UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TÊXTIL E MODA

GUILHERME VENANCIO DE OLIVEIRA

**A influência de tratamentos com quitosana na solidez da cor a lavagem
em camisetas de algodão com estamparia digital**

SÃO PAULO

2017

GUILHERME VENANCIO DE OLIVEIRA

**A influência de tratamentos com quitosana na solidez da cor a lavagem de
camisetas de algodão com estamparia digital**

Versão corrigida

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

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 15/09/2017. 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: Têxtil e
Moda

Orientadora: Profa. Dra. Sirlene
Maria da Costa

São Paulo

2017

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)

Oliveira, Guilherme Venancio de

A influência de tratamentos com quitosana na solidez da cor a lavagem em camisetas de algodão com estamparia digital / Guilherme Venancio de Oliveira ; orientadora, Sirlene Maria da Costa. – São Paulo, 2017

117 f. : il

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

1. Indústria têxtil - Processos. 2. Quitosana. 3. Corantes - Fixação. 4. Algodão. 3. Estamparia. I. Costa, Sirlene Maria da, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677

Nome: OLIVEIRA, Guilherme Venancio

Título: A influência de tratamentos com quitosana na solidez da cor a lavagem de camisetas de algodão com estamparia digital

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda

Aprovado em: 15 / 09 / 2017

Banca Examinadora

Prof. Dr.	João Paulo Pereira Marcicano	Instituição:	Escola de Artes, Ciências e Humanidades Universidade de São Paulo
Julgamento:	Aprovado		
Prof. Dr.	Nicolas Theophanis Boukouvalas	Instituição:	Centro Universitário Anhanguera de São Paulo
Julgamento:	Aprovado		
Prof. Dr.	Ricardo Belchior Torres	Instituição:	Centro Universitário FEI
Julgamento:	Aprovado		

AGRADECIMENTOS

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

Aos Laboratórios Têxtil e Químico da Interface Engenharia Aduaneira Eireli, pelas análises de caracterização do tecido de malha.

Ao Centro Universitário FEI, minha faculdade de Graduação, por permitir o uso dos equipamentos de Beneficiamento Têxtil para aplicação da Quitosana em Foulard e Secagem na Rama.

A estamparia FRB por conceder os equipamentos necessários para aplicação por Quadros.

Ao meu diretor Engenheiro Fabio Campos Fatalla por permitir que eu conciliasse o trabalho com o Mestrado.

Aos meus colegas de trabalho Michelle Pisciotano Lopes, Gisele Figueira Ritter e João Luís Lopes Freitas 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 compreensão nos momentos difíceis, sempre me ajudando e mostrando o caminho da ciência.

À Professora Dra. Silgia Aparecida da Costa por ceder gentilmente a quitosana e por mostrar o caminho da ciência.

Aos Professores Paulo Pedro Maria Alfieri e Pedro Rodrigues pelos ensinamentos, orientações e auxílio nos ensaios de MEV e aplicação da Quitosana por Foulard.

À minha amiga Fernanda Gomes de Vasconcelos pelo incentivo a ingressar no mestrado, pelos ensinamentos, pela amizade e companheirismo demonstrado nos momentos bons e ruins.

À minha esposa Mariana Diegues da Silva Oliveira pelo amor incondicional, suporte em nosso lar para que eu tivesse tranquilidade de estudar e por me apoiar nos momentos fáceis e difíceis.

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

RESUMO

OLIVEIRA, Guilherme Venancio. **A influência de tratamentos com quitosana na solidez da cor a lavagem em camisetas de algodão com estampa digital.** 2017. 117 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Versão corrigida.

A utilização da quitosana como fixante de corantes tem se mostrado relevante, devido a sua estrutura química que é responsável pelas suas propriedades biodegradável e antibacteriana. O presente estudo teve como objetivo principal utilizar a quitosana para auxiliar na fixação de corantes pigmentados utilizados na estampa digital. Também foi testada a carboximetilcelulose. A quitosana foi dissolvida em ácido acético 2% (v/v) nas concentrações de 5, 10, 15 e 22,2 g/L, enquanto a carboximetilcelulose foi dissolvida em água na concentração de 14,28 g/L. Os polímeros foram aplicados como pré e pós tratamentos em malha de algodão por dois processos diferentes, via Foulard e por estampa de quadros. A presença dos polímeros impregnados nas fibras de algodão foi avaliada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As amostras de malha tratadas e não tratadas (controle) foram lavadas por 54 vezes simulando o uso de uma camiseta durante um ano e avaliadas em espectrofotômetro quanto à solidez da cor a lavagem utilizando os parâmetros escala cinza e sistema CIELAB ΔE^* . Os resultados obtidos mostraram que a utilização da quitosana e da carboximetilcelulose como pós-tratamento melhoraram o desempenho da solidez da cor a lavagem em 64% quando avaliada por CIELAB ΔE^* e 68% respectivamente quando avaliada por escala cinza. As amostras com aplicação de quitosana e carboximetilcelulose como pré-tratamentos apresentaram valores menores de solidez, quando comparadas às amostras pós-tratadas.

Palavras-chave: Estampa Digital. Quitosana. Carboximetilcelulose. Solidez da cor. Algodão.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Guilherme Venancio. **Chitosan influence on color fastness to washing of cotton t-shirts with digital printing**. 2017. 117 f. "Dissertation" (Master of Science) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Corrected version.

The use of chitosan as binder has become relevant due to its chemical structure which is responsible for its biodegradable and antibacterial good. The present study is aimed to the use of chitosan to aid in the fixation of pigmented dyes used in digital printing. A carboxymethylcellulose was also tested. The chitosan was dissolved in 2% (v / v) acetic acid at the concentrations of 5, 10, 15 and 22.2 g / L, while a carboxymethylcellulose was dissolved in water at 14.28 g / L. applied as pre and post treatments in cotton mesh by two different processes, Foulard and silk-screen. The presence of polymers impregnated in the cotton fibers was evaluated by Scanning Electron Microscopy (SEM). The treated and untreated mesh samples were washed 54 times simulating the use of a T-shirt for one year and evaluated in spectrophotometer for color fastness to wash, using the CIELAB ΔE^* system. The results showed that the use of chitosan and carboxymethylcellulose as a post-treatment improved the color wash performance in 64% when evaluated by CIELAB ΔE^* and 68% when evaluated by gray scale. The samples with application of chitosan and carboxymethylcellulose as pre-treatments presented lower values of color fastness, when compared to the post-treated samples.

Keywords: Digital Printing. Chitosan. Carboxymethylcellulose. Color Fastness. Cotton.

Lista Figuras

Figura 1 - Comparativo de consumo de água por metro de estamparia convencional e digital em porcentagem de seus componentes	14
Figura 2- Fibras Têxteis.....	21
Figura 3- Capulho de algodão	29
Figura 4- Molécula de celulose	30
Figura 5- Corte longitudinal e corte transversal das fibras de algodão.....	31
Figura 6- Esquema celular da fibra do Algodão	31
Figura 7- Maturidade das fibras de algodão (a) madura, (b) imatura, (c) morta.	32
Figura 8: Mecanismo de enrolamento do fio em um filatório anel. Em que: (1) é o fuso, (2) é a espula, (3) é o fio, (4) o viajante, (5) o anel e (6) o enrolamento.	35
Figura 9- Fluxo de produção de fios convencionais	35
Figura 10- Subdivisões da malharia.....	36
Figura 11- Estrutura da meia-malha.....	37
Figura 12- Síntese aditiva	43
Figura 13- Síntese subtrativa.....	44
Figura 14- Espaço de cor CIE L* a* b*.....	45
Figura 15- Modelo de negócios de estamparia	48
Figura 16- Sistema de quadros	49
Figura 17- Camisetas estampadas após terem sido costuradas.....	50
Figura 18 – Método CIJ	53
Figura 19 – Esquema de cabeça com transdutor piezoelétrico modo deformação.....	54
Figura 20 - Processo de obtenção da quitosana.....	58
Figura 21 - Estrutura química da quitosana	59
Figura 22 - Estrutura química da carboximetilcelulose.....	61
Figura 23 - Exemplo de comparação visual com a escala cinza AATCC.	62
Figura 24 - Impressora DoD	64
Figura 25 - Passo a passo da Metodologia.....	68
Figura 26 – Equipamentos (a) Foulard e (b) Rama, em escala laboratorial	70
Figura 27 - Aplicação por (a) Quadro de estamparia e (b) estufa	71
Figura 28 - Estampa Padrão.....	73
Figura 29 – MEV da amostra controle. Ampliação 500X.	78
Figura 30 – MEV da amostra PREFQUI1(5g/L). Ampliação 500X.	79
Figura 31 - MEV da amostra PREQQUI1(5g/L). Ampliação 500X.	79
Figura 32 - MEV da amostra PREFQUI4(22,2g/L).....	80
Figura 33 - MEV da amostra PREFC1(14,28g/L).....	80
Figura 34 - Avaliação colorimétrica ΔE^* após 1 lavagem.	81
Figura 35 - Avaliação colorimétrica ΔE^* após 27 lavagem.	83
Figura 36 - Avaliação colorimétrica ΔE^* após 54 lavagem.	84
Figura 37 - Comparativo das avaliações colorimétricas ΔE^*	85
Figura 38 - Comparativo das avaliações colorimétricas ΔE^* quadrante amarelo.	86
Figura 39 - Comparativo das avaliações colorimétricas ΔE^* quadrante azul	87
Figura 40 - Comparativo de avaliação colorimétrica por ΔE^* quadrante preto.....	88
Figura 41 - Comparativo de avaliação colorimétrica por ΔE^* quadrante vermelho	89

Figura 42 - Avaliação colorimétrica escala cinza 1 lavagem.....	90
Figura 43 - Avaliação colorimétrica escala cinza 27 lavagens.....	91
Figura 44 - Avaliação colorimétrica escala cinza 54 lavagens.....	92
Figura 45 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza.....	92
Figura 46 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante amarelo.....	94
Figura 47 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante azul .	95
Figura 48 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante preto	96
Figura 49 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante vermelho.....	97
Figura 50 - MEV da amostra (11) pós-tratadas em Foulard com quitosana 5 g/L.....	98
Figura 51 - MEV da amostra (16) pós-tratadas em Quadros com quitosana 5 g/L	98
Figura 52 - Comparativo visual das amostras	99

Lista de tabelas

Tabela 1 - Produção de fios por fibra em toneladas	28
Tabela 2 - Característica da celulose nas fibras de algodão	33
Tabela 3 - Índice numérico de solidez da cor, na escala cinza de alteração	63
Tabela 4 - Plano de amostragem	74
Tabela 5 - Resultado de Composição	76
Tabela 6 - Resultados de Gramatura	77
Tabela 7 - Resultados de Título dos fios	77
Tabela 8 - Resultado de padronagem	77

LISTA DE ABREVIACÕES, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS UTILIZADOS

AATCC:	<i>American Association of Textile Chemists and Colorists</i>
ABIT:	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPA:	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
a. C:	Antes de Cristo
CIE:	<i>Comission International de l'Éclairage</i>
CIJ:	<i>Continuous Ink Jet</i>
CMC:	Carboximetilcelulose
CMYK:	<i>Cyan Magenta Yellow Black</i>
CV:	Coeficiente de variação
DOD:	<i>Drop on Demand</i>
FTIR:	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier
IEMI:	Instituto de Estudos e Marketing Industrial
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO:	<i>International Standard Organization</i>
ITMA:	<i>International Textile Market Association</i>
MEV:	Microscopia Eletrônica de Varredura
PCP:	Planejamento e Controle da Produção
ΔE :	Diferença total de cor
ΔL :	Diferença de luminosidade
Δa :	Diferença cromática no eixo vermelho/verde
Δb :	Diferença cromática no eixo amarelo/azul

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	JUSTIFICATIVA	15
3.	OBJETIVOS	18
3.1.	Objetivos específicos	18
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1.	Setor Têxtil e de Confecção	19
4.2.	Fibras Têxteis	19
4.3.	Fibras Naturais	20
4.4.	Fibras Químicas	23
4.4.1.	Fibras Artificiais	24
4.4.2.	Fibras Sintéticas	25
4.5.	Algodão	26
4.5.1.	História do Algodão	26
4.5.2.	Mercado do Algodão	27
4.5.3.	Processo de obtenção das fibras de Algodão	28
4.5.4.	Morfologia do Algodão	29
4.5.5.	Propriedades do Algodão	32
4.6.	Fiação	34
4.7.	Malharia	36
4.7.1.	Ligamento meia-malha	37
4.8.	Confecção	37
4.8.1.	Processo produtivo para as confecções	37
4.8.2.	Camisetas	40
4.9.	Teoria da cor	41
4.10.	Estamparia	46
4.10.1.	Estamparia convencional	48
4.10.2.	Estamparia Digital	51
4.11.	Pré-tratamentos e Pós-tratamentos químicos	57
4.12.	Quitosana	58
4.13.	Carboximetilcelulose	60
4.14.	Solidez da cor a lavagem	61
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	63
5.1.	Materiais	63
5.1.1.	Malha	63
5.1.2.	Quitosana	63

5.1.3. Carboximetilcelulose	64
5.1.4. Impressora DoD	64
5.1.5. Máquina de lavar doméstica	64
5.1.6. Detergente em pó	64
5.1.7. Amaciante	65
5.2. Metodologia	65
5.2.1. Análise qualitativa e quantitativa	65
5.2.2. Massa por unidade de área	66
5.2.3. Título dos fios	66
5.3. Aplicação dos polímeros	67
5.3.1. Aplicação por Foulard	69
5.3.2. Aplicação por estamparia de quadros	70
5.4. Análise da impregnação por Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV	71
5.5. Análise de solidez	72
5.6. Estamparia digital	72
5.7. Lavagem Doméstica	74
5.8. Avaliação colorimétrica por espectrofotômetro	75
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
6.1. Composição	76
6.2. Gramatura	76
6.3. Título dos fios	77
6.4. Padronagem	77
6.5. Análise da impregnação	78
6.6. Avaliação Colorimétrica por Espectrofotômetro	81
6.6.1. Avaliações colorimétricas por ΔE^*	81
6.6.2. Avaliações colorimétricas por escala cinza	89
6.6.3. Análise da impregnação após lavagem	97
6.6.4. Avaliação física	98
7. CONCLUSÃO	100
8. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXO A – Valores de ΔE^* , alteração da cor comparada à escala cinza após 1, 27 e 54 lavagens por cor.	113

1. INTRODUÇÃO

Uma das mais poderosas forças que influenciam a fabricação de roupas é a indústria da moda, e sua importância vem aumentando consideravelmente desde a Revolução Industrial. A roupa é uma das maneiras mais fáceis de exibição visível de riqueza, por isso movimenta milhões todos os anos, pois as pessoas são induzidas a comprarem roupas todas as estações do ano (SLATER, 2003).

O mercado global de estamparia digital têxtil foi avaliado em US\$ 1245 milhões em 2015, e deverá atingir US\$ 3943 milhões em 2022, com uma taxa de crescimento anual de 17,9% de 2016 até 2022 (PR NEWSWIRE, 2017).

A técnica de impressão a jato de tinta oferece benefícios como rapidez, flexibilidade, criatividade, limpeza, competitividade e menor consumo de água, conforme Figura 1. No entanto, não pode ainda ser comparada com a estamparia convencional principalmente pelo custo da estampa e qualidade de solidez a lavagem (GUPTA 2001, PARYS 2002).

Figura 1 - Comparativo de consumo de água por metro de estamparia convencional e digital em porcentagem de seus componentes

Fonte: Adaptado de CHEN et al 2015

De acordo com CHEN et al (2015) o consumo de água por metro estampado em estamparia a quadros é 7,13 vezes maior do que o consumo na estamparia digital. Considerando apenas o consumo direto de água a estamparia a quadros é 82% maior do que a digital, por metro estampado.

Há dez anos, a impressão digital têxtil era um sonho com muitos obstáculos, dentre eles pode-se citar os mais críticos, como as cabeças de impressão e tintas que não eram adequadas ao uso, entupindo com frequência e gerando baixa solidez à luz e à lavagem (HAYWARD, 2012).

Por outro lado, o mercado de mostruários e customização em massa está crescendo rapidamente. A tecnologia tem dificuldades para evoluir ao passo que possa substituir a velocidade, variedade e precisão das estampas das produções, como no caso do carrossel rotativo de quadros de serigrafia (HAYWARD, 2012).

É preciso lembrar que os esforços para melhorar o desempenho colorístico e das formas estampadas segundo os critérios de qualidade e características exigidas pelo mercado para este tipo de tecnologia, tornar-se necessário a utilização de tecidos cada vez mais bem preparados (ALFIERI, 2014).

A escolha do equipamento, tintas utilizadas e tecidos são de extrema importância para se obter um produto final de qualidade. Contudo não se pode esquecer que determinados tipos de impressões podem ser melhorados com pré-tratamentos e pós-tratamentos químicos e térmicos.

O objetivo principal desse trabalho foi realizar uma análise da influência do pré-tratamento e pós-tratamento com quitosana e sua influência na solidez da cor à lavagem em malha com composição 100% algodão com corantes pigmentados e propor um tratamento que seja tecnicamente viável e que melhore a solidez da cor da estampa à lavagem doméstica. Também foi testada a carboximetilcelulose.

2. JUSTIFICATIVA

As oportunidades para as aplicações da estampa digital aos setores têxteis e de vestuário já são vastas, mas esta é ainda uma área, em fase de crescimento, em que se abrem portas a novos percursos e a novos negócios (NEVES, 2000).

De acordo com RUTHSCHILLING e LASCHUK (2013), novos recursos visuais são constantemente incorporados pela estampa digital, como uma vantagem competitiva. Os efeitos estéticos são criados por meios de estudos de inter-relações entre modelagem e recursos tecnológicos da imagem, bem como através da utilização de combinação de várias técnicas num mesmo trabalho têxtil.

Muitas são as vantagens do processo digital, como velocidade de materialização da estampa do computador para o tecido, habilidade de impressão de indeterminado número de cores e detalhes, ausência de gastos com matrizes, resposta rápida à demanda de mercado, versatilidade na alteração de padrões e cores, capacidade de impressão direta do CAD (NEVES, 2000).

Desde a feira da ITMA, (International Textile Market Association) de 2003, sediada em Birmingham, até a Barcelona em 2011, a velocidade de impressão dos maquinários quadruplicou, imprimindo de 400 a 600 metros quadrados por hora. O maquinário está também mais flexível, comportando mais de um tipo de corante na mesma máquina, o que aumenta igualmente a velocidade de produção (RUTHSCHILLING; LASCHUK, 2013).

De acordo com PEARSTINE (2011), alcançar total durabilidade com tintas que estampam tecidos digitalmente tem sido um sério desafio, já que a quantidade de ligante que pode ser incorporada nas tintas é limitada pela baixa viscosidade das tintas para impressoras a jato-de-tinta.

As tintas para a impressão a jato de tinta em tecidos em geral contêm um corante ou um pigmento como colorante. O requisito mais importante de tintas pigmentadas é a estabilidade da dispersão do pigmento e desempenho numa ampla gama de condições, temperaturas e tempos (XUE et al, 2006).

O ligante de uma tinta de jato de tinta pode conter um ou mais tipos de polímeros para controlar a viscosidade do sistema de tinta, para promover a formação de gotas, e para servir como um ligante para o agente de coloração, proporcionando adesão à superfície de impressão pela formação de uma película localizada (LEACH et al, 1993).

De acordo com CHOI (2005) devido ao alto grau de pureza das tintas utilizadas na estampa digital nenhum produto químico utilizado na estampa a quadros pode ser utilizado na formulação direta das tintas. Por isso, para se obter um melhor resultado na solidez da cor à lavagem, os tecidos de algodão necessitam de pré-tratamentos para serem estampados.

