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

RAQUEL DO NASCIMENTO BEZERRA

**Estamparia Digital em Algodão 100%: Estudo sobre o
efeito dos produtos químicos utilizados no
processo de preparação de tecidos em
estampas com corantes reativos**

São Paulo

2017

RAQUEL DO NASCIMENTO BEZERRA

**Estamparia Digital em Algodão 100%: Estudo sobre o
efeito dos produtos químicos utilizados no
processo de preparação de tecidos em
estampas com corantes reativos**

Dissertação apresentada na Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, como um dos requisitos necessário para obtenção do Título de Mestre em Ciências: Modalidade Têxtil e Moda.

Área de concentração: Materiais e Processos Têxteis

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 12 de Setembro de 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.

Orientador: Prof. Dr. Maurício de Campos Araújo
Coorientador: Prof. Dr. Jorge Marcos Rosa

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.

CATÁLOGO-NA-PUBLICAÇÃO

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

Bezerra, Raquel do Nascimento

Estamparia digital em algodão 100 % : estudo sobre os efeitos dos produtos químicos utilizados no processo de preparação de tecidos em estampas com corantes reativos / Raquel do Nascimento Bezerra ; orientador, Maurício de Campos Araújo ; coorientador, Jorge Marcos Rosa. – 2017

101 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. Tecidos (Indústria têxtil) - Fabricação; preparo. 3. Estamparia. 4. Corantes. 5. Algodão. I. Araújo, Maurício de Campos, orient. II. Rosa, Jorge Marcos, coorient. III. Título.

CDD 22.ed. – 677

ATA DE DEFESA DE MESTRADO

A Comissão Julgadora de defesa de mestrado reuniu-se no dia 12 de setembro de 2017, às 15h00, na Sala 114 da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para arguir, em sessão pública, a aluna Raquel do Nascimento Bezerra, do Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda (Mestrado), referente à dissertação de mestrado “Estamparia digital em algodão 100%: Estudo sobre o efeito dos produtos químicos utilizados no processo de preparação de tecidos em estampas com corantes reativos”. A sessão iniciou-se com a apresentação da dissertação pela aluna, seguida de arguição pelos julgadores, que decidiram pela Aprovação (aprovação/reprovação) na defesa de mestrado, conforme avaliação a seguir:

Prof. Dr. Mauricio Campos de Araujo
Presidente

(assinatura)

Prof. Dr. José Heriberto O. do Nascimento

Resultado:

Aprovado

(assinatura)

Profa. Dra. Isabel Silva Sampaio

Resultado:

Aprovada

(assinatura)

Profa. Dra. Camila Borelli

Resultado:

APROVADA

(assinatura)

São Paulo, 12 de setembro de 2017.

Agradecimentos

- A Deus, por me permitir fazer parte de uma família maravilhosa, meus pais, João Luís Valentim Bezerra e Teresa de Jesus do Nascimento Bezerra, meu irmão Daniel do Nascimento Bezerra, pela força, incentivo, paciência e motivação nos momentos difíceis e ausência.
- À Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo pela concessão do auxílio financeiro.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurício Campos de Araújo pela dedicação e incentivo e ao meu co-orientador, Prof. Dr. Jorge Marcos Rosa, pela paciência e pronta assistência.
- À Golden Tecnologia pela doação dos produtos utilizados na execução dos experimentos.
- Ao Programa SENAI-SP de Apoio a Pesquisa, que disponibilizou as instalações da Faculdade de Tecnologia SENAI “Antoine Skaf” e Escola SENAI “Francisco Matarazzo” para execução da parte experimental deste estudo.

Epígrafe

“Tudo me é permitido, mas nem tudo me convém.”

Coríntios 6:12

“Não deixe para amanhã, o que se pode fazer hoje”

Tê.

“Relax...”

Mestre Jota

Resumo

BEZERRA, Raquel do Nascimento. **Estamparia Digital em Algodão 100%: Estudo sobre o efeito dos produtos químicos utilizados no processo de preparação de tecidos em estampas com corantes reativos**. 2017. 101p. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Versão corrigida.

Este projeto verificou a influência dos produtos químicos utilizados no processo de preparação de tecidos planos de algodão, para posterior stampa por processo digital com corantes reativos. No processo de preparação verificou-se a influência dos fatores 'quantidade de espessante', 'anti-migrante', 'álcali', 'agente higroscópico' e 'cloreto de sódio (NaCl)', utilizou-se um planejamento fatorial 2^5 , cinco pontos centrais, para estudo dos ensaios, tendo como resposta a intensidade colorística ($K S^{-1}$) das cores amarelo, vermelho, azul e preto, avaliando os índices de solidez à água e à fricção. Baseando-se no modelo matemático obtido, aplicou-se receita otimizada com economia de 35 g L^{-1} e 45 g L^{-1} de espessante e NaCl, respectivamente. A aplicação gerou maiores valores de $K S^{-1}$ em três das quatro cores estudadas. Somente a cor azul apresentou menor valor, porém com uma diferença de apenas 0,06 unidades, considerada não significativa. Nas solidez testadas, a nota mínima obtida foi de 4/5, considerada como satisfatória em uma escala de 1 a 5, onde 1 é o pior resultado e 5 o melhor, ou seja, não houve detrimento nos índices de solidez testados na receita otimizada em relação à receita de maior $K S^{-1}$ do planejamento.

Palavras-chave: Estamparia digital. Corantes reativos. Preparação de têxteis. Intensidade colorística.

Abstract

BEZERRA, Raquel do Nascimento. **Digital Printing in Cotton:** Study on the effect of the chemicals used in the process of preparation for printing with reactive dyestuff. 2017. 101p. Dissertation (Master Degree Textile and Fashion). School of Arts, Sciences and Humanities, University of Sao Paulo. 2017. Corrected version.

This project verified the influence of the chemicals used in the process of preparation of cotton fabrics, for subsequent digital printing with reactive dyestuff. In the preparation process, the influence of the factors 'amount of thickener', 'anti-migrant', 'alkali', 'hygroscopic agent' and 'sodium chloride (NaCl)' were used, being the answer coloristic intensity ($K S^{-1}$) of the yellow, red, blue and black colors, evaluating the color fastness to water and friction. Based on the obtained mathematical model, an optimized recipe with savings of $35 g L^{-1}$ and $45 g L^{-1}$ of thickener and NaCl, respectively, was applied. The application generated higher values of $K S^{-1}$ in three of the four colors studied. Only the blue color had lower value, but with a difference of only 0.06 units, considered not significant. In the solids tested, the minimum score obtained was 4/5, considered as satisfactory on a scale of 1 to 5, where 1 is the worst result and 5 the best, that is, there was no detriment in the color fastness tested in the optimized recipe in relation to the recipe of greater $K S^{-1}$ of the planning.

Keywords: Digital printing. Reactive dyestuff. Textile pretreatment. Coloristic intensity.

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura da Cadeia Produtiva Têxtil/Confecção no Brasil	17
Figura 2. Principais fibras têxteis	19
Figura 3. Estamparia a quadro manual	27
Figura 4. Estamparia a quadro automática para tecidos em esteira	28
Figura 5. Estamparia a quadro automática para peças prontas	29
Figura 6. Papel sendo removido após processo de termotransferência	30
Figura 7. Máquina de estamparia rotativa	31
Figura 8. Estrutura química da celobiose, monômero da celulose	33
Figura 9. Espectrofotômetro Konica-Minolta CM-3600d	36
Figura 10. Lavadora Suzuky	36
Figura 11. Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B1	37
Figura 12. Foulard Mathis	37
Figura 13. Impressora Digital SPG Print Ruby VII 8 Cores	37
Figura 14. Jigger Mathis	38
Figura 15. Perspirômetro	38
Figura 16. Crockmeter	38

Lista de Quadros

Quadro 1. Principais processos de preparação para posterior coloração	21
Quadro 2. Fluxograma dos processos de coloração	22

Lista de Tabelas

Tabela 1. Matriz do planejamento fatorial 2^5	40
Tabela 2. Matriz do Planejamento Fatorial, fatores e respostas.....	43
Tabela 3. Modelo ANOVA	45
Tabela 4. Quantidade otimizada de insumos	56
Tabela 5. Valores de $K S^{-1}$ do planejamento e da formulação otimizada	56
Tabela 6. Valores dos índices de solidez das cores	57

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Comportamento do $K S^{-1}$ nas quatro cores estudadas	44
Gráfico 2. Espessante e Anti-migrante	46
Gráfico 3. Espessante e Ureia	47
Gráfico 4. Espessante e Carbonato de Sódio	48
Gráfico 5. Espessante e Cloreto de Sódio	49
Gráfico 6. Anti-migrante e Ureia	50
Gráfico 7. Anti-migrante e Carbonato de Sódio	51
Gráfico 8. Anti-migrante e Cloreto de Sódio	52
Gráfico 9. Ureia e Carbonato de Sódio	53
Gráfico 10. Ureia e Cloreto de Sódio	54
Gráfico 11. Carbonato de Sódio e Cloreto de Sódio	55

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivo	14
1.2. Justificativa	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1. Indústria Têxtil	16
2.2. Principais setores	18
2.3. Beneficiamentos Têxteis	20
2.3.1. Processos de preparação	21
2.3.2. Processos de coloração	22
2.4. Estamparia: Visão Geral	23
2.4.1. Métodos de estamparia	25
2.4.2. Processos de estamparia convencional	26
2.4.2.1. Quadro manual	27
2.4.2.2. Quadro automático	27
2.4.2.3. Termotransferência	29
2.4.2.4. Rotativa	30
2.5. Processos de estamparia digital	31
2.5.1. Algodão	33
2.5.2. Corantes Reativos	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1. Materiais	35
3.1.1. Reagentes	35
3.1.2. Equipamentos	36
3.1.3. Materiais Diversos	39
3.2. Métodos	39
3.2.1. Purga e alveamento	39
3.2.2. Preparação	39
3.2.3. Estampagem, vaporização e tratamento posterior	41
3.2.4. Avaliação da cor nas estampas	41
4. RESULTADOS	43
4.1. Análise do modelo ANOVA	45
4.2. Superfícies de resposta dos efeitos mútuos entre os fatores	46
4.3. Aplicação da melhor formulação obtida	55
4.4. Solidez da cor	57
5. CONCLUSÕES	58
6. REFERÊNCIAS	59
7. ANEXOS	63
Publicações em periódicos	63
Trabalhos publicados em anais de eventos (completo)	63
Trabalhos publicados em anais de eventos (resumo)	63

1. INTRODUÇÃO

A estamparia têxtil, uma arte milenar, é um processo de coloração onde somente um lado do tecido é colorido. Pode ser definido como sendo um conjunto de figuras ou desenhos impressos nos tecidos formando uma padronagem (ANDREONI, 2008).

As estampas podem ser efetuadas com pigmentos ou com corantes, sendo a mais comum efetuada com pigmentos. Cerca de 20% de todos os produtos têxteis são estampados e destes, de 45% a 50% fazem uso de pigmentos, o método mais simples e econômico. Porém, as estampas com pigmento proporcionam um toque mais áspero do que as estampas produzidas com corantes (ANDREONI, 2008; MALUF e KOLBE, 2003).

A estamparia convencional vem sendo realizada e orientada pela "experiência" que, em grande parte, tem substituído a investigação de parâmetros que permitam controlar com exatidão tais processos, apesar de haver estudos avançados no uso de ciclodextrinas como agentes auxiliares de fixação (GIORDANO, 2002; ANDRAUS et al., 2010).

Na estamparia convencional, a quadro ou rotativa, o agente colorante é aplicado juntamente com espessantes, agentes higroscópicos e agentes de fixação, acondicionados em uma emulsão denominada "Pasta-Colorida", enquanto que na estamparia digital, os auxiliares são aplicados previamente no tecido, sendo o agente colorante aplicado por pulverização sobre o tecido previamente preparado

Com o intuito de abordar os aspectos atuais da importância da estamparia digital, além dos aspectos dos diversos tipos de estamparia têxtil convencional, essa dissertação encontra-se apresentada na seguinte ordem: Objetivos, Justificativa,

Revisão da Literatura, Metodologia utilizada na realização dos ensaios efetuados, Resultados, Referências e Trabalhos de pesquisa desenvolvidos durante a execução da Dissertação.

1.1. Objetivo

Verificar a intensidade colorística através da influência da melhor concentração de Espessante, Anti-migrante, Uréia, Cloreto e Carbonato de Sódio, auxiliares químicos aplicados em pré-tratamento necessário para posterior estamparia digital efetuada com corantes reativos do tipo monoclorotriazina (MCT) e Vinilsulfônico (VS), em tecidos planos de algodão 100%.

As variáveis foram estudadas e assistidas experimentalmente através de planejamento fatorial 2^5 , no intuito de prever quantidades otimizadas de insumos utilizados.

1.2. Justificativa

Nos processos de estamparia de algodão com corantes reativos existem inúmeras diferenças, algumas delas significativas, entre os processos de estamparia digital e os convencionais, quer sejam efetuados por rotativas ou através de quadro. Uma das principais é o fato de que nos processos de estamparias convencionais, o corante é aplicado juntamente com os auxiliares químicos (espessantes, álcalis, anti-migrantes, dentre outros), enquanto que no processo digital os auxiliares químicos são aplicados previamente no substrato, sendo o corante pulverizado posteriormente através de uma impressora específica.

Os processos de estamparia digital têm sido realizados e orientados pela "experiência" obtida nos processos de estamparia convencional que, em grande parte, tem substituído a investigação de parâmetros que permitam controlar com

exatidão tais processos (BEZERRA et al., 2014). Desta forma, torna-se fundamental a pesquisa na otimização dos processos de preparação, visando obter melhores resultados possíveis, com o mínimo de auxiliares a serem utilizados, sem detrimento dos índices de solidez das cores obtidas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Indústria Têxtil

O beneficiamento têxtil, é o setor da indústria que é pioneiro em práticas de produção mais limpa. Isto se deve à contínua procura pela melhoria de seu processo produtivo onde o componente ambiental exerce papel da maior importância. A cadeia empregou em 2015, a nível nacional, 1,53 milhão de profissionais. Esta quantidade de empregos correspondia a 16,9% do total de trabalhadores alocados na produção industrial, gerando aproximadamente R\$ 126 bilhões em produção, o que corresponde a 5,5% da produção da indústria brasileira. Os investimentos realizados no período de 2010 a 2014 pelas Indústrias da Cadeia em máquinas, equipamentos e instalações apresentaram um aumento de 53,1%. De maneira fragmentada o Setor têxtil apresentou 40,7% de aumento nos investimentos no período enquanto o setor do vestuário apresentou um crescimento de 99,0% (PRADO, 2016).

Na indústria têxtil brasileira, o beneficiamento de tecidos de algodão em 2014 foi de 267.196 toneladas enquanto que o poliéster, segunda fibra mais beneficiada em quantidade, ficou em 26.136 toneladas. Além disso, o setor têxtil é responsável por uma grande parte da economia dos países desenvolvidos, bem como sendo a principal atividade econômica de alguns países em desenvolvimento. Todos os produtos são alvejados, tintos, lavados ou estampados, necessitando de uma quantidade média de 75 litros de água para cada quilograma beneficiado (ROSA et al., 2015; BEZERRA, 2015).

A importância da Cadeia Produtiva Têxtil/Confecção no Brasil pode ser observada através da distribuição nacional representada na Figura 1.

