínio por Espectrometria de Emissão Óptica (ICP-OES)

Por meio da análise de ICP-OES, foram avaliadas as concentrações de alumínio (Al) no desodorante antitranspirante sem perfume A, amaciante, detergente em pó, água de torneira utilizada nos processos de lavagem das camisetas, camiseta original, camiseta manchada (6FAG1Y), camiseta (7FAG1X) após remoção LS, camiseta (6FAG1Y) após remoção RAQ

Pode-se observar que o alumínio está presente na formulação do desodorante antitranspirantes sem perfume (A), na forma de cloridrato de alumínio, na camiseta original e manchada, conforme pode ser observado na Tabela 14. A análise de EDS da Figura 6 mostra indícios de Al na camiseta original e um aumento do pico para as camisetas manchadas, isso pode ser observado também pelos valores de concentração apresentados na Tabela 14.

Tabela 12 – Resultados da concentração de Alumínio por ICP das amostras de desodorante A, amaciante, detergente em pó, água, camiseta original, com mancha e após remoção

Amostras	Concentração de Alumínio (Al)	
	(mg/kg)	(%)
Desodorante A	$37157 \pm 364,25$	$3,73 \pm 0,04$
Amaciante	3	0,3
Detergente em pó	< 0,06	< 0,01
Água de torneira	< 0,01	0
Camiseta original	$25 \pm 2,16$	$0,0025 \pm 0,0002$
Camiseta manchada (6FAG1Y)	$9386 \pm 425,68$	$0,94 \pm 0,04$
Camiseta (7FAG1X) após remoção LS	10,3	1,03
Camiseta (6FAG1Y) após remoção RAQ	3	0,3

LS= Lavagem a seco

RAQ= Remoção por agentes químicos

Fonte: CASTRO, 2012.

Pode-se observar na Tabela 14 que a maior concentração de alumínio é na composição do desodorante (A) que apresenta um valor de 37157 mg/kg, seguido da camiseta manchada (6FAG1Y) 9386 mg/kg. Também pode ser observado que, após a remoção por agentes químicos RAQ, a camiseta (6FAG1Y) apresentou uma concentração de alumínio é 3 mg/kg. A camiseta manchada apresentou 99,7% de alumínio a mais do que na camiseta original.

O suor segundo a literatura também apresenta na sua composição traços dos elementos: 358,1 µg/L de zinco, 486,8 µg/L de cobre, 3,10 µg/L de manganês, 1,91 µg/L de cádmio e 6,99 µg/L de níquel e 15 µg/L de alumínio (OMOKHODION; HOWARD, 1994), os autores coletaram amostras de suor dos braços de 15 indivíduos normais e saudáveis, enquanto eles se exercitam sobre uma bicicleta ergométrica em temperatura ambiente. As amostras foram analisadas para o cobre, zinco, manganês, níquel, cádmio e de alumínio por espectroscopia de absorção atômica.

5.8 Avaliação da resistência à ruptura das camisetas expostas aos processos de remoção

A análise de resistência à pressão de ruptura realizada nas amostras mostra que 72,72% das camisetas submetidas ao processo LS e 87,5% das camisetas submetidas aos processos de remoção RAQ apresentaram uma pequena diminuição na resistência à pressão de ruptura na faixa de (1,38% a 10,75%), conforme os Gráficos 10 e 11. A camiseta que apresentou uma maior perda de resistência após processo de remoção LS foi a 9MAG1X, com uma perda de 10,75%, a segunda foi 4FAG1Y de 7,54%, a menor perda foi de 1,12%, para 1MAG1Y, conforme o Gráfico 10.

Gráfico 10 – Representação gráfica da resistência à pressão de ruptura das camisetas originais e avaliadas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), desodorante antitranspirante com perfume (B) desodorante a base de álcool com perfume (C) suor, após processo de remoção LS

Fonte: CASTRO, 2012.

Quanto às camisetas submetidas ao processo RAQ, a 5MAG1X foi a que apresentou maior perda da resistência à ruptura de 5,27% e a menor perda foi 1MAG1X de (1,38%).

O aumento da resistência à ruptura das camisetas 8FAG1X de 7,04%, exposta à remoção LS, e da camiseta 9MAG1Y de 2,49%, exposta a remoção RAQ, pode ser explicado pela propriedade elástica dos materiais, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão aplicada até a ruptura.

Gráfico 11 – Representação gráfica da resistência à pressão de ruptura das camisetas originais e avaliadas com desodorante antitranspirante sem perfume (A), desodorante antitranspirante com perfume (B) desodorante a base de álcool com perfume (C) e suor,após processo de remoção RAQ

Fonte: CASTRO, 2012.

6 CONCLUSÃO

Os resultados para reprodução dos manchamentos foram satisfatórios, em que cerca de 90% das camisetas apresentaram manchamento significativo.