CHOI preparou uma pasta com quitosana, ureia e bicarbonato de sódio, aplicou por foulardagem com pick-up de 80% em um tecido plano, contendo 100%, em peso, de fibras de algodão, secou a 80° C e curou à 170° C por 1,5 minutos. Ele avaliou a solidez da cor a luz, solidez da cor a lavagem doméstica e a vivacidade das cores. As amostras pré-tratadas com a pasta de quitosana obtiveram uma melhora na solidez a luz e a lavagem doméstica e uma diminuição na vivacidade das cores (CHOI, 2005).

De acordo com CHOI, a avaliação da quitosana como um fixador de corantes na estamparia digital foi evidenciada e pode ser uma substituta ao alginato de sódio, porém as vivacidades das cores ficam comprometidas quando se utiliza a quitosana.

O desenvolvimento de um ligante verdadeiramente eficaz que seja adequado para estampas a jato de tinta continua a ser um grande desafio devido aos requisitos rigorosos de tamanho de partícula, distribuição de tamanho, tensão superficial viscosidade, estabilidade, compatibilidade com outros componentes das tintas, e com o sistema de impressão. Além da necessidade de se controlar a formação da gota do jato e a molhabilidade tecido (KANGWANSUPAMONKON et al, 2011).

Um método de dois passos, constituído de impressão a jato de tinta à base de pigmentos, seguida por um pós-tratamento preparado à base de quitosana foi proposto com sucesso e desenvolvido por MOMIN (2008), para a fixação de estampas à base de pigmentos de jato de tinta, quando impressa sobre tecidos de algodão. Nesse estudo constatou-se que houve quase 85% de fixação de pigmentos para tecidos de algodão com o pós tratamento à base de quitosana mesmo após 50 lavagens. Isto indicou que o pós-tratamento com quitosana pode ser utilizado como um acabamento duradouro e de que existe uma forte ligação química entre a quitosana e o algodão.

Segundo KANGWANSUPAMONKON et al (2011), a aplicação de pré-tratamento à base de quitosana para a estampa a jato de tinta propiciou uma melhora na nitidez das cores e apresenta melhorias significativas na qualidade dos tecidos estampados (impressos).

Este estudo teve por finalidade comparar o pré-tratamento e o pós-tratamento com a aplicação de quitosana em malhas de algodão e sua influência na solidez da cor a lavagem doméstica utilizando impressora digital. A quitosana foi aplicada como pré e pós-tratamento na malha utilizando o Foulard e processo de espalmagem, por quadros de estampa duas tecnologias distintas e muito utilizadas na área têxtil. Também foi testada a carboximetilcelulose.

3. OBJETIVOS

Devido à percepção da mudança tecnológica e na tendência de se utilizar a estampa digital e devido a diversos fatores socioeconômicos, o objetivo principal desse trabalho foi realizar uma análise da influência de tratamentos químicos com quitosana e carboximetilcelulose na solidez da cor a lavagem doméstica em malhas de algodão utilizando impressora digital para peças confeccionadas com corantes pigmentados e, a partir dos resultados obtidos propor um tratamento considerado mais eficaz.

3.1. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo principal, foram propostos os seguintes específicos:

- Caracterizar a malha de algodão quanto à gramatura, títulos dos fios e composição;
- Realização dos tratamentos com quitosana;
- Avaliar comparativamente a solidez da cor à lavagem das malhas com aplicação de quitosana em comparação a uma malha padrão por espectrofotometria, utilizando como parâmetro o sistema CIELAB pela diferença total de cor $\Delta E L^*a^*b^*$;
- Avaliar por Microscopia Eletrônica de Varredura MEV, se a quitosana foi impregnada na malha e
- Testar um segundo polímero.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Setor Têxtil e de Confecção

O mercado têxtil e de confecção mundial é dos mais dinâmicos, realizando lançamentos constantes de produtos e serviços. Em 2014, o consumo per capita mundial de fibras era de 12,8 kg/habitante, nesse ano foram consumidas 91,9 milhões de toneladas de fibras, sendo 72% de fibras químicas e 28% de fibras naturais, como o algodão, já a produção mundial de fios, tecidos, malhas e confeccionados foi de 89 milhões de toneladas (IEMI, 2015).

O Brasil ocupa a quarta posição entre os maiores produtores mundiais de artigos de vestuário e a quinta posição entre os maiores produtores de manufaturas têxteis, possui a maior cadeia produtiva integrada do Ocidente, onde são produzidos desde as fibras até as confecções. O setor reúne mais de 26 mil empresas das quais mais de 98,7% são confecções de pequeno e médio porte, empregando cerca de 1 milhão de brasileiros (IEMI, 2015).

Ainda segundo o IEMI (2015), em 2014 o setor têxtil e de confecção faturou US\$ 53,4 bilhões, contra US\$ 54,9 bilhões em 2013, refletindo a desvalorização do Real e a queda da produção da indústria pelo quarto ano consecutivo, a indústria têxtil representa cerca de 5,6% do valor total da produção da indústria de transformação do país.

4.2. Fibras Têxteis

Não se sabe ao certo quando apareceram as primeiras fibras têxteis. Há milhões de anos, os homens primitivos utilizavam uma grande variedade de plantas e de vegetais em crescimento para fabricação de armadilhas, usadas para capturar animais, além de esteiras e cestas. As primeiras fibras eram feitas de materiais grosseiros, tais como: gramíneas, junco e cana, utilizados na confecção de telas, redes de pesca, tapetes, cordas, etc. Posteriormente, foram desenvolvidas técnicas para trabalhar materiais naturais mais sofisticados, como linho, pelos de animais, algodão e seda (SANCHES, 2011).

De acordo com MCINTYRE (1995) fibras têxteis podem ser definidas como uma matéria-prima têxtil, geralmente caracterizada pela flexibilidade, finura, com uma pequena seção transversal e elevado comprimento em relação ao seu diâmetro.

Segundo ARAUJO e CASTRO, (1996a) um material têxtil pode apresentar-se em diversas formas, como por exemplo, fibras, fios em meadas, fios em bobinas, tecidos planos, tecidos de malha, não tecidos e até mesmo artigos confeccionados. Dependendo do artigo desejado, a escolha da matéria-prima é determinante e define os processos e máquinas a serem utilizados.

As fibras podem ser classificadas em dois grupos em função de sua origem (GUILLÉN, 1991):

- Fibras naturais, que se apresentam como estão na natureza.
- Fibras químicas, que se apresentam por meio dos processos de transformação de polímeros em fibras.

De acordo com NEEDLES (1986) A indústria têxtil utiliza diferentes espécies de fibras provenientes da natureza (animal, vegetal e mineral) e as fibras químicas, que são as produzidas pelo homem por meio da dissolução ou tratamento químico de polímeros orgânicos naturais (fibras artificiais) ou pela polimerização de monômeros orgânicos (fibras sintéticas).

4.3. Fibras Naturais

As fibras naturais podem ser de origem vegetal, quando são obtidas do caule, fruto, folhas e sementes de várias espécies de plantas, como, por exemplo, linho, coco, sisal, algodão, etc. Podem ser ainda de origem animal, provenientes dos pelos de diversos mamíferos (carneiro, cabra caxemira, cabra angorá, lama, alpaca, vicunha, camelo, coelho angorá, etc.), incluindo ainda os filamentos retirados dos casulos do bicho-da-seda. Finalmente, podem também ser de origem mineral, mais precisamente o amianto, contudo, devido às suas propriedades cancerígenas, a fibra de amianto deixou de ser utilizada como fibra têxtil (GORDON, 1993). A Figura 2 mostra os tipos de fibras têxteis existentes.

Figura 2- Fibras Têxteis

Fonte: Adaptado de MORAES (2010)

- Linho

Segundo MEDINA (1959), o linho é uma das fibras mais antigas utilizadas pelo homem, tendo sido cultivado de modo sistemático há cerca de 5000 anos a.C. por antigas civilizações, nomeadamente Egípcios, Babilónicos e Fenícios, embora não se saiba ao certo a data e o lugar onde o homem utilizou pela primeira vez estas fibras.

As zonas de plantação do linho encontravam-se localizadas principalmente na Europa, procedendo as melhores qualidades da Bélgica e dos Países Baixos. Os maiores produtores, por ordem decrescente, são: China, Rússia, Ucrânia, França, Holanda, Bélgica, Egito, República Checa e Lituânia (MEDINA, 1959).

- Juta

É atribuída à Companhia Inglesa das Índias a descoberta da juta, dizendo-se que foi o botânico Roxburg, em 1792, quem primeiro estudou esta fibra sob o ponto de vista industrial. A Inglaterra monopolizou a importação da juta, recebendo de Calcutá esta fibra têxtil e exportando-a para o resto da Europa (MEDINA, 1959).

- Lã

Segundo ONIONS (1962), o emprego da lã pelo homem para sua proteção data de tempos imemoriais. O comércio da lã remonta no mínimo à Babilônia (“terra da lã”), no ano 4000 a.C. É provável que as ovelhas tenham sido o primeiro animal a ser domesticado pelo homem.

A pele das ovelhas primitivas era formada por dois tipos de pelo: por um lado, pelos longos exteriores que se usavam para cobertores e mantas e, por outro, um pelo interior muito apreciado para fabricação de artigos de vestuário (ONIONS, 1962).

- Seda

O cultivo da seda (sericultura) iniciou-se no ano de 2640 a.C., graças ao interesse de uma imperatriz (Hsi Ling Shi) pelos bichos-da-seda. A China monopolizou durante 3000 anos a produção e transformação de seda, ao ponto de apenas ser permitida a exportação de produtos manufaturados. (FONSECA, 1988)

Segundo FONSECA (1988), após os Árabes terem assimilado esta indústria, essa se propagou por todo o seu vasto império, tendo chegado, no século VIII, à Península Ibérica. No século XII, a seda já era conhecida na Itália, tendo-se desenvolvido muito o seu cultivo, atingindo o seu maior esplendor neste país no século XVIII após se ter fixado em cidades como Milão e Veneza.

No caso deste trabalho foram utilizados tecidos de malhas de algodão. O algodão está entre as mais importantes culturas de fibras do mundo. Todos os

anos, uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada por todo o planeta. O comércio mundial do algodão movimenta 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).

4.4. Fibras Químicas

Caracterizam-se fibras químicas, também conhecidas como “*man-made-fibers*” todas aquelas que não são obtidas de maneira natural, elas são produzidas por tratamentos químicos a determinados materiais, como petróleo, carvão, ou polpa de celulose (KOSLOWSKI, 1980).

As primeiras fibras químicas foram desenvolvidas e produzidas a partir de polímeros de origem natural, mais precisamente de celulose que é uma matéria-prima disponível em grandes quantidades no mundo vegetal (ANDREOLI; FRETI, 2004).

No entanto segundo ARAUJO e CASTRO (1986b) pode-se considerar como o início da Química Têxtil o ano de 1828, quando Friedrich Wohler chegou à síntese da ureia, um composto orgânico obtido por acaso. Mais tarde, a partir da descoberta de Wohler, Hermann Standinger propõe a ideia de fabricação de moléculas gigantes formadas de outras moléculas menores, dando origem às fibras sintéticas. Porém foi o americano Carothers quem realizou o desenvolvimento teórico e laboratorial das macromoléculas chegando à produção da primeira fibra de poliamida.

Em grande parte dos casos, as fibras químicas são produzidas por uma pasta de polímero que é extrudada por meio dos pequenos orifícios de uma fieira de fiação. Uma fieira é uma matriz de tamanho consideravelmente pequeno contendo vários orifícios, onde o polímero passa por cada um dos orifícios, se solidificando na forma de um filamento têxtil (GUILLÉN, 1991).

Segundo GUILLÉN (1991), a produção dessas matérias têxteis não está sujeita as oscilações às que as fibras naturais se encontram. O volume de produção pode ser expandido de acordo com a demanda.

KOSLOWSKI (1998) afirma que as fibras químicas se subdividem em dois grupos, fibras artificiais e fibras sintéticas. Fibras artificiais são formadas por macromoléculas lineares obtidas e fornecidas ao homem pela natureza, em que a matéria prima se encontra pronta na natureza, o homem por sua vez por meio de artifícios químicos, as coloca em condição de uso têxtil, enquanto as fibras sintéticas são formadas a partir de macromoléculas criadas (sintetizadas) pelo homem.

4.4.1. Fibras Artificiais

De acordo com WOODINGS (2001), as primeiras fibras artificiais eram de celulose. A partir de 1949 o homem consegue por meios químicos transformar este composto orgânico em uma matéria de consistência viscosa que pode ser transformada em filamentos com propriedades têxteis.

- VISCOSE

Segundo LEWIN e PEARCE (1998), esta fibra produz fios macios, brilhantes e sedosos. A Viscose pode ser obtida utilizando a celulose de qualquer tipo de vegetal, mas geralmente é feita a partir da polpa da madeira. Tem aplicação na linha de produtos com toque agradável, e o seu uso não costuma provocar alergias. Os tecidos produzidos têm caimento mole, e misturado a outras fibras têm o poder de torná-las mais suaves.

- ACETATO

O acetato foi uma tentativa de imitar as características da Seda natural. Diferentemente da Viscose, o Acetato necessita de uma celulose com alto grau de pureza, por isso são utilizadas fibras de algodão com comprimento não aproveitável para a fiação (GUILLÉN, 1991).

- MODAL

A fibra de modal revela-se de grande aplicação no vestuário, principalmente de camisaria e blusas. Trata-se de uma fibra artificial proveniente da modificação da estrutura molecular da celulose, esta fibra consegue assimilar características da própria fibra de algodão, como por exemplo, o aumento de resistência à tração quando úmido. A fibra de modal possui qualidades superiores a Viscose, principalmente no quesito durabilidade (WOODINGS, 2001).

- LIOCEL

Na década de 80, começaram as buscas por uma fibra artificial que fosse menos poluente, ou seja, procurava-se uma fibra que fosse totalmente biodegradável. O Liocel é uma fibra obtida a partir da celulose de árvores cultivadas com esse propósito especificamente (GUILLÉN, 1991).

4.4.2. Fibras Sintéticas

As fibras sintéticas são formadas a partir de macromoléculas criadas (sintetizadas) pelo homem, as principais fibras sintéticas são:

- POLIAMIDA

De acordo com DEOPURA (2008), foi a primeira fibra obtida por meio de síntese química, e continua sendo uma das mais importantes até os dias atuais. É também conhecida como Nylon®¹. A matéria prima é o alcatrão mineral. Durante o período da Segunda Guerra, sua produção teve um grande salto, em virtude de sua utilização para fabricação de paraquedas e outros artefatos de guerra.

¹ Nylon® é marca registrada da Dupont S/A.

- **POLIÉSTER**

Esta é uma fibra que funciona muito bem misturada a outras, já que ela não interfere nos processos de fiação. Os fios de Poliéster puros ou em misturas possibilitam a construção de tecidos leves e arejados, sem apresentar o fenômeno de esgarçamento. Uma vez depois de tinto, apresenta cores intensas, com ótima solidez. Tecidos de poliéster possuem uma reduzida capacidade de absorção, e conservam impecáveis quaisquer dobras ou pregas vincadas sob efeito do calor. Não esticam, amarrotam ou encolhem (VASCONCELOS, 2013).

- **ACRÍLICO**

Segundo FOURNÉ (1998) o acrílico foi criado, no intuito de substituir a lã natural. A grande qualidade do Acrílico é o fato de produzir fios com volume, conseguindo assim peças do vestuário com muita leveza, brilho e um aspecto de maciez. É utilizado na confecção de roupas de inverno, principalmente em malhas, mas a sua versatilidade alcança também tecidos técnicos e industriais, bem como velas para navio, toldos, barracas e lonas. São muito resistentes e não amarrotam.

4.5. Algodão

4.5.1. História do Algodão

A palavra “algodão” deriva do árabe qoton ou qutum, o que significa “uma planta encontrada numa terra conquistada”. Os vocábulos muslin, também de origem árabe, foram aplicados aos tecidos de algodão em Mosul. Escritores já descreveram este tecido como sendo tão transparente que chegava a ser invisível quando estendido sobre um fundo branco saturado de corante (AGUIAR NETO, 1996).

O algodão é uma fibra celulósica natural cuja origem é desconhecida, mas há pequena evidência de quando e onde o algodão primeiramente se originou. Há indícios de que o algodão teve origem no Egito, no ano 12.000 a. C. Foi conhecido na Índia no ano 3.000 a.C. Grande parte dos estudiosos concorda que

a Índia foi o principal país na utilização da fibra de algodão em 2500 a.C. Por séculos, acreditou-se que o algodão era um produto do Velho Mundo e que foi introduzido pelos principais exploradores. Atualmente, os cientistas têm obtido dados que indicam que os indígenas das Américas do Norte e do Sul, bem como os da Ásia e da África, já usavam as fibras de algodão para a confecção de fios e tecidos (AGUIAR NETO, 2006).

De acordo com HOLLEN, et al (1994), testes realizados com o Carbono 14 forneceram evidências de que no Peru, onde o cultivo do algodão se desenvolveu na América do Sul, ele foi usado para a fabricação de vestimentas. Logo, se pode supor que a cultura do algodão ocorreu simultaneamente em várias partes da Terra. A suposição anterior apoia-se no fato de que diferenças botânicas são evidentes entre o algodão oriental e o algodão ocidental, embora isso possa ocorrer em virtude da adaptação às diferentes condições ambientais.

4.5.2. Mercado do Algodão

A produção mundial em 2016 atingiu 22,4 milhões de toneladas, o Brasil é quinto maior produtor de algodão, mas representa apenas 6% da produção mundial. Os dois maiores produtores são Índia e China que juntos produzem 46% da produção mundial (ICAC, 2016).

O algodão representa cerca de 97% do total das fibras naturais consumidas e de 83% das produzidas no Brasil, seguido, neste último caso, em ordem de importância, as fibras de sisal, juta, lã, linho, rami e seda (IEMI, 2015).

A tabela 1 mostra a produção de fios em toneladas, segundo a natureza das principais fibras têxteis no triênio 2012-2014, em toneladas (IEMI, 2015). É possível notar que o algodão é a fibra mais utilizada na produção de tecidos.

Tabela 1 - Produção de fios por fibra em toneladas

	2012	2013	2014
Algodão	1.006.779	1.032.858	1.042.052
Poliéster	120.759	121.160	119.890
Sisal	21.504	20.441	20.658
Acrílico	24.677	15.900	14.293

Fonte: IEMI, 2015

4.5.3. Processo de obtenção das fibras de Algodão

Os diversos tipos de algodoeiro distinguem-se, principalmente, pela altura da planta, a finura e o comprimento das fibras. Os tipos de algodão perdem suas propriedades quando plantados repetidas vezes. Este fato obriga a uma nova escolha e ao cruzamento de tipos sempre renovados. O algodão se desenvolve adequadamente nas zonas costeiras das regiões tropicais (ARAUJO e CASTRO, 1986a).

Segundo TROTMAN (1984), o algodoeiro é ameaçado por uma série de insetos nocivos. Suas larvas destroem brotos e capulhos, causando enormes prejuízos. Os principais produtores mundiais de algodão são: Brasil, Egito, Estados Unidos da América do Norte, Índia, Paquistão e República Popular da China.

Segundo HOLLEN et al (1994), a fibra do algodão se desenvolve na epiderme, na parede mais externa da semente. Cada fibra é formada pelo crescimento de uma única célula dessa epiderme, que se alonga inicialmente até seu crescimento máximo. A parede celular vai engrossando pelo depósito dos anéis nas camadas internas. Cada anel de celulose consiste na realidade de duas camadas, uma camada sólida e compacta e uma camada porosa. Este depósito de anéis demora de 65 a 70 dias, quando ocorre a abertura dos capulhos e o período correto para a colheita.