Figura 1. Estrutura da Cadeia Produtiva Têxtil/Confecção no Brasil

Fonte: Prado (2015)

Atributos tais como sustentabilidade, ecologia industrial, eco-eficiência e química verde estão norteando o desenvolvimento da próxima geração de materiais, produtos e processos, empresas e governos cada vez mais se apoiam no desenvolvimento sustentável. Avizinha-se o momento em que seremos forçados a adotar os recursos renováveis para satisfazer nossas necessidades de materiais de

uma forma sustentável. Para compreender a necessidade do reconhecimento e efetivação da água enquanto direito básico da humanidade, é necessário analisar a relevância e a influência que a água exerce na manutenção do equilíbrio ecológico do ecossistema terrestre observando-se também a atual situação em que se encontram os recursos hídricos em nosso planeta (TRINDADE, 2015).

Utilizando dados baseados no *World Input-Output Database* no período de 1995 até 2008, Arto, Andreoni e Rueda-Cantuche (2016) em sua pesquisa concluíram que o uso global da água cresceu 37,3%, sendo China, Índia e Brasil os países que mais contribuíram com esse aumento.

Neste sentido, têm sido direcionados todos os esforços para, cada vez mais, garantir uma maior sustentabilidade na produção, principalmente através da redução no consumo de insumos, água e na otimização de processos de coloração e, além disso, o setor têxtil é responsável por uma grande parte da economia de países desenvolvidos, bem como a principal atividade econômica de alguns países em desenvolvimento (IGNACHEWSKI et al, 2010; ARTO, ANDREONI, RUEDA-CANTUCHE, 2016).

2.2. Principais setores

De acordo com Lemos et al. (2009) a indústria têxtil e de vestuário pode ser dividida em subsetores, a seguir:

a) FIBRAS TÊXTEIS - As naturais possuem relações intensas com a agricultura e a silvicultura, através das quais obtém fibras, como algodão, linho, seda, sisal, juta e rami; da pecuária são provenientes a lã e a crina. As artificiais são obtidas, principalmente, da celulose e as sintéticas, do petróleo. De acordo com

Pereira (2011), as principais fibras têxteis se dividem em dois grandes grupos, naturais e manufaturadas, retratados na Figura 2.

Figura 2. Principais fibras têxteis

Fonte: Pereira (2011).

b) FIAÇÃO - compra insumos principalmente do subsetor de fibras naturais e do setor petroquímico. O Brasil possui vantagens competitivas em fibras naturais, especialmente em tecidos de algodão e suas mesclas com outras fibras naturais.

c) TECIMENTO - revela fluxos monetários relevantes, oriundos da fiação de fibras naturais e/ou do setor petroquímico, utilizados na construção de tecidos de malha, tecidos planos e/ou não tecidos.

d) BENEFICIAMENTO - tem a maior parte das compras oriundas dos setores da Química, por causa da natureza das operações realizadas nessa etapa da cadeia produtiva, como alvejamento, texturização, estamparia e tingimento. Os fluxos intersetoriais entre o setor Petroquímico e os subsetores de Fiação,

Tecimento e Beneficiamento são relevantes não apenas pela sua magnitude, mas também pela possibilidade de absorção de inovações de processos provenientes do setor Químico.

2.3. Beneficiamentos Têxteis

Optou-se por descrever o setor em um tópico separado, pelo fato deste trabalho de pesquisa envolver diretamente as etapas de preparação e coloração de substratos têxteis, que são inerentes a esse setor.

Durante os processos de beneficiamentos têxteis ocorrem emissão de poluentes sólidos, gasosos e líquidos, porém as emissões líquidas são as mais preocupantes, pois são produzidas em maior volume além de trazer, em sua composição, diversos contaminantes tais como dispersantes, tensoativos, silicatos e fixadores, dentre outros. A variação de corantes é significativa, gerando unidades absorciométricas de cor na faixa de 420 nm a 600 nm (MACHADO et al., 2006).

Processos de coloração otimizados, como o proposto por este estudo, tendem a gerar efluentes com menores índices absorciométricos e menores cargas de sais, ou seja, partiu-se do pressuposto que quanto maior o $K S^{-1}$ (intensidade colorística) obtido com o mínimo possível de auxiliares, menor a poluição do efluente gerado pelo processo, quer seja na preparação ou no tratamento posterior.

No beneficiamento do algodão, fibra abordada neste estudo, a geração de efluentes e a não reutilização dos banhos de processamento ocasiona um descarte de, no mínimo, 35 litros de efluente para cada quilograma de substrato tratado, inclusive na etapa de lavagem de estampados com corantes reativos, também abordados neste estudo (BEZERRA, ARAÚJO e ROSA; 2015).

De acordo com Barros (2016), o beneficiamento têxtil pode executado por processos contínuos e/ou batelada, sendo divididos em etapas conhecidas por Preparação, Coloração e Acabamento, vistos a seguir.

2.3.1. Processos de preparação

Conhecidos também por Beneficiamentos Primários, estes processos englobam todas as etapas que envolvem a preparação do substrato para posterior coloração, quer seja por tingimento ou estamparia. Com exceção dos processos de termofixação, navalhagem, felpagem e chamuscagem, todos os demais processos de preparação geram efluentes líquidos com altos valores de pH e de compostos orgânicos, como tensoativos e silicatos, com altos índices de compostos orgânicos além de alta carga de sais. No Quadro 1, encontram-se descritos os principais processos de preparação das principais fibras, juntamente com os insumos químicos utilizados para tal finalidade (BASTIAN et al., 2009; SALEM, 2010).

Quadro 1. Principais processos de preparação para posterior coloração

Processo	Objetivo	Principais produtos utilizados
Limpeza	Remover óleos, graxas e pectinas	Tensoativos, barrilha, soda cáustica, amoníaco, ácidos acético e sulfúrico, polímeros acrílicos.
Desengomagem enzimática	Remover gomas a base de amidos em tecidos planos de algodão.	Tensoativos, amilase e resíduos de açúcares.
Alvejamento e/ou desengomagem oxidativa	Remover óleos, graxas, além de casca e goma, no caso do algodão, conferir maior grau de brancura em fibras de algodão e lã.	Tensoativos, barrilha, soda cáustica, amoníaco, ácidos acético e sulfúrico, polímeros acrílicos, peróxido de hidrogênio, silicatos, compostos organofosforados, catalase.
Mercerização e caustificação	Conferir maior brilho e estabilidade dimensional em fios e tecidos de algodão	Tensoativos, soda cáustica, ácido acético e resíduos de celulose.

Fonte: Bastian et al. (2009) e Salem (2010).

2.3.2. Processos de coloração

Também conhecidos por Processos Secundários, podem ser obtidos de forma total pelos processos de tingimentos, ou de forma parcial através dos processos de estamparia. Assim como os processos de preparação, os processos de coloração também podem ser efetuados continuamente ou por batelada. A seguir, fluxogramas dos processos de tinturaria e estamparia, adaptado de Dantas (2005), Salem (2010) e Barros (2016), exibidos de forma genérica através do Quadro 2.

Quadro 2. Fluxograma dos processos de coloração

Tinturaria		Estamparia	
Operação	Finalidade	Operação	Finalidade
Carregamento: colocar o substrato na máquina para o beneficiamento			
Preparação: Purgar e/ou alvejar o substrato; aplicar preparação para estamparia digital no caso de estamparia digital			
Tingimento	Colorir o substrato	Estamparia	Colorir o substrato através de estamparia a quadro, rotativa ou digital
Tratamento posterior	Remover o corante não fixado	Tratamento posterior	Remover o espessante e o corante não fixado
Amaciamento: aplicação de amaciantes			
Secagem: Remover excesso de umidade			

Fonte: Dantas (2005), Salem (2010) e Barros (2016).

2.4. Estamparia

A estamparia têxtil, uma arte milenar, é um processo de coloração onde somente um lado do tecido é colorido. Pode ser definido como sendo um conjunto de figuras ou desenhos impressos nos tecidos formando uma padronagem (FERREIRA et al, 2015).

Trata-se de um conjunto de figuras ou desenhos impressos em tecidos que, uma vez repetidos total ou parcialmente em sua superfície, constituem uma padronagem. Do ponto de vista de agentes colorantes, pode ser classificada em estampas com pigmentos, que são substâncias insolúveis em água e que não possuem afinidade específica com nenhum tipo de fibra, necessitando de uma resina acrílica para que possam ser fixados e em estampas com corantes, que possuem afinidade, reagindo cada qual com uma fibra específica. Os pigmentos ainda são maioria, 45% a 50% da produção é efetuada com pigmentos, por ser um método simples e econômico (CHATAIGNIER, 2006; LASCHUK, 2009; FLORIANO, 2012).

Do ponto de vista metodológico, a estamparia pode ser classificada como direta, onde o agente colorante é aplicado diretamente na superfície do tecido, ou indireta, onde o agente colorante é aplicado em um papel especial e depois transferido para o tecido através de calor (SANTOS e GOUVINHAS, 2013).

Há várias formas de customizar uma peça de moda, técnica, lavagens, tingimentos, ou seja, várias variantes para uma única peça. Dentre as mais conhecidas existe a estamparia. Esse processo iniciou-se com o auxílio de uma tela vazada gravada com uma imagem, que através do “vazamento” da tinta, através dos interstícios, propiciava um desenho impresso. A tinta impressa então era seca através de circulação de ar aquecido. Este processo trata-se de algo muito antigo e

o que se moderniza são as máquinas para otimizarem as produções (MAFIOLETTI, 2013).

De acordo com Macarini (2012), o homem tem necessidade de viver em meio a um ambiente alegre e colorido, isso faz parte da sua natureza. A autora descreve que muito antes de surgirem os primeiros tecidos estampados, os homens já pintavam seus corpos com pigmentos minerais, que além de realçar a beleza, servia para distinguir a classe social e assegurar 'proteção mágica'. Do corpo, a pintura passou para o couro e mais tarde para os tecidos e, por conseguinte, atualmente define a principal finalidade da estamparia em dar vida ao tecido, além de valor estético, direcionando seu uso para muitas variações de cores.

Em outro estudo, Anicet, Bessa e Broega (2012) definiram estamparia como sendo um dos processos menos poluente para imprimir cor aos tecidos. De acordo com os autores na estamparia de sublimação, por exemplo, onde o consumo de água é mais baixo do que em relação aos demais métodos.

2.4.1. Métodos de estamparia

Silva *et al.* (2012) definem que os principais métodos de estamparia podem ser efetuados de diversas maneiras, no intuito da obtenção de simples estampas e até de vários efeitos. Os mais utilizados são descrito pelos autores como sendo:

- 1) Direta: trata-se da estampagem sobre um substrato têxtil, com corantes ou pigmentos, dentro de um padrão definido;
- 2) Cobertura: quando se estampa grandes áreas de tal modo que se veja pouco ou nada do fundo original;
- 3) Corrosão: ocorre quando o substrato é tinto com corantes rongeáveis ou corroíveis. A corrosão consiste em destruir os grupos cromóforos do corante de tal maneira que isso ocorra somente onde foi aplicada a pasta, que pode ser branca ou colorida, utilizando-se corantes apropriados;
- 4) Reserva: mais aplicada para fibras celulósicas e consiste em se imprimir sobre o substrato não tinto um elemento que tem por função impedir a montagem do corante sobre esta área impressa durante o tingimento posterior, podendo também ser branca ou colorida;
- 5) Devoré: consiste na estampagem de produtos químicos sobre um substrato de construção específica e composto por, no mínimo, duas fibras, onde uma fibra é conservada e a outra destruída;
- 6) Transferência: é a transferência da estampa de um papel apropriado para o substrato têxtil;
- 7) Flocagem: consiste em estampar um motivo com produtos especiais e em seguida colocá-lo em contato com um equipamento que forma um campo eletrostático onde os flocos (fibra cortada) aderirão à estampa úmida e;

- 8) Colagem: estampagem de colas específicas para posterior colagem de papéis para obtenção de efeitos especiais, geralmente laminados dourados ou prateados.

2.4.2. Processos de estamparia convencional

Nos processos de estamparia se utiliza, para transporte e fixação de pigmentos e corantes no tecido, uma mistura de várias substâncias a qual se denomina como pasta. Essa apresenta uma viscosidade específica e comportamento reológico para bom desempenho no processo e apresenta-se em dois tipos, sendo a “pasta-mãe”, composta por insumos químicos auxiliares, e a “pasta colorida”, que é a pasta-mãe mais o agente de coloração (GIORDANO, 2014)

Existem inúmeros processos de estampagem. Isto vem sendo feito desde os tempos mais remotos, onde eram efetuadas impressões com blocos como se fossem carimbos. Até a metade da década 2000/2010, os principais processos eram a estamparia por rotativas, por impressão a quadro manual ou automático e a efetuada por termotransferência (SILVA et al, 2012).

Até então, em termos de produtividade, a estamparia rotativa era o procedimento mais utilizados para estampar tecidos planos ou tecidos de malha, pois este processo permite-se estampar em alta velocidade (até 80 m min^{-1}), entretanto, assim como nos processos efetuados através de quadros, possui algumas limitações como, por exemplo, o número de cores a serem estampadas. Após meados de 2004, foi introduzido o processo por estamparia digital, onde várias limitações deixaram de existir por tratar-se de um processo totalmente digital (NEIRA, 2012, SANTOS e GOUVINHAS, 2013).

O processo digital será abordado em um tópico à parte, por fazer parte do objetivo principal deste estudo. Já os processos convencionais existentes foram descritos por Levinbook (2008), Yamane (2008), Silva et al. (2012) e Vieira (2014) como sendo “A Quadro”, podendo ser manual (Figura 3) ou automaticamente (Figura 4 e Figura 5) e Rotativa (Figura 6)

1.2.1.1. Quadro manual

O substrato é colocado em mesa plana e fixado a esta através de colas especiais ou alfinetes. Os quadros são movidos manualmente, obedecendo a um *raport* pré-estabelecido. Sobre a mesa pode haver fontes de calor para que o substrato seja seco o mais rápido possível para, então, ser termofixado ou vaporizado em equipamentos específicos.

Figura 3. Estamparia a quadro manual

Fonte: <http://menteladina.blogspot.com.br/2016/01/o-inicio-da-estamparia.html>

1.2.1.2. Quadro automático

Na estamparia a quadro automático em tecidos, o substrato se locomove através de uma esteira sem fim, que se movimenta em sincronia com o ajuste dos

quadros. Sob a esteira existe um campo magnético que também age em sincronia com a esteira, pois, assim que os quadros são sobrepostos, movimento que é efetuado através de válvulas pneumáticas, o campo magnético é acionado fazendo com que a barra de impressão feita de material imantável, se movimente ao longo do quadro em movimentos de vai e vem. Já a alimentação dos quadros pode ser efetuada manual ou automaticamente e a secagem é feita em secadores que podem, ou não, estarem acoplados à máquina.

Figura 4. Estamparia a quadro automática para tecidos em esteira.

Fonte: <http://www.textilia.net/materias>

Na estamparia a quadro automático para peças prontas, as peças são colocadas em suportes chamados “berços”, nos quais os quadros são sobrepostos pneumáticamente para aplicação automática da pasta. Assim como na estamparia

automática para tecidos, a pasta é colocada manualmente. As peças são colocadas manualmente e, assim que terminada a estampa, é removida também manualmente.

Figura 5. Estamparia a quadro automática para peças prontas.

Fonte: www.silmaq.com.br

1.2.1.3. Termotransferência

É utilizada principalmente em estampas de substratos de poliamida e poliéster. Consiste em estampar um papel especial com corantes dispersos que possuam baixos e médios índices de solidez à sublimação, passagem do estado sólido para o gasoso. Após secagem o papel é introduzido junto com o tecido em um sistema dotado de uma placa superaquecida que irá transferir calor ao papel, fazendo com que o corante presente neste passe para o substrato, colocado em uma superfície fria, através de sublimação.