Este manchamento, obtido através do uso contínuo, não foi eficazmente removido através de lavagens domésticas realizadas diariamente após o uso, como se pode observar pelas avaliações colorimétricas instrumentais, em que todas as amostras apresentaram manchamento amarelado, independentemente do sexo, da atividade que desenvolve e da quantidade de desodorante aplicada durante o dia, sendo algumas em maiores proporções, o que seria possivelmente intensificado com o uso prolongado do produto avaliado.

Além da alteração da cor, outras alterações significativas das propriedades têxteis foram observadas através da análise de EDS, que mostrou indícios de alumínio nas fibras das camisetas manchadas, além da presença de outros elementos que podem interagir com os resíduos de suor, detergente e amaciante presente, contribuindo para a obtenção da coloração amarelada das camisetas.

A presença de materiais depositados sobre as fibras da malha das camisetas na região manchada (resultantes do suor, desodorante, detergente, amaciante e temperatura), como se observa nas micrografias apresentadas, promoveu um aumento da efusividade térmica nesta

região e, portanto, aumentando a energia absorvida pelo material. Isso pode ser confirmado através da condutividade térmica, que apresentou uma diminuição, o que leva a concluir que a transferência térmica do fluxo de calor diminuiu, possivelmente devido à barreira formada pela mancha amarelada. Para confirmação das causas dos manchamentos das camisetas outros ensaios são necessários inclusive um grupo de estudo com uma amostragem mais significativa e com uma melhor caracterização dos indivíduos participantes.

Os processos de remoção aplicados neste estudo (LS e RAQ) demonstraram que ambos não apresentaram 100% de eficácia na remoção do manchamento amarelado produzido pelo uso das camisetas pelos grupos de estudo. Entretanto, através da análise colorimétrica instrumental, mostrou-se que o método de remoção RAQ apresentou uma eficácia em torno de 70%, comparada ao método LS, 30%.

As micrografias de EDS das camisetas analisadas após os processos de remoção mostraram que todas as camisetas ainda apresentaram picos de Al, indicando a presença remanescente deste metal nas amostras. Com a análise de ICP que é mais precisa, avalia-se que a remoção do Al foi significativa para a camiseta 6FAG1Y manchada, a concentração de 9386 mg/kg foi para 3 mg/kg após remoção RAQ. A avaliação da resistência de pressão à ruptura mostrou que ambos os processos de remoção levaram a uma perda de máximo 10,75%.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo com um grupo maior de indivíduos;
- Controle do número de vezes da aplicação do desodorante e tempo de secagem antes de colocar as camiseta e temperatura a que os indivíduos ficaram expostos;
- Caracterização do suor dos indivíduos participantes;
- Análise de ICP-OES para outros componentes além do alumínio;
- Estudo de camisetas de outras fibras sintéticas e coloridas; e
- Estudo de outras metodologias de remoção, inclusive com enzimas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT – Associação Brasileira de Indústria Têxtil. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/>>. Acesso em: 15 maio 2013.

ABRAPA – Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. O Algodão no Mundo. Disponível em: <<http://www.abrapa.com.br/estatisticas/Paginas/Algodao-no-Mundo.aspx>>. Acesso em: 08 maio 2014.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Conceitos técnicos – Alvejantes. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/saneantes/conceito.htm#ALVEJANTES.html>>. Acesso em: 24 out. 2014.

ARAÚJO DE. M., CASTRO, E.M.M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian (ed.), 1984. p.685, 732-734.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 13538 – Material têxtil – Análise qualitativa**, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 13460 – Tecido de malha por trama – Determinação da estrutura**, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 13462 – Tecido de malha por trama – Estruturas Fundamentais**, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 12744 – Fibras têxteis – Classificação**, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM D 123 – Standard terminology relating to textiles**, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM D 3887 – Standard specification for testing tolerances for knitted fabrics**, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM E 313 – Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates**, 2010.

BALÁZSY, T.; EASTOP, D. **Chemical Principles of Textile Conservation**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. p. 159-162.

BARBOSA, M.Z; MARGARIDO, M.A; JUNIOR, S.N. Análise da elasticidade de transmissão de preços no mercado brasileiro de algodão. **Nova Economia**, Belo Horizonte, 12 (2), p. 79-108, jul.-dez. 2002.

BEAR, M.F; CONNORS, B.W; PARADISO, M.A. **Neurociências – Desvendando o Sistema Nervoso**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. 878 p.

BENOHANIAN, A. Antiperspirants and Deodorants. **Clinics in Dermatology**; Canadá, v.19, p. 398-405, 2001.

BERTOLINI, C. Introdução. In: TORNQUIST; FERNANDES; RÉGULA; MINOLTA; LUCAS et. al. **Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro, trabalho de graduação em ciência da computação**. Blumenau, 2010. p. 16.

BORGES, L.D., MACHADO, P.F.L. Lavagem a seco. **Revista Química Nova na Escola**, v. 35, n. 1, 2013.