Na maioria dos tipos de algodão, quando o capulho se rompe ao cabo de seu desenvolvimento e as fibras saem brotando, chegou o momento da colheita, que é realizada várias vezes devido a variação do tempo de amadurecimento das fibras. A Figura 3 mostra os capulhos de algodão.

Figura 3- Capulho de algodão

Fonte: Ioelovich e Leykin, 2008

Após a colheita, a fibra é descaroçada e embalada em fardos. O descaroçamento do algodão (processo de separação da fibra da semente) até o século XVIII era realizado manualmente, até a invenção do descaroçador mecânico. Na separação o descaroçador remove matérias estranhas à fibra, tais como sujeiras, pedaços de cascas, folhas, etc (IOELOVICH; LEYKIN, 2008).

AGUIAR NETO (2006) afirma que o descaroçador de rolos é ainda usado para certas fibras longas, porém o mais usado talvez seja o descaroçador de serras. As sementes podem ser reaproveitadas para um novo plantio (prática não muito usual) ou para a extração de óleo comestível. As fibras ou “lints” (ou algodão em pluma) serão enfardados em embalagens de cerca de 200 quilogramas. As Indústrias têxteis recebem as fibras na forma desses fardos e as transformam em fios e em tecidos.

4.5.4. Morfologia do Algodão

O algodão é composto em sua maior parte de celulose, que é um polissacarídeo composto de carbono, oxigênio e hidrogênio, sendo sua fórmula química $(C_6H_{10}O_5)_n$, conforme Figura 4. Durante a síntese da celulose, as ligações poliméricas formam longas cadeias de maneira que as moléculas ficam próximas por meio de longos segmentos, originando fortes ligações químicas secundárias intermoleculares, as quais são responsáveis pela grande resistência

dos materiais celulósicos. A cristalinidade da celulose pode variar de acordo com sua origem e seu processamento. No caso do algodão a cristalinidade é em torno de 70%, com cadeias ordenadas (TOMCZAK, 2010).

Figura 4- Molécula de celulose

Fonte: TOMCZAK, 2010

MORAES (2010), afirma que depois da celulose, a cera tem grande importância na fibra de algodão, sendo esta responsável pelo controle de absorção de água pela fibra, atuando ainda como lubrificante entre as fibras durante os processos de estiragem na fiação. O algodão é praticamente composto por celulose 88,0 a 96,0%; pectinas 0,7 a 1,2%; cera 0,4 a 1,0 %; proteínas 1,1 a 1,9 %; cinzas 0,7 a 1,6 % e outros compostos orgânicos - 0,5 a 1,0%. As quantidades acima citadas podem variar de acordo com a região produtora, forma de plantio e colheita. Tais variações podem ocasionar diferenças de cores quando se processa em uma mesma partida fios de diferentes fornecedores.

O crescimento e a maturação das fibras de algodão permitem a obtenção de uma fibra com estrutura cônica formada pela deposição sucessiva de camadas concêntricas, que promovem uma estrutura microscópica na forma de fibras contorcidas (IOELOVICH e LEYKIN, 2008).

Figura 5- Corte longitudinal e corte transversal das fibras de algodão

Fonte: IOELOVICH e LEYKIN, 2008

Na Figura 5 observa-se os cortes longitudinal e transversal da fibra de algodão e na Figura 6 a estrutura da fibra do algodão, em que:

- (a) são as camadas de celulose externa conhecida como cutícula;
- (b) são as camadas centrais de celulose;
- (c) são as camadas internas conhecidas como lúmen;
- (d) são as camadas de origem celular;
- (e) são as camadas de lúmen

Figura 6- Esquema celular da fibra do Algodão

Fonte: IOELOVICH e LEYKIN, 2008

De acordo com TOMCZAK (2010) as fibras de algodão podem variar de forma de acordo com as condições climáticas (mais ou menos chuvas), ataque de insetos, colheita antecipada ou tardia. As variações podem ser observadas por meio dos cortes transversais.

Figura 7- Maturidade das fibras de algodão (a) madura, (b) imatura, (c) morta.

Fonte: Adaptado de MORAES, 2010

Na Figura 7a pode-se observar o formato das fibras maduras que são de melhor qualidade e as ideais, para se processar. Em um lote de algodão as fibras maduras podem variar de 70 – 80%, o restante se divide entre as fibras imaturas 7b que tingem de forma diferente da madura e as mortas 7c que não tingem. Problemas de qualidade referente à maturidade do algodão são evitados na fiação, fazendo-se uma boa mistura das fibras durante a produção do fio (MORAES 2010).

4.5.5. Propriedades do Algodão

A Tabela 2 mostra as características das fibras de algodão.

Tabela 2 - Característica da celulose nas fibras de algodão

Celulose – Algodão	
Preparação	Biogênese em plantas
Propriedades	Peso Molecular: 10^5
	Densidade: $1,56 \text{ g.cm}^{-3}$
	Cristalinidade: policristalino
	Temperatura de transição vítrea: n/d
	Temperatura de fusão: 270°C (decompõe-se)
Observações	Boa resistência ao calor, alta absorção de umidade, atacável por microrganismos
	<i>Gossypium sp.</i> , planta da família das Malváceas.
	A morfologia da fibra de algodão permite sua identificação. A longitudinal se assemelha a um cadarço com dobras e a seção transversal lembra um grão de feijão, com um orifício central e achatado, o lúmen.

Fonte: MANO e MENDES, 2010

De acordo com SANCHES et al. (2013), o algodão é insolúvel em água, não tem sabor, é um hidrato de carbono não redutor e um polissacarídeo de alta massa molar. A cadeia de celulose é composta de moléculas de glicose.

Segundo MORAES (2010), o algodão possui fraca resistência aos ácidos e boa aos álcalis. É branqueado com peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio e clorito de sódio. Pode ser atacado por mofo e bactérias e se solidifica em cuproetilenodiamina e ácido sulfúrico a 75%. É lentamente atacado pela luz solar, perdendo resistência e amarelado após prolongadas exposições.

A fibra de algodão decompõe-se a 150°C e amarelece ao calor contínuo a partir de uma temperatura de 120°C . É uma fibra higroscópica, isto é, absorve a umidade do ambiente e possui Regain (Taxa de umidade da fibra à 20°C e com 65% de umidade) (MANO e MENDES, 2010).

4.6. Fiação

Fio é um termo genérico para uma mecha contínua de fibras têxteis, para tecelagem, malharia ou outra forma de entrelaçamento para a formação de um tecido (MALUF, 2003).

FELIPE (2007), afirma que o processo de fiação pode ser definido como uma sucessão de operações através das quais se transforma uma massa de fibras têxteis inicialmente desordenadas (flocos) em um conjunto de grande comprimento, cuja seção possui algumas dezenas de fibras mais ou menos orientadas e presas a si mediante torção.

O primeiro passo na fiação de fibras descontínuas é a abertura dos fardos de fibras. As fibras são transportadas, em geral por via pneumática, passa por máquinas de limpeza, para separação de objetos estranhos e pó e chega até a carda, onde as fibras são abertas paralelizadas e unidas em forma de mecha ou fita. Em seguida vão sofrer uma série de estiragens de modo a reduzir a densidade linear da massa de fibras e homogeneizar a mistura. Como etapa final a massa de fibras vai ser torcida para ganhar consistência e resistência à tração (PEREIRA, 2010).

As mechas das fibras saem das cardas e vão para o passador, onde são duplicadas juntamente com outras mechas e unidas para formar novamente uma mecha, essa função serve para reduzir a variação de massa por unidade de comprimento. Após isso, as mechas vão para a maçarqueira para levar uma pequena torção em forma de pavio, depois enrolado em espulas através de um anel no filatório, conforme Figura 8. Na etapa final, passam das espulas para o cone através da conicaleira. O fio fabricado por esse método é chamado de cardado (SOUZA, 2011).

Figura 8: Mecanismo de enrolamento do fio em um filatório anel. Em que: (1) é o fuso, (2) é a espula, (3) é o fio, (4) o viajante, (5) o anel e (6) o enrolamento.

Fonte: SOUZA, 2011.

Com a fiação convencional também é possível produzir fios penteados. A diferença consiste na adição da penteadeira, cuja função é a de retirar fibras curtas o que resulta na produção de fios de melhor qualidade e maior resistência, além de permitir a produção de fios mais finos (GESKE, 2009). O fluxo completo de produção de fios convencionais pode ser observado na Figura 9.

Figura 9- Fluxo de produção de fios convencionais

Fonte: Adaptado de GESKE, 2009.

4.7. Malharia

Para SPENCER (2001), tricotar é a arte de construir tecidos utilizando agulhas, entrelaçando os fios em diversas séries de laçadas (malhas), que se ligam umas às outras.

Na malharia o tecido é obtido por meio do entrelaçamento de laçadas (malhas), formadas pelos fios que o compõem. Os pontos de ligações são móveis, uma vez que essas laçadas podem deslizar uma sobre as outras quando o tecido é tracionado (SANCHES et al., 2010).

A malharia se subdivide de acordo com a Figura 10:

Figura 10- Subdivisões da malharia

Fonte: VASCONCELOS et al, 2013.

As camisetas são produzidas a partir de tecidos de malha por trama circular. Segundo CESTARE (2010), a malharia de trama circular é a principal de todas, é usada para produzir tecidos de malha com diversos tipos de ligamentos, cores, fios e fibras e possui alta capacidade para grandes produções.

De acordo com VASCONCELOS et al (2013), os artigos produzidos em malha de trama são obtidos a partir de fios que fazem evoluções em diversas agulhas formando laçadas que irão se entrelaçar com laçadas da carreira seguinte. Essas laçadas (ou malhas) de formato senoidal sustentam-se entre si e são livres para se mover umas sobre as outras quando submetidas à tensão, seja no sentido da largura, seja no sentido do comprimento artigo.

4.7.1. Ligamento meia-malha

O ligamento meia-malha, mostrado na Figura 11, é a estrutura mais simples produzida em malharia de trama, onde todas as agulhas sempre fazem malha. É o tipo de malha mais produzido em malharia de trama circular com ampla aplicação, sendo que uma das principais é em camisetas.

Figura 11- Estrutura da meia-malha

Fonte: Vasconcelos et al, 2013

4.8. Confeção

É o setor que constitui o produto final da cadeia produtiva têxtil vestuário. As confecções abrangem roupas de malha, vestuário e acessórios de tecidos, roupas de cama, mesa, banho, copa, sacos e sacolas para embalagem, cobertores e outras manufaturas, tais como tapetes e rendas, dentre outros (ARAÚJO e CASTRO, 1996b).

4.8.1. Processo produtivo para as confecções

O Processo Produtivo para confecções é uma sequência operacional que se inicia no planejamento da coleção e desenvolvimento do produto, passando por toda a produção até a expedição (BIERMANN, 2007).

A qualidade final do produto depende da qualidade em cada etapa do processo. A gestão do Processo Produtivo é de extrema importância para a indústria de confecção e deve ser realizada interligando todas as suas etapas (BIERMANN, 2007).

Enfesto

É a operação pela qual o tecido é estendido em camadas, completamente planas e alinhadas, a fim de serem cortadas em pilhas. O enfesto é feito sobre a mesa de corte que deve ser perfeitamente horizontal e ter no mínimo 10% a mais do comprimento do enfesto para o movimento das máquinas do corte (LIDÓRIO, 2008). É importante não deixar sobras exageradas nas larguras e pontas do enfesto, pois aumentam o desperdício de tecido.

Corte

Depois de realizado o enfesto, passa-se para a etapa de corte do tecido. Sobre o enfesto será posicionado o risco marcador para o qual foi programado. O operador de corte, guiando-se pelos traços do molde registrados, realizará o corte do enfesto através de uma máquina de corte (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1980).

O objetivo do setor de corte é alimentar o setor de costura com as quantidades necessárias para a produção, com os modelos adequados e de qualidade e no tempo correto. A unidade de corte funciona como um programador do setor de costura (LIDÓRIO, 2008).

O trabalho no setor de corte inicia-se com o recebimento das ordens de corte provenientes do setor de Planejamento e Controle da Produção PCP, em seguida inicia-se o processo de corte de acordo com as prioridades estipuladas.

Após as peças terem sido cortadas, estas deverão ser identificadas (no mínimo com o tamanho correspondente) e separadas adequadamente para facilitar o manuseio durante as operações de costura, bem como garantir a qualidade do produto final.

- Costura (ou montagem)

O setor de costura é a seção onde as partes principais da peça serão montadas ou costuradas. É a seção onde são executadas todas as operações de costura que reúnem as partes componentes maiores dando forma ao produto (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1980).

Na sala de costura as partes bidimensionais previamente cortadas são montadas de forma a produzir uma peça tridimensional. Esta operação é complexa, sobretudo no que diz respeito à manipulação do material durante a costura e, por conseguinte, difícil de automatizar (ARAÚJO; CASTRO, 1996b).

ARAÚJO; CASTRO (1996b), também afirmam que para produzir determinado tipo de costura é necessário utilizar a máquina certa, convenientemente regulada e com acessórios próprios para a produção desse tipo de costura de forma mais eficaz e no mais curto espaço de tempo.

Limpeza da peça e inspeção

A etapa de limpeza é responsável pela retirada de fios e revisão final das peças (BIERMANN, 2007). Terminada a peça, com todas as suas operações de costura e acabamento executadas, é realizada uma inspeção e limpeza, retirando pontas de linha (ANDRADE FILHO e SANTOS, 1980).

Segundo ARAÚJO e CASTRO (1996b), a inspeção normalmente é realizada após a peça pronta, com o objetivo de controlar a qualidade dos produtos e verificar a conformidade com a amostra e especificações pré-estabelecidas. Este controle pode ser realizado sobre a totalidade das peças ou por amostragem. O operário revista os dois lados da peça confeccionada, controlando as dimensões, a qualidade de execução das costuras e defeitos. Também existem revisões intermediárias, afim de evitar que peças com defeitos continuem sendo costuradas nas etapas seguintes.

4.8.2. Camisetas

Segundo JOFILLY (1988), as primeiras camisetas apareceram no Brasil através dos colonizadores, “era coisa de português”, usada como roupa de baixo, com a finalidade de poupar a camisa dos efeitos da transpiração ou proteger do frio. No Brasil, em 1880 foi aberta a primeira empresa no gênero, os irmãos Hermann e Bruno Hering fundaram a Companhia Hering em Blumenau. A família, proveniente de Chemnitz, na Saxônia, Alemanha, já possuía uma sólida tradição no ramo e se fixaram na produção de meias e de camisas-de-meia voltadas para atender aos imigrantes.

Segundo JOFILLY (1988), a camiseta nos anos 60 passou a caracterizar a rebeldia de uma geração por jovens ativistas do movimento antinuclear, principalmente na Inglaterra, escreviam palavras de ordem em suas camisetas “Ban the bomb” e nos Estados Unidos “Make love not war” em protesto contra a guerra do Vietnã. A partir dos anos 70, as camisetas de malha passaram a integrar os uniformes de várias escolas no país, suas características de elasticidade e seu baixo custo, foram determinantes, por proporcionar maior conforto e facilitar o acesso às camadas menos favorecidas da população.

No Brasil atualmente as camisetas representam 40% do vestuário comercializado. O consumo de camisetas alcançou em 2013 a cifra de mais de R\$ 32 bilhões. Desse volume, as camisetas masculinas participam com 15,82% o que representa pouco mais de R\$ 12 bilhões. Já o infantil alcança a soma de pouco mais de R\$ 5 bilhões, aproximadamente 6,65% do consumo de roupas no Brasil. E as camisetas, blusas e camisas femininas alcançam o volume de R\$ 14 bilhões (17,57%) do mercado doméstico de roupas (IBGE, 2013).

O mercado brasileiro de camisetas apresenta volumes nada desprezíveis. Entre grifes que cobram R\$ 200 reais por uma peça e outras que as vendem por preços populares, o Brasil comporta a produção e a venda de, aproximadamente, 750 a 800 milhões de peças anualmente, gerando mais de 500 mil empregos diretos. Fazendo as contas, cada brasileiro teria uma média de oito novas camisetas por ano, uma proporção que muitos segmentos estão longe de alcançar (DUALIBI, 2015).

É um mercado que tem seu consumo distribuído entre homens e mulheres, com uma proporção de aproximadamente 70% para o público masculino e 30% para o feminino. As classes A e B respondem por 35% das vendas, a classe C por 40%, sendo o restante dividido entre as classes D e E. O consumo por faixa etária revela um público predominante de jovens: 25% dos consumidores são crianças até 10 anos, 45% são jovens dos 11 aos 24 anos, 20% de 25 a 34 anos e 10% acima de 35 anos (SEBRAE, 2014). As camisetas geralmente são estampadas.

Segundo RUTHSCHILLIN e LASCHUK (2013), denomina-se estamparia o conjunto de métodos de transferência de cores, desenhos, texturas, grafismos ou imagens para superfícies têxteis. Estamparia, como processo de embelezamento e de diferenciação de tecidos, utiliza inúmeros processos para obter resultados distintos, explorando cada técnica com suas características, vantagens, limitações e diferenças.

4.9. Teoria da cor

A cor é um fenômeno fascinante. Sua presença no mundo visível exerce incontestável atração sobre nós, despertando sensações, interesse e deslumbramento. A cor representa uma ferramenta poderosa para a transmissão de ideias, atmosferas e emoções, e pode captar a atenção do público de forma forte e direta, sutil ou progressista, seja no projeto arquitetônico industrial (design), gráfico, virtual (digital), cenográfico, fotográfico ou cinematográfico, seja nas artes Plásticas (BRUSATIN, 1987).

A cor é um fenômeno físico, não tem vida própria; só existe cor se houver luz. Os conhecimentos advindos da física demonstram que a luz é incolor. A cor nada mais é do que a sensação, não é matéria, não existe por si mesma, somente se torna cor quando passa através do estruturado espectro visual. É preciso a interação de quatro elementos para que a sensação da cor seja causada: fonte de luz, objetos coloridos, os olhos e o cérebro de um observador

humano. Portanto, a cor existe a partir do indivíduo que a percebe, do objeto que a reflete e da presença da luz (GOETHE, 1993).

Segundo LADCHUMANANANDASIVAM (2002), a colorimetria, uma convenção aceita internacionalmente sobre o plano tecnológico, expõe o pressuposto de que a cor na realidade não é medida, tratando-se de uma sensação eminentemente individual, além de um suposto “olho normal” diferente de observador para observador. No processo da colorimetria, as cores distinguem-se segundo três parâmetros: brilho, tom e saturação.

De acordo com SILVA E MARTINS (2003), brilho sob o plano descritivo é a clareza de uma cor, se refere a causa física, a intensidade, a luminosidade. A intensidade é o índice de energia física presente na luz, que pode ser medido pela eletricidade gerada na fotocélula de um fotômetro. Portanto, aumentando a intensidade, aumenta a luminosidade, no sentido que um ponto de energia luminosa nos parece mais brilhante, mais claro.

Tom de uma cor, sob o plano da causa física, refere-se à extensão da onda, e sob o plano do efeito psicológico refere-se a tonalidades. No processo do tom, os físicos chegaram à conclusão que além da luz visível, da parte violeta, haverá os raios ultravioletas; da parte do vermelho, o campo do infravermelho e ainda as ondas ultracurtas, curtas, médias e longas. Os campos do ultravioleta e do infravermelho são denominados caloríficos, sendo invisíveis, limitando, portanto, a extensão da onda de luz visível, variando a tonalidade do ponto luminoso passando do vermelho ao laranja, ao amarelo, ao verde, ao azul, ao índigo, ao violeta (SILVA e MARTINS, 2003).