Figura 6. Papel sendo removido após processo de termotransferência.

Fonte: www.santamaria.ind.br

1.2.1.4. Rotativa

É efetuada em máquinas rotativas, que podem possuir vários cilindros ociosos dispostos paralelamente entre si e perpendicularmente em relação à uma esteira que se movimenta continuamente carregando consigo o substrato preso a esta através de colas especiais, que é utilizada para evitar deslocamentos e dobramentos indesejados. Os cilindros são alimentados através de bombas de sucção que injetam a pasta de estampar para dentro deles através de rasquetasmicroperfuradas, as quais, além de alimentar os cilindros, também fazem a pressão necessária para a impressão do substrato. A secagem é feita através de secadores apropriados que podem estar acoplados à máquina.

Figura 7. Máquina de estampa rotativa

Fonte: www.acatel.pt

2.5. Processos de estampa digital

Processo abordado por muitos pesquisadores em design de superfícies, atualmente é um processo de impressão que vem ganhando espaço. Livre de quadros e cilindros se assemelha ao de uma impressora de papel (LUCIO, 2014). De acordo com Rutschilling e Laschuk (2013) é considerada estampa digital todos os métodos em que as imagens são geradas ou digitalizadas em meio eletrônicos e que a transferência da arte para o tecido não necessite da intermediação de matrizes ou separação de cores.

Até recentemente, 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 (MACEDO, 2008). Nos dias atuais, vem ganhando cada vez mais espaço. De acordo com Valdir Siani Moura, Diretor Industrial da Tinturaria e Estampa Salet, uma das maiores estamparias de São Paulo, em entrevista com a autora disse que 40% da produção

da empresa é de origem digital e 10% desta produção é executada em tecidos de algodão.

A estampa digital tem obtido cada vez mais espaço nos processos de estampa têxtil, não somente pela diminuição de limitações nos processos de criação de desenhos e eliminação de matrizes, como quadros ou cilindros, bem como pela economia de água e pela possibilidade de trabalhar-se com uma quantidade ilimitada de cores, permitindo assim, estampas com excelentes definições (BARROS et al., 2015).

De acordo com Lopes (2009) a estampa digital difere dos métodos convencionais de estampa principalmente pelo fato dos insumos auxiliares serem aplicados ao substrato antes da impressão, já que os corantes são aplicados pela impressora. Entretanto, o processo pode ser direto, onde o corante é pulverizado diretamente no tecido, ou indireto, quando se imprime em papel especial para posterior termotransferência em tecidos de poliéster ou poliamida.

O processo direto, abordado neste estudo, consiste nas seguintes etapas:

- a) Tratamento Prévio – aplicação dos insumos auxiliares tais como agente de fixação, espessante e agente higroscópico, seguido de secagem;
- b) Impressão – desenvolvimento da arte com auxílio de softwares, como Corel Draw® ou Photoshop®, e pulverização de corantes efetuada por impressora específica e;
- c) Tratamento Posterior – Fixação por calor seco ou úmido, seguido de lavagem, amaciamento e secagem.

Convém ressaltar o aspecto ecológico deste processo: apenas cerca de 10% da água necessária nos processos tradicionais, uma vez que não é necessário lavar

os cilindros ou quadros, ou seja, não há praticamente desperdícios de corante e evita-se o uso de metais necessários à construção dos quadros ou dos cilindros (LEVINBOOK, 2009).

Os experimentos deste estudo serão conduzidos em impressora digital, utilizando-se corantes reativos em substratos de algodão 100%.

2.5.1. Algodão

O algodão é formado quase que exclusivamente por celulose (Figura 8). É insolúvel em água, não tem sabor, é um hidrato de carbono não redutor e um polissacarídeo de alto peso molecular. Em termos de quantidade e valor, o algodão constitui-se na principal fibra têxtil da humanidade. Além das fibras têxteis, o algodoeiro fornece o linter, fibra curta não aproveitável no processo de fiação, utilizada na fabricação da viscose e o óleo combustível, extraído das sementes. A cadeia de celulose é composta de moléculas de celobiose. Resiste bem aos álcalis e ácidos fracos, ácidos fortes destroem a fibra.

Figura 8. Estrutura química da celobiose, monômero da celulose

Fonte: Mano e Mendes, 2010

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 (BELGACEM, 2008; GOMES MELO *et al*, 2009; MORAES, 2010).

2.5.2. Corantes Reativos

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (ABQUIM, 2015), a utilização de corantes têxteis no Brasil concentra-se principalmente nos corantes reativos para fibras celulósicas, que hoje respondem por 57% do mercado.

Os corantes reativos são utilizados em grande escala na coloração de fibras de algodão e viscose, principalmente para o segmento de vestuário em cores de intensidade média e escura, devido a seus bons índices de solidez aos tratamentos úmidos. Entretanto, este tipo de corante reage não só com o substrato, bem como com a água e, desta forma, acaba sendo um dos principais constituintes dos efluentes de estamparias e tinturarias, gerando efluentes com unidades absorciométricas de cor na faixa de 420 nm a 600 nm (MACHADO *et al*, 2006; AL DEGS *et al*, 2008; ROSA, 2010; MORAES, 2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Nesta seção encontram-se descritos os reagentes, equipamentos e demais materiais utilizados na execução dos ensaios, cujos foram realizados no Laboratório de Beneficiamentos Têxteis da Escola SENAI “Francisco Matarazzo”.

3.1.1. Reagentes

Para o processo de purga e alvejamento utilizaram-se os seguintes insumos:

- a) peróxido de hidrogênio 50% (Quimis) – agente alvejante (H_2O_2);
- b) metassilicato de sódio (Quimis) – estabilizador de peróxido de hidrogênio;
- c) tensoativo não-iônico (Golden) – emulsionar óleos presentes no tecido;
- d) sequestrante/dispersante (Golden) – complexar e inativar sais de cálcio, magnésio e ferro presentes na água e no tecido;
- e) hidróxido de sódio 98% (Quimis) – saponificar os óleos emulsionados pelo tensoativo (NaOH);
- f) ácido sulfúrico 98% (Labsynth) – ajuste de pH para 6-7, necessário para aplicação da enzima catalase (H_2SO_4);
- g) enzima catalase (Golden) – eliminar o residual de H_2O_2 ;
- h) espessante (Golden) – formar invólucro corante/água para auxiliar na difusão corante-fibra;
- i) anti-migrante (Golden) – evitar migração do corante no momento da pulverização pela impressora;

- j) carbonato de sódio (Labsynth) – agente de fixação de corantes reativos (Na_2CO_3);
- k) cloreto de Sódio – diminuição da repulsão eletromagnética entre o tecido de algodão e o corante reativo (NaCl);
- l) ureia (Labsynth) – agente higroscópico;
- m) anti-migrante (Textil Ouro Verde) para o processo de lavagem, que evita a migração do corante hidrolizado para as partes sem estampa.

3.1.2. Equipamentos

Espectrofotômetro Konica-Minolta CM-3600d (Figura 9), Lavadora Suzuki (Figura 10), Vaporizador Mathis GD-B1 (Figura 11), FoulardMathis (Figura 12), Impressora Digital SPG Print Ruby VII 8 Cores (Figura 13), JiggerMathis (Figura 14), Perspirômetro (Figura 15), Crockmeter (Figura 16) e software Statistica 13® para análise estatística dos experimentos.

Figura 9. Espectrofotômetro Konica-Minolta CM-3600d.

Fonte: sensing.konicaminolta.us.

Figura 10. Lavadora Suzuki.

Fonte: Autora.

Figura 11. Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B1.

Fonte: Mathis.com.br.

Figura 12. Foulard Mathis.

Fonte: Mathis.com.br.

Figura 13. Impressora Digital SPG Print Ruby VII 8 Cores.

Fonte: Autora.

Figura 14. JiggerMathis.

Fonte: Mathis.com.br.

Figura 15. Perspirômetro.

Fonte: <http://test-equipments.com>.

Figura 16. Crockmeter.

Fonte: www.asiamachinery.net.

3.1.3. Materiais Diversos

Tecido plano de algodão 100 %, fio cardado 30/1 Ne trama e urdume, com gramatura igual a 150 g m^{-2} .

3.2. Métodos

Neste tópico estão abordados os procedimentos que foram realizados para obtenção das amostras coloridas para posterior avaliação estatística dos resultados.

3.2.1. Purga e alveamento

As amostras de tecidos foram purgadas e alveadas previamente para posterior preparação (JiggerMathis), executando-se segundo formulação e processo descritos em Ferreira *et al* (2015). Após o processo, avaliou-se qualitativamente a capilaridade, com solução 1:1000 de *Direct Blue 86*; pH, com solução 0,1% de verde de bromocresol e residual de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), com solução $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de oxalato de potássio e titânio.

3.2.2. Preparação

Esta etapa é fundamental para que o tecido possa ser submetido ao processo de estampagem digital. Aplicou-se as quantidade de espessante, anti-migrante, álcali e agente higroscópico, determinadas através de planejamento fatorial 2^5 , impregnando-se as amostras em foulard (FoulardMathis) com pick-up de 90%, seguido por secagem a 100°C durante 10 minutos (Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B1), partindo-se de formulação sugerida pelo fabricante dos insumos e tendo como resposta a intensidade colorística (K S^{-1}). A matriz de planejamento encontra-se na Tabela 1. Após a obtenção dos resultados, determinou-se a equação que se melhor se ajustou, juntamente com análise do Modelo ANOVA.

Tabela 1. Matriz do planejamento fatorial 2⁵.

n	X ₁	Espessante (g L ⁻¹)	X ₂	Anti-migante (g L ⁻¹)	X ₃	Ureia (g L ⁻¹)	X ₄	Na ₂ CO ₃ (g L ⁻¹)	X ₅	NaCl (g L ⁻¹)
1	-1	15,0	-1	50,0	-1	60,0	-1	10,0	-1	20,0
2	1	45,0	-1	50,0	-1	60,0	-1	10,0	-1	20,0
3	-1	15,0	1	150,0	-1	60,0	-1	10,0	-1	20,0
4	1	45,0	1	150,0	-1	60,0	-1	10,0	-1	20,0
5	-1	15,0	-1	50,0	1	80,0	-1	10,0	-1	20,0
6	1	45,0	-1	50,0	1	80,0	-1	10,0	-1	20,0
7	-1	15,0	1	150,0	1	80,0	-1	10,0	-1	20,0
8	1	45,0	1	150,0	1	80,0	-1	10,0	-1	20,0
9	-1	15,0	-1	50,0	-1	60,0	1	30,0	-1	20,0
10	1	45,0	-1	50,0	-1	60,0	1	30,0	-1	20,0
11	-1	15,0	1	150,0	-1	60,0	1	30,0	-1	20,0
12	1	45,0	1	150,0	-1	60,0	1	30,0	-1	20,0
13	-1	15,0	-1	50,0	1	80,0	1	30,0	-1	20,0
14	1	45,0	-1	50,0	1	80,0	1	30,0	-1	20,0
15	-1	15,0	1	150,0	1	80,0	1	30,0	-1	20,0
16	1	45,0	1	150,0	1	80,0	1	30,0	-1	20,0
17	-1	15,0	-1	50,0	-1	60,0	-1	10,0	1	60,0
18	1	45,0	-1	50,0	-1	60,0	-1	10,0	1	60,0
19	-1	15,0	1	150,0	-1	60,0	-1	10,0	1	60,0
20	1	45,0	1	150,0	-1	60,0	-1	10,0	1	60,0
21	-1	15,0	-1	50,0	1	80,0	-1	10,0	1	60,0
22	1	45,0	-1	50,0	1	80,0	-1	10,0	1	60,0
23	-1	15,0	1	150,0	1	80,0	-1	10,0	1	60,0
24	1	45,0	1	150,0	1	80,0	-1	10,0	1	60,0
25	-1	15,0	-1	50,0	-1	60,0	1	30,0	1	60,0
26	1	45,0	-1	50,0	-1	60,0	1	30,0	1	60,0
27	-1	15,0	1	150,0	-1	60,0	1	30,0	1	60,0
28	1	45,0	1	150,0	-1	60,0	1	30,0	1	60,0
29	-1	15,0	-1	50,0	1	80,0	1	30,0	1	60,0
30	1	45,0	-1	50,0	1	80,0	1	30,0	1	60,0
31	-1	15,0	1	150,0	1	80,0	1	30,0	1	60,0
32	1	45,0	1	150,0	1	80,0	1	30,0	1	60,0
33	0	30,0	0	100,0	0	70,0	0	20,0	0	40,0
34	0	30,0	0	100,0	0	70,0	0	20,0	0	40,0
35	0	30,0	0	100,0	0	70,0	0	20,0	0	40,0
36	0	30,0	0	100,0	0	70,0	0	20,0	0	40,0
37	0	30,0	0	100,0	0	70,0	0	20,0	0	40,0

3.2.3. Estampagem, vaporização e tratamento posterior

Estampou-se as quatro cores, amarelo, vermelho, azul e preto, todas em intensidade de 100% (Impressora Digital SPG Print Ruby VII 8 Cores).

Em seguida vaporizaram-se as amostras durante 12 min a 102 °C, com 95% de umidade, 540 g H₂O m⁻³ e velocidade de motor de circulação em 1200 RPM (Vaporizador Mathis GD-B1).

Após o tempo de vaporização, as amostras foram tratadas com relação de banho igual a 1:10 (Lavadora Suzuki), sendo:

- a) banho de 5 min à frio contendo 0,25 g L⁻¹ de anti-migrante (Textil Ouro Verde);
- b) banho de 10 min à 80 °C contendo 1,0 g L⁻¹ de dispersante (Golden) e;
- c) banho de 5 min à frio.

Após lavadas, as amostras foram centrifugadas e secadas durante 10 min a 120 °C (Vaporizador Mathis GD-B1).

3.2.4. Avaliação da cor nas estampas

A reflectância das amostras foi determinada por espectrofotometria sob iluminante D65 10° (Konica-Minolta CM 3600d), onde registrou-se o comprimento de onda de máxima reflexão das cores. A intensidade colorística (K·S⁻¹) foi calculada pela equação de Kubelka-Munk:

$$K S^{-1} = (1 - R)^2 \cdot (2R)^{-1} \quad (1)$$

Onde K é o coeficiente de absorção, S é o coeficiente de difusão e R a reflectância. Esta relação é aplicada para têxteis, assumindo que o espalhamento de luz seja devido às fibras e a absorção devido ao corante.

Os ensaios de solidez à água e à fricção foram executados segundo Normas ABNT NBR ISO 105-E01:2014 e ABNT NBR-ISO 105-X12:2007, respectivamente, com avaliação de transferência (T) e alteração (A) efetuada por espectrofotometria (Konica-Minolta CM 3600d).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se os valores de $K S^{-1}$ obtidos para as quatro cores.