BÖWE. Textile Cleaning. Disponível em: <<http://www.boewe-tc.de/>>. Acesso em: 06 jun. 2011.

CASTRO, J.R., 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v.1 – Safra 2013/14, n.9, junho 2014. Brasília: Conab, 2014. p. 33.

———. **Perspectivas para a agropecuária**, v. 2, safra 2014/15. Brasília, 2014. p. 11-12.

COSTA, F; CUNHA, L. C.; SERAFIN, A. B. Estudo da microbiota bacteriana axilar de voluntários residentes na cidade de Goiânia – GO. **Revista eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v.2 (2), p. 56 – 59, 2005. Suplemento.

CRISCUOLLO, P.S.R. Medição das cores. In: POPSON. **Beneficiamento do caulim duro das bacias dos rios Capim e Jari através do processo de agregação seletiva, dissertação de mestrado em engenharia metalúrgica e de minas**. Belo Horizonte, 2008, p. 29-37.

CORREIA, L.M.M.C.S. A limpeza. In: SPRENGER; WILDBRETT; KULKARNI, et al. **Orientações de higienização na produção primária de leite e indústria dos laticínios**, dissertação de mestrado em engenharia veterinária. Lisboa, 2009. p. 16-18.

CUI, X; LIU, X; TATTON, A.S; BROWN, S.P; YE, H; MARSH, A. **Nanodiamonds promotes surfactant-mediated triglyceride removal from a hydrophobic surface at or below room temperature**. ACS Applied materials & interfaces. United Kingdom. p. 3225-3232, jun. 2012.

DARBRE, P.D. Aluminium, antiperspirants and breast cancer. **Journal of Inorganic Biochemistry**, United States, p. 1912-1919, jul. 2005.

EXLEY, C. Aluminum in Antiperspirants: More than just skin deep. **The American Journal of Medicine**. United Kingdom; v.117, p. 969-970, dez. 2004.

EUROPEAN STANDARD – EN 12127 – Textiles. Fabrics. Determination of mass per unit area using small samples, 1998.

COSTA, F; CUNHA, L.C; SERAFINI, A.B. Estudo da microbiota bacteriana axilar de voluntários residentes na cidade de Goiânia – GO. **Revista Eletrônica de Farmácia**. Goiânia; v. 2(2), p. 56-59, 2005. Suplemento.

FAN, J, YU, W; HUNTER, L. Fabric properties related to clothing appearance and fit. In: HEARLE; KAWABATA. **Clothing appearance and fit: Science and Technology**. England, 2004. cap. 6. p. 89-93.

FERREIRA, P.M.C. Mecanismos de transferência de calor. In: WANG. **Evolução da temperatura em elementos de aço sujeitos ao fogo, trabalho de graduação em engenharia civil**. Lisboa, 2011. p. 17.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. I Workshop setorial de avaliação da política de desenvolvimento produtivo. São Paulo: DECOMTEC, out. 2009.

FOLLADOR, M. J. D. Suor como matriz biológica para análise. In: HOLLAND, K. et al.; CONE, et al. **Avaliação do uso do suor como matriz biológica para verificar a exposição à cocaína associada ou não a ingestão de bebida alcoólica, dissertação de mestrado**. São Paulo, 2004. cap. 3, p. 17.

FORNI, R. Higienização. **Projeto Mecânico de um sistema de higienização CIP (Cleaning In Place), trabalho de graduação em engenharia mecânica**. São Paulo, 2007. p. 2-8.

GORINI, A.P.F; SIQUEIRA, S.H.G. Complexo Têxtil Brasileiro. A01/GESET 2. BNDES, jan. 2002.

GUILLÉN, J.G. **Fibras Textiles – Propriedades y Descripción**. Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1991. p. 13-15, 153-163.

HEDGE, R.R.; DAHIYA, A.; KAMATH, M.G. Fibras de algodão, abr. 2004. p. 1-15. Disponível em: <<http://www.engr.utk.edu/mse/textiles/cotton%20fibres.html>>. Acesso em: 15 maio 2011.

HERMANN, I; NASSAR, A.M. **Coteminas – o desafio da inserção no mercado externo**. Montes Claros, 1997. 21 p.

HU, J.Y.; LI, Y.; YEUNG, K.W. Thermal properties. **Clothing biosensory engineering**. England: Woodhead Publishing, 2006. p. 189.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da Produção Agrícola**, IBGE, 2013. p.7. Anual.

———. **Pesquisa Industrial Mensal Produção Física Regional**, IBGE, 2013. p.11, 13, 15, 26. Mensal.

IEMI – Instituto de Estudos e Marketing Industrial. Dimensões do mercado mundial. **Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira**, 2014, p.182.