A saturação das cores é introduzida para indicar a cor pura. Neste caso a causa física é a pureza da cor: o efeito perceptível é a sua saturação. A pureza de uma luz refere-se ao grau de predominância de uma extensão da onda na qual a luz é descomposta pelo prisma. Com a luz de uma única extensão de onda, a cor aparece forte, consistente; com o acréscimo de outras extensões de onda a cor aparece diluída (LADCHUMANANANDASIVAM, 2002).

O procedimento de atuação de todas as cores utilizadas em estampas dos tecidos, por meio da tricromia de base, é dado sobre o plano operativo por duas sínteses - aditivas e subtrativas, segundo PEZZOLO (2007).

A Síntese Aditiva é obtida através da projeção de três fontes luminosas separadas, colorida com uma das três cores fundamentais tricromia: vermelho, verde, azul. Sobre a tela o protetor preto se vê as três cores fundamentais. A supra posição das cores dá à luz branca. Sobre a tela, o preto é percebido onde nenhum projeto envia a luz (FEITOSA et al, 2006). A Síntese Aditiva está representada na Figura 12.

Figura 12- Síntese aditiva

Fonte: YAMANE, 2008

Segundo FEITOSA et al (2006), a Síntese Subtrativa é obtida através da projeção de uma só fonte luminosa branca, colocando entre a fonte e a tela branca dos filtros coloridos. Nesta síntese as cores dos três filtros usados são: amarelo e magenta, o verde dos filtros amarelo e centáurea, o azul dos filtros centáurea e magenta. É o procedimento inverso, portanto, da síntese aditiva. Se todos os filtros são superpostos à luz branca, toda a luz é absorvida, tirada, e se tem o preto. A Síntese Subtrativa está representada na Figura 13.

Figura 13- Síntese subtrativa

Fonte: YAMANE, 2008.

A mistura subtrativa é mais importante do ponto de vista tecnológico da aditiva, já que é à base de todos os sistemas de impressão e de fotografia a cores. É importante salientar que na impressão a cores o método que triunfou foi aquele da quadricromia, no qual normalmente são usadas como cores fundamentais o vermelho, o amarelo e o azul, enquanto que o preto é usado como equilibrador das tonalidades e revelador das imagens (YAMANE, 2008).

A Comissão Internacional de L'Eclairage – CIE (1986), desenvolveu métodos para expressar numericamente as cores, sendo que o de mensuração cromática $L^*a^*b^*$, descrito em 1976, considera três eixos espaciais perpendiculares entre si, cujos pontos fornecem diferenças numéricas mais uniformes em relação às diferenças visuais. O sistema de cores CIE $L^*a^*b^*$ é constituído pelos seguintes parâmetros que definem a cor: L^* , a^* e b^* . São três coordenadas, onde L^* é referente à luminosidade do objeto a ser avaliado, podendo variar do preto ao branco, a^* é a medida do croma no eixo vermelho-verde e b^* é a medida do croma no eixo amarelo-azul. Assim, as informações poderão estar disponíveis como $L^*a^*b^*$, valor, croma e matiz.

Figura 14- Espaço de cor CIE L* a* b*

Fonte: TAKATSUI, 2011.

A Figura 14 permite verificar que o valor de L* será igual a zero para denotar o preto, enquanto o branco total tem um valor de L* igual a 100. Os outros componentes cromáticos representam a variação de matiz e croma. O eixo a* é medido do avermelhado (a* positivo) ao esverdeado (a* negativo). O eixo b* é medido de amarelado (b* positivo) ao azulado (b* negativo). As coordenadas a* e b* se aproximarão do zero para as cores neutras (branco, cinza) e aumentam em magnitude para cores mais saturadas (TAKATSUI, 2011)

No sistema CIE L*a*b* a diferença total de cor ΔE^* , se dá pela comparação da leitura de cor entre a amostra e o padrão, e integra a diferença de cor das três coordenadas utilizadas (NEVES, 2000).

O cálculo é realizado segundo a equação 1:

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

Em que:

ΔL^* = Diferença de luminosidade

Δa^* = Diferença cromática no eixo vermelho/verde

Δb^* = Diferença cromática no eixo amarelo/azul

4.10. Estamparia

A finalidade da verdadeira estamparia é a de tornar o tecido mais atraente e chamar a atenção de um possível usuário e, claro, a de renovar a moda permanentemente e conquistar novas posições no mercado consumidor (CHATAIGINIER, 2006).

O design de superfície em estamparia têxtil assume então um papel importante quando se trata da moda, visto que os tecidos estampados são uma das possibilidades de diferencial para seus produtos, e desempenham um papel forte e importante em qualquer coleção de moda (MACIEIRA e RIBEIRO, 2007). Neste contexto, os acabamentos baseados em estampas representam um meio importantíssimo para agregar valor aos tecidos lisos (POMPAS, 1994).

A estamparia utiliza em seus processos manuais, mecânicos e automatizados pigmentos, que são partículas insolúveis empregadas na fabricação de tintas que se depositam sobre a superfície dos tecidos, não reagindo quimicamente as fibras (NEVES, 2000).

O processo de estamparia mais utilizado é a estamparia convencional a quadros, popularmente conhecida como silkscreen trata-se de um processo, em que a impressão consiste em forçar uma pasta de impressão viscosa através das áreas abertas da tela com um rodo de borracha flexível. A pasta contendo pigmentação transfere a cor ao tecido, onde cada tela normalmente corresponde a uma cor (MILES, 1994).

De acordo com ALFIERI (2007), a estamparia a quadros possui a vantagem de se adaptar a todo tipo de matéria-prima, pois a tinta a ser aplicada é preparada fora do processo e as telas por serem de poliéster e lavadas a cada término de produção dificilmente limitam o uso da matéria-prima.

Existem diversas técnicas utilizadas hoje em dia, a escolha de cada uma depende da matéria-prima utilizada, técnica a ser empregada (*foil*, *flocagem*, *silk* base d'água, *plastisol*, etc.) e qualidade do produto desejada.

Segundo ANDREONI (2008) a estamparia está colocada como fornecedor ou prestadores de serviços, quando ela não faz parte do processo produtivo da empresa. Algumas empresas mantêm apenas a parte de desenvolvimento interno e toda ou parte da cadeia produtiva ela terceiriza. Outras adotam verticalizar a produção, com o intuito de reduzir custos ou buscar um produto diferenciado, personalizado e desenvolver novas técnicas.

O fluxo da cadeia de estamparia apresentado na Figura 15 demonstra que a estamparia pode ser realizada antes do início da confecção como estampa corrida em rolos de tecido, além disso, pode ser realizada durante o processo de confecção, com a peça ainda aberta, podendo a estampa ser localizada ou corrida, e, pode ainda ser realizada após o fechamento da peça e neste caso só é possível aplicar estampas localizadas. A figura mostra que a estamparia pode fazer parte do fluxo de produção dentro da empresa, como também pode ser realizada por terceiros, sendo que os setores de criação e aplicação da estampa podem vir de fornecedores distintos, ou seja, um é responsável pelo desenvolvimento da estampa, criação de desenhos e escolha de cores e outro é responsável pela execução, a aplicação da estampa propriamente dita ao artigo. Ainda é possível que o artigo têxtil percorra toda a cadeia e seja comercializado sem estampa, e que essas sejam desenvolvidas de forma personalizada para o varejo, como é o caso de camisetas promocionais, uniformes escolares, entre outros (Andreoni, 2008).

ESTAMPARIA TÊXTIL COMO FORNECEDOR NO FLUXO DA CADEIA E SUA LOCALIZAÇÃO EM ARRANJOS PRODUTIVOS VERTICALIZADOS

A estampa a quadro é o processo de impressão usado no Oriente desde o século VIII, teve início no setor têxtil e é conhecido como serigrafia ou *silk-screen*, que significa tela de seda. Originalmente, as telas eram confeccionadas em seda, por ser esta uma matéria-prima fina e leve, própria para ser esticada em molduras de madeira. A partir da década de 1940, com o desenvolvimento das fibras químicas, a poliamida e o poliéster foram sendo incorporados na montagem dos quadros, substituindo as telas de seda, assim como, as molduras dos quadros, que também poderiam ser fabricados em alumínio ou aço (PEZZOLO, 2007).

Também chamado de *silk-screen*, esse processo utiliza uma matriz de tecido para reproduzir uma imagem. É nessa tela que são gravadas as imagens

para que depois possam ser reproduzidas, vide Figura 16. A diferença para os outros processos é que a serigrafia é o meio de impressão mais simples de todos. Envolve os menores custos de implantação, sendo o único que pode imprimir sobre qualquer formato e em qualquer material (NEVES, 2000).

Figura 16- Sistema de quadros

Fonte: VIEIRA, 2014

Para as estampas localizadas, os quadros também são desenvolvidos da mesma forma, porém em tamanhos menores visto que serão estampados em peças prontas já confeccionadas, ou abertas, o que significa estampar antes de costurar as partes de frente ou verso, golas, mangas etc. Deste modo, não há a necessidade de preocupação com encaixe ou repetição dos módulos, visto que, o desenho é estampado diretamente em peças cortadas ou mesmo nas já prontas, conforme Figura 17.

Figura 17- Camisetas estampadas após terem sido costuradas

Fonte: CANDIDO, 2009.

Na estamparia convencional, cada cor representada em um desenho, no qual precisa ser estampado com quadros diferentes, por exemplo, se um desenho possuí quatro cores, serão necessários quatro quadros, consequentemente todos os processos serão repetidos quatro vezes, fotolitos, confecção dos quadros, preparação das tintas, marcação da mesa, marcação dos quadros, batidas, lavagem dos quadros e fixação térmica (VIEIRA, 2013).

O tempo de preparo da mesa de para estampar, levando em conta todos os processos desde a separação do corte até o ato de estampar propriamente dito é muito demorado o que leva o processo a ser muito mais rentável em grandes quantidades.

Apesar de ser um processo de preparação demorado, é muito simples e qualquer pessoa que aprender um pouco sobre o assunto pode montar uma pequena estamparia em casa. Com um berço (mesa), alguns quadros e os produtos químicos corretos (incluindo tintas), a estamparia convencional pode funcionar (PEZZOLO, 2007).

Segundo ALFIERI (2007) a estamparia convencional permite o desenvolvimento de diversas técnicas especiais, principalmente devido ao fato da pasta ser preparada externamente e sob encomenda. Pode-se obter cores, texturas e desenhos diferentes, variando o tipo de processo, por exemplo, a

estampa por corrosão, estampa de relevo, flocado, foil e estampas cromotrópicas.

As estampas cromotrópicas, utilizam pigmentos que mudam de cor conforme a temperatura, podendo ser utilizado em vestuários esportivos, de segurança, de uso técnico na engenharia mecânica (para determinar as temperaturas das peças em movimentos e até mesmo uso medicinal (Neves, 2000).

Estampas em relevo ou “puff”, são obtidas a partir de preparações estabilizadas de poliuretano, que submetidas ao calor inflam devido a liberação de gás carbônico. As estampas relevo ainda podem ser combinadas com outras técnicas, como por exemplo, o papel foil (ALFIERI 2007).

De acordo com ALFIERI (2007), a estampa por corrosão ou devoré, age destruindo parte da matéria-prima formando o desenho desejado. Normalmente é utilizada em mistura de fibras celulósicas com químicas, onde é corroída a fibra celulósica por hidrólise e carbonização, deixa uma textura mais fina de fibras química na parte estampada.

4.10.2. Estamparia Digital

Considera-se estamparia digital todos os métodos em que as imagens são geradas ou digitalizadas em meio eletrônico e que a transferência da arte para o tecido não necessite da intermediação de matrizes, nem de separação de cores e que a impressão ocorra sem o contato do equipamento no tecido (RUTHSCHILLING e LASCHUK, 2013).

A impressão digital de têxteis cresceu a partir de tecnologias de reprografia originalmente desenvolvidas para papel e sinalização gráfica, e agora oferece as mesmas vantagens para a indústria têxtil que a produção digital proporciona aos papéis e banners de empresas de impressão (MACEDO, 2008).

Para os designers e empreendedores individuais é análogo ao surgimento de impressão eletrônica, embora mais caro. A razão pela qual a tecnologia tem demorado a despontar na indústria têxtil foi devido a necessidade de desenvolver tintas adequadas e impressoras de grande formato especificamente projetadas

para acomodar tecidos, bem como tecidos com elasticidade. O surgimento das impressoras têxteis digitais de grande formato, como a Mimaki² em 1998, e em seguida a liberação de impressoras à escala industrial em 2003 por empresas como a Konica Minolta³, Reggiani⁴, Robustelli⁵ e Dupont⁶, significa que existe agora a possibilidade de alterações importantes nas indústrias têxteis e de moda em termos de aumento de velocidade e capacidade a longo prazo. A introdução da impressora ISIS por OSIRIS em 2008 pode até mesmo rivalizar com a de tradicional serigrafia rotativa (BOWLES e ISAAC, 2012).

A impressora ISIS alcançou uma velocidade de produção de 1700 metros lineares por hora a 300 dpi de resolução, velocidade muito próxima a estamparia rotativa (silk-screen), que gira em torno de 1800 a 2400 metros lineares por hora (RYALL, 2010).

O processo de estamparia digital têxtil está baseado na impressão a jato de tinta tipo, no qual as gotas de tinta são expelidas por pequenos orifícios e direcionadas imediatamente para o substrato para formar a imagem.

Segundo RYALL (2010) existem dois sistemas de impressão a jato de tinta: *Continuous Ink Jet* (CIJ) e *Drop on Demand* (DoD), ambos os quais foram estudados e usados para soluções de impressão a jato de tinta têxtil. Estes dois sistemas estão relacionados com a tecnologia de cabeça de impressão. Com a evolução contínua da tecnologia e os produtos químicos de tinturaria e estamparia, a aplicação mais utilizada em toda a indústria é o DoD, especificamente piezoelétrico.

O método CIJ, ilustrado na Figura 18, utiliza uma corrente contínua constante de tinta, que é impressa sobre um tambor rotativo com o substrato sobre o mesmo e as gotas de tinta em excesso passam para o tecido ou são bombeadas para um reservatório e recicladas.

² MIMAKI ENGINEERING CO., LTD.

³ Konica Minolta Business Solutions Europe GmbH

⁴ Reggiani Macchine

⁵ F.Ili Robustelli S.r.l.

⁶ DuPont™

O método binário de jato de tinta não se limita a um determinado corante e é capaz de utilizar uma grande variedade de tipos de corantes para uma variedade de matéria-prima. Este método usa apenas um ponto de impressão por bico e as gotas que não são carregadas para a impressão são bombeadas de volta para o reservatório (MACEDO, 2008).

Figura 18 – Método CIJ

Fonte: LOPES (2009)

A tecnologia CIJ foi a primeira impressora têxtil a ser vendida para uso comercial. A impressora Stork TruColor⁷ foi lançada em 1991 na ITMA (Exposição Internacional de Máquinas Têxteis). Ela foi líder em impressão a jato de tinta para a produção e prototipagem de têxteis em pequena escala. No entanto, com as inovações em tecnologia DoD foi notada mais tarde que estas impressoras foram vistas a ser menos flexíveis, geralmente mais caras do que a impressão a jato de tinta DoD e surgiram problemas com a tecnologia de reciclagem da tinta (GREGORY, 2003).

Embora a tecnologia CIJ tenha sido vista como um método relativamente confiável de impressão, a tecnologia de corantes químicos para DoD avançou ainda mais. Tanto, que a tecnologia DoD é o único sistema de impressão digital têxtil disponível atualmente. Existem dois tipos de impressão DoD: Piezoelétrico e térmica. Enquanto algumas das primeiras soluções para impressão a jato de

⁷ Stork Trucolor

tinta para tecidos foram de tecnologia térmica, a tecnologia piezoelétrica é a preferida para aplicações têxteis (RYALL, 2010).

Segundo GREGORY (2003), na tecnologia térmica o corante no interior da cabeça de impressão é aquecido rapidamente a 300-400 °C por segundo, o que cria uma pressão e forma uma bolha. O acúmulo de pressão empurra a bolha para fora do bocal, onde é expelida e pulverizada sobre o tecido, o elemento de aquecimento começa a esfriar, causando um vácuo, que puxa mais tinta do reservatório para repetir o ciclo conforme Figura 19.

Figura 19 – Esquema de cabeça com transdutor piezoelétrico modo deformação

Fonte: LOPES, 2009

Devido ao calor requerido para esta tecnologia, houve uma evolução limitada com os produtos químicos e corantes, e, portanto, esta tecnologia foi muito restrita para utilização em impressão de têxteis. Atualmente esta tecnologia é apenas utilizada na indústria de impressão de papel (RYALL, 2010).

A impressão jato de tinta piezoelétrica funciona através do envio de uma corrente elétrica para um cristal piezoelétrico na parte de trás do reservatório de tinta. O cristal flexiona para criar uma gota de tinta, que é acionado para fora do bocal e sobre o meio (RYALL, 2010).

As vantagens da técnica de jato de tinta piezoelétrica são de que existe uma maior liberdade de tamanho e forma da gota de tinta, que pode produzir com resoluções mais elevadas e é também mais rápido do que o método térmico, como a tinta não necessita de ser arrefecida e reaquecida depois de cada ciclo. Este método de impressão é a favorita da indústria têxtil, pois ele pode lidar com

viscosidades mais elevadas e, portanto, uma maior variedade de tintas e corantes, é encontrada para impressão piezoelétrico (LOPES, 2009).

A impressão a jato de tinta digital também oferece algumas vantagens distintas para pequenas tiragens, mostruário ou peças piloto, pois é fácil, econômica e não há necessidade de se gravar telas de estampa. Consequentemente, todos os custos relativos à gravura da tela, pasta de estampa, marcação das mesas, tempo de inatividade e desperdício são eliminados. Não há problemas de registro e escolha de cores e tamanhos é ilimitada em termos de repetição. São dispensados os espessantes ou pastas e o consumo de água e energia são baixos. A tecnologia é apropriada para a entrega *just in time* e customização em massa. A tecnologia de jato de tinta digital é, no entanto, ainda limitada pela baixa velocidade de produção, baixa disponibilidade de corantes e de baixa viscosidade, e tamanho pequeno de cartuchos coloridos. Os tecidos devem ser especialmente preparados para serem capazes de rodar em impressoras de jato de tinta digital, para absorver corante rapidamente e no caso de tecidos de malha em condições de largura aberta. Muitos pigmentos, como pérola, metálico e branco, ainda não estão disponíveis para este processo (KAN e YUEN, 2012).

Além das vantagens de design que oferece a impressão digital, a estampa em tecido por jato de tinta é muito mais ecológica que os métodos tradicionais. De acordo com estimativas, o consumo energético das impressoras digitais é de 50% menos que as rotativas, e também empregam menos tinta na produção da imagem, desperdiçam menos materiais e economiza água ao não ser necessário à lavagem de telas (BOWLES e ISAAC, 2009).

De acordo com LEILA (2014) a estampa digital para tecidos estava limitada à criação de amostras, ou provas que antecederiam a estampa convencional de larga escala, rotativa ou a quadros. Avanços tecnológicos, porém, criaram o potencial para que a estampa digital substitua a estampa tradicional em curtas e médias metragens, e até mesmo em algumas tiragens de produção de alta qualidade, tomando-se como base de comparação a qualidade, o custo e a velocidade. Diferente da estampa convencional qualquer operador pode estampar uma camiseta, visto que requer pouco conhecimento sobre

tintas, estampas, espessantes, etc. Além de ser um ambiente muito mais limpo e agradável, é preciso pouco mais de dois metros quadrados de espaço para se abrir uma estamparia.