Tabela 2. Matriz do Planejamento Fatorial com os fatores e as respostas para as quatro cores

n	Fatores (X) em g L ⁻¹					K S ⁻¹ (Y)			
	Espessante	Anti-migrante	Ureia	Carbonato de Sódio	Cloreto de Sódio	Amar	Verm	Azul	Preto
1	15	50	60	10	20	8,33	11,77	11,43	9,00
2	45	50	60	10	20	1,68	5,56	3,33	3,04
3	15	150	60	10	20	8,00	12,75	12,00	9,06
4	45	150	60	10	20	1,89	5,64	2,89	2,67
5	15	50	80	10	20	8,94	15,19	13,18	11,21
6	45	50	80	10	20	2,12	7,84	3,52	3,62
7	15	150	80	10	20	7,66	13,85	11,71	9,44
8	45	150	80	10	20	2,71	3,22	4,39	1,69
9	15	50	60	30	20	6,26	12,64	8,55	9,18
10	45	50	60	30	20	3,19	11,16	5,57	7,65
11	15	150	60	30	20	5,83	12,75	8,10	8,55
12	45	150	60	30	20	3,05	11,21	5,73	6,73
13	15	50	80	30	20	8,16	13,02	11,09	9,73
14	45	50	80	30	20	4,78	10,06	6,57	6,89
15	15	150	80	30	20	7,29	12,60	9,02	9,48
16	45	150	80	30	20	4,58	11,34	6,73	7,69
17	15	50	60	10	60	5,72	9,94	6,85	7,10
18	45	50	60	10	60	2,38	5,68	3,24	3,75
19	15	150	60	10	60	3,01	6,39	4,62	4,79
20	45	150	60	10	60	1,50	4,04	2,38	2,90
21	15	50	80	10	60	3,55	7,08	5,11	5,43
22	45	50	80	10	60	2,01	4,85	3,04	3,27
23	15	150	80	10	60	2,85	5,81	3,58	3,94
24	45	150	80	10	60	1,58	4,40	2,62	3,09
25	15	50	60	30	60	3,49	7,52	5,49	5,95
26	45	50	60	30	60	2,32	5,08	4,55	4,20
27	15	150	60	30	60	3,14	6,12	5,16	5,25
28	45	150	60	30	60	2,25	4,84	4,54	3,93
29	15	50	80	30	60	17,19	14,49	20,28	17,88
30	45	50	80	30	60	18,93	15,79	21,74	19,58
31	15	150	80	30	60	8,08	11,27	12,56	10,84
32	45	150	80	30	60	14,12	14,64	17,81	13,47
33	30	100	100	20	40	11,01	14,30	16,62	12,74
34	30	100	100	20	40	11,04	14,12	16,43	12,86
35	30	100	100	20	40	10,92	14,40	16,08	12,68
36	30	100	100	20	40	10,91	14,26	16,37	12,64
37	30	100	100	20	40	10,81	14,30	16,38	12,69

No Gráfico 1, o $K S^{-1}$ das quatro cores estudadas encontra-se demonstrado em relação aos 37 experimentos

Gráfico 1. Comportamento do $K S^{-1}$ das quatro cores estudadas

Por se tratar de uma quadricromia, utilizada na obtenção de quase todas as cores em estampas digitais, selecionou-se a cor com maior desvio padrão (δ) entre as respostas ($K S^{-1}$) para determinação do modelo matemático.

Os valores de δ para o $K S^{-1}$ ficaram em 4,49 para o amarelo em 420 nm; 3,97 para o vermelho em 520 nm; 5,63 para o azul em 620 nm e 4,36 para o preto em 480 nm, calculados pela equação

Portanto, os cálculos estatísticos e superfícies de resposta foram obtidos baseando-se nas respostas ($K S^{-1}$) apresentadas pela cor azul.

4.1. Análise do modelo ANOVA

Neste tópico foram analisou-se o modelo ANOVA e também as superfícies de respostas relativas às interações mútuas entre os fatores e o $K S^{-1}$. A equação que mais se ajustou ao modelo foi:

$$Y = 8,8989 - 1,5650 \cdot X_1 - 0,6156 \cdot X_2 + 1,8288 \cdot X_3 + 1,8625 \cdot$$

$$X_4 + 0,3362 \cdot (X_1 \cdot X_2) + 0,3081 \cdot (X_1 \cdot X_3) + 1,1269 \cdot (X_1 \cdot X_4) + 1,3319 \cdot (X_1 \cdot X_5) - 0,3912 \cdot (X_2 \cdot X_3) -$$

$$0,2713 \cdot (X_2 \cdot X_4) - 0,4488 \cdot (X_2 \cdot X_5) + 1,8031 \cdot (X_3 \cdot X_4) + 1,2906 \cdot (X_3 \cdot X_5) + 1,9306 \cdot (X_4 \cdot X_5)$$

Na Tabela 3, os valores obtidos pelo modelo ANOVA.

Tabela 3. Modelo ANOVA

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	T_F	F_T
Regressão	702,898	14	50,207	2,53	2,16
Resíduos	436,421	22	19,837		
Falta de Ajuste	436,271	18	24,237	645,81	5,82
Erro Puro	0,15012	4	0,0375		
Total	1139,319	36			
% de variância explicada =		61,695	#	#	#
% máxima variância explicável =		99,987	#	#	#
Coeficiente de Determinação (R^2) =		0,4393	#	#	#
Coeficiente de correlação (R)		0,3489	#	#	#

Através dos valores obtidos, o modelo que mais se ajustou foi o linear. Entretanto, o valor de R^2 ficou próximo de 0,44 e o valor do Teste F (T_F) calculado ficou muito acima do F Tabelado (F_T), sendo que em modelos hiperbólicos, os de melhores ajustes, os valores de R^2 tendem a ficarem mais próximos de 1,00 e os valores de T_F calculado menores do que os de F_T .

4.2. Superfícies de resposta dos efeitos mútuos entre os fatores

A seguir as superfícies de resposta juntamente com a análise dos efeitos mútuos entre os fatores estudados.

Gráfico 2. Espessante e Anti-migrante

O gráfico demonstra que o anti-migrante não interfere significativamente nos valores de $K S^{-1}$, enquanto que valores menores de espessante propiciam aumento. Valores em torno de 100 g L⁻¹ de anti-migrante e de 10 g L⁻¹ de espessante seriam condições ideais.

Gráfico 3. Espessante e Ureia

Valores de uréia em torno de $80 g L^{-1}$ possuem maior significância do que o anti-migrante no aumento dos valores de $K S^{-1}$, enquanto que o comportamento do espessante manteve-se semelhante à superfície anterior, em torno de $10 g L^{-1}$.

Gráfico 4. Espessante e Carbonato de Sódio

Novamente o espessante apresentou valores próximos a $10 g L^{-1}$ para maiores valores de $K S^{-1}$. As quantidades próximas a $30 g L^{-1}$ de carbonato de sódio propiciaram maior incremento nos valores de $K S^{-1}$.

Gráfico 5. Espessante e Cloreto de Sódio

Maiores valores de cloreto de sódio não apresentaram significância em relação ao aumento no K S^{-1} , causando inclusive queda nesses valores. O espessante apresentou valores muito semelhantes aos valores das superfícies anteriores, em 10 g L^{-1} .

Gráfico 6. Anti-migrante e Ureia

Verificou-se que a uréia, assim como o carbonato de sódio em superfícies anteriores, apresentou significância e propiciando maiores valores de $K S^{-1}$ em maiores quantidades, em torno de $80 g L^{-1}$. Assim como nas superfícies analisadas anteriormente, os valores de anti-migrante não apresentaram significância nos valores de $K S^{-1}$.

Gráfico 7. Anti-migrante e Carbonato de Sódio

Os valores de anti-migrante que propiciaram maiores valores de $K S^{-1}$ foram semelhantes aos valores apresentados nas superfícies anteriores, assim como os valores de carbonato de sódio, que foram significantes na casa dos $30 g L^{-1}$, assim como nas superfícies anteriores.

Gráfico 8. Anti-migrante e Cloreto de Sódio

Tanto os valores de anti-migrante quanto os valores de cloreto de sódio apresentaram comportamento e significância semelhantes ao apresentado nas superfícies anteriores. Verifica-se que o aumento da quantidade de cloreto de sódio propicia menores valores de $K S^{-1}$.

Gráfico 9. Ureia e Carbonato de Sódio

A uréia e o carbonato de sódio foram os fatores que apresentaram maior significância nos valores de $K S^{-1}$. Valores por volta de 80 g L⁻¹ de uréia e 30 g L⁻¹ de carbonato de sódio seriam os mais significativos.

Gráfico 10. Ureia e Cloreto de Sódio

Os valores de uréia apresentados corroboram os valores das superfícies anteriores, ou seja, apresentaram inferência significativa nos valores de $K S^{-1}$ em quantidade de $80 g L^{-1}$. O cloreto de sódio também apresentou valores semelhantes aos obtidos anteriormente, em torno de $15 g L^{-1}$.

Gráfico 11. Carbonato de Sódio e Cloreto de Sódio

Observa-se que tanto o cloreto quanto o carbonato de sódio apresentaram comportamento semelhante ao comportamento obtido nas superfícies anteriores, com valores de 15 e 30 g L⁻¹, respectivamente.

4.3. Aplicação da melhor formulação obtida

Baseando-se nas superfícies de resposta analisadas anteriormente, onde foram obtidos comportamentos semelhantes entre todos os fatores, elegeu-se a formulação descrita na Tabela 4 para aplicação e posterior ensaios de solidez da cor.

Tabela 4. Quantidade otimizada de insumos

Insumo	g L ⁻¹
Espessante	10,0
Anti-migrante	50,0
Carbonato de Sódio	30,0
Uréia	80,0
Cloreto de Sódio	15,0

As etapas de secagem da preparação, estampagem digital, vaporização e tratamento posterior foram executadas sob mesmo procedimento utilizado para as amostras anteriores. Após leitura espectrofotométrica, obtiveram-se valores de $K S^{-1}$ igual a 19,28 para o amarelo; 16,32 para o vermelho; 21,68 para o azul e 20,23 para o preto.

A aplicação da melhor formulação gerou maiores valores de $K S^{-1}$ em três das quatro cores estudadas. Somente a cor azul apresentou valor menor, com $K S^{-1}$ igual a 21,68 contra 21,74 do maior valor obtido nos experimentos do planejamento. Todos os valores encontram-se descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de $K S^{-1}$ do planejamento e da formulação otimizada

	1	2	1 - 2
$K S^{-1}$			
Amarelo	18,93	19,28	-0,35
Vermelho	15,79	16,32	-0,53
Azul	21,74	21,68	0,06
Preto	19,58	20,23	-0,65
g L ⁻¹			
Espessante	45	10	35
Anti-migrante	50	50	0
Uréia	80	80	0
Carbonato de Sódio	30	30	0
Cloreto de Sódio	60	15	45

Obs: 1 - Maiores valores obtidos no planejamento

2 - Valores da formulação otimizada

Além de valores maiores de $K S^{-1}$ para as cores amarelo, vermelho e preto, a melhor formulação utilizou $35 g L^{-1}$ e $45 g L^{-1}$ a menos de espessante e cloreto de sódio, respectivamente.

4.4. Solidez da cor

A amostra foi condicionada durante tempo e sob atmosfera padrão, ambos os parâmetros exigidos para os ensaios de solidez da cor à água e solidez da cor à fricção, Normas ABNT ISO 105-E01:2014 e 105-X12:2007, respectivamente. Na Tabela 6, os resultados apresentados, determinados por espectrofotometria sob iluminante D_{65} , 10° .

Tabela 6. Valores dos índices de solidez das cores

Cor	Solidez à água				Solidez à fricção			
	1		2		1		2	
	A	T	A	T	Seco	Úmido	Seco	Úmido
					T	T	T	T
Amarelo	5	4/5	5	5	5	5	5	5
Vermelho	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5	5	5
Azul	4/5	4/5	5	4/5	5	5	5	4/5
Preto	5	4/5	5	4/5	5	4/5	5	5
<i>Obs: A - Alteração T - Transferência</i>								
<i>1 - Maiores valores obtidos no planejamento</i>								
<i>2 - Valores da formulação otimizada</i>								

Como pode ser observado, a nota mínima obtida foi de 4/5, considerada como satisfatória em uma escala de 1 a 5, onde 1 é o pior resultado e 5 o melhor, ou seja, não houve detrimento nos índices de solidez testados da formulação otimizada (2) em relação à formulação de maior $K S^{-1}$ do planejamento (1).

5. CONCLUSÕES

A aplicação da melhor formulação gerou maiores valores de $K S^{-1}$ em três das quatro cores estudadas. Somente a cor azul apresentou valor menor, com $K S^{-1}$ igual a 21,68 contra 21,74 do maior valor obtido nos experimentos do planejamento.

O modelo linear aplicado gerou uma formulação otimizada com economia de 35 g L^{-1} na quantidade de espessante e 45 g L^{-1} na quantidade de cloreto de sódio, em relação à formulação com maior valor de $K S^{-1}$ do planejamento.

Os valores dos índices de solidez das cores apresentados nas duas formulações testadas, não apresentaram diferenças significantes.

Apesar de promover economia no consumo de insumos sem detrimento dos índices de solidez, o modelo pode ser melhorado. O coeficiente de regressão quadrática (R^2) ficou em 0,44. Modelos com melhores ajustes apresentam valores de R^2 próximos a uma unidade (1,0).

Para melhores ajustes onde geralmente obtêm-se modelos hiperbólicos, utiliza-se um planejamento fatorial com alfas, ou seja, com dois níveis acima e dois abaixo do ponto central. Este estudo abordou somente um nível acima e um abaixo do ponto central, onde foi obtido um modelo linear, de ajuste não muito ideal.

Fica a elaboração da execução de um planejamento fatorial com alfas, como sugestão para estudos futuros.

6. REFERÊNCIAS

ABIQUIM - http://www.abiquim.org.br/corantes/cor_aplicacoes.asp, acessada em setembro de 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 105-E01:2014**: Têxteis — Ensaio de solidez da cor - Parte E01: Solidez da cor à água

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-ISO 105-X12:2007**: Têxteis - Ensaio de solidez da cor - Solidez da cor à fricção.

AL-DEGS Y.S., EL-BARGHOUTHI M.I., EL-SHEIKH A.H., WALKER G.M.: *Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon*. In: **Dyes and Pigments**, Elsevier, Vol.77(1), Pages 16-23, 2008.

ANDREAUS, J.; DALMOLIN, M.C.; OLIVEIRA JUNIOR, I.B.; BARCELLOS, I.O.: Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis. **Quim. Nova**, vol.33, n.4, p.929-937, 2010.

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

ANICET, A.; BESSA, P.; BROEGA, A. C.: Metodologia de ecodesign de moda com colagens têxteis. **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, São Luís, MA, Brasil, 2012.

ARTO, I.; ANDREONI, V.; RUEDA-CANTUCHE, J. M.: *Global use of water resources: A multiregional analysis of water use, water footprint and water trade balance*. **Water Resources and Economics** 15, pp. 1-14, doi:10.1016/j.wre.2016.04.002, 2016.

BARROS, A. A. R. C.: Reúso de efluente de estamparia digital pós tratamento fotocatalítico. **Dissertação**. Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, Brasil, 2016.

BARROS, A. R. C.; TAMBOURGI, E. B.; BEZERRA, R. N.; ARAUJO, M. C.; ROSA, J. M.; SANTANA, J. C. C.: Estampas com corantes ácidos: estudo sobre dois agentes higroscópicos aplicados na estamparia digital de tecidos de seda. **Anais do IV IDEMi - Integration, Engineering and Management for Innovation**, Florianópolis, CS, Brasil, 2015.

BASTIAN, E.Y.O.; ROCCO, J.L.S: **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**, São Paulo, CETESB-SINDITÊXTIL, 2009.

BELGACEM, M.N.; GANDINI, A. (Ed.): **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. Elsevier, 553 p., UK, 2008.

BEZERRA, K. C. H.: Estudo de remoção de cor de efluentes têxteis por meio do processo oxidativo avançado: H_2O_2 . Dissertação. Escola de Artes, Ciências e Humanidades, EACH-USP, 2015.

BEZERRA, R. N.; FILETI, A. M. F.; ROSA, J. M.; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C.: Estudo sobre a influência da umidade na termofixação de estampas com corantes reativos em tecidos de algodão. **Anais** do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, SC, Brasil, 2014.