IMEA – Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. **1ª Estimativa de Safra 2014/15: Algodão**, IMEA, 2014. p. 1.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – **ISO 105 A-05 – Textiles – Tests for colour fastness – Part A05: Instrumental assessment of change in color for determination of grey scale rating**, 1996.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – **ISO 105 J-01 – Textiles – Tests for colour fastness – Part J01: General principles for measurement of surface colour**, 1997.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – **ISO 105 J-02 – Textiles – Tests for colour fastness – Part J02: instrumental assessment of relative whiteness**, 1997.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – **ISO 1833.4 – Textiles – Quantitative chemical analysis – Part 4: Mixtures of certain protein and certain other fibres (method using hypochlorite)**, 2006.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – **ISO 1833.5 – Textiles – Quantitative chemical analysis – Part 5: Mixtures of viscose, cupro or modal and cotton fibres (method using sodium zincate)**, 2006.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – **ISO 7211.5 – Textiles – Woven fabrics – Construction – Methods of analysis – Part 5: Determination of linear density of yarn removed from fabric**, 1984.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – **ISO 13938.1 – Textiles – Bursting properties of fabrics – Part 1: Hidraulic method for determination of bursting strength and bursting distension**, 1999.

JEONG, U.C., KIM, J.S., JEONG, J.E., YANG, I.H., OH, J.E. Development of a sound quality index for the wash cycle process of front-loading washing machines considering the impacts of individual noise source. **Applied Acoustics**, v.87, p. 183 – 189, 2015.

KOHN, B.B.M. **Delivery System Handbook for Personal Care and Cosmetic Products: Technology, Applications and Formulations**, New York: William Andrew, 2005. p. 87.

KOLBE, W; MALUF, E. **Dados Técnicos para a Indústria Têxtil**, 2ª ed. rev. e ampliada. IPT/ABIT. São Paulo, 2003. p. 1, 17.

LIMA. J.D; SANSON, J.R. Introdução. In: FALCON; STEIN; PIAZZA; HERING; SCHUMPETER. **O surto de Industrialização do Setor Têxtil a partir de 1880: Blumenau e Brasil, Departamento de Ciências Econômicas**. Santa Catarina, n.5, 2008. p. 1-8.

LIU Development of a fluorescent imaging sensor for the detection of human body sweat odor. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 183, p. 117-123, 2013.

MACEDO, A.M.K.S. **Análise de Malhas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Ministério da Educação, p.15.

MARKS, N; LUHRING, D. Como tudo funciona. Traduzido por **HowStuffWorks Brasil**. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/lavagem-a-seco5.html>>. Acesso em: 22 fev. 2010.

MCGRATH, K.G. Apocrine sweat gland obstruction by antiperspirants allowing transdermal absorption of cutaneous generated hormones and pheromones as a link to the observed incidence rates of breast and prostate cancer in the 20th century. **Medical Hypotheses**, United States, n. 72, p. 665-674, jan. 2009.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Cadeia Produtiva do algodão, v.4, Brasília: MAPA/SPA, 2007. 108 p.

MONTEIRO, G. Círculo de Sinner. **W2GP Soluções industriais**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.wg2p.com.br.html>>. Acesso em: 24 out. 2014.

NOLAN, K. Ethical Fashion Exhibition: Re-think Re-dress. Dublin, 2008. Disponível em: <http://catwalkgenius.blogware.com/blog/_archives/2008/4/19/3648555.html>. Acesso em: 20 abr. 2008.

OLIVIER, G. R. G, SIMONE, A. M. **Composition for counteracting the degradations and inconvenience of perspiration**. Patent number: 4777034; 11. França, out. 1988.

OMOKHODION, F.O, HOWARD, J.M. Trace elements in the sweat of acclimatized persons. **Clinica Chimica Acta** 231, London, p. 23-28, jul. 1994.

PAN, N. Quantification and evaluation of human tactile sense towards fabrics. **International Journal of Design & Nature**, n.1, v. 9, p. 1-13, 2006.

PEIXOTO, M.C.G.; VASCONCELOS, F.B. Comparação da proliferação de fungos em lingeries de poliamida e algodão. **Revista Química Têxtil**. Ano XXV, n. 103, p. 23-29, jun. 2011.

PICCHIAI, D. A visão sistêmica da lavanderia hospitalar: limites e propostas. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde – RGSS**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 124-147, jul.-dez. 2013.

PIOTR, F., PIOTR, K., WÓJCICKI, J.M. Monitoring of Sweat Secretion from Eccrine Sweat Glands Using Electric Conductivity Method. **Biocybernetics and Biomedical Engineering**, v. 32, n. 4, p. 47-57, 2012.

RUIZ, C.S.B. **Avaliação da formação e degradação de filmes de vernizes curados por radiação ultravioleta e feixe de elétrons e expostos ao envelhecimento acelerado, dissertação de doutorado em química fundamental**. São Paulo, 2003. p. 94-95.