De acordo com PEARSTINE (2011), embora os corantes utilizados para a estamparia digital de tecidos sejam os mesmos que os utilizados em estamparia tradicional, o processo de estamparia digital requer uma formulação de tinta substancialmente diferente. A viscosidade da tinta consiste numa importante diferença. Os fluidos de base aquosa, com baixa viscosidade, que podem ser aplicados através de cabeças de impressão a jato-de-tinta, substituem as tradicionais tintas pastosas da estamparia tradicional. Isto limita estritamente a quantidade de corantes e outros aditivos, tais como ligantes, que podem ser incorporados na tinta e, conseqüentemente, coloca um alto valor à qualidade, eficiência e pureza em cada ingrediente selecionado. Além disso, a empresa formuladora da tinta deve tomar cuidado para combinar as propriedades físicas da tinta com as características da impressora e da cabeça de impressão em que a tinta será utilizada.

Corantes reativos consistem numa das grandes classes de corante utilizadas para estamparia em algodão e outros materiais celulósicos. Os corantes reagem quimicamente com a celulose para formar uma ligação química covalente. Como os corantes reagem quimicamente com as fibras, proporcionam alta solidez a fricção e lavagem, e a transpiração. As tintas à base de corante reativo da DuPont⁸ Artistri^{®9} oferecem alta solidez à luz com excelente cor e são adequadas a aplicações em decoração de interiores e vestuário.

⁸ DuPont S/A.

⁹ Artistri[®] é marca registrada da DuPont S/A.

4.11. Pré-tratamentos e Pós-tratamentos químicos

O pré-tratamento e pós-tratamento de têxteis para a impressão por jato de tinta é realizado porque a inclusão de produtos químicos auxiliares e espessantes na tinta de baixa viscosidade provou ser problemática. Assim se aplica produtos químicos antes ou após a impressão para auxiliar na fixação do corante (Ujjie, 2006).

Devido à baixa viscosidade das tintas para estampa a jato-de-tinta, alguns compostos químicos comumente utilizados em pastas com corantes para estampa tradicional não podem ser utilizados em tintas digitais. Tais químicas incluem espessantes, ácidos ou álcalis, umectantes e fixadores. Para estampa digital com corantes, tais aditivos são incluídos no pré-tratamento utilizado para preparar o substrato para estampar, não em uma pasta de estampar. Os espessantes utilizados no pré-tratamento são quimicamente similares àqueles utilizados na estampa têxtil convencional (YUEN et al, 2005).

O espessante deve ser compatível com a composição química da tinta e deve ser facilmente eliminado na lavagem posterior. O nível do espessante adicionado deve ser bem menor que o da estampa convencional. Pré-tratamentos também contêm ácidos ou álcalis, para manter o pH correto para que o corante penetre na fibra do tecido e permita a reação corante-fibra. A escolha do ácido ou álcali está vinculada à composição química da tinta. Umectantes são utilizados para permitir fácil difusão do corante no interior da fibra no processo de vaporização (VIEIRA, 2014).

De acordo com ASTON, et al (1993), a quantidade utilizada de produtos como ureia, alginato e bicarbonato de sódio, como álcali, nos pré-tratamentos, influencia na absorção e rendimentos das cores na estampa.

Segundo YUEN (2005), a maioria dos tecidos de algodão pré-tratados comercialmente disponíveis no mercado para a impressão a jato de tinta foram impregnados com uma pasta de pré-tratamento para impressão. No entanto, por razões comerciais, o conteúdo desta pasta não é divulgado, resultando em preços muito elevados para este tipo de tecido.

4.12. Quitosana

A quitosana é um amino polissacarídeo linear obtidas por desacetilação de quitina em condições alcalinas. A quitina é um polímero nativo extraído do exoesqueleto de crustáceos, conchas, camarões e caranguejos, bem como das paredes celulares de alguns fungos (BOATENG, et al, 2009).

Obtido a partir da desacetilação da quitina por tratamento alcalino ou por hidrólise enzimática, o processo de obtenção da quitosana pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 - Processo de obtenção da quitosana

Fonte: Adaptado de KUMARI et al, 2015

Segundo FURLAN (1993), a quitosana é uma poliamina linear que possui grupamentos amino disponíveis para reações químicas, aos quais são atribuídas as propriedades de maior interesse. Tais grupamentos podem adquirir uma carga positiva em presença de soluções ácidas. A Figura 21 mostra a estrutura química da quitosana.

Figura 21 - Estrutura química da quitosana

Fonte: ALMEIDA, 2011

GUIBAL et al (2001), afirmam que devido às características de hidrofilidade, além do fato de que provêm de um recurso natural renovável e abundante, a quitosana têm sido largamente utilizadas em estudos, afim de ser empregadas como adsorventes de corantes entre outras aplicações.

A adsorção é um processo de acumulação de substancias que estão em solução em uma determinada interface. Em geral é um processo lento, não econômico, porém efetivo, principalmente para volumes de pequena escala (GUARATINI e ZANONI, 2000).

De acordo com CHOI (2006), a quitosana pode ser utilizada como espessante no pré-tratamento para a estamperia digital a jato de tinta, melhorando as propriedades de solidez da cor e a nitidez dos contornos das impressões em tecidos de algodão.

A grande quantidade de grupamentos funcionais amino e hidroxila em sua estrutura são responsáveis pela sua alta capacidade adsortiva para com os mais diversos corantes (CHIOU e LI, 2002). A quitosana exerce uma função para aumentar o rendimento da cor das impressões a jato de tinta e este comportamento pode ser explicado considerando que os grupos amino presentes na quitosana adquirem cargas positivas a partir do banho de corante ligeiramente ácido, formando os grupos NH_3^+ . Estes grupos sendo eletropositivos por natureza facilitam a transferência da carga negativa aniônica corante do banho para o tecido, melhorando assim a fixação da cor (CHOI et al., 2005).

Os tecidos de algodão acabados com aplicação de quitosana possuem melhor solidez da cor, esse fator está associado com a introdução de grupos amino primários provenientes da quitosana na estrutura da fibra celulósica, estes grupos são depositados nas fendas entre as fibras e assim podem conferir uma

superfície catiônica que atrai os ânions do corante para o tecido de algodão (OKTEM, 2003).

De acordo com MOMIN (2008), a afinidade de quitosana e algodão pode ser devido a forças de van der Waals entre eles, devido às estruturas semelhantes da quitosana e do algodão. A ligação da quitosana a celulose pode ser também devido à reticulação por meio da formação de base de Schiff (ou azometina) entre a extremidade reduzida da celulose (-CO-H) e o grupo amino da quitosana.

YUEN et al (2007), desenvolveram um método de dois banhos foi desenvolvido para separar a pasta de quitosana a partir de bicarbonato de sódio e de ureia antes de ser depositada sobre a superfície do tecido, de modo a minimizar o efeito de neutralização. Com base no rendimento da cor mais elevado obtido para o tecido de algodão, confirmou-se que a técnica dos dois banhos foi desenvolvida com êxito. Além disso, verificou-se que a quitosana pode também conferir maior propriedade antibacteriana para o tecido de algodão.

Devido aos requisitos específicos de pureza e de condutividade para impressão a jato de tinta nenhum dos produtos químicos de impressão convencionais podem ser incorporados diretamente na formulação da tinta de impressão. Como resultado, o tecido de algodão deve ser tratado com os produtos químicos de impressão para aplicação da estampa digital (YUEN et al, 2007).

4.13. Carboximetilcelulose

A carboximetilcelulose é um polímero natural, um éter derivado da celulose e comercializado na forma sólida como sal de carboximetilcelulose de sódio (CMC). Sua estrutura é baseada no polímero do β -(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopirranose da celulose (Leal et al, 2014).

De acordo com HAN et al (2010) como um tipo de éter de celulose solúvel em água, a CMC é amplamente utilizada como agente espessante, de ligação, de filme e de matriz em indústrias farmacêuticas, cosméticas e alimentares. Ela desempenha um papel fundamental na manutenção da integridade e

funcionalidade dos produtos. A Figura 22 mostra a estrutura química da carboximetilcelulose.

Figura 22 - Estrutura química da carboximetilcelulose

Fonte: Sigma-Aldrich, 2017.

4.14. Solidez da cor a lavagem

A norma brasileira- NBR 10187, de fev./88, define solidez de cor como: “a resistência da cor dos materiais têxteis aos diferentes agentes, aos quais possam ser expostos durante sua fabricação e uso subsequente”. A solidez de cor pode ser avaliada pela alteração da cor da amostra, ou pela capacidade de transferir a cor a um tecido testemunha que não possui corante. Através de numerosos comitês técnicos a Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis desenvolveu procedimentos de testes laboratoriais que indicam a solidez da cor e prevê sua performance no uso.

Na avaliação da solidez de cor de tecidos ou vestuário, a mudança da cor original (desbotamento) e/ou manchamento ou transferência de cor no tecido de teste padrão são medidos pela comparação visual do corpo de prova testado com a escala cinza AATCC para mudança de cor e manchamento e escala de transferência cromática. A diferença na mudança de cor e o acúmulo de transferência de cor são dados um valor numérico que varia entre 1 e 5.

Classe 5 indica sem mudança da cor original (desbotamento) e/ou sem transferência de cor.

Classe 1 indica notável mudança de cor (desbotamento) e/ou alta transferência de cor. Essas classes podem ser descritas nos seguintes termos qualitativos:

Classe 5 – Excelente
Classe 4 – Muito Bom
Classe 3 – Bom (média)
Classe 2 – Regular
Classe 1 – Ruim

Figura 23 - Exemplo de comparação visual com a escala cinza AATCC.

Fonte: MALUF e KOLBE, 2003

Conforme Figura 23, geralmente, itens exibindo solidez de cor equivalente as classes 1 e 2 são considerados não aceitáveis pelo ponto de vista do consumidor.

Esta escala consiste de nove pares de fatias cinzas padrões, cada par representa uma diferença na cor ou contraste (desbotamento e resistência) correspondendo à uma taxa numérica de solidez de cor. Os resultados do teste de solidez de cor são avaliados comparando visualmente a diferença na cor representada pela escala.

Uma parte do tecido original e o corpo de prova dele são colocados lado a lado num mesmo plano e orientados na mesma direção. A escala cinza é colocada perto num mesmo plano. A diferença visual entre o tecido original e o testado são comparados com as diferenças representadas pela Escala Cinza. A nota de solidez de cor do corpo de prova é aquele número da Escala Cinza que corresponde ao contraste entre o original e o tecido testado. Uma nota de 5 é dada quando não há diferença de cor (desbotamento ou resistência) entre o tecido original e o corpo de prova testado, notas intermediárias são aceitas vide Tabela 3.

A escala cinza para avaliação de mudança de cor é constituída por pares de tiras-padrão cinza, representando cada par um contraste visual da amostra antes e depois da transferência. (MALUF e KOLBE, 2003).

Tabela 3 - Índice numérico de solidez da cor, na escala cinza de alteração

Índice de solidez	Diferença de cor CIELAB	Tolerância
5	0	0,2
4/5	0,8	±0,2
4	1,7	±0,3
4/3	2,5	±0,35
3	3,4	±0,4
3/2	4,8	±0,5
2	6,8	±0,6
2/1	9,6	±0,7
1	13,6	±1,0

Fonte: (MALUF e KOLBE, 2003)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Materiais

5.1.1. Malha

- Meia-malha branca;
- 100% algodão; caracterizada nos itens 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4
- 21 quadrados com dimensões de 50 x 50 cm, em duplicata totalizando 42 amostras.

5.1.2. Quitosana

Neste estudo foi utilizada a quitosana como polímero para auxiliar na fixação dos corantes nas fibras de algodão. A quitosana utilizada é um produto comercial (Sigma Aldrich, St. Louis, USA), procedente da purificação de quitina extraída de cascas de caranguejos com no mínimo 85% de desacetilação. Todos os solventes utilizados neste estudo foram de grau analítico.

5.1.3. Carboximetilcelulose

Foi utilizado no tratamento químico a carboximetilcelulose, conhecida também como CMC, polímero aplicado como espessante e goma para fibras de algodão. A CMC também é produto comercial da Sigma-Aldrich.

5.1.4. Impressora DoD

Foi utilizada a impressora da marca Brother, com cabeças de impressão piezoelétricas e tintas originais da Brother.

Figura 24 - Impressora DoD

Fonte: SHUMIE, 2016.

5.1.5. Máquina de lavar doméstica

A máquina de lavar utilizada, será tipo *top load*, marca Eletrolux Turbo Economia, de uso doméstico com capacidade de 6 kg.

5.1.6. Detergente em pó

Foi utilizado detergente em pó comercial para uso doméstico, embalagem de 5 kg, 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.

5.1.7. Amaciante

O amaciante utilizado foi o de uso doméstico, embalagem de 5 L, com a seguinte composição: cloreto de dialquil dimetil amônio, atenuador de espuma, espessante, fragrância, 1-2 benzotiazolin-3-ono, corantes, coadjuvante, acidificante e água.

5.2. Metodologia

As malhas utilizadas nesse estudo foram adquiridas no mercado, sendo de uso comercial para a confecção de camisetas, 100% algodão. Primeiramente, foi realizada a caracterização das malhas quanto a composição, gramatura, padronagem e título dos fios "no laboratório têxtil da empresa Interface Engenharia Aduaneira.

Caracterização da malha

5.2.1. Análise qualitativa e quantitativa

Para determinar a composição da malha foram utilizadas as normas análise qualitativa e quantitativa ABNT NBR 13538:1995 – Material têxtil – Análise qualitativa e ABNT NBR11914:1992.

A análise qualitativa foi feita para identificar as fibras, o material foi levado à chama avaliando seu comportamento ao calor e à chama, solubilidade e reação. Foi realizada também por meio de análise microscópica óptica a secção transversal das fibras.

Posteriormente pesou-se a massa de um tecido de aproximadamente 100 cm², para constituir o corpo de prova e acondicionado à temperatura de 20 ±2 °C e umidade relativa de 65 ±4 por um período de 24h. Foram pesados em uma balança analítica Shimadzu com precisão de 0,01g, e dissolvidos com solvente hipoclorito de sódio P.A, a quente.

5.2.2. Massa por unidade de área

A massa por unidade de área também conhecida como gramatura é relação entre a massa e uma determinada área de tecido. O tecido foi acondicionado à temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 4 por um período de 24h. Foram cortados cinco corpos de prova com cortador circular com área de aproximadamente 100 cm² e pesados em balança Shimadzu com precisão de 0,01g. O ensaio de gramatura foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 10591:2008 - Materiais têxteis - Determinação da gramatura de superfícies têxteis. Os cálculos de 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/m²;

m = Massa do corpo de prova, em g;

A = Área do corpo de prova retirado do tecido, em m²

5.2.3. Título dos fios

O título de um fio expressa uma relação entre um determinado comprimento e a massa correspondente, é a densidade linear do material, usada para caracterizar a finura do mesmo (MALUF e KOLBE, 2003).

Para determinar o título dos fios foi utilizada a norma ABNT NBR 13216:1994 - Materiais têxteis - Determinação do título de fios em amostras de comprimento reduzido.

Foram desmalhados onze fios, onde um deles foi utilizado para determinar a pré-tensão equivalente, calculando o título aparente e gerando uma pré-tensão. Utilizando um torciometro Marte, foram colocados os dez fios, um por

vez, com a pré-tensão estabelecida e cortados com uma navalha no comprimento de 0,25m. Após estarem todos no comprimento e pré-tensão determinados foram pesados em balança Shimadzu com precisão de 0,01g. Os cálculos dos títulos dos 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 do fio condicionado, em g;

L = Comprimento individual do fio condicionado, em m.

Existem dois tipos de sistemas de titulação os diretos e indiretos.

O direto é sabido o comprimento dos fios e deseja-se saber a massa dos fios, já nos indiretos é sabida sua massa e deseja-se saber o comprimento.

Os sistemas mais usuais são o TEX e Ne, onde o TEX o título em tex de um fio representa o peso em gramas de 1000 metros de fio e no Ne conhecido como número inglês e muito utilizado em fios de algodão, o título Ne de um fio é igual ao número de meadas de 840 jardas necessárias para obter o peso de uma libra.

5.3. Aplicação dos polímeros

Depois de caracterizadas, as malhas foram submetidas à aplicação da quitosana variando os seguintes fatores: o método de aplicação (Foulard e estamparia de quadros), concentração da solução e quando a solução foi aplicada, antes da estampa (pré-tratamento) ou após a estampa (pós-tratamento) conforme Figura 25 e a malha sem aplicação foi denominada controle.

Figura 25 - Passo a passo da Metodologia

Fonte: Autor

Para a obtenção das soluções de quitosana com concentrações de 5 g/L, 10 g/L e 15 g/L foi preparada uma solução mãe de concentração 15 g/L em solução aquosa de ácido acético a 2% (v/v) previamente preparada com ácido acético glacial. Seu preparo se deu pesando 15,0 g de quitosana e adicionando solução de ácido acético (2%) sob a agitação por 24 horas. O volume foi transferido para um balão volumétrico de 1000 mL e avolumado até o menisco com ácido acético 2% (v/v).

A solução 15,0 g/L utilizada foi obtida diretamente da solução mãe pela transferência direta de 500 mL para balão volumétrico (500 mL) até o menisco.

A diluição 2:3 (10 g/L) foi feita em balão volumétrico de 750 mL pela transferência de 500 mL da solução mãe e avolumada até o menisco com a solução aquosa de ácido acético a 2% previamente preparada.

A diluição 1:3 (5 g/L) foi feita em balão volumétrico de 500 mL pela transferência de 250 mL da solução anterior e avolumada até o menisco com a solução aquosa de ácido acético a 2% previamente preparada.

Para a solução de quitosana com concentração de 22,2 g/L, foi preparada em um Béquer, adicionados 20 g quitosana e 400 mL de ácido acético (2%) sob agitação por 24 horas depois foram adicionados 500 mL álcool metílico por agitação por 24 horas.

A solução de Carboximetilcelulose foi preparada com concentrações de aproximadamente 14,28 g/L, pesando 10 g de carboximetilcelulose em um Béquer e adicionando 700 mL água destilada sob agitação por 24 horas em placa de agitação.

Foram estampadas todas as malhas, com uma estampa padrão, sendo 4 quadrados nas cores CMYK (cyan, magenta, amarelo e preta) de 5x5 cm cada quadrado, conforme Figura 28.

As malhas foram submetidas aos processos de aplicação da quitosana e carboximetilcelulose conforme Figura 25, para posteriormente serem lavadas.

5.3.1. Aplicação por Foulard

Foulard é um equipamento de impregnação por imersão, onde o tecido é introduzido dentro do banho e é espremido por dois cilindros para retirar o excesso de produto impregnado.

Foram preparadas soluções com quitosana com quatro variações de concentração e uma solução com carboximetilcelulose. As soluções foram preparadas conforme item 5.4. As aplicações foram realizadas em Foulard em escala laboratorial conforme Figura 26a, com pick-up de 80%, secos em rama em escala laboratorial conforme Figura 26b, por 5 minutos a 50°C e 5 minutos

para curar a 150 °C. As amostras foram embaladas em sacos plásticos e acondicionadas em ambiente climatizado de 20±2°C por 24h.

A quantidade de solução de acabamento ou emulsão aplicada é denominada "pick-up" do tecido e é geralmente expressa em porcentagem do peso do tecido seco não tratado de acordo com a equação 4:

$$\% \text{ pick - up} = \frac{\text{peso da solução aplicada}}{\text{peso do tecido seco}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Figura 26 – Equipamentos (a) Foulard e (b) Rama, em escala laboratorial

Fonte: Autor

5.3.2. Aplicação por estamparia de quadros

Foram preparadas soluções com quitosana com quatro variações de concentração de quitosana e uma de carboximetilcelulose. As soluções de quitosana foram preparadas conforme item 5.4 e aplicados por meio do sistema de estamparia de quadros.