BEZERRA, R. N.; ARAÚJO, M. C.; ROSA, J. M.: Comportamento tintorial do C.I. Reactive Blue 222 no tingimento de algodão por processo de batelada. **Anais** do 5º ENP Moda - Encontro Nacional de Pesquisa em Moda, Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo, RS, 1 a 3 de Junho, 2015.

BEZERRA, R. N.; RODRIGUES, M. A.; SOUZA, S.; COSTA, R.; ROSA, J. M.: Influência da vaporização em estampas efetuadas com o corante C.I. Reactive Blue 160. **Anais**. II Congresso Científico Têxtil e de Moda, São Paulo, 2012.

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

FERREIRA, M. G. G., COSTA, R. M., BEZERRA, R. N.; SOUZA, S. A.; NUNES, S. D. P.; FILETI, A. M. F.; ROSA, J. M.: Estamparia Digital – Parte I: Estudo Comparativo entre Processos de Desengomagens Enzimática e Oxidativa em Tecidos Planos de algodão 100%. **Química Têxtil** 119, pp. 44-53, ABQCT, 2015.

FERREIRA, M. G. G.; BEZERRA, R. N.; NUNES, S. D. P.; FILETI, A. M. F.; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C.; ROSA, J. M.: Estamparia Digital Parte II: Influência do Diaminometanal na intensidade colorística em tecidos de algodão 100%. **Química Têxtil** 119, pp. 54-61, ABQCT, 2015.

FLORIANO, J.: Metodologia projetual aplicada no processo de design de superfície têxtil: estudo de caso Döhler. **Dissertação**. Design e Expressão Gráfica, UFSC, Florianópolis, Brasil, 2012.

GIORDANO, J.B.: Caracterização Físico-Química da resina acrílica aplicada na estamparia têxtil, **Dissertação**, UNICAMP, 2002.

GIORDANO, J. B.: Estudo do comportamento reológico de espessantes naturais aplicados na estamparia têxtil. **Anais** do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, SC, Brasil, 2014.

GOMES MELO, C.; SOUZA, R.C.; ROSA, J.M.: Colorimetria: O banco de dados em tinturarias. In: **Quím. Têxtil**, n.95, p. 36-47, ABQCT, jun 2009.

IGNACHEWSKI, F.; FUJIWARA, S. T.; CÓTICA, L. F.; CARNEIRO, L. M.; TAUCHERT, E.; PERALTA-ZAMORA, P.: Degradação de corantes reativos por processo foto-fenton envolvendo o uso de peneira molecular 4A modificada com Fe^{3+} . **Química Nova**, vol.33, n.8, São Paulo, 2010.

LASCHUK, T.: **Design Têxtil: da estrutura à superfície**. Porto Alegre: Editora UniRitter, 2009.

LEMOS, M.B.; GONÇALVES, E.; DOMINGUES, E.P.; AMARAL, P.V.; RUIZ, R.M.: **Relatório Setorial: Indústria e de Vestuário**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, ABDI - FUNDEP/UFGM, 100 p., Belo Horizonte, 2009.

LEVINBOOK, M.: Design de superfície: técnicas e processos em estamparia têxtil para produção industrial. **Dissertação**. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, Brasil, 2008.

LOPES, L.C.: Controle metrológico aplicado à estamparia digital de materiais têxteis. **Dissertação**. Programa de Pós Graduação em Metrologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

LUCIO, J. A.: O corpo como inspiração: criando estampas a partir da anatomia humana. **Monografia de Especialização**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2014.

MACARINI, C.: Reflexões sobre a estamparia e serigrafia na arte e na moda. **Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Artes Visuais**, UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil, 2012.

MACEDO, J.C.: A Inovadora Tecnologia da Estamparia Digital. **Anais** do XIX Congresso Latinoamericano de Química y Textil, Santiago, Chile, 2008.

MACHADO, E.L.; LOPEZ, D.A.R.L.; KIST, L.T.; HOELTZ, J.M.; JACHETTI, D.M.: Remediação mais limpa na indústria de tingimento têxtil. In: **XXX Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**, Puntadel Este, v.1, p.1-6, 2006.

MAFIOLETTI, R. C.: Reestruturação da gestão de uma empresa revendedora de produtos para serigrafia, estamparia e similares em criciúma – SC. **Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel** em ADMINISTRAÇÃO, UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil, 2013.

MALUF, E.; KOLBE, W.: **Dados técnicos para a indústria têxtil**, 2. Ed., São Paulo: IPT, 2003.

MANO, E.B.; MENDES, L.C.: **Introdução a Polímeros**. Editora Blucher, 3ª edição, 208p., 2010.

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

NEIRA, L.G.: Estampas na tecelagem brasileira: da origem à originalidade. **Tese**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2012.

PRADO, M.V.: **Brasil Têxtil - Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira**. Instituto de Estudos e Marketing Industrial LTDA - IEMI, 156 p., 2015.

ROSA, J.M.: Sustentabilidade no Beneficiamento Têxtil: Produção de Tingimentos com Reuso de Efluente Tratado por Fotocatálise via UV/H₂O₂. São Paulo, 2010. **Dissertação** - Programa de Mestrado em Engenharia de Produção, UNINOVE, Universidade Nove de Julho.

ROSA, J.M.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.; CARMO, R.A.S.; Estudo de variáveis e de custos ecológicos no pré-tratamento de tecidos de algodão com peróxido de hidrogênio. **Química Têxtil**, n.109, p. 30-38, 2012.

ROSA, J. M.; FILETI, A. M. F.; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C.: *Dyeing of cotton with reactive dyestuffs: the continuous reuse of textile wastewater effluent treated by Ultraviolet / Hydrogen peroxide homogeneous photocatalysis*. In: **Journal of Cleaner Production** 90, pp 60-65, doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.043, 2015.

RUTSCHILLING, E.; LASCHUK, T.: Processos contemporâneos de impressão sobre tecidos. **ModaPalavra e-Periódico**, ano 6, n.11, 2013.

SALEM, V.: **Tingimento Têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias**. Editora Blucher, 300 p., 2010.

SANTOS, C. M. C.; GOUVINHAS, R. P.: Diagnostico do processo produtivo do setor de estamparia rotativa em uma indústria têxtil da grande Natal. **Anais** do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA, Brasil, 2013.

SILVA, B. B.; CUSTODIO, V.; PESSOA, E.; COIMBRA, J. L.; NEUMAN, V.; JACUBAVICIUS, C.; FADINI, R.; SILVA, S. S.; RODRIGUES, V. B.; ROSA, J. M.: **Processos Produtivos Têxteis II**, Editora Senai-SP, 1ª Edição, São Paulo, 298p., 2012.

TRINDADE, N. B.: Tingimento com pigmento natural: um estudo empírico para redução do consumo de água utilizando maquina de lavanderia em peças confeccionadas com matéria prima 100% algodão. **Dissertação**. Escola de Artes, Ciências e Humanidades, EACH-USP, 2015.

VIEIRA, L. B.: A estamparia têxtil contemporânea: produção, produtos e subjetividades. **Dissertação**. Projeto de Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP, São Paulo, SP, Brasil, 2014.

YAMANE, L. Y.: Estamparia Têxtil. **Dissertação**. Artes Visuais, Escola de Comunicação e Artes da USP, São Paulo, SP, Brasil, 2008.

7. ANEXOS

Neste tópico, as participações da aluna em eventos científicos durante o desenvolvimento da dissertação.

7.1. Publicações em periódicos

FERREIRA; M. G. G., COSTA; R. M., BEZERRA, R. N.; SOUZA, S. A.; NUNES, S. D. P.; FILETI, A. M. F.; ROSA, J. M.: Estamparia Digital – Parte I: Estudo Comparativo entre Processos de Desengomagens Enzimática e Oxidativa em Tecidos Planos de algodão 100%. **Química Têxtil** 119, pp. 44-53, ABQCT, 2015.

FERREIRA, M. G. G.; BEZERRA, R. N.; NUNES, S. D. P.; FILETI, A. M. F.; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C.; ROSA, J. M.: Estamparia Digital Parte II: Influência do Diaminometanal na intensidade colorística em tecidos de algodão 100%. **Química Têxtil** 119, pp. 54-61, ABQCT, 2015.

7.2. Trabalhos publicados em anais de eventos (completo)

SILVA, A. L., COSTA, M., SALVI, P. S., BEZERRA, R. N., ARAUJO, M. C., ROSA, J.M.: Água pluvial e efluente tratado em pré e pós-tratamento de estampas digitais com corantes reativos sobre tecidos de algodão. In: 3º CONTEXMOD CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E DE MODA, 2015, Fortaleza. **Anais** do 3º CONTEXMOD. São Paulo: EDUSP, 2015. v.1. p.1 – 8.

BEZERRA, R. N., ARAUJO, M. C., COSTA, M., ROSA, J.M., SANTANA, J. C. C.: Influência da quantidade de diaminometanal em estampas digitais efetuadas na cor azul em tecidos planos de algodão 100%. **Anais**. 3º CONTEXMOD, 2015, Fortaleza. **Anais** do 3º CONTEXMOD. São Paulo: EDUSP, 2015. v.1. p.12 – 20.

BEZERRA, R. N.; FILETI, A. M. F.; ROSA, J. M.; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C.: Estudo sobre a influência da umidade na termofixação de estampas com corantes reativos em tecidos de algodão. **Anais** do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, SC, Brasil, 2014.

7.3. Trabalhos publicados em anais de eventos (resumo)

BARROS, A. A. R. C., TAMBOURGI, E.B., FILETI, A. M. F., ROSA, J.M., BEZERRA, R. N., ARAUJO, M. C., SANTANA, J. C. C.: Influence of the Urea in the Colour Intensity on Digital Printing In: 5th International Workshop of Cleaner Production, 2015, São Paulo. *Advances in Cleaner Production, Proceedings of the 5th International Workshop*. São Paulo: UniversidadePaulista, 2015. v.5. p.101 - 101

ESTAMPARIA DIGITAL

PARTE I - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE DESENGOMAGENS ENZIMÁTICA E OXIDATIVA EM TECIDOS PLANOS DE ALGODÃO 100%

MARIA GABRIELA GAZZANEO FERREIRA¹, RAPHAEL MARTINS DA COSTA¹, RAQUEL DO NASCIMENTO BEZERRA¹, SHEILA APARECIDA DE SOUZA¹, STEPHANIE DIOGO PEREIRA NUNES¹, ANA MARIA FRATTINI FILETI², JORGE MARCOS ROSA^{1,2}

¹ Pós-Graduação em Química Têxtil - Faculdade de Tecnologia SENAI Antoine Skaf

² Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas

Revisão: Humberto Sabino

RESUMO

Este estudo comparou dois processos de desengomagem em tecidos planos de algodão 100%, enzimática e oxidativa. Foram avaliados os itens tempo de processo, água, eficácia de remoção da goma e hidrofilidade posterior. Apesar de menor tempo de processo e de consumir menos água e insumos químicos, a desengomagem oxidativa apresentou leve residual de amido após o processo, além de menores valores nos índices de hidrofilidade, " $\theta_{\text{médio}} = 0,656$ e $\delta = 0,034$ " contra valores de " $\theta_{\text{médio}} = 0,900$ e $\delta = 0,006$ " obtidos na desengomagem enzimática. Baseando-se nos resultados de hidrofilidade obtidos, concluiu-se que o processo

de desengomagem enzimática é o mais apropriado na preparação de tecidos para posterior processo de coloração por impressão digital.

Palavras chaves: desengomagem, preparação de têxteis, hidrofilidade.

1. INTRODUÇÃO

A engomagem de fios de urdume é aplicada visando o aumento da eficiência na produção de tecidos planos. Na produção de tecidos de algodão, a engomagem é efetuada utilizando-se o amido como principal componente da "goma", juntamente com anti-estáticos,

umectantes e demais auxiliares. Apesar de necessária aos processos de tecimento, a engomagem acarreta um decréscimo na hidrofilidade do tecido de algodão, propriedade que já é deficiente no tecido em cru, graças às impurezas naturais da fibra como óleos, pectinas e graxas (BASTIAN e ROCCO, 2009; BELGACEM, 2008).

O algodão é formado quase que exclusivamente por celulose e ainda é, segundo Prado (2013) a fibra mais beneficiada no país. É insolúvel em água, não tem sabor, é um hidrato de carbono não redutor e um polissacarídeo de alto peso molecular. Em termos de quantidade e valor, o algodão constitui-se na principal fibra têxtil da humanidade. 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 (GOMES MELO *et al*, 2009; MORAES, 2010).

1.1. Desengomagem

A desengomagem pode ser efetuada de duas formas:

a) Enzimática – processo que utiliza a enzima α -Amilase como insumo principal, cuja é responsável pela transformação do amido em açúcar, facilitando sua total remoção.

Esta enzima age somente nas ligações α -glucosídicas (Figura 1) e destroem todos os tipos de féculas no estado natural ou modificado, convertendo-as em produtos solúveis em água sem produzir nenhum dano sobre a celulose (CEGARRA, 2000).

Figura 1. Ligações α -glucosídicas no amido (ROSA, 2011).

Este processo promove a retirada da goma, mas não alveja a fibra. O alvejamento, necessário para remoção do cascame e da coloração natural da fibra, é efetuado posteriormente.

b) Oxidativa – processo que utiliza o Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) como insumo principal, responsável pela oxidação do amido, atuando também como insumo principal no alvejamento da fibra de algodão, desta forma, os dois processos são efetuados simultaneamente. De acordo com Carmo et al. (2013), no pré-tratamento do algodão efetuado com H_2O_2 em meio alcalino o agente alvejante é o íon-radical superóxido, gerado em uma das semirreações de decomposição do H_2O_2 (Figura 2).

Figura 2. Semi reações da decomposição do H_2O_2 (CARMO et al., 2013).

Este processo engloba desengomagem e alvejamento efetuados de forma simultânea, já que o alvejamento da fibra é também efetuado com H_2O_2 .

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Reagentes: Enzima α -amilase, enzima catalase, sequestrante, tensoativo, metassilicato de sódio (Na_2SiO_4), H_2O_2 50 %, ácido sulfúrico (H_2SO_4), hidróxido de sódio (NaOH) 50 °Bé, **C.I. Direct Blue 86** (DB86), soluções de iodeto/iodato e de oxalato de potássio e titânio.

Equipamentos: Jigger Mathis e Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B1.

Materiais Diversos: Tecido plano de algodão 100 %, fio cardado 30/1 Ne trama e urdume, com gramatura igual a 150 g cm^{-2} .

2.2. Métodos

Desengomagem enzimática: As receitas utilizadas para o processo de desengomagem enzimática e posterior alvejamento estão descritos na Tabela 1 e o procedimento dos processos estão representados no Gráfico 1. A receita da etapa de desengomagem enzimática foi fornecida pelo fabricante da enzima e a receita de alvejamento foi obtida em Carmo et al. (2013). Para detecção de possível residual de amido, utilizou-

-se a solução de iodo; para a detecção de H₂O₂ após alveamento, utilizou-se a solução de oxalato de potássio e titânio 0,1 mol L⁻¹.

Tabela 1. Desengomagem enzimática e alveamento: insumos e suas quantidades.