SANTOS, A. L. Fatores que influenciam no procedimento de higienização. In: FRAYER; SANTOS & OLIVEIRA; LELIEVELD; ANDRADE; HAYES; VISSER; GRASSHOFF. **Implantação de um procedimento de higienização em uma unidade produtora de queijo minas artesanal na região da canastra e avaliação pelo método de ATP-**

bioluminescência, dissertação de mestrado profissional em ciência e tecnologia do leite e derivados. Juiz de Fora, 2010. p. 29-34.

SCHAEFFER, M. F.; OLIVEIRA, R. Alteração dimensional da malharia circular. Disponível em: <[http://sites.unifebe.edu.br/~congressoits2010/artigos/artigos/055-Alteração dimensional da malha circular. pdf](http://sites.unifebe.edu.br/~congressoits2010/artigos/artigos/055-Alteração_dimensional_da_malha_circular.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2014.

SCHOMMER, N. N., GALLO, R. L. Structure and function of the human skin microbiome. **Trends in Microbiology**, San Diego, v. 21, n. 12, p. 660-668, nov. 2013.

SHEFTER, E; GIANNINI, R. P. Hydrolytic behavior of some aluminum antiperspirant materials in acid. **International Journal of Pharmaceutics**, New York, p. 49-59, 1978.

SINGH, S., KUMAR, S. Numerical study on triple layer skin tissue freezing using dual phase lag bio-heat model. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 86, p. 12-20, 2014.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana: uma abordagem integrada**. Trad. 2ª ed. Barueri: Manole, 2003. p. 68.

TORTORA, G. J; FUNKE, B. R.; CASE, C. I. **Microbiologia**, 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. p. 558-560.

VELD, Mark Huis et al. Infoshow. Disponível em: <<http://www.made-by.nl>>. Acesso em: 15 maio 2008.

YOUNG, B.; DEAKIN, P. J. **Wheater Histologia Funcional: texto e atlas em cores**. Tradução da 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. p. 86-184.

ZIRONDI, M. **Aplicação do “Thinking Process” no ambiente de desenvolvimento de produtos, dissertação de mestrado em engenharia mecânica**. Campinas, 2009, p. 108-111.

ANEXO A – Valores de dL^* , da^* , dE^* , alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração da Cor e índice de brancura

Tabela 13 – Valores de dL^* , da^* , db^* , dE^* , alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e remoção

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL^*	da^*	db^*	dE^*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
1 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						157,34
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	5,28	-0,34	0,00	5,32	2/3	168,52
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	0,18	-1,19	1,71	2,38	3/4	149,18
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						156,89
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	4,66	-0,21	0,41	4,68	2/3	163,38
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	0,77	-1	1,48	1,95	4	151,69
2 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						155,17
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	3,51	-1,51	5,92	7,05	2	135,55
	Leitura	branca	após remoção	manga direita						
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						159,20
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	3,76	-0,68	3,44	5,14	2/3	150,75
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,74	-1,14	3,64	3,89	3	141,67
3 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						153,10
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	3,56	-0,51	1,31	3,83	3	153,81
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,83	-1,56	3,05	3,52	3	138,11
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						150,94
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	3,42	-0,59	2,19	4,10	3	147,53
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,04	-1,04	2,07	2,32	3/4	141,67
4 FAGI X	Padrão	preta	após 1a lavagem	manga direita						27,06
	Leitura	preta	após 11a lavagem	manga direita	0,67	-2,14	-0,22	2,25	3/4	30,20
	Leitura	preta	após remoção	manga direita						
	Padrão	preta	após 1a lavagem	manga esquerda						27,57
	Leitura	preta	após 11a lavagem	manga esquerda	-0,56	-1,16	-0,21	1,31	4	31,28
	Leitura	preta	após remoção	manga esquerda						

Fonte: CASTRO, 2012

Tabela 11 – Valores de dL*, da*, db*, dE*, alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e emoção (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
5 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						154,44
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	3,90	-0,57	1,40	4,18	2/3	155,42
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,81	-1,50	3,21	3,63	3	138,79
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						153,92
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	3,45	0,60	1,74	3,91	3	152,49
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	0,19	-1,29	2,45	2,77	3/4	143,42
6 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						156,48
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,53	-2,15	4,33	5,06	2/3	134,57
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,57	-2,86	6,62	7,24	2	125,89
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						157,01
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-2,01	-1,88	6,18	6,77	2	125,68
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,51	-2,49	6,80	7,40	2	123,76
7 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						158,64
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	3,97	-1,21	5,26	6,70	2	142,96
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,72	-2,62	8,81	9,23	1/2	117,79
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						158,49
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	3,68	-1,22	5,22	6,50	2	142,29
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-2,13	-2,30	7,06	7,72	2	123,02
8 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						158,66
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-0,97	-2,13	5,70	6,17	2/3	131,44
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-1,00	-2,70	6,10	6,74	2	129,63
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						157,14
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,58	-2,29	4,85	5,59	2/3	132,71
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,66	-2,73	5,51	6,19	2/3	131,31

Fonte: CASTRO, 2012.