Foram utilizados quadros sem gravação, com tamanho de 30 x 20 cm, e aplicação de 2 espalmagens por amostra conforme Figura 27a. As amostras foram curadas em estufa térmica, por 5 minutos a 180°C conforme Figura 27b.

Uma das amostras não foi aplicado tratamento com os polímeros para efeito comparativo, chamada de controle. Após o pré-tratamento e pós-tratamento as malhas foram submetidas a 54 lavagens domésticas, simulando o uso de uma camiseta nas 54 semanas de um ano (conforme item 4.5). Posteriormente todas as amostras foram submetidas a avaliação colorimétrica por Espectrofotometria (conforme item 4.6).

Figura 27 - Aplicação por (a) Quadro de estamparia e (b) estufa

Fonte: Autor

5.4. Análise da impregnação por Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Para avaliar se a quitosana foi impregnada nas malhas de algodão foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura.

Foram analisadas as malhas de algodão sem aplicação de quitosana (controle) e as malhas com aplicação de tratamento com quitosana pelos dois processos, Foulard e espalmagem.

Para analisar uma amostra não metálica (tecido de algodão) no MEV, foi necessário revestir as amostras com ouro a vácuo: 2 milibares, com Gás: Argônio, 1 Ciclo a 1 kvolts (kV) e 20 mili amperes.

Foram analisadas no Microscópio Eletrônico de Varredura da marca Shimadzu, modelo CAMSCAN 3200 LV, modelo do Coating SCAN COAT, com

ampliação de 500X, Voltagem 20 kvolts (kV) e 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, com ampliação de 5000X.

Foram analisadas as amostras de malha antes da aplicação (controle) e após aplicação dos polímeros.

5.5. Análise de solidez

A análise de solidez da cor foi realizada com o software OnColor do espectrofotômetro X-RITE, que comparou as amostras antes de serem lavadas e após as lavagens. A diferença de cor das amostras entre foi medida por dois métodos:

- Escala cinza
- ΔE^*

Todas as análises foram feitas em duplicatas para validar os resultados.

5.6. Estamparia digital

As amostras foram estampadas em impressora DoD, marca Brother com uma estampa padrão.

A estampa padrão utilizada, contém quatro quadrados, sendo um preto, um magenta, um cyan e um amarelo. Cada quadrado possui 5 centímetros de aresta, sendo a estampa completa com dimensões de 10x10 cm, conforme Figura 28.

Figura 28 - Estampa Padrão

Fonte: Autor

Foram estampadas um montante de 21 amostras (em duplicata), conforme Figura 25, e enumeradas de 0 a 20. Foram divididas por processo de aplicação, etapa de aplicação (sem aplicação, pré ou pós tratamento), concentração de quitosana e CMC, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Plano de amostragem

Amostra	Etapa	Processo	Polímero	Concentração (g/L)	Identificação
0	-	SEM APLICAÇÃO	-	0	Controle
1	Pré	Foulard	Quitosana	5	PREFQUI1(5g/L)
2	Pré	Foulard	Quitosana	10	PREFQUI2(10g/L)
3	Pré	Foulard	Quitosana	15	PREFQUI3(15g/L)
4	Pré	Foulard	Quitosana	22,20	PREFQUI4(22,2g/L)
5	Pré	Foulard	Carboximetilcelulose	14,28	PREFC1(14,28g/L)
6	Pré	Quadro	Quitosana	5	PREQQUI1(5g/L)
7	Pré	Quadro	Quitosana	10	PREQQUI2(10g/L)
8	Pré	Quadro	Quitosana	15	PREQQUI3(15g/L)
9	Pré	Quadro	Quitosana	22,20	PREQQUI4(22,2g/L)
10	Pré	Quadro	Carboximetilcelulose	14,28	PREQC1(14,28g/L)
11	Pós	Foulard	Quitosana	5	POSFQUI1(5g/L)
12	Pós	Foulard	Quitosana	10	POSFQUI2(10g/L)
13	Pós	Foulard	Quitosana	15	POSFQUI3(15g/L)
14	Pós	Foulard	Quitosana	22,20	POSFQUI4(22,2g/L)
15	Pós	Foulard	Carboximetilcelulose	14,28	POSFC1(14,28g/L)
16	Pós	Quadro	Quitosana	5	POSQQUI1(5g/L)
17	Pós	Quadro	Quitosana	10	POSQQUI2(10g/L)
18	Pós	Quadro	Quitosana	15	POSQQUI3(15g/L)
19	Pós	Quadro	Quitosana	22,20	POSQQUI4(22,2g/L)
20	Pós	Quadro	Carboximetilcelulose	14,28	POSQC1(14,28g/L)

Pre= Pré-tratamento, F= Foulard, Q= Quadro, QUI=Quitosana, C= CMC

Pos= Pós-tratamento F= Foulard, Q= Quadro, QUI=Quitosana, C= CMC

5.7. Lavagem Doméstica

As lavagens foram realizadas utilizando uma máquina *top load* da marca Eletrolux Turbo Economia, de uso doméstico com capacidade de 6 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 37 minutos. Foi utilizada uma concentração de banho de 1,11 g/L de detergente em pó no processo de lavagem de todas as amostras, de acordo com instrução do fabricante.

Foram realizadas 54 lavagens, simulando o uso de uma camiseta, uma vez por semana, todas as semanas do ano, por um ano (54 semanas).

Após as lavagens e centrifugação as amostras foram secadas em varal até que estivessem completamente secas.

5.8. Avaliação colorimétrica por espectrofotômetro

As amostras foram submetidas à avaliação colorimétrica utilizando um espectrofotômetro X-RITE SP60 em quatro fases conforme esquema abaixo:

- 1) Leitura inicial (antes das lavagens domésticas)
- 2) Leitura após 1ª lavagem
- 3) Leitura após 27ª lavagem
- 4) Leitura após 54ª lavagem

Todas as amostras foram submetidas às quatro etapas de leituras em todas as cores (CMYK) das estampas.

Foram utilizados os parâmetros na escala CIEL*a*b*: iluminante D65, ângulo do observador de 10°, medida de reflexão especular excluída e filtro UV excluído para a calibração. Os corpos de prova foram acondicionados à temperatura de $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(65 \pm 4) \%$ por um período de 24 h. 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.

As leituras foram realizadas no espectrofotômetro colorímetro X-Rite SP60 nos parâmetros: diferença de cor nos três eixos (ΔE^*) e comparação com a escala cinza de alteração da cor. Foi utilizado o equipamento utilizado do Laboratório Têxtil da Empresa Interface Engenharia Aduaneira.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Composição

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises qualitativas e quantitativas, efetuadas no tecido de malha.

Tabela 5 - Resultado de Composição

Ensaio		Resultados
	Secção Transversal	Algodão
Microscopia óptica	Imagem microscópica da secção transversal Ampliação 100X
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 de fumaça liberada na queima	Odor de papel queimado
Ponto de fusão		Decompõe-se a 200° – 250° C
Conclusão		100% Algodão

Fonte: Autor

6.2. Gramatura

Os resultados para o ensaio de gramatura estão expressos na Tabela 6 resultando uma gramatura média de 173,75 g/m².

Tabela 6 - Resultados de Gramatura

Corpos de Prova	Gramatura (g/m²)
5	173,75 ± 5,40 CV = 0,67%

Fonte: Autor

6.3. Título dos fios

Os resultados para o ensaio de título dos fios estão expressos na Tabela 7 resultando em um título médio de 22,80 tex.

Tabela 7 - Resultados de Título dos fios

Corpos de Prova	Título médio dos fios (tex)
10	22,80 ± 2,90 CV = 3,88%

Fonte: Autor

6.4. Padronagem

A tabela 8 apresenta o resultado para o ensaio de padronagem.

Tabela 8 - Resultado de padronagem

Padronagem de malha por trama	
Nomenclatura	Imagem microscópica do ligamento
Meia-malha simples

Fonte: Autor

Com os resultados observados nas Tabelas 5 a 8 pode-se concluir que se trata de um tecido de malha por trama, com padronagem de meia-malha, composição 100% algodão, com massa por unidade de área de 173,45 g/m², constituída de fios com título médio de 22,80 tex.

6.5. Análise da impregnação

A análise da impregnação das substâncias foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.

A Figura 29 mostra as fibras de algodão sem aplicação de quitosana ou CMC amostra controle, com ampliação de 500 vezes, pode-se observar que as fibras estão lisas e sem substâncias em sua superfície.

Nas Figuras 29, 30, 31 e 32, pode-se observar a presença de quitosana sobre a superfície das fibras de algodão, como se houvesse uma película envolvendo a fibra em ambos os casos, tanto na aplicação por Foulard quanto na aplicação por quadros e em ambas as concentrações.

Figura 29 – MEV da amostra controle. Ampliação 500X.

Fonte: Autor

Figura 30 – MEV da amostra PREFQUI1(5g/L). Ampliação 500X.

Fonte: Autor

Figura 31 - MEV da amostra PREQQUI1(5g/L). Ampliação 500X.

Fonte: Autor

Figura 32 - MEV da amostra PREFQUI4(22,2g/L).

Fonte: Autor

Na Figura 33 também pode-se observar a presença CMC sobre a superfície das fibras de algodão, semelhante com a observada com a aplicação de quitosana.

Figura 33 - MEV da amostra PREFC1(14,28g/L)

Fonte: Autor

6.6. Avaliação Colorimétrica por Espectrofotômetro

A diferença de cor foi calculada por dois métodos:

ΔE^* e Escala cinza.

A diferença de cor de acordo com a escala cinza é feita por uma correlação entre o ΔE^* calculado e os valores da Tabela 3, onde o software indica a nota da escala cinza mais próxima ao ΔE^* calculado.

6.6.1. Avaliações colorimétricas por ΔE^*

Os valores das avaliações colorimétricas do ΔE^* demonstrados nas Figuras 34, 35, 36 e 37 são uma média ponderada dos valores obtidos em cada uma das quatro cores das amostras.

Das avaliações colorimétricas do ΔE^* para as amostras após a primeira lavagem, todas as amostras obtiveram pequenas alterações, conforme pode-se observar na Figura 34, exceto a amostra PREQC1(14,28g/L), com aplicação de CMC por quadro na condição de pré-tratamento que obteve ΔE^* de 6,08, 932% superior ao resultado obtido na amostra padrão (sem tratamentos químicos) que obteve ΔE^* de 0,59.

Figura 34 - Avaliação colorimétrica ΔE^* após 1 lavagem.

Fonte: Autor

Após a 27^a lavagem as amostras foram submetidas à novas leituras, onde pode-se observar conforme Figura 35 que a amostra controle, sem aplicação de quitosana, e as amostras de 1 a 10, com aplicação de quitosana e CMC como pré-tratamento (antes de estampar) obtiveram valores moderados de alteração de cor.

A amostra PREQC1(14,28g/L) continuou apresentando a maior variação de cor com ΔE^* de 20,83, mas a diferença para a amostra controle caiu para 183%. Todas as amostras com pré-tratamento de quitosana e CMC obtiveram alterações de cor maior que a amostra controle, sendo as duas amostras com aplicação de CMC com alterações maiores. A amostra com aplicação de CMC como pré-tratamento via Foulard obteve ΔE^* de 15,64, 112% superior que a amostra padrão que obteve ΔE^* de 7,35.

As amostras de 11 a 20, que obtiveram melhores resultados, foram amostras com pós-tratamentos (aplicação de quitosana e CMC após estamparia). Quando comparadas a amostra padrão, obtiveram média de ΔE^* 73% inferior, sendo a amostra POSQQUI2(10g/L) com menor variação de cor, com valor de ΔE^* de 1,53.

Ao realizar a comparação dos resultados das Figuras (34 e 35), pode-se verificar que a amostra controle e as amostras com pré-tratamento tiveram uma variação muito grande de ΔE^* , o que significa que houve uma alteração de cor significativa. Quando analisado a segunda parte dos gráficos percebe-se que as amostras com pós-tratamentos tiveram uma pequena variação entre a 1^a e a 27^a lavagem, independente do processo e concentrações utilizados. Isso pode ocorrer pois ao se utilizar a quitosana ou CMC como pré-tratamento, eles formam uma camada sobre a fibra de algodão, e quando a estampa é aplicada, eles atrapalham a fixação do corante, aumentando assim a quantidade de corantes superficiais sem ligação com a fibra. Após as lavagens esses pigmentos superficiais saem aumentando a variação de cor (ΔE^*).

Figura 35 - Avaliação colorimétrica ΔE^* após 27 lavagem.

Fonte: Autor

Após a 54^a lavagem as amostras foram submetidas à novas leituras, onde pode-se observar conforme Figura 36 que a amostra controle, sem aplicação de quitosana, e as amostras de 1 a 10, com aplicação de quitosana e CMC como pré-tratamento (antes de estampar) continuaram obtendo os maiores valores de alteração de cor.

Todas as amostras com pré-tratamento de quitosana e CMC obtiveram alterações de cor maior que a amostra padrão, sendo as amostras PREQQU4(22,2g/L) e PREQC1(14,28g/L), com aplicação por quadros de quitosana com concentração de 22,2 g/L e CMC respectivamente obtiveram as maiores alterações de cores, com valores de ΔE^* de 25,5 e 22,90, 149% e 124% superiores a alteração da amostra padrão, que apresentou valor de ΔE^* de 10,24.

As amostras de 11 a 20, que obtiveram melhores resultados, foram amostras com pós-tratamentos (aplicação de quitosana e CMC após estamparia). Quando comparadas a amostra padrão, obtiveram média de ΔE^* 58% inferior, sendo a amostra POSFQUI1(5g/L) com menor variação de cor, com valor de ΔE^* de 3,73, 64% inferior a amostra padrão.

Ao realizar a comparação dos resultados das Figuras (34, 35 e 36), pode-se verificar que as amostras controle e com pré-tratamento tiveram uma variação muito grande de ΔE^* , o que significa que a houve uma alteração de cor significativa. Quando analisado a segunda parte dos gráficos percebe-se que as

amostras com pós-tratamentos tiveram uma pequena variação entre a 1ª e a 54ª lavagem, independente do processo e concentrações utilizados. Pode-se concluir que o pós-tratamento foi eficaz quanto a melhora da solidez da cor a lavagem doméstica, isso pode ter ocorrido pois ao se utilizar a quitosana ou CMC como pós-tratamento, eles formam uma camada sobre a estampa que auxilia na fixação do corante, inibindo a liberação dos pigmentos na lavagem, diminuindo assim a variação de cor (ΔE^*).

Outra possibilidade é que a quitosana é de natureza catiônica e pode ter atraído os pigmentos que geralmente carregam uma carga aniônica na superfície deles e auxiliado na fixação (MOMIN, 2008).

Figura 36 - Avaliação colorimétrica ΔE^* após 54 lavagem.

Fonte: Autor

A Figura 37 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por ΔE^* entre as lavagens, mostrando o aumento do ΔE^* conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar que as amostras de 0 a 10 apresentaram um aumento de 1084% (em média) entre a 1ª e a 27ª lavagem, enquanto as amostras de 11 a 20 tiveram 94% na mesma etapa. Nota-se também que após 54 lavagens a amostra controle obteve valor de ΔE^* de 10,24, as amostras 11 a 20 obtiveram resultado máximo de ΔE^* de 4,96 (média entre as cores analisadas), enquanto as amostras de 1 a 10 apresentaram valores máximos de 25,49 de ΔE^* .

Figura 37 - Comparativo das avaliações colorimétricas ΔE^* .

Fonte: Autor

Os valores das avaliações colorimétricas do ΔE^* demonstrados nas Figuras 38, 39, 40 e 41 são um comparativo dos valores obtidos em cada uma das quatro cores (quadrante) das amostras conforme a evolução das lavagens após 1, 27 e 54.

A Figura 38 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por ΔE^* entre as lavagens do quadrante amarelo da estampa, mostrando o aumento do ΔE^* conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar que as amostras de 0 a 10 apresentaram um aumento de 640% (em média) entre a 1ª e a 27ª lavagem, enquanto as amostras de 11 a 20 tiveram 45% na mesma etapa. Nota-se também que após 54 lavagens a amostra controle obteve valor de ΔE^* de 12,13, as amostras 11 a 20 obtiveram resultado máximo de ΔE^* de 5,41, enquanto as amostras de 1 a 10 apresentaram valores máximos de 50,40 de ΔE^* .

Figura 38 - Comparativo das avaliações colorimétricas ΔE^* quadrante amarelo.

Fonte: Autor

A Figura 39 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por ΔE^* entre as lavagens do quadrante azul da estampa, mostrando o aumento do ΔE^* conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar que as amostras de 0 a 10 apresentaram o mesmo padrão do quadrante amarelo da estampa, e continuaram a ter um aumento superior às amostras de 11 a 20 (segunda parte do gráfico), aumento de 571% (em média) entre a 1ª e a 27ª lavagem, enquanto as amostras de 11 a 20 tiveram 126% na mesma etapa. Nota-se também que após 54 lavagens a amostra controle obteve valor de ΔE^* de 8,80, as amostras 11 a 20 obtiveram resultado máximo de ΔE^* de 4,98, enquanto as amostras de 1 a 10 apresentaram valores máximos de 20,13 de ΔE^* (PREQC1(14,28g/L)).

Figura 39 - Comparativo das avaliações colorimétricas ΔE^* quadrante azul

A Figura 40 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por ΔE^* entre as lavagens do quadrante preto da estampa, mostrando o aumento do ΔE^* conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar o mesmo padrão dos gráficos dos quadrantes amarelo e azul, sendo as amostras de 0 a 10 apresentaram os valores mais elevados de ΔE^* , 20,88, e as amostras de 11 a 20 (segunda parte do gráfico) apresentaram valor máximo de ΔE^* de 5,23. Após 54 lavagens a amostra PREQC1(14,28g/L continuou apresentando pior desempenho assim como nas cores amarela e azul e a amostra POSFQUI3(15g/L) com melhor desempenho (menor ΔE^*).

Figura 40 - Comparativo de avaliação colorimétrica por ΔE^* quadrante preto

A Figura 41 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por ΔE^* entre as lavagens do quadrante vermelho da estampa, mostrando o aumento do ΔE^* conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar o mesmo padrão dos gráficos dos quadrantes anteriores, onde as amostras de 0 a 10 apresentaram os valores mais elevados e as amostras de 11 a 20 mais brandos. Após 54 lavagens a amostra PREQC1(14,28g/L) apresentou o maior valor de ΔE^* , 23,51, e a amostra POSFQUI1(5g/L) o menor valor de ΔE^* 3,62.

Figura 41 - Comparativo de avaliação colorimétrica por ΔE^* quadrante vermelho

6.6.2. Avaliações colorimétricas por escala cinza

Os valores das avaliações colorimétricas por escala cinza demonstrados nas Figuras 42, 43, 44 e 45 são uma média ponderada dos valores obtidos nas leituras das quatro cores das amostras.

Das avaliações colorimétricas por escala cinza após a primeira lavagem, todas as amostras obtiveram pequenas alterações de cor, conforme pode-se observar na figura 42, exceto a amostra PREQC1(14,28g/L), com aplicação de CMC por quadro na condição de pré-tratamento que obteve nota de escala cinza de 3, 38% inferior ao resultado obtido na amostra padrão (sem tratamentos químicos) que obteve nota média de 4,81.

Figura 42 - Avaliação colorimétrica escala cinza 1 lavagem.