Etapas		Insumos	Quantidade
Desengomagem	A	detergente (g L ⁻¹)	1,0
	B	α-amilase (g L ⁻¹)	0,5
Alveamento		detergente (g L ⁻¹)	1,0
		sequestrante (g L ⁻¹)	1,0
	C	Na ₂ SiO ₄ (g L ⁻¹)	0,2
		NaOH 50 °Bé (mL L ⁻¹)	1,0
		H ₂ O ₂ (mL L ⁻¹)	1,0
Neutralização	D	H ₂ SO ₄ (mL L ⁻¹)	0,5
	E	Catalase (g L ⁻¹)	0,5

Desengomagem oxidativa: A receita utilizada para o processo de desengomagem oxidativa está descrita na Tabela 2 e o procedimento do processo está representado no Gráfico 2. Como o processo total engloba desengomagem e alveamento, efetuados de forma simultânea, a quantidade de H₂O₂ foi dobrada; o H₂O₂ decompõe o amido e elimina o cascame e a pigmentação natural da fibra; e a quantidade de Na₂SiO₄ foi aumentada em 50%, visto que o reagente diminui a velocidade de decomposição do H₂O₂. Para detecção de possível residual de amido, utilizou-se a solução de iodo; para a de-

tecção de H₂O₂ após desengomagem oxidativa, utilizou-se a solução de oxalato de potássio e titânio 0,1 mol L⁻¹.

Tabela 2. Desengomagem oxidativa: insumos e suas quantidades.

Etapas		Insumos	Quantidade
Desengomagem e Avejamento	A ₁	detergente (g L ⁻¹)	1,0
		sequestrante (g L ⁻¹)	1,0
		Na ₂ SiO ₄ (g L ⁻¹)	0,3
		NaOH 50 °Bé (mL L ⁻¹)	1,0
		H ₂ O ₂ (mL L ⁻¹)	2,0
Neutralização	B ₁	H ₂ SO ₄ (mL L ⁻¹)	0,5
	C ₁	Catalase (g L ⁻¹)	0,5

Gráfico 2. Processos de desengomagem oxidativa e alveamento simultâneos.

Todos os processos foram executados em relação de banho (RB) igual a 1:10.

Gráfico 1. Processo de desengomagem enzimática e posterior alveamento.

Teste de hidrofilidade:

- preparou-se uma solução de 1:1000 do corante DB86. Segundo Silva et al (2013) o corante DB86 (Figura 3) possui estrutura de quelato, cuja lhe confere propriedades de difícil igualização, favorecendo sua utilização em ensaios de capilaridade e barramento;

Figura 3. Estrutura do DB86 (SILVA et al, 2013).

- retirou-se nove amostras de 30 cm x 3,5 cm dos tecidos;
- imergiu-se 1,5 cm das amostras na solução de DB86, conforme esquema da Figura 4.

Figura 4. Esquema do ensaio de hidrofilidade por capilaridade.

- Após 15 minutos de imersão, as amostras foram suspensas e mantidas sob temperatura ambiente durante 12 horas;
- Mediu-se a altura da capilaridade, adotando-se 15 cm como ponto ideal. Calculou-se o índice de hidrofilidade (θ) através da Equação 1.

$$\theta = A \cdot \text{Pi}^{-1} \quad (1)$$

Onde: θ = índice de hidrofilidade; A = altura da capilaridade em "cm"; Pi = ponto ideal = 15 cm

Figura 5. Esquerda = Em cru; Centro = Desengomagem Oxidativa; Direita = Desengomagem Enzimática.

- Para cálculo do desvio padrão (δ) utilizou-se a Equação 2.

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Onde: δ = desvio padrão; $\sum (X - \bar{X})^2$ = somatória do quadrado dos desvios; $n - 1$ = número de ensaios menos um grau de liberdade.

- Para cálculo do coeficiente de variação (CV) utilizou-se a Equação 3.

$$CV = (\delta \cdot 100) \cdot X^{-1} \quad (3)$$

Onde: CV = coeficiente de variação; δ = desvio padrão.

3. RESULTADOS

3.1. Remoção da goma

Verificou-se a eficácia dos dois processos de desengomagem através do gotejamento de solução de iodo. Este reage com o amido revelando coloração azul escuro sendo que, quanto mais escura a coloração, maior a quantidade de amido presente no substrato. Após gotejamento, notou-se coloração ligeiramente mais azulada na amostra desengomada pelo processo oxidativo, fenômeno que pode ser observado na Figura 5, a seguir.

3.2. Modelagem

A desengomagem enzimática, seguida de alveijamento, levou 45 minutos a mais do que a desengomagem oxidativa, já que esta última engloba os dois processos, desengomagem e alveijamento, efetuados de forma simultânea.

Tabela 3. Resultados dos valores de hirdofilidade

Amostra	Desengomagem			
	Oxidativa		Enzimática	
	altura (cm)	θ (*)	altura (cm)	θ (*)
1	10,50	0,700	13,70	0,913
2	10,50	0,700	13,50	0,900
3	9,70	0,647	13,50	0,900
4	10,00	0,667	13,30	0,897
5	9,50	0,633	13,50	0,900
6	9,30	0,620	13,40	0,893
7	9,40	0,627	13,40	0,893
8	10,30	0,687	13,50	0,900
9	9,30	0,620	13,50	0,900
Média	-	0,656	-	0,900
Desvio Padrão	0,034		0,006	
Coefficiente de Variação	5,11		0,65	

(*) θ = coeficiente de hidrofilidade

Figura 6. Resultados dos ensaios de hidrofilidade, desengomagem oxidativa à direita.

O resultado dos ensaios de hidrofilidade estão descritos na Tabela 3. Nota-se que maiores valores foram obtidos nos ensaios da desengomagem enzimática, média de 0,900 contra 0,656 dos valores obtidos com a desengomagem oxidativa, apresentando menor desvio, 0,006 contra 0,034 da desengomagem oxidativa.

Pelos dados de desvio padrão plotados no Gráfico 3, nota-se maior regularidade nos valores obtidos na desengomagem enzimática.

Gráfico 3. Valores de hidrofilidade das desengomagens.

O coeficiente de variação entre os ensaios apresentou maior valor na desengomagem oxidativa, ficando em 5,11 contra 0,65 da desengomagem enzimática,

demonstrando maior irregularidade na hidrofilidade na desengomagem oxidativa, fato que também pode ser observado na Figura 6.

4. CONCLUSÃO

De acordo com Salem (2011) e opinião de vários profissionais do ramo, uma excelente preparação é fundamental para quaisquer processos de coloração posterior, ou seja, uniformidade, hidrofilidade e remoção total de sujidades, graxas, óleos e gomas são requisitos fundamentais para obter-se um produto de primeira qualidade, evitando reprocessos, ações caras que nem sempre propiciam bons resultados.

Após análise dos resultados pode-se afirmar que, apesar de maior tempo de processo e maior consumo de água, 10 L kg⁻¹ a mais, a desengomagem enzimática seguida de alvejamento leva ligeira vantagem na remoção da goma, propiciando melhor hidrofilidade ao substrato.

A maior regularidade entre os ensaios também indica maior segurança na escolha da desengomagem enzimática seguida de alvejamento no preparo de tecidos de algodão para posterior estampagem digital.

Agradecimentos

À Golden Tecnologia pelo fornecimento dos insumos químicos e ao Programa de Apoio à Pesquisa do SENAI-SP.

ESTAMPARIA DIGITAL

PARTE II - INFLUÊNCIA DO DIAMINOMETANAL NA INTENSIDADE COLORÍSTICA EM TECIDOS DE ALGODÃO 100%

MARIA G.G. FERREIRA¹, RAQUEL N.BEZERRA¹, STEPHANIE D.P. NUNES¹, ANA M.F. FILETI², ELIAS B. TAMBOURGI², JOSÉ C.C. SANTANA³, JORGE M. ROSA^{1,2}

¹ Programa de Pós-Graduação em Química Têxtil – Faculdade de Tecnologia SENAI Antoine Skaf

² Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP

³ Programa de Mestrado em Engenharia de Produção – UNINOVE

Revisão: Humberto Sabino

RESUMO

Estudou-se a influência do diaminometanal na estampagem de tecido plano de algodão, nas cores amarelo, vermelho, azul e preto. Nos primeiros ensaios, as quantidades testadas foram 0, 50 e 100 g·L⁻¹, demonstrando alta influência nas cores médias (60%) e escuras (90%), nos corantes amarelo, vermelho e azul. Executou-se mais um ensaio para verificar a quantidade mínima possível a ser utilizada, sem detrimento no rendimento colorístico (K·S⁻¹), concluindo-se que, quantidades acima de 80 g·L⁻¹ não influenciam em aumento significativo no K·S⁻¹.

Palavras chave: diaminometanal, intensidade colorística, estamparia digital

1. INTRODUÇÃO

A estamparia têxtil, uma arte milenar, é um processo de coloração onde somente um lado do tecido é colorido. Pode ser definido como sendo um conjunto de figuras ou desenhos impressos nos tecidos formando uma padronagem. Cerca de 20% de todos os produtos têxteis são estampados e destes, de 45% a 50% fazem uso de pigmentos, o método mais simples e econômico. Porém, as estampas com pigmento proporcionam um toque mais áspero do que as estampas produzidas com corantes. Vem sendo realizada e orientada pela “experiência” que, em grande parte, tem substituído a investigação de parâmetros que permitam controlar com exatidão tais processos (ANDREAUS et al, 2010; BEZERRA et al, 2014).

Mesmo com a informatização e digitalização de desenhos na década de 1980, a gravação de matrizes ainda analógica não expandiu as possibilidades em termos de expressão. Entretanto, com o surgimento da estampa digital na década de 2000, várias limitações deixaram de existir por tratar-se de um processo totalmente digital (NEIRA, 2012).

Até recentemente, 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 (MACEDO, 2008). Nos dias atuais, vem ganhando cada vez mais espaço. De acordo com Valdir Siani Moura, Diretor Industrial da Tinturaria e Estampa Salet, uma das maiores estamparias de São Paulo, 40% da produção é de origem digital e 10% desta produção é executada em tecidos de algodão. Prado (2013) descreveu que, em 2012, os tecidos compostos por fibras celulósicas foram os mais produzidos, quando comparados em relação às demais fibras no mesmo período.

Baseando-se nestes fatos, optou-se por trabalhar com tecido produzido com fibra de algodão, em estampas digitais produzidas com corantes reativos, corantes estes os mais consumidos atualmente no Brasil (ABIQUIM, 2014).

1.1. Diaminometanal

Conhecido popularmente como uréia ou carbamida, o diaminometanal possui massa molar igual a $60,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ e possui estrutura molecular representada na Figura 1.

Figura 1. Estrutura do diaminometanal

É largamente empregado na indústria de aglomerados para móveis, como resina uréia formaldeído, e também no setor de hortifrutigranjeiro, como fonte de nitrogênio em fertilizantes (IWAKIRI et al, 2012; WERNECK et al, 2012). Possui a propriedade de aumentar a solubilidade de vários corantes reativos e também atua como agente higroscópico. Além de responsável por agregar umidade à área estampada durante a vaporização, atua também na difusão do corante até o interior da fibra, propiciando a reação com os grupos hidroxílicos da celulose (LOPES, 2009).

É uma substância que aumenta o teor de nitrogênio no efluente, podendo causar eutrofização do sistema aquático face sua propriedade nutriente, favorecendo o crescimento de microorganismos em demasia (BASTIAN e ROCCO, 2009; COSTA, 2010). Para minimizar o impacto ambiental e auxiliar no tratamento de efluentes, torna-se importante reduzir a quantidade do diaminometanal nos processos de estampa, um dos fatores que contribuiu para o desenvolvimento deste estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Equipamentos: Misturador Mathis M, Espectrofotômetro Konica-Minolta CM-3600d, Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B; Viscosímetro Brookfield Analógico Modelo LVT, Foulard Mathis, Lavadora Suzuki com velocidade periférica de $40 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, três aletas com 5 cm de altura e ciclo igual a 17 s, Impressora Digital Stork Prints SPG Print Ruby V-II.

Reagentes: Antimigrante aniônico, espessante sintético aniônico, diaminometanal 98%, e carbonato de sódio 95% para a pasta de preparação; retardante aniônico e dispersante aniônico para a lavagem posterior.

Materiais diversos: Tecido plano de algodão 100 %, fio cardado 30/1 Ne trama e urdume, com gramatura igual a 150 g cm^{-2} , desengomagem e alveijamento descritos na Parte I deste estudo.

2.2. Metodologia

2.2.1. Preparação, impregnação e secagem da pasta de preparação

- As receitas para as pastas de preparação estão descritas na Tabela 1. Com exceção do diaminometanal, as quantidades dos insumos químicos foram as sugeridas pelo fabricante. Submeteu-se todas as pastas a uma agitação de 1500 RPM, durante 30 minutos;
- Efetuiu-se a medida da viscosidade das três pastas;
- Impregnou-se as amostras de tecidos com pick-up de 90%;
- Secou-se as amostras a 120°C durante 10 minutos, circulação de ar em 1500 RPM;

2.2.2. Estampagem

- Estampou-se as cores amarelo, vermelho, azul e preto com intensidades de 30%, 60% e 90%;

2.2.3. Secagem e vaporização

- Secou-se as amostras a 100°C durante 3 minutos, circulação de ar em 1500 RPM;
- Vaporizou-se as amostras durante 10 minutos a 105°C , com 80% de umidade relativa, $460 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ de água, circulação de ar em 1200 RPM;

2.2.4. Tratamento posterior

- Lavou-se as amostras em relação de banho 1:10, com quantidades de insumos químicos descritos na Tabela 2 e conforme procedimento ilustrado no Gráfico 1.

Tabela 2. Insumos da lavagem posterior.

Etapa	Insumo
A	0,50 g·L ⁻¹ de retardante
B	0,25 g·L ⁻¹ de retardante
C	0,50 g·L ⁻¹ de dispersante
D	0,25 g·L ⁻¹ de dispersante

Tabela 1. Pastas de preparação.

Produtos	Quantidades			Viscosidade (cP)
Diaminometanal (g·L ⁻¹)	0	50	100	800 à 26 °C
Espessante (g·L ⁻¹)	50	50	50	
Antimigrante (g·L ⁻¹)	150	150	150	
Carbonato de Sódio (g·L ⁻¹)	20	20	20	

Gráfico 1. Procedimento da lavagem posterior

2.2.5. Avaliação da cor

i) Adotando-se cor clara para valores de 30%, média para 60% e escura para 90%, avaliou-se reflectância (R) das cores através de espectrofotometria visível, sob iluminante D65 10°, Sistema CIELab, calculando-se a intensidade colorística ($K \cdot S^{-1}$) através da Equação de Kubelka-Munk (SILVA et al, 2012).

$$K \cdot S^{-1} = (1-R)^2 \cdot (2R)^{-1} \tag{1}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação das cores

Os valores de intensidade colorística ($K \cdot S^{-1}$) estão descritos nas Tabelas 3 (amarelo), 4 (vermelho), 5 (azul) e 6 (preto) a seguir. Estes valores foram mensurados

tendo como “ponto zero” a parte “não estampada” das amostras. Os dados também foram plotado nos Gráficos 2 (amarelo), 3 (vermelho), 4 (azul) e 5 (preto).

3.1.1. Corante amarelo

Gráfico 2. Valores plotados para o corante amarelo.

Na cor clara (30%) nota-se que a quantidade de diaminometanal não interfere significativamente no $K \cdot S^{-1}$. As diferenças tornam-se mais significativas nas cores médias e escuras (60% e 90%, respectivamente). Observa-se que o $K \cdot S^{-1}$ obtido com 100 g·L⁻¹ de diaminometanal foi 1,25 vezes maior do que o $K \cdot S^{-1}$ obtido com 50 g·L⁻¹ e 1,61 vezes maior do que o obtido sem diaminometanal.

Tabela 3. Valores de $K \cdot S^{-1}$ para o corante amarelo.