Tabela 11 – Valores de dL*, da*, db*, dE*, alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e emoção (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
9 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						156,05
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,27	-2,64	5,03	5,82	2/3	131,36
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-2,47	-3,44	8,88	9,84	1/2	111,42
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						156,23
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,94	-2,37	5,92	6,66	2	126,23
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,61	-3,06	8,26	8,95	1/2	116,07
10 FCGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						152,98
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-0,12	-1,11	1,70	2,03	4	145,27
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,45	-1,94	2,74	3,38	3	140,08
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						154,03
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-0,25	-0,83	-0,01	0,87	4/5	153,76
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	0,15	-1,90	2,39	3,06	3/4	143,73
11 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						155,29
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-0,24	-2,72	5,00	5,70	2/3	132,60
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,12	-1,82	3,41	3,86	3	139,98
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						156,26
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,50	-2,78	7,77	8,39	2	118,50
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda						
13 FBG2 X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						153,60
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,65	-2,91	6,44	7,26	2	121,57
	Leitura	branca	após remoção	manga direita						
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						158,39
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-2,08	-2,29	7,32	7,95	2	121,69
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,36	-1,84	6,05	6,47	2	128,81

Fonte: CASTRO, 2012.

Tabela 11 – Valores de dL*, da*, db*, dE*, alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e remoção (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
14 FBG2 X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						154,08
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,65	-1,68	4,35	4,95	2/3	131,73
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,62	-1,50	3,11	3,50	3	139,19
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						156,19
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,38	-1,53	4,30	4,76	2/3	134,56
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda						
15 AG3 X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						154,44
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-2,47	-8,46	26,46	27,89	1	25,66
	Leitura	branca	após remoção	manga direita						
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						152,90
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,54	-9,85	30,86	32,43	1	4,73
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda						
16 FG3 X	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						145,44
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-0,18	-1,14	4,78	4,91	2/3	123,55
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	0,60	-0,65	3,67	3,78	3	130,02
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						145,91
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	0,31	-1,04	4,60	4,72	2/3	125,79
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	0,63	-0,52	3,49	3,59	3	131,34
1 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						157,25
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	3,69	0,00	1,36	3,93	3	157,67
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,83	-1,44	4,78	5,06	2/3	134,40
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						160,07
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	3,18	-0,15	3,04	4,40	2/3	152,22
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,72	-1,65	5,68	5,96	2/3	133,40

Fonte: CASTRO, 2012.

Tabela 11 – Valores de dL*, da*, db*, dE*, alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e remoção (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
2 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						157,47
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	3,90	-0,96	3,39	5,26	2/3	149,83
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,59	-1,36	3,48	3,79	3	140,99
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						158,21
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	4,05	-0,72	2,75	4,95	2/3	153,56
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,76	-1,33	3,89	4,19	3	139,58
3 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						157,88
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	2,67	-0,75	4,29	5,11	2/3	143,62
	Leitura	branca	após remoção	manga direita						
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						157,48
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	2,56	-1,08	4,87	5,61	2/3	140,48
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda						
4 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						157,17
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,78	-1,03	3,10	3,72	3	140,36
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-2,28	-2,82	9,58	10,24	1/2	109,63
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						159,04
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,72	-2,27	7,66	8,17	2	121,46
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,42	-2,51	7,62	8,14	2	122,24
5 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						156,21
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	3,74	-0,74	3,06	4,88	2/3	149,42
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-2,14	-2,27	8,40	8,96	1/2	114,33
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						156,02
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	3,65	-1,00	3,61	5,23	2/3	146,72
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,01	-2,17	5,24	5,76	2/3	130,77

Fonte: CASTRO, 2012.

Tabela 11 – Valores de dL*, da*, db*, dE*, alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e remoção (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
6 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						155,54
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,24	-2,39	3,83	4,68	2/3	136,39
	Leitura	branca	após remoção	manga direita						
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						155,43
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,45	-2,31	3,02	4,07	3	139,58
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda						
7 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						155,09
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	2,67	-0,93	4,56	5,37	2/3	139,84
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,88	-1,56	4,19	4,56	2/3	134,85
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						156,05
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	2,12	-1,83	6,73	7,29	2	130,15
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda						
8 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						154,69
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,89	-1,78	3,55	4,40	2/3	135,60
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-1,19	-1,79	4,04	4,57	2/3	134,58
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						155,64
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,38	-2,00	3,56	4,31	3	137,43
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,65	-1,90	3,90	4,39	3	137,13
9 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						159,61
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,13	-1,67	4,95	5,34	2/3	135,56
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,63	-2,25	5,52	5,99	2/3	133,90
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						158,76
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-0,81	-1,63	5,97	6,25	2	130,60
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,75	-2,00	4,65	5,11	2/3	136,77

Fonte: CASTRO, 2012.