Após a 27ª lavagem as amostras foram submetidas à novas leituras, onde pode-se observar conforme figura 43 que a amostra controle, sem aplicação de quitosana, obteve nota de escala cinza de 2,5, as amostras de 1 a 10, com aplicação de quitosana e CMC como pré-tratamento (antes de estampar) obtiveram em média valores de escala cinza de 1,72, ou seja, 31% inferior que a amostra controle.

A amostra PREQC1(14,28g/L) continuou apresentando o pior desempenho, com variação de cor de escala cinza de 1, ou seja, 60% inferior que a amostra controle, mas a diferença para a amostra padrão. Todas as amostras com pré-tratamento de quitosana e CMC obtiveram alterações de cor maior que a amostra controle.

As amostras de 11 a 20, que obtiveram melhores resultados, foram amostras com pós-tratamentos (aplicação de quitosana e CMC após a estamparia). Quando comparadas a amostra controle, obtiveram notas de escala cinza de 3,99 (em média), 60% melhor que a amostra padrão, sendo as amostras POSQQUI1(5g/L) e POSQQUI2(10g/L) com menor variação de cor, com valor de escala cinza de 4,19 para ambas as amostras.

As amostras com aplicação de pré-tratamento de quitosana e CMC obtiveram uma variação de cor entre a 1ª e a 27ª lavagem de 71% (em média), enquanto as amostras com pós-tratamentos de quitosana e CMC obtiveram variação de 11%.

MOMIN (2008) aplicou a quitosana como pós-tratamento e fez um comparativo com fixantes comerciais normalmente utilizados em estamparia.

Realizou 5 lavagens doméstica e efetuou a leitura por espectrofotometria. Obteve melhora com relação a amostra controle, média de escala cinza de 4,12 para 3,12, ou seja, 32% superior. A partir dos resultados acima, fica claro que a quitosana pode fixar, em algodão, tintas com pigmentos comerciais. Além disso, MOMIN concluiu que o pós-tratamento com quitosana proporcionou uma melhor fixação de tintas à base de pigmento em tecidos de algodão impressos a jato de tinta em comparação com fixadores têxteis comerciais comumente utilizados.

Figura 43 - Avaliação colorimétrica escala cinza 27 lavagens.

Fonte: Autor

Após a 54ª lavagem as amostras foram submetidas a novas leituras, onde pode-se observar conforme figura 44 que a amostra controle, sem aplicação de quitosana, e as amostras de 1 a 10, com aplicação de quitosana e CMC como pré-tratamento (antes de estampar) continuaram obtendo os maiores valores de alteração de cor em comparação às amostras com pós-tratamento.

Todas as amostras com pré-tratamento de quitosana e CMC obtiveram alterações de cores maiores que a amostra controle, sendo as amostras PREQQU4(22,2g/L) e PREQC1(14,28g/L), com valores de escala cinza de 1 para ambas as amostras, ou seja, 48% inferiores a alteração da amostra controle, que apresentou valor de escala cinza de 1,94.

As amostras de 11 a 20, obtiveram melhores resultados, foram amostras com aplicação de pós-tratamentos (quitosana e CMC após estamparia). Quando comparadas a amostra controle, obtiveram média de avaliação colorimétrica de

escala cinza de 3,07, 58% superior a amostra controle. A amostra POSFQUI1(5g/L) obteve a maior nota de escala cinza, com valor de 3,25, 68% superior a amostra controle.

Ao realizar a comparação das amostras POSFQUI1(5g/L) e POSQQUI1(5g/L), ambas com concentração de quitosana de 5 g/L, alterando apenas a forma de aplicação da pasta (Foulard e quadros), pode-se observar que os resultados foram muito próximos, com variação de 2%.

Figura 44 - Avaliação colorimétrica escala cinza 54 lavagens.

Fonte: Autor

A figura 45 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por escala cinza entre as lavagens, mostrando a diminuição do valor de escala cinza conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar que a amostra controle obteve uma queda de 48% entre a 1ª e a 27ª lavagem, 22% entre a 27ª e a 54ª e 60% entre a 1ª e a 54ª. As amostras de 1 a 10 apresentaram queda de 60% (em média) entre a 1ª e a 27ª lavagem, 13%, entre a 27ª e a 54ª lavagem e 66% entre a 1ª e a 54ª lavagem, enquanto as amostras de 11 a 20 tiveram 19%, 14% e 31% respectivamente. Nota-se também que após 54 lavagens a amostra padrão obteve valor de escala cinza de 1,94, as amostras 11 a 20 obtiveram resultado máximo de 3,25 e mínimo de 2,88, enquanto as amostras de 1 a 10 apresentaram valores máximos de 1,75 e mínimo de 1.

Figura 45 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza.

Fonte: Autor

De acordo com NEVES (2000) com o espectrofotômetro é possível fazer o controle de qualidade, imitação de cores e determinação do metamerismo, o que tornou este equipamento praticamente indispensável em tinturarias, estamparias, fábrica de tintas, entre outros. Apesar do sistema de avaliação de cores por números serem confiáveis, quando comparamos duas amostras, um número atribuído a diferença de uma cor (ΔE^*), por exemplo 0,5 para ambas, não significa que a cor das duas amostras sejam visualmente parecidas, pois uma pode estar mais avermelhada e a outra mais azulada, e o ΔE^* ser equivalente. As avaliações colorimétricas são eficientes e completas, mas sempre necessitam de avaliação visual que será a chave de aceitação ou rejeição de uma cor na indústria.

Os valores das avaliações colorimétricas por escala cinza demonstrados nas Figuras 46, 47, 48 e 49 são um comparativo dos valores obtidos em cada uma das quatro cores (quadrante) das amostras conforme a evolução das lavagens após 1, 27 e 54.

A figura 46 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por escala cinza entre as lavagens do quadrante amarelo da estampa, mostrando as notas na escala cinza conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar que as amostras de 0 a 10 apresentaram nota máxima de 2,25 e mínima de 1 enquanto as amostras de 11 a 20 tiveram notas 4 e 3 respectivamente.

Figura 46 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante amarelo

A figura 47 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por escala cinza entre as lavagens do quadrante azul da estampa, mostrando as notas na escala cinza conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar que após 54 lavagens as notas das amostras de 0 a 10 apresentaram nota mínima de 1 e as amostras de 11 a 20 apresentaram nota mínima de 2,5.

Figura 47 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante azul

A Figuras 48 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por escala cinza entre as lavagens do quadrante preto da estampa, mostrando as notas na escala cinza conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar que as amostras de 0 a 10 apresentaram as notas mais baixa na escala cinza, 1, e as amostras de 11 a 20 (segunda parte do gráfico) apresentaram nota mínima de 2,50. A amostra POSQQUI2(10g/L) apresentou a melhor nota de escala cinza após 54 lavagens, nota 3.

Figura 48 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante preto

Fonte: Autor

A figura 49 apresenta um comparativo da avaliação colorimétrica por escala cinza entre as lavagens do quadrante vermelho da estampa, mostrando as notas na escala cinza conforme aumentam as lavagens. Pode-se observar o mesmo padrão dos gráficos dos quadrantes anteriores, onde as amostras de 0 a 10 apresentaram os valores mais baixos e as amostras de 11 a 20 mais altos. Após 54 lavagens as amostras PREFC1(14,28g/L), PREQUI4(22,2 g/L) e PREQC1(14,28g/L), apresentaram nota 1 de escala cinza, e a amostra POSFQUI1(5g/L) a nota de maior valor, 3,5.

Figura 49 - Comparativo de avaliação colorimétrica por escala cinza quadrante vermelho

Na comparação dos resultados de solidez de cada cor nas amostras com aplicação de pós-tratamentos, a cor amarela obteve melhor resultado, nota 4 na escala cinza e 3,16 de ΔE^* , e a cor preta pior desempenho com nota 2,67 na escala cinza e 4,48 de ΔE^* em média.

6.6.3. Análise da impregnação após lavagem

A análise da impregnação após as lavagens foi feita por MEV. Como pode-se observar nas Figuras 50 e 51 há evidências de quitosana na superfície da fibra de algodão.

Figura 50 - MEV da amostra (11) pós-tratadas em Foulard com quitosana 5 g/L

Figura 51 - MEV da amostra (16) pós-tratadas em Quadros com quitosana 5 g/L

6.6.4. Avaliação física

A Figura 52 mostra um comparativo visual das amostras após 54 lavagens, exceto a amostra controle que representa o tecido sem tratamentos químicos e sem lavagem doméstica. Pode-se observar na Figura 52 que as amostras de 0 a 10 sofreram nítido desboto visual e as amostras de 11 a 20 com

pós-tratamento de quitosana e CMC obtiveram uma diferença menor de cor entre a amostra padrão e às amostras lavadas.

Figura 52 - Comparativo visual das amostras

Fonte: Autor

Ao realizar a impregnação das amostras, pode-se observar que as amostras com aplicação de CMC sofreram um amarelamento nítido a olho nu e as malhas de algodão ficaram mais rígidas e ásperas. Não foi identificado alteração de cores nas malhas com aplicação de quitosana e a rigidez e toque não foram afetados.

7. CONCLUSÃO

Foi aplicada em malha de algodão quitosana nas concentrações de 5, 10, 15 e 22,2 g/L e CMC com concentração de 14,28 g/L, utilizando Foulard e Quadro antes e após estamparia digital e foram avaliadas a solidez a lavagem domésticas das amostras e com isso pode-se concluir:

Os resultados de avaliação colorística por espectrofotômetro de solidez da cor a lavagem doméstica foram satisfatórios para a aplicação de quitosana e CMC como fixadores em pós-tratamento após estamparia digital, onde obtiveram melhora de cerca de 175% na avaliação colorimétrica por ΔE^* e 69% na avaliação por escala cinza.

Esta diferença de porcentagem se deve ao fato que as mesmas utilizam parâmetros diferentes de medição, porém ambos os métodos são utilizados no mercado e ambos obtiveram melhora significativa em comparação ao tecido sem aplicação de tratamentos químicos (apenas estampado).

As malhas com pré-tratamento obtiveram resultados reversos, ao invés de auxiliarem a fixação do corante e consequentemente melhorar os resultados de solidez da cor a lavagem, os polímeros agiram como inibidores, tendo resultados de avaliação colorimétrica por ΔE^* de 66% piores comparados a amostra controle e 67% piores quando avaliados pela escala cinza.

Além disso, as estampas das malhas pré-tratadas e da amostra controle sofreram desbote nítido a olho nu, justificando as notas próxima a 1 na escala cinza. As amostras com pós-tratamento sofreram alterações de cores, mas a estampa ainda fica preservada, o que leva a concluir que a quitosana como pré-tratamento não contribuiu para a fixação dos corantes na malha de algodão nas condições estudadas.

As amostras pós-tratadas com quitosana e CMC, obtiveram resultados satisfatórios o que leva a concluir que a quitosana pode ter fixado na fibra de algodão ou a própria tinta e pode ter o inibindo a água de retirar o pigmento da estampa.

Quanto às concentrações de quitosana nas amostras pós-tratadas, os resultados mostraram que apesar da amostra POSFQUI1(5g/L) ter obtido os melhores resultados tanto na avaliação colorimétrica por ΔE^* , quanto por escala cinza, todas as amostras pós-tratadas obtiveram resultados melhores que a amostra controle e variação de 6% dos resultados obtidos em comparação a amostra POSFQUI1(5g/L). A Forma de aplicação por Foulard ou Quadros também não influenciou no resultado final de melhora na solidez da cor a lavagem doméstica em malhas de algodão, mas pode-se comprovar que ambos os processos podem ser utilizados para aplicação da quitosana combinados com a estamparia digital.

Quando comparado os resultados de solidez de cada cor nas amostras com aplicação de pós-tratamentos, apesar dos valores da cor amarela obter melhor desempenho e a preta pior, pode se verificar que os valores numéricos foram similares.

Na avaliação por MEV após a lavagem das amostras foi observado que havia indícios de substâncias de impregnação no tecido de algodão.

Foi observado na avaliação visual que as amostras com aplicação de carboximetilcelulose alteraram a maleabilidade da malha, a tornando mais dura e áspera.

8. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aumento na variação de concentração de quitosana, fazer um planejamento experimental
- Estudar outros polímeros além da quitosana e CMC
- Verificar a solidez a luz, suor ácido e alcalino
- Analisar as propriedades físicas da malha
- Fazer comparativo com a estamperia convencional (*silk-screen*)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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: 08-05-2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 105-C06:2010: Têxteis - Ensaio de solidez da cor Parte C06: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial**, 2010.

AGUIAR NETO, A.O. **Descrição geral da subbacia hidrográfica do rio Poxim**. Sergipe, 2006

ALBUQUERQUE, S.M., **Apostila Tecnologia da Confecção**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2013.

ALFIERI, P. P. M., **Apostila Noções de Estamperia Têxtil** – Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2007.

ALFIERI, P. P. M., **Apostila Tecnologia Fibras I**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2012.

ALFIERI, P. P. M., **As outras questões envolvidas na qualidade da estampa digital**. Revista Textilia, edição 98, 2014.

ALMEIDA, M. F., **Avaliação do processo de adsorção-fotodegradação com esferas de TiO₂-quitosana para o tratamento de efluentes de indústria têxtil**, Universidade Federal de Viçosa, 2011.

ANDRADE FILHO, J. F.; SANTOS, L. F. **Introdução à tecnologia têxtil**. Vol III. Rio de Janeiro: SENAI – Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, 1980.

ANDREOLI, C.; FRETI, F., **REFERENCE BOOKS OF TEXTILE TECHNOLOGY: MAN-MADE FIBRES**, Fondazione ACIMIT, Milão, 2004.

ANDREONI, M. A. L., **Estamparia Têxtil: Uma estratégia na diferenciação do produto da manufatura do vestuário de moda**, *Universidade Paulista, São Paulo, 2008*.

ARAÚJO, M; CASTRO, E. M. **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v.I, 1996a.

ARAÚJO, M; CASTRO, E. M. **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v.II, 1996b.

ASTON, S.O., PROVOST, J.R., MASSELINK, H., **Jet printing with reactive dyes**, Journal of the Society of Dyers and Colourists, United Kingdom, 1993.

BERGER, J., REIST, M., MAYER, J.M., FELT, O., PEPPAS, N.A., GURNY, R.

Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 57, p.19-34, 2004.

BIERMANN, M. J. E., **Gestão do processo produtivo**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007.

BOATENG, J., AYENSU, I. AND PAWAR, H. **Chitosan, in Mucoadhesive Materials and Drug Delivery Systems** (ed V. V. Khutoryanskiy), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, Reino Unido, 2014. BOWLES, M.; ISAAC, C., **Digital Textile Design**, Laurence King Publishing, Londres, 2009.

BOWLES, M.; ISAAC, C. **Digital Textile Design**. London: Laurence King Publishers, 2012.

BRUCE, M.; TOWERS, L. D. N., **Lean or Agile A solution for supply chain management in textiles and clothing industry?**, Manchester Business School, Manchester, 2004.

BRUSATIN, M., **Historia de los Colores**, Barcelona, 1987.

CALLAN, G. O., **Enciclopédia da Moda**, Companhia das Letras, São Paulo, 2007.

CANDIDO, M., **BEM DITAS ESTAMPAS DE CAMISETA: UMA ATIVIDADE DO DESIGN**, São Paulo, 2009.

CANELLA, K. M. C.; GARCIA, R. B. **Caracterização de quitosana por cromatografia de permeação em gel: influência do método de preparação e do solvente**. Química Nova, v. 24, n. 1, p. 13-17, 2001.

CARVALHINHA, P. M., **O setor do vestuário: Uma análise sobre as possibilidades estratégicas das empresas do vestuário no Brasil**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CESTARE, J. F., **Apostila Malharia II – Malharia Circular**; Centro Universitário da FEI; São Bernardo do Campo, 2010.

CHATAIGNIER, G. . **Fio a fio: tecidos, moda e linguagem**. São Paulo: Estação das Letras, 2006.

CHEN, L., DING, X., WU, X., **Water Management Tool of Industrial Products: A case study of screen printing fabric and digital printing fabric. Ecological Indicators**, Elsevier, CHINA, 2015.

CHIOU, M. S.; LI, H. Y. **Equilibrium and kinetic modeling of adsorption of reactive dye on croos-linked chitosan beads**. Journal of Hazardous Materials, v. 93, p. 233-248, 2002.

CHOI, P. S. R., **Development of an optimum printing system ofr digital ink-jet printing**, Institute of Textiles & Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, 2006.

CHOI, P. S. R.; YUEN, C. W. M.; KU, S. K. A.; KAN, C. W., **Digital Ink-jet Printing for Chitosan-treated Cotton Fabric**, Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2005.

Commission Internationale de L'Eclairage. Colorimetry. 2nd ed. Wien: Central Bureau of the CIE; 1986. (Publ. CIE; 15.2)

CRUZ-MOREIRA, J. R., **Industrials upgradings nas cadeias produtivas: Reflexões a partir das indústrias têxtil e do vestuário de Honduras e do Brasil**. Tese (doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DEOPURA, B. L. (Ed.) et al. **Polyamide Fibers**, em: _____. Polyesters and polyamides. Cambridge: CRC, 2008.

DUALIBI, T., **O Fenômeno da Camiseta**, AntennaWeb – Revista digital do IB Moda, 2015.

FEITOSA, S. C.; OIWA, N. N.; COSTA, M. F.; TIEDEMANN, K. B.; SILVEIRA, L. C. LIMA; VENTURA, D., **Espaço de cores**. Psicologia USP, 35-62, 2006.

FELIPE, M.G., **Apostila de Vestuário 3**, Natal, 2007.

FONSECA, A.S., FONSECA, T.C., **Cultura da amoreira e criação do bicho-da-seda**, São Paulo, 1988.

FOURNÉ, Franz. **Synthetic Fibers – Machines and equipment, manufacture, properties**. Munich: Hanser, 1998.

FURLAN. L. **Copolímeros grafitizados de quitina e quitosana com monômeros acrílicos: estudos de adsorção de Ca (II) e aplicações na tecnologia do papel**. Florianópolis, 1993. Dissertação [Mestrado] – Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

GESKE, G.A., **Transformação da Fibra de Algodão em Tecido Plano e Felpudo**. São Paulo, 2009.

GOETHE, J. W., **Doutrina das Cores**, São Paulo, Nova Alexandria, 1993.

GORDON, J.C. **Handbook of textile fibres: natural fibres**. Durham: Mellow, 1993.

GREGORY, P. et al., **Ink jet Printing on Textiles, Society of Dyers and Colourists**, Bradford, 2003.

GUARATINI, C.C.I., ZANOMI, M.V.B., **Corantes Têxteis**, Araraquara, 2000.

GUIBAL, E.; VON OFFENBERG SWEENEY, N.; ZIKAN, M. C.; VICENT, T.; TOBIN, J. M. **Competitive sorption of platinum and palladium on chitosan derivatives**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 28, p. 401-408, 2001.

GUILLÉN, J.G. **Fibras Textiles: Propriedades y descripción (Curso Básico)**. Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1991.

GUPTA, S. **Inkjet printing – a revolutionary ecofriendly technique for textile**. India, 2001.

Han, F.Q.; Shao, B.; Wang, Q.W.; Guo, C.G.; Liu, Y.X., "**Synthesis and characterization of carboxymethylcellulose and methyl methacrylate graft copolymers**", Pigment & Resin Technology, China, 2010.

HAYWARD, J. D. **Digital Textile Printing – Creative & Commercial Opportunities**. Smithers Pira, 2012.

HOLLEN, N.; SADDLER, J.; LANGFORD, A. L. **Introducción a los Textiles**, Cidade do México: Limusa, 1994.