Corante	Diaminometanal (g L-1)	30%	60%	90%
Amarelo	0,00	0,4843	2,0478	13,0850
	50,00	0,7075	2,9730	16,8010
	100,00	2,4834	7,1947	21,0650

3.1.2. Corante vermelho

Gráfico 3. Valores plotados para o corante vermelho.

Assim como no amarelo, na cor vermelha clara a quantidade de diaminometanal também não interfere significativamente no $K \cdot S^{-1}$. Entretanto, a diferença mais significativa foi obtida na cor escura, onde observa-se um valor de $K \cdot S^{-1}$ obtido com $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de diaminometanal 1,86 vezes maior do que o obtido com $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ e 2,58 vezes maior do que o $K \cdot S^{-1}$ obtido sem diaminometanal.

3.1.3. Corante azul

Gráfico 4. Valores plotados para o corante azul.

Nas cores claras, o azul apresentou comportamento semelhante ao amarelo e ao vermelho, ou seja, a quantidade de diaminometanal também não interfere significativamente no $K \cdot S^{-1}$. Nas cor média, o comportamento se assemelhou mais ao vermelho. Entretanto, observou-se um valor de $K \cdot S^{-1}$ obtido com $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de diaminometanal 4,25 vezes maior do que o obtido sem diaminometanal.

Tabela 4. Valores de $K \cdot S^{-1}$ para o corante vermelho.

Corante	Diaminometanal (g L ⁻¹)	30%	60%	90%
Vermelho	0,00	0,2443	0,9552	4,2336
	50,00	0,3785	1,4796	5,8427
	100,00	0,6891	2,6580	10,9200

Tabela 5. Valores de $K \cdot S^{-1}$ para o corante azul.

Corante	Diaminometanal (g L ⁻¹)	30%	60%	90%
Azul	0,00	0,1624	0,5200	3,2299
	50,00	0,2647	1,0522	7,1175
	100,00	0,5511	1,9712	13,7330

Tabela 6. Valores de $K \cdot S^{-1}$ para o corante preto.

Corante	Diaminometanal (g L ⁻¹)	30%	60%	90%
Preto	0,00	0,1803	0,7142	18,9630
	50,00	0,3332	1,6122	19,0270
	100,00	0,6058	2,8778	17,3020

3.1.4. Corante preto

Gráfico 5. Valores plotados para o corante preto.

Ao contrário dos demais corantes, o corante preto não demonstrou diferenças significativas nos valores de $K \cdot S^{-1}$ obtidos com as três variações nas quantidades de diaminometanal.

Baseando-se nos resultados obtidos, onde foi possível observar que a presença de diaminometanal incrementa os valores de $K \cdot S^{-1}$ nos corantes amarelo, vermelho e azul, efetuou-se mais um ensaio para determinar a menor quantidade a ser utilizada sem detrimento do rendimento, desta feita utilizando-se 80, 100 e 120 $g \cdot L^{-1}$, mantendo-se as demais condições. Os resultados encontram-se dispostos na Tabela 7 e os dados plotados, no Gráfico 6.

Gráfico 6. Valores plotados para os corantes amarelo, vermelho e preto.

Os valores de $K \cdot S^{-1}$ obtidos para os ensaios com a tricromia amarelo, vermelho e azul, utilizando-se três concentrações de diaminometanal, não apresentaram variações significativas.

Tabela 7. Valores de K^{S-1} para os corantes amarelo, vermelho e azul.

Corante	Diaminometanal ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		
	80	100	120
Amarelo	20,16	19,63	19,55
Vermelho	10,45	9,93	11,24
Azul	12,94	12,72	12,34

4. CONCLUSÃO

Na primeira etapa deste estudo, observou-se que o diaminometanal interfere significativamente em cores médias e escuras nos corantes amarelo, vermelho e azul, entretanto, o mesmo fenômeno não foi observado para o corante preto.

Na segunda etapa, para os ensaios de otimização efetuados com os corantes amarelo, vermelho e azul, conclui-se que concentrações acima de $80 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de diaminometanal não surtem em diferenças significativas para tais corantes, portanto, baseando-se nos resultados obtidos poder-se-ia afirmar que, em se tratando de quantidade do insumo, $80 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ seria a concentração ideal pois, ao utilizar-se menores quantidades de diaminometanal, menores cargas de nitrogênio estarão contidas nos efluentes de lavagens posteriores.

Importante afirmar que os experimentos foram conduzidos utilizando-se uma impressora específica, com corantes reativos específicos e para tecidos pla-

nos de algodão pré-tratados seguindo padrões controlados por análises qualitativas.

Diferentes impressoras, corantes e preparação de tecidos, podem surtir resultados diferentes. Cabe aos profissionais acadêmicos e industriais, em conjunto, determinar as melhores condições na obtenção de um produto final de excelente qualidade, buscando as necessidades do consumidor final.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Diretor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antoine Skaf, Prof. Marcelo Costa, pela disponibilização das dependências da escola para a execução dos ensaios, à Golden Tecnologia e Ouro Verde pela cessão de insumos químicos utilizados nos ensaios e aos alunos do curso de Pós Graduação em Química Têxtil da Faculdade de Tecnologia SENAI Antoine Skaf, Raphael Martins da Costa, Sheila Aparecida de Souza e Stephanie Diogo Pereira Nunes pelo apoio técnico.

Água pluvial e efluente tratado em pré e pós-tratamento de estampas digitais com corantes reativos sobre tecidos de algodão

Leite, A.S.^{1,2}; Costa, M.^{3,4}; Salvi, P.S.^{3,4}; Bezerra, R.N.³; Araújo, M.C.³; Rosa, J.M.⁴

¹ Instituto Europeo di Design – São Paulo – Brasil – CEP 01240-001 adilsoncontextil@yahoo.com.br

² Faculdade Anhanguera – São Paulo – Brasil – CEP 04119-001

³ Escola de Artes, Ciências e Humanidades – USP – São Paulo – Brasil – CEP 03828-000

⁴ Faculdade de Tecnologia SENAI "Antoine Skaf" – São Paulo – Brasil – CEP 03008-020

Resumo

Verificou-se a possibilidade da reutilização de uma mistura 50%-50% de água pluvial e efluente tratado na preparação e no pós-tratamento de tecidos planos de algodão 100 %, estampado nas cores amarelo, vermelho e azul, todas executadas com corantes reativos, em equipamento de impressão digital. Avaliados pelo Sistema CMC, o valor de ΔL^* obtido no alvejamento ficou em 1,03 e os valores de ΔE^* entre as cores ficaram em 0,57 para o amarelo, 0,77 para o vermelho e 1,05 para a cor azul, considerados satisfatórios para o mercado atual. Os ensaios de solidez à água forte não apresentaram diferenças significativas, demonstrando que a mistura água pluvial/efluente tratado pode ser utilizada no pré e pós-tratamento de tecidos de algodão para estamparia digital.

Palavras chave: reuso de água, corantes reativos, estamparia digital

Abstract

Was verify the possibility of reuse of a mixture 50% -50% of rainwater and treated effluent in the preparation and post-treatment of cotton woven fabrics 100%, printed in yellow, red and blue colors, all performed with reactive dyes in digital printing equipment. Evaluated by the CMC system, the ΔL^ value obtained in bleaching was 1.25 and ΔE^* values between colors were at 0.57 for yellow, 0.77 for the red and 1.05 for color blue, considered satisfactory for the current market. The water color fastness tests showed no significant differences, indicating that the mixture rainwater/treated effluent can be used in the pre and post-treatment of cotton fabrics for digital printing.*

Keywords: reuse of water, reactive dyestuffs, digital printing

1. INTRODUÇÃO

Nesse trabalho, verificou-se a possibilidade da reutilização de uma mistura 50%-50% de água pluvial e efluente tratado na preparação e no pós-tratamento de tecidos planos de algodão 100 %, estampado nas cores amarelo, vermelho e azul, todas executadas com corantes reativos, em equipamento de impressão digital.

Embora a água esteja presente em quantidade relevante na Terra, a sua distribuição não ocorre de maneira homogênea. Em muitas regiões, esse desequilíbrio também é evidente na relação entre números de habitantes e a disponibilidade de água. Assim, a qualidade da água sofre pressões em virtude do crescente aumento populacional e industrial que alteram suas propriedades pela inserção de diversos contaminantes em corpos receptores, comprometendo a qualidade dessa água e possibilitando a escassez desse recurso natural (MORAIS, 2015).

Algumas metrópoles já estudam, ou precisam estudar, a possibilidade de transportar águas para suprir o déficit hídrico. Em destaque, a Região Metropolitana da Bacia do Alto Tietê que importa cerca de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ da água da Bacia do Rio Piracicaba para abastecimento público. Em 2012, no Estado de São Paulo, a demanda por água superficial foi estimada na ordem de $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sendo que o uso industrial correspondeu a $93 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ desse volume, sendo inferior em quantidade apenas a irrigação e ao abastecimento público (ROCHA et al., 2012).

1.1. Reutilização de água

Recentemente a região metropolitana de São Paulo vem enfrentando a escassez de água para abastecimento público e industrial. O Sistema Cantareira, a principal reserva de água se encontra com níveis de reservatório inferior a dez por cento de sua capacidade. A captação alternativa de outros mananciais vem sendo expandida a fim de atender a demanda por abastecimento e suprir as demandas das captações já existentes de Guarapiranga e Alto Tietê. Entre as novas captações estão a transferência de água do córrego Guaratuba, localizada na Serra do Mar para o Sistema Alto Tietê, e o bombeamento do rio Juquiá em Juquitiba para represa Guarapiranga (SABESP, 2015).

A indústria têxtil representa um valor socioeconômico bastante considerável, pela quantidade de mão-de-obra que é gerada. No Brasil a divisão para essas indústrias é de 11% de grande porte; 21% de pequeno; e 68% como micro-empresas. O beneficiamento é iniciado desde o processo de fiação dos tecidos e, somente o setor têxtil, é responsável por 15% da água consumida pelas indústrias (WEILER, 2005).

Com a escassez da água, a indústria enfrenta uma dificuldade cada vez maior para a utilização de recursos naturais. Órgãos ambientais veem exigindo uma maior cobrança para a utilização racional desse recurso, e tem resultado em um cuidado maior que isso traz no custo final para a indústria. (LIMA e SILVA, 2008). Empresas veem se preocupando em reutilizar a água usada. É possível encontrar estudos onde existe uma preocupação em diminuir o consumo do recurso e manter a qualidade do produto. Pôde-se verificar que é possível a reutilização de boa parte da água utilizada em um banho para tingimento com corante reativo de um tecido de algodão 100%. (TWARDOKUS, 2004).

1.2. Estamparia digital

Até recentemente, a estamparia digital para tecidos estava limitada à criação de amostras, ou provas que antecediam a estamparia convencional de larga escala, rotativa ou a quadros. Avanços tecnológicos, porém, criaram o potencial para que a estamparia digital substitua a estamparia 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. Cerca de 20% de todos os produtos têxteis são estampados e destes, de 45% a 50% fazem uso de pigmentos, o método mais simples e econômico. Porém, as estampas com pigmento proporcionam um toque mais áspero do que as estampas produzidas com corantes. (ANDREAUS et al., 2010; BEZERRA et al., 2014). Com o surgimento da estamparia digital na década de 2000, várias limitações deixaram de existir por tratar-se de um processo totalmente digital (MACEDO, 2008; NEIRA, 2012).

Prado (2013) descreveu que, em 2012, os tecidos compostos por fibras celulósicas foram os mais produzidos, quando comparados em relação às demais fibras no mesmo período. Baseando-se nestes fatos, optou-se por trabalhar com tecido produzido com fibra de algodão, em estampas digitais produzidas com corantes reativos, corantes estes os mais consumidos atualmente no Brasil (ABIQUIM, 2014).

Para minimizar o impacto ambiental, economizar recursos hídricos, reutilizar o efluente tratado e também água pluvial, optou-se por efetuar essa reutilização inicial em processos de estamparia digital, uma tecnologia emergente e crescente no país.

2. METODOLOGIA

Os ensaios foram executados utilizando-se tecido plano de algodão 100 %, fio cardado 30/1 Ne trama e urdume, com gramatura igual a 150 g·cm⁻². Todos os procedimentos, alveijamento, preparação para estamparia e pós-tratamento foram executados com água normal de reabastecimento e com água de reuso (água pluvial + efluente tratado, 1:1).

A receita e procedimento para o alveijamento encontram-se descritos em Rosa et al (2012), efetuada em relação de banho igual a 1:6 (Jigger Mathis). A receita de preparação para estamparia está descrita na Tabela 1. As quantidades dos insumos químicos foram as sugeridas pelo fabricante. Submeteram-se todas as pastas de preparação a uma agitação de 1500 RPM, durante 30 minutos (Misturador Mathis M); efetuou-se a medida da viscosidade das três pastas (Viscosímetro Brookfield Analógico Modelo LVT); impregnaram-se as amostras de tecidos com pick-up de 90% (Foulard Mathis); secaram-se as amostras a 120 °C durante 10 minutos, circulação de ar em 1500 RPM (Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B).

Tabela 1. Pastas de preparação.

Produtos	Quantidades	Viscosidade (cP)
Uréia (g·L ⁻¹)	80	800 à 26 °C
Espessante (g·L ⁻¹)	50	
Antimigrante (g·L ⁻¹)	150	
Carbonato de Sódio (g·L ⁻¹)	20

Estamparam-se as cores amarelo, vermelho e azul (Impressora Digital Stork Prints SPG Print Ruby V-II) na intensidade de 90 %; vaporizaram-se as amostras durante 10 minutos a 102 °C, com 80% de umidade relativa, 460 g·m³ de água, circulação de ar em 1200 RPM (Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B).

Em seguida as amostras foram lavadas (Jigger Mathis) em relação de banho 1:6, em quatro banhos, utilizando-se 0,50 g·L⁻¹ de retardante no primeiro banho (A) e 0,25 g·L⁻¹ no segundo banho (B), 0,50 g·L⁻¹ e 0,25 g·L⁻¹ de dispersante no terceiro (C) e quarto banho (D) respectivamente. O procedimento encontra-se ilustrado no Gráfico 1.

Gráfico 1. Procedimento da lavagem posterior

Avaliou-se o desvio de luminosidade (ΔL^*) para o alveijamento e também os desvios totais (ΔE^*) para as cores através de espectrofotometria visível, sob iluminante D65 10°, Sistema CMC. Nas cores, também foi comparado a intensidade tintorial ($K \cdot S^{-1}$)

Os ensaios de solidez à água forte foram executados segundo Norma ABNT NBR ISO 105-E01:2011, sendo avaliados por espectrofotometria visível, sob iluminante D65 10°.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação do alveijamento

O resultado do processo de alveijamento está demonstrado no Gráfico 2.

Gráfico 2. Curvas de remissão dos alveijamentos.

Representado pela linha verde, o gráfico relativo ao alveijamento efetuado com água normal de reabastecimento. Nota-se que este processo resultou em uma amostra mais alva do que o alveijamento efetuado com água de reuso, este representado pela linha azul. A diferença de luminosidade (ΔE^*) entre as amostras ficou em 1,03, abaixo do valor mínimo exigido no mercado atual (ROSA et al., 2015).

3.2. Avaliação das cores

Os resultados do processo de coloração estão demonstrados nos Gráficos 3 (amarelo), 4 (vermelho) e 5 (azul).

Gráfico 3. Curvas de $K \cdot S^{-1}$ dos amarelos.

O amarelo obtido com água de reuso, representado pela linha azul, apresentou maior valor de $K \cdot S^{-1}$ do que o obtido com água normal de reabastecimento, representado pela linha verde, 17,95 contra 16,44, respectivamente. As leituras foram efetuadas na absorção máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) de 430 nm e o ΔE^* entre as duas amostras ficou em 0,57.

Gráfico 4. Curvas de $K \cdot S^{-1}$ dos vermelhos.

Diferentemente do amarelo, o vermelho obtido com água de reuso, representado pela linha azul, apresentou menor valor de $K \cdot S^{-1}$ do que o obtido com água normal de reabastecimento, representado pela linha verde, 9,68 contra 11,10, respectivamente. As leituras foram efetuadas na absorção máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) de 550 nm e o ΔE^* entre as duas amostras ficou em 0,77.

Gráfico 5. Curvas de $K \cdot S^{-1}$ dos azuis.

Assim como o vermelho, o azul também obteve comportamento diferente do amarelo. A amostra obtida com água de reuso, representada pela linha azul, também apresentou menor valor de $K \cdot S^{-1}$ do que a obtida com água normal de reabastecimento, representada pela linha

verde, 13,85 contra 15,85, respectivamente. As leituras foram efetuadas na absorção máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) de 670 nm e o ΔE^* entre as duas amostras ficou em 1,05.

3.3. Avaliação da solidez da cor

Na Tabela 2, os resultados dos ensaios de solidez à água forte, efetuados para as três cores obtidas com água de reuso e água de reabastecimento.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de solidez.

CORES	Normal		Reuso	
	A	T	A	T
Amarelo	5	4/5	4/5	4/5
Vermelho	4/5	4/5	5	4/5
Azul	5	4/5	5	4/5

Pelos valores obtidos, pode-se concluir que, tanto as cores obtidas nas estampas pré e pós-tratadas com água de reuso quanto às obtidas com água normal de reabastecimento, obtiveram boas notas de solidez e com diferenças não significativas entre ambas. Interessante ressaltar que a escala de avaliação vai de zero (o pior índice solidez) a cinco (o melhor índice de solidez).

4. CONCLUSÃO

Observou-se que a água de reuso (água pluvial+efluente tratado) pode ser utilizada no preparo de tecidos de algodão para posterior estamparia e também em lavagens posteriores.

O ΔL^* entre as amostras alvejadas ficou em 1,03. Os ΔE^* obtidos nas cores ficaram em 0,57 para o amarelo, 0,77 para o vermelho e 1,05 para o azul, valores aceitáveis dentro do mercado interno de confecções. Os índices de solidez à água forte também demonstraram que não há diferenças significativas, ou seja, a utilização da água de reuso não interferiria na qualidade final da estampa.

A água de reuso foi utilizada no processo de alvejamento, na preparação da pasta para aplicação prévia ao processo de estampa e também nas lavagens posteriores. Considerando a quantidade de água necessária para todo o processo, ou seja, alvejamento (RB 1:6), preparação (pick-up 90%) e tratamento posterior (RB 1:6), o consumo seria de 36,9 litros para cada quilograma de substrato.

Efetuando-se o mesmo processo, utilizando-se a água de reuso, adotando a quantidade de chuva igual a zero, utilizando-se o efluente tratado no primeiro processo e desprezando-se a água perdida por evaporação, o consumo de água cairia para, no mínimo, 50%.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Apoio a Pesquisa do SENAI-SP, à FAPESP e às empresas Golden Química e Ouro Verde pela cessão de insumos químicos utilizados nos ensaios.

5. REFERÊNCIAS

- ABIQUIM: Associação Brasileira da Indústria Química. Disponível e acessado em 07/10/2014, www.abiquim.org.br/comissao/setorial/corantes-pigmentos/especificidade/historico-aplicacao, 2014.
- ABNT NBR ISO 105-E01:2011. Tests for colorfastness. Part E01: Colorfastness to water.
- ANDREAUS, J.; DALMOLIN, M.C.; OLIVEIRA JUNIOR, I.B.; BARCELLOS, I.O.: Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis. In: **Química Nova**, vol.33, n.4, p.929-937, 2010.
- BEZERRA, R.N.; ROSA, J.M.; FILETI, A.M.F.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: Estudo sobre a Influência da Umidade na Termofixação de Estampas com Corantes Reativos em tecidos de algodão. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, SC, 2014.
- MACEDO, J.C.: A Inovadora Tecnologia da Estamparia Digital. **Anais do XIX Congresso Latinoamericano de Química y Textil**, Santiago, Chile, 2008.
- MORAIS, A.V.: Avaliação da toxicidade e remoção da cor de um efluente têxtil tratado com feixe de elétrons. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/IPENUSP/USP, São Paulo, Brasil, Abril de 2015.
- NEIRA, L.G.: Estampas na tecelagem brasileira: da origem à originalidade. **Tese**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2012.
- PRADO M.V.: Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira, **ABIT/IEML**, 2013.
- ROCHA, G.A.; ASSIS, N.M.N.V.; MANCINI, R.M.O.M; MELO, T.S.; BUCHIANERI, V.; BARBOSA, W.E.S. **Recursos hídricos**. Cadernos de Educação Ambiental, 14. São Paulo: SMA, CEA, 2011.
- ROSA, J.M.; CARMO, R.A.S.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: Estudo de variáveis e de custos ecológicos no pré-tratamento de tecidos de algodão com peróxido de hidrogênio. In: *Quim. Têxtil*, n.109, p. 30-38, 2012.
- ROSA, J.M.; FILETI, A.M.F.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: Dyeing of cotton with reactive dyestuffs: the continuous reuse of textile wastewater effluent treated by Ultraviolet/Hydrogen peroxide homogeneous photocatalysis. *Journal of Cleaner Production* 90 (2015) 60-65.
- SABESP: Agência desenvolve projeto para captar água a 70 km da capital. SABESP, Notícias, 11 fev. 2015. Disponível em <http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoId=65&id=6445>. Acesso em 13 de fevereiro de 2015.
- SILVA, A.M.; LIMA, N.R.: Avaliação do reuso de efluentes de uma indústria têxtil de Fortaleza-CE. In: **Anais do 48º Congresso Brasileiro de Química**, Rio de Janeiro, 2008.
- TWARDOKUS, R.G.: Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil. **Dissertação**. UFSC, Florianópolis, 2004.
- WEILER, D.K.: Caracterização e otimização do reuso de águas da indústria têxtil. **Dissertação**. UFSC, Florianópolis, 2005.

Influência da quantidade de diaminometanal em estampas digitais efetuadas na cor azul em tecidos planos de algodão 100%

Bezerra, R.N.¹; Araújo, M.C.¹; Costa, M.^{1,2}; Rosa, J.M.²; Santana, J.C.C.³

¹ Escola de Artes, Ciências e Humanidades – USP – São Paulo – Brasil – CEP 03838-000 - raquelbezerra@gmail.com

² Faculdade de Tecnologia SENAI "Antoine Skaf" – São Paulo – Brasil – CEP 03008-020

³ Programa de Mestrado em Engenharia de Produção – UNINOVE – São Paulo – Brasil – CEP 05001-100

Resumo

Verificou-se a influência da quantidade de diaminometanal na preparação de tecidos para posterior estamparia por processo digital. Efetuaram-se ensaios em três tonalidades de azul. As quantidades iniciais testadas foram 0 g·L⁻¹ (sem diaminometanal), 50 g·L⁻¹ e 100 g·L⁻¹. Observou-se que o diaminometanal influencia significativamente no rendimento das cores de intensidade média (60 %) e escura (90 %). Executou-se mais um ensaio para verificar a quantidade mínima possível a ser utilizada, sem detrimento no rendimento colorístico (K·S⁻¹). Observou-se que, quantidades acima de 80 g·L⁻¹ não influenciam em aumento significativo na intensidade colorística.

Palavras chave: diaminometanal, intensidade colorística, estamparia digital

Abstract

It was verified the influence of the diaminomethanal amount in the pre-treatment of textiles for subsequent printing by digital process, where blue shades were tested. The initial amounts tested were 0 g·L⁻¹, 50 g·L⁻¹ and 100 g·L⁻¹. It was observed that the diaminomethanal influences significantly on medium and dark intensity colors (60% and 90%). Was executed one more test in order to verify the minimum amount possible to be used without detriment in coloristic intensity (K·S⁻¹). It has been observed that amounts greater than 80 g·L⁻¹ does not increase in coloristic intensity.

Keywords: diaminomethanal, coloristic intensity, digital printing

1. INTRODUÇÃO

Até recentemente, a estamparia digital para tecidos estava limitada à criação de amostras, ou provas que antecederiam a estamparia convencional de larga escala, rotativa ou a quadros. Avanços tecnológicos, porém, criaram o potencial para que a estamparia digital substitua a estamparia 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 (MACEDO, 2008).

Cerca de 20% de todos os produtos têxteis são estampados e destes, de 45% a 50% fazem uso de pigmentos, o método mais simples e econômico. Porém, as estampas com pigmento proporcionam um toque mais áspero do que as estampas produzidas com corantes. (ANDREAUS et al, 2010; BEZERRA et al, 2014). Com o surgimento da estamparia digital na década de 2000, várias limitações deixaram de existir por tratar-se de um processo totalmente digital (NEIRA, 2012).

Prado (2013) descreveu que, em 2012, os tecidos compostos por fibras celulósicas foram os mais produzidos, quando comparados em relação às demais fibras no mesmo período. Baseando-se nestes fatos, optou-se por trabalhar com tecido produzido com fibra de algodão, em estampas digitais produzidas com corantes reativos, corantes estes os mais consumidos atualmente no Brasil (ABIQUIM, 2014).

1.1. Diaminometanal

Conhecido popularmente como uréia ou carbamida, possui massa molar igual a 60,0 g·mol⁻¹ e possui estrutura molecular representada na Figura 1.

Figura 1. Estrutura do diaminometanal

Possui a propriedade de aumentar a solubilidade de vários corantes reativos e também atua como agente higroscópico. Além de responsável por agregar umidade à área estampada durante a vaporização, atua também na difusão do corante até o interior da fibra, propiciando a reação com os grupos hidroxílicos da celulose (LOPES, 2009).

É uma substância que aumenta o teor de nitrogênio no efluente, podendo causar eutrofização do sistema aquático face sua propriedade nutriente, favorecendo o crescimento de microorganismos em demasia (BASTIAN e ROCCO, 2009; COSTA, 2010). Para minimizar o impacto ambiental e auxiliar o tratamento de efluentes, torna-se importante reduzir a quantidade do diaminometanal nos processos de estamparia, um dos fatores que contribuiu para o desenvolvimento deste estudo.

2. METODOLOGIA

Os ensaios foram executados utilizando-se tecido plano de algodão 100 %, fio cardado 30/1 Ne trama e urdume, com gramatura igual a 150 g cm⁻².

As receitas para as pastas de preparação estão descritas na Tabela 1. Com exceção do diaminometanal, as quantidades dos insumos químicos foram as sugeridas pelo fabricante. Submeteram-se todas as pastas a uma agitação de 1500 RPM, durante 30 minutos (Misturador Mathis M); efetuou-se a medida da viscosidade das três pastas (Viscosímetro Brookfield Analógico Modelo LVT); impregnaram-se as amostras de tecidos com pick-up de 90% (Foulard Mathis); secaram-se as amostras a 120 °C durante 10 minutos, circulação de ar em 1500 RPM (Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B).

Tabela 1. Pastas de preparação.

Produtos	Quantidades			Viscosidade (cP)
Diaminometanal (g·L ⁻¹)	0	50	100	800 à 26 °C
Espessante (g·L ⁻¹)	50	50	50	
Antimigrante (g·L ⁻¹)	150	150	150	
Carbonato de Sódio (g·L ⁻¹)	20	20	20	

Estamparou-se a cor azul (Impressora Digital Stork Prints SPG Print Ruby V-II) com intensidades de 30 %, 60 % e 90 %; vaporizaram-se as amostras durante 10 minutos a 105 °C, com 80% de umidade relativa, 460 g·m³ de água, circulação de ar em 1200 RPM (Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B).

Em seguida as amostras foram lavadas (Lavadora Suzuki) em relação de banho 1:10, em quatro banhos, utilizando-se 0,50 g·L⁻¹ de retardante no primeiro banho (A) e 0,25 g·L⁻¹ no segundo banho (B), 0,50 g·L⁻¹ e 0,25 g·L⁻¹ de dispersante no terceiro (C) e quarto banho (D) respectivamente. O procedimento encontra-se ilustrado no Gráfico 1.

Gráfico 1. Procedimento da lavagem posterior

Adotando-se cor clara para valores de 30%, média para 60% e escura para 90%, avaliou-se a refletância (R) das cores através de espectrofotometria visível (Konica-Minolta CM 3600d), sob iluminante D65 10°, abertura LAV, Sistema CIELab, em triplicata, calculando-se a intensidade colorística (K·S⁻¹) através da média dos valores obtidos, utilizando-se a Equação de Kubelka-Munk (SILVA et al, 2012).

$$K \cdot S^{-1} = (1-R)^2 \cdot (2R)^{-1} \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação das cores

Os valores de intensidade colorística ($K \cdot S^{-1}$) estão descritos na Tabela 2 a seguir. Estes valores foram mensurados tendo como “ponto zero” a parte “não estampada” das amostras. Os dados também foram plotados no Gráfico 2.

Tabela 2. Valores de $K \cdot S^{-1}$.

Diaminometanal ($g L^{-1}$)	30%	60%	90%
0,00	0,1624	0,5200	3,2299
50,00	0,2647	1,0522	7,1175
100,00	0,5511	1,9712	13,7330

Gráfico 2. Valores plotados para o corante azul.

Nas tonalidades claras (30%) e médias (60%), a quantidade de diaminometanal não interfere significativamente no $K \cdot S^{-1}$. Entretanto, observou-se um valor de $K \cdot S^{-1}$ obtido com $100 g \cdot L^{-1}$ de diaminometanal 4,25 vezes maior do que o obtido sem diaminometanal.

Baseando-se nos resultados obtidos, onde foi possível observar que a presença de diaminometanal incrementa os valores de $K \cdot S^{-1}$, efetuou-se mais um ensaio para determinar a menor quantidade a ser utilizada sem detrimento do rendimento, desta feita utilizando-se 80, 100 e 120 $g \cdot L^{-1}$, mantendo-se as demais condições. Os resultados encontram-se dispostos na Tabela 3 e os dados plotados, no Gráfico 3.

Tabela 3. Valores de $K \cdot S^{-1}$.

	Diaminometanal ($g \cdot L^{-1}$)		
	80	100	120
Azul	12,94	12,72	12,34

Gráfico 3. Valores plotados nas três concentrações testadas.

Os valores de $K \cdot S^{-1}$ obtidos para os ensaios não apresentaram variações significativas nas três concentrações de diaminometanal testadas.

4. CONCLUSÃO

Na primeira etapa deste estudo, observou-se que a quantidade de diaminometanal interfere significativamente em tonalidades escuras, entretanto, o mesmo fenômeno não foi observado nas cores claras e médias.

Na segunda etapa, para os ensaios de otimização efetuados, conclui-se que concentrações acima de $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de diaminometanal não surtem em diferenças significativas na intensidade colorística, portanto, baseando-se nos resultados obtidos poder-se-ia afirmar que, em se tratando de quantidade do insumo, $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ seria a concentração ideal, pois, ao utilizar-se menores quantidades de diaminometanal, menores cargas de nitrogênio estarão contidas nos efluentes de lavagens posteriores.

Importante afirmar que os experimentos foram conduzidos utilizando-se uma impressora específica, com corantes reativos específicos e para tecidos planos de algodão pré-tratados seguindo padrões controlados por análises qualitativas.

Diferentes impressoras, corantes e preparação de tecidos, podem surtir resultados diferentes. Cabe aos profissionais