Tabela 11 – Valores de dL*, da*, db*, dE*, alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e remoção (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
10 FCGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						155,15
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	0,98	-1,72	1,52	2,49	3/4	150,22
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	0,28	-1,53	2,72	3,13	3/4	143,59
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						157,72
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	0,85	-1,30	1,79	2,37	3/4	151,30
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,09	-1,36	2,94	3,24	3	144,30
11 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						154,94
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,25	-1,35	2,21	2,88	3/4	143,03
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-1,17	-2,51	5,99	6,60	2	126,03
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						153,59
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-0,47	-1,10	3,10	3,32	3	138,93
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,74	-1,51	3,41	4,11	3	135,36
12 FBG2 Y	Padrão	preta	após 1a lavagem	manga direita						157,28
	Leitura	preta	após 11a lavagem	manga direita	-1,46	-2,63	6,58	7,23	2	125,15
	Leitura	preta	após remoção	manga direita						
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						158,88
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,22	-2,26	4,98	5,61	2/3	134,54
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,01	-2,04	4,73	5,25	2/3	136,04
13 FBG2 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						154,29
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,62	-2,82	6,48	7,25	2	122,23
	Leitura	branca	após remoção	manga direita						
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						157,45
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-2,23	-2,91	6,64	7,59	2	123,68
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-1,79	-2,75	7,63	8,30	2	119,88

Fonte: CASTRO, 2012.

Tabela 11 – Valores de dL*, da*, db*, dE*, alteração da cor comparada à Escala Cinza de Alteração de Cor e índice de brancura das camisetas após 1ª lavagem, 11ª e remoção (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	Local de medição	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
14 FBG2 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						159,11
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,02	-1,82	4,30	4,78	2/3	138,19
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,43	-1,78	4,39	4,76	2/3	138,79
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						158,22
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,48	-1,78	3,65	4,32	3	139,47
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda						
15 AG3 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						149,75
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-1,79	-8,30	30,93	32,07	1	0,29
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	1,75	-0,74	5,31	5,64	2/3	128,87
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						150,30
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-1,54	-7,82	28,03	29,14	1	16,02
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	0,86	-0,68	5,30	5,42	2/3	127,90
16 FG3 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga direita						148,09
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga direita	-0,28	-0,79	4,81	4,88	2/3	125,96
	Leitura	branca	após remoção	manga direita	-0,31	-0,82	4,73	4,81	2/3	126,24
	Padrão	branca	após 1a lavagem	manga esquerda						146,30
	Leitura	branca	após 11a lavagem	manga esquerda	-0,77	-0,86	5,29	5,41	2/3	120,94
	Leitura	branca	após remoção	manga esquerda	-0,02	-0,94	4,81	4,90	2/3	124,52

Fonte: CASTRO, 2012.

Tabela 14 – Média dos índices avaliados das camisetas expostas

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	dL*	da*	db*	dE*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
1 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						157,12
	Leitura	branca	após 11a lavagem	4,97	-0,28	0,21	5,00	2/3	165,95
	Leitura	branca	após remoção	0,48	-1,10	1,60	2,17	3/4	150,44
2 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						157,19
	Leitura	branca	após 11a lavagem	3,64	-1,10	4,68	6,10	2	143,15
	Leitura	branca	após remoção	-0,74	-1,14	3,64	3,89	3	141,67
3 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						152,02
	Leitura	branca	após 11a lavagem	3,49	-0,55	1,75	3,97	3	152,28
	Leitura	branca	após remoção	-0,44	-1,30	2,56	2,92	3	139,89
4 FAGI X	Padrão	preta	após 1a lavagem						27,32
	Leitura	preta	após 11a lavagem	0,06	-1,65	-0,22	1,78	3/4	30,74
5 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						154,18
	Leitura	branca	após 11a lavagem	3,68	0,02	1,57	4,05	2/3	153,96
	Leitura	branca	após remoção	-0,31	-1,40	2,83	3,20	3	141,11
6 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						156,75
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,77	-2,02	5,26	5,92	2	130,13
	Leitura	branca	após remoção	-1,04	-2,68	6,71	7,32	2	124,83
7 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						158,57
	Leitura	branca	após 11a lavagem	3,83	-1,22	5,24	6,60	2	142,63
	Leitura	branca	após remoção	-1,43	-2,46	7,94	8,48	1/2	120,41
8 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						157,90
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,28	-2,21	5,28	5,88	2/3	132,08
	Leitura	branca	após remoção	-0,83	-2,72	5,81	6,47	2	130,47
9 MAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						156,14
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,61	-2,51	5,48	6,24	2	128,80
	Leitura	branca	após remoção	-2,04	-3,25	8,57	9,40	1/2	113,75
10 FCGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						153,51
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-0,19	-0,97	0,85	1,45	4	149,52
	Leitura	branca	após remoção	-0,15	-1,92	2,57	3,22	3	141,91
11 FAGI X	Padrão	branca	após 1a lavagem						155,78
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-0,87	-2,75	6,39	7,05	2	125,55
	Leitura	branca	após remoção	-0,12	-1,82	3,41	3,86	3	139,98
13 FBG2 X	Padrão	branca	após 1a lavagem						156,00
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,87	-2,60	6,88	7,61	2	121,63
	Leitura	branca	após remoção	-1,36	-1,84	6,05	6,47	2	128,81
14 FBG2 X	Padrão	branca	após 1a lavagem						155,14
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,52	-1,61	4,33	4,86	2/3	133,15
	Leitura	branca	após remoção	-0,62	-1,50	3,11	3,50	3	139,19
15 AG3 X	Padrão	branca	após 1a lavagem						153,67
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-2,01	-9,16	28,66	30,16	1	15,20
	Leitura	branca	após remoção						
16 FG3 X	Padrão	branca	após 1a lavagem						145,68
	Leitura	branca	após 11a lavagem	0,07	-1,09	4,69	4,82	2/3	124,67
	Leitura	branca	após remoção	0,62	-0,59	3,58	3,69	3	130,68
1 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						158,66
	Leitura	branca	após 11a lavagem	3,44	-0,08	2,20	4,17	2/3	154,95
	Leitura	branca	após remoção	-0,78	-1,55	5,23	5,51	2/3	133,90