ICAC – International Cotton Advisory Committee – **5th Dedicated Discussion of the Relevant Trade-related Developments On Cotton**, Geneva, 2016

IEMI - Instituto de Estudos e Marketing Industrial, Brasil Têxtil - **Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira**, 2015.

IOELOVICH, M.; LEYKIN, A. **Structural investigations of various cotton fibers and cotton celluloses**, BioResources, Israel, 2008.

JOFFILY, R. ET ALL. **História da camiseta**. Blumenau: [s.n.], 1988.

KAN, C.W. & YUEN, C.W.M., **Digital Ink-jet Printing on Textiles**, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China, 2012.

KANGWANSUPAMONKON, W.; SUKNITHIPOL, M.; PHATTANARUDEE, S.; KIATKAMJORNWONG, S., **Inkjet printing: effects of binder particle size and chitosan pretreatment on the qualities of silk fabric**, **Surface Coating Interntional**, 2011.

KONTIC, B., **Aprendizado e Metrpole: A reestruturao produtiva da indstria do vesturio em So Paulo. Tese (doutorado)**. Departamento de Sociologia da Faculdade de Filosofia, Letras e Cincias Humanas da Universidade de So Paulo. So Paulo, 2001.

KOSLOWSKI, H.J., **Dictionary of Man-Made Fibers**, International Business Press, 1998.

KUMARI, S.; RATH, P.; KUMAR, A.S.H.;TIWARI, T.N., **Extraction and characterization of chitin and chitosan from fishery waste by chemical method**. Environmental Technology & Innovation. Elsevier, ndia, 2015.

LADCHUMANANANDASIVAM, R., **Srie Processos Qumicos Txteis, Volume II – Cincia da Cor**, Natal, RN: UFRN, 2002.

LEACH R. H.; PIERCE, R. J.; HICKMAN, E. P.; MACKENZIE, M. J.; SMITH, H. G.,**The Printing Ink Manual**, Blueprint, Cornwall, 1993

LEAL, A.S.; LOPES, J.A.D.; SILVA, S.; FREITAS, R.M.; ARAJO, I.M.S., **DESENVOLVIMENTO DE FILMES DE CARBOXIMETILCELULOSE PARA ENCAPSULAMENTO DE DROGAS: UMA PROSPECO TECNOLGICA**, Teresina, 2014.

LEILA, J.C., **A REVOLUCIONRIA ESTAMPARIA TEXTIL DIGITAL**, 2012. **Sinteqmica do Brasil Ltda**, 2012. Disponvel em: <<http://www.sinteqimica.com.br/wwwroot/pdf/3/texto47.pdf>> Acesso em 10 de setembro de 2014.

LEWIN, M.; PEARCE, E. M., **Handbook of Fiber Chemistry. 2. ed. Menachem: Series**, 1998.

LIDÓRIO, C. F. **Apostila de Tecnologia da confecção, Araranguá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**, 2008.

LOPES, L.C., **Controle Metrológico da cor aplicado à Estamparia Digital de materiais têxteis**. PUC – RIO, Rio de Janeiro, 2009.

LOWSON, B. et al., **Quick Response Managing the Supply Chain to Meet Consumer Demand**, Cardiff Business School, Cardiff, 2006.

MACEDO, J. C., **A INOVADORA TECNOLOGIA DA ESTAMPARIA DIGITAL**, XIX Congresso Latino-Americano de Química Têxtil, Santiago, 2008.

MACIEIRA, C.; RIBEIRO, J. P., **Na rua: pós-grafite, moda e vestígios**. Belo Horizonte, 2007.

MALUF, E., **Dados Técnicos para a Indústria Têxtil – 2.ed.**, São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: ABIT – Associação Brasileira da indústria Têxtil e de Confecção, 2003.

MANO, E.B.; MENDES, L.C.: **Introdução a Polímeros**. Editora Blücher, 2ª Edição, 4ª Reimpressão, São Paulo, 2010.

MCINTYRE, J.E., **Textile Terms and Definitions**, The Textile Institute, Biddles Limited, Tenth Edition, Manchester, 1995.

MEDINA, J.C., **Plantas Fibrosas da Flora Mundial**. Campinas, 1959.

MILES, L.W.C., **The production and properties of printing pastes in Textile Printing (2nd Edition)**, ed., Society of Dyers and Colourists, (1994).

MOMIN, N. H., **Chitosan and improved pigment ink jet printing on Textiles**, Textile Technology, School of Fashion and Textiles, Design and Social Context, RMIT University, 2008.

MORAES, C.M.: Estudo da difusão de corantes reativos em tecido de algodão. Dissertação, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, 2010.

MT COTTON MATO GROSSO COTTON. **Estatísticas Mundiais de Produção e Produtividade**. Disponível em:

<http://www.mtcotton.com.br/estatisticas/estatisticas_1.asp>. Acessado em: 2004.

NEDDLES, H.L., **TEXTILE FIBERS, DYES, FINISHES, AND PROCESSES A Concise Guide**, University of California, New Jersey, 1986.

NEVES, J., **Manual de Estamparia Têxtil**. Guimarães: Direção Editorial da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal, 2000.

OKTEM, T., **Coloration Technology**, 119(2), 241, 2003.

ONIONS, W. J. **Wool - An introduction to its properties, varieties, uses and production**. Londres, 1962.

PARYS, M., **The future printing will be digital**, *Melliand Textilberichte - International Textile Reports* (Eng. Ed.), 83(6), E96, 2002.

PEARSTINE, K., **Corantes e Pigmentos para a Estamparia Textil Digital**, *Ink development Manager*, DuPont Ink Jet, 2011.

PEREIRA, G.S., **Introdução à Tecnologia Têxtil**, Santa Catarina, 2010.

PEZZOLO, D.B., **Tecidos: Historia, Tramas, Tipos e Usos**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

POMPAS, R. **Textile Design: Ricerca – Elaborazione - Progetto**. Milano: Edimatica, 1994.

PR NEWSWIRE, **Global Digital Textile Printing Market Expected to Reach \$3,943 Million by 2022 - Allied Market Research**, Índia, 2017.

RUTHSCHILLING, E.A.; LASCHUK, T., **Processos contemporâneos de impressão sobre tecidos**, *ModaPalavra e-Periódico*, Volume 11, Florianópolis, 2013.

RYALL, H., **An Exploration of Digital Technology over a Number of Manipulated Textile Surfaces**, Universidade de Huddersfield, Huddersfield, 2010.

SAMPAIO, J.F.C., **TECNOLOGIA DE ESTAMPARIA DIGITAL PARA TECIDOS EM PEQUENAS PARTIDAS DE PRODUÇÃO**, 2011.

SANCHES, R.A., **Estudo comparativo das características das malhas produzidas com fibras sustentáveis para fabricação de vestuário**. São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, 2011. Tese de Livre-Docência.

SANCHES, R. A.; VICENTINI, C. R. G.; RAMOS, J. B.; COSTA, S. A.; GOMES, S. H. A.; PIRES, B. H. F. F.; ARAÚJO, M. C., **Principais matérias-primas utilizadas na confecção de uniformes de futebol**, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SIGMA-ALDRICH, **419273 - Product Specification**, USA, 2017.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A., **A teoria das cores de newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula**. Ciênc. educ. (Bauru), Bauru, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SINTES, I. R., **Fibras Textiles Sintéticas**. 2. ed. Barcelona: Bosch, 1953.

Site: <http://www.sebrae2014.com.br/sebrae/Sebrae%202014/Boletins/>

fortaleza_boletim_2014_outubro.pdf, último acesso 22/02/2016.

Site: Sinvespar – IBGE- 2013 <http://www.sinvespar.com.br/Download/Indicadores/OMercadodeBlusaseCamistas.pdf><http://www.sinvespar.com.br/Download/Indicadores/OMercadodeBlusaseCamistas.pdf>, último acesso em 22/03/2016.

Site: <http://www.shuminoie.com.br/>, último acesso em 25/05/2016

SLATER, K., **Enviroment Impact of Textiles**, Woodhead Publishing Ltd, Abington, 2003.

SOUZA, C. S., **Variação de temperatura e umidade e suas influencias nas características físicas e mecânicas dos fios de algodão**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio Grande do Norte, 2011.

SPENCER, D.J., Knitting Technology, Cambridge England, 2001.

Takatsui F. **Sistema CIE Lab: Análise computacional de fotografias**. [Dissertação de Mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2011.

TOMCZAK, F., **Estudo sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TROTMAN, E. R. **Dyeing and chemical technology of textile fibres**. 6. ed. High Wycombe: Charles Griffin, 1984.

UJIIE, H., **Digital Printing of Textiles**, Woodhead Publishing, Philadelphia, 2006.

VASCONCELOS, F. B.; CASACA, F. ; VASCONCELOS, F. G. ; MARCICANO, J. P. P. ; SANCHES, R. A. . **Design of elastic garments for sports in circular knitting**. International Journal of textile and fashion technology (IJTFT), v. 3, p. 39-48, 2013.

VIEIRA, L.B., **A estamparia têxtil contemporânea: produção, produtos e subjetividades**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

WILSON, Elizabeth. **Enfeitada de sonhos**. Edições 70, Lisboa, 1985.

WOODINGS, C. **Regenerated Celulosic Fibres**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001.

WRIGLEY, C., **Winston Churchill: A Biographical Companiom**. Santa Barbara, California, 2003.

XUE, C. H., SHI, M. M., CHEN, H. Z., WU, G., WANG, M., **Preparation and application of nanoscale microemulsion as binder for fabric inkjet printing, China**, 2006.

YAMANE, L.A., **Estamparia Têxtil**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

YUEN, C. W. M.; KU, S. K. A.; KAN, C. W.; CHOI, P. S. R., **A Two-Bath Method for Digital Ink-jet Printing of Cotton Fabric with Chitosan, Fibers and Polymers**, Vol.8, No.6, 625-628, 2007.

ANEXO A – Valores de ΔE^* , alteração da cor comparada à escala cinza após 1, 27 e 54 lavagens por cor.

Tabela 6 - Valores de ΔE^* após 1, 27 e 54 lavagens por cor

AMOSTRA	ETAPA	PROCESSO	CONCENTRAÇÃO (g/l)	COR	1 lavagem	27 lavagens	54 lavagens
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	PRETO	0,435	7,19	9,75
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	AMARELO	0,74	9,015	12,13
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	VERMELHO	0,675	6,86	10,285
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	AZUL	0,505	6,35	8,8
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	PRETO	0,94	9,89	13,28
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	AMARELO	1,88	14,11	18,835
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	VERMELHO	1,52	9,065	13,085
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	AZUL	0,69	7,39	9,945
PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	PRETO	1,02	8,395	11,55
PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	AMARELO	1,59	10,32	14,745
PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	VERMELHO	1,05	7,5	11,06
PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	AZUL	1,865	6,26	9,795
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	PRETO	1,035	8,34	12,855
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	AMARELO	1,755	12,79	15,87
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	VERMELHO	0,935	9,73	13,235
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	AZUL	0,81	7,645	10,87
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	PRETO	0,515	12,22	16,82
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	AMARELO	0,495	15,535	20,345
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	VERMELHO	1,005	11,045	13,985
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	AZUL	0,63	8,49	10,06
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	PRETO	0,39	12,685	15,625
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	AMARELO	3,495	21,63	22,25
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	VERMELHO	0,745	15,23	16,67
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	AZUL	1,86	13,035	15,57
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	PRETO	0,265	11,895	15,95
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	AMARELO	1,635	13,07	19,285
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	VERMELHO	0,28	11,645	15,59
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	AZUL	0,585	8,955	12,905
PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	PRETO	0,52	11,595	17,485
PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	AMARELO	1,115	12,35	21,3

PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	VERMELHO	0,555	11,845	16,635
PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	AZUL	1,02	8,8	14,6
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	PRETO	0,39	11,79	17,545
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	AMARELO	0,575	12,365	22,02
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	VERMELHO	0,595	11,01	15,255
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	AZUL	0,805	8,895	13,58
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	PRETO	0,615	12,155	17,51
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	AMARELO	0,775	14,04	50,395
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	VERMELHO	0,66	13,005	19,46
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	AZUL	0,94	8,86	14,63
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	PRETO	5,705	19,105	20,88
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	AMARELO	7,18	25,635	27,1
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	VERMELHO	6,285	20,325	23,505
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	AZUL	5,13	18,255	20,13
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	PRETO	1,235	1,525	3,93
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	AMARELO	1,02	1,405	3,16
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	VERMELHO	1,035	1,655	3,615
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	AZUL	0,495	2,375	4,225
POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	PRETO	0,985	2,605	5,03
POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	AMARELO	1,335	1,47	4,43
POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	VERMELHO	1,025	1,505	4,015
POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	AZUL	1,205	2,195	4,18
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	PRETO	0,98	2,2	3,88
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	AMARELO	1,045	1,31	3,855
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	VERMELHO	0,865	1,905	4
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	AZUL	0,855	2,19	4,24
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	PRETO	1,89	1,425	4,515
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	AMARELO	0,9	1,74	4,36
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	VERMELHO	1,86	2,065	3,72
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	AZUL	1,94	2,705	4,12
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	PRETO	1,285	2,48	5,125
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	AMARELO	1,155	2,17	5,285
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	VERMELHO	1,62	1,785	4,435
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	AZUL	1,165	2,535	4,805

POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	PRETO	0,64	2,4	4,745
POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	AMARELO	1,575	1,55	4,44
POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	VERMELHO	0,87	1	3,645
POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	AZUL	0,985	1,97	3,875
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	PRETO	0,85	1,515	3,915
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	AMARELO	0,535	1,34	4,305
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	VERMELHO	0,56	1,24	4,705
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	AZUL	0,735	2,035	4,98
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	PRETO	0,68	2,595	4,19
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	AMARELO	1,275	1,515	3,74
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	VERMELHO	0,445	1,86	4,455
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	AZUL	0,865	2,31	3,79
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	PRETO	0,82	3,16	5,23
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	AMARELO	0,715	1,895	5,41
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	VERMELHO	1,01	2,54	4,32
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	AZUL	1,14	2,83	4,915
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	PRETO	1,635	2,155	4,25
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	AMARELO	1,515	1,69	3,905
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	VERMELHO	0,95	1,575	4,115
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	AZUL	1,095	2,49	4,82

Tabela 7 - Valores de comparação à escala cinza após 1, 27 e 54 lavagens por cor

AMOSTRA	ETAPA	PROCESSO	CONCENTRAÇÃO (g/l)	COR	1 lavagem	27 lavagens	54 lavagens
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	PRETO	4,5	2	1,5
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	AMARELO	5	3	2,5
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	VERMELHO	4,75	2,5	1,75
Controle	-	SEM APLICAÇÃO	0	AZUL	5	2,5	2
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	PRETO	4,25	1,5	1
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	AMARELO	4,5	2,25	1,75
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	VERMELHO	4,5	2,25	1,5
PREFQUI1(5g/L)	PRÉ	FOULARD	5	AZUL	4,75	2,25	1,75
PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	PRETO	4,5	1,75	1,25
PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	AMARELO	4,5	2,75	2,25

PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	VERMELHO	4,5	2,25	1,75
PREFQUI2(10g/L)	PRÉ	FOULARD	10	AZUL	4,5	2,25	1,75
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	PRETO	4,5	1,75	1,25
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	AMARELO	4,5	2,25	2
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	VERMELHO	4,5	2,25	1,5
PREFQUI3(15g/L)	PRÉ	FOULARD	15	AZUL	4,5	2,25	1,75
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	PRETO	4,5	1	1
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	AMARELO	4,5	2	1,5
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	VERMELHO	4,5	1,75	1,5
PREFQUI4(22,2g/L)	PRÉ	FOULARD	22,2	AZUL	4,5	2	1,5
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	PRETO	4,75	1	1
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	AMARELO	4,5	1,5	1,5
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	VERMELHO	4,5	1,25	1
PREFC1(14,28g/L)	PRÉ	FOULARD	14,28	AZUL	4,5	1,25	1
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	PRETO	5	1	1
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	AMARELO	4,5	2,25	1,75
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	VERMELHO	5	1,5	1,25
PREQQUI1(5g/L)	PRÉ	QUADRO	5	AZUL	4,5	1,75	1,25
PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	PRETO	4,5	1,25	1
PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	AMARELO	4,5	2,25	1,5
PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	VERMELHO	4,5	1,75	1,25
PREQQUI2(10g/L)	PRÉ	QUADRO	10	AZUL	4,5	1,75	1
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	PRETO	4,5	1,25	1
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	AMARELO	4,5	2,5	1,5
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	VERMELHO	4,5	1,75	1,25
PREQQUI3(15g/L)	PRÉ	QUADRO	15,0	AZUL	4,5	1,75	1,25
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	PRETO	4,5	1	1
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	AMARELO	4,5	2,25	1
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	VERMELHO	4,5	1,5	1
PREQQUI4(22,2g/L)	PRÉ	QUADRO	22,2	AZUL	4,5	2	1
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	PRETO	2,5	1	1
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	AMARELO	4	1	1
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	VERMELHO	3	1	1
PREQC1(14,28g/L)	PRÉ	QUADRO	14,28	AZUL	2,5	1	1
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	PRETO	4,25	4	2,75
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	AMARELO	4,75	4	4
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	VERMELHO	4,5	4,25	3,5
POSFQUI1(5g/L)	PÓS	FOULARD	5	AZUL	4,5	3,75	2,75
POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	PRETO	4,5	3,5	2,5
POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	AMARELO	4,5	4,25	3,75
POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	VERMELHO	4,5	4,25	3,25

POSFQUI2(10g/L)	PÓS	FOULARD	10	AZUL	4,5	3,75	2,75
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	PRETO	4,5	3,75	2,75
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	AMARELO	4,5	4,5	3,75
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	VERMELHO	4,5	4,25	3,25
POSFQUI3(15g/L)	PÓS	FOULARD	15,0	AZUL	4,5	3,75	2,75
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	PRETO	4	4,25	2,75
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	AMARELO	4	3,75	3
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	VERMELHO	4,25	4	3
POSFQUI4(22,2g/L)	PÓS	FOULARD	22,2	AZUL	4	3,5	2,75
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	PRETO	4,5	3,5	2,5
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	AMARELO	4,75	4,25	3,5
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	VERMELHO	4,25	4,25	3,25
POSFC1(14,28g/L)	PÓS	FOULARD	14,28	AZUL	4,5	3,5	2,75
POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	PRETO	4,5	3,75	2,5
POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	AMARELO	4,5	4,5	3,75
POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	VERMELHO	4,5	4,5	3,5
POSQQUI1(5g/L)	PÓS	QUADRO	5	AZUL	4,5	4	3
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	PRETO	4,5	4,25	3
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	AMARELO	4,75	4,25	3,75
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	VERMELHO	4,5	4,5	3
POSQQUI2(10g/L)	PÓS	QUADRO	10	AZUL	4,5	3,75	2,5
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	PRETO	4,5	3,5	2,75
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	AMARELO	4,5	4,25	3,75
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	VERMELHO	4,5	4	3,25
POSQQUI3(15g/L)	PÓS	QUADRO	15,0	AZUL	4,5	3,75	3
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	PRETO	4,5	3,25	2,5
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	AMARELO	4,5	4,5	3,5
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	VERMELHO	4,5	4	3,25
POSQQUI4(22,2g/L)	PÓS	QUADRO	22,2	AZUL	4,5	3,5	2,5
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	PRETO	4,5	3,75	2,75
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	AMARELO	4,5	4,5	3,75
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	VERMELHO	4,5	4,5	3,25
POSQC1(14,28g/L)	PÓS	QUADRO	14,28	AZUL	4,5	3,5	2,5