Fonte: CASTRO, 2012.

Nota: A camiseta 12FBG2 X foi excluída dos resultados da Tabela por ter sido perdida durante a fase do grupo de estudo.

Tabela 12 – Média dos índices avaliados das camisetas expostas (continuação)

Participante	Medição	Cor camiseta	Processo	dL*	da*	db*	dB*	Escala Cinza de Alteração Cor	Índice de brancura (WI)
2 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						157,84
	Leitura	branca	após 11a lavagem	3,98	-0,84	3,07	5,11	2/3	151,70
	Leitura	branca	após remoção	-0,68	-1,35	3,69	3,99	3	140,29
3 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						157,68
	Leitura	branca	após 11a lavagem	2,62	-0,92	4,58	5,36	2/3	142,05
	Leitura	branca	após remoção						
4 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						158,11
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,75	-1,65	5,38	5,95	2	130,91
	Leitura	branca	após remoção	-1,85	-2,67	8,60	9,19	1/2	115,94
5 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						156,12
	Leitura	branca	após 11a lavagem	3,70	-0,87	3,34	5,06	2/3	148,07
	Leitura	branca	após remoção	-1,58	-2,22	6,82	7,36	1/2	122,55
6 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						155,49
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,35	-2,35	3,43	4,38	2/3	137,99
	Leitura	branca	após remoção						
7 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						155,57
	Leitura	branca	após 11a lavagem	2,40	-1,38	5,65	6,33	2	135,00
	Leitura	branca	após remoção	-0,88	-1,56	4,19	4,56	2/3	134,85
8 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						155,17
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,64	-1,89	3,56	4,36	2/3	136,52
	Leitura	branca	após remoção	-0,92	-1,85	3,97	4,48	2/3	135,86
9 MAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						159,19
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-0,97	-1,65	5,46	5,80	2	133,08
	Leitura	branca	após remoção	-0,69	-2,13	5,09	5,55	2/3	135,34
10 FCGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						156,44
	Leitura	branca	após 11a lavagem	0,92	-1,51	1,66	2,43	3/4	150,76
	Leitura	branca	após remoção	0,10	-1,45	2,83	3,19	3	143,95
11 FAGI Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						154,27
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-0,86	-1,23	2,66	3,10	3	140,98
	Leitura	branca	após remoção	-1,46	-2,01	4,70	5,36	2	130,70
12 FBG2 Y	Padrão	preta	após 1a lavagem						158,08
	Leitura	preta	após 11a lavagem	-1,34	-2,45	5,78	6,42	2	129,85
	Leitura	preta	após remoção	-1,01	-2,04	4,73	5,25	2/3	136,04
13 FBG2 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						155,87
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,93	-2,87	6,56	7,42	2	122,96
	Leitura	branca	após remoção	-1,79	-2,75	7,63	8,30	2	119,88
14 FBG2 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						158,67
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,25	-1,80	3,98	4,35	2/3	138,83
	Leitura	branca	após remoção	-0,43	-1,78	4,39	4,76	2/3	138,79
15 AG3 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						150,03
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-1,67	-8,06	29,48	30,61	1	8,16
	Leitura	branca	após remoção	1,31	-0,71	5,31	5,53	2/3	128,39
16 FG3 Y	Padrão	branca	após 1a lavagem						147,20
	Leitura	branca	após 11a lavagem	-0,53	-0,83	5,05	5,15	2/3	123,45
	Leitura	branca	após remoção	-0,17	-0,88	4,77	4,86	2/3	125,38

Fonte: CASTRO, 2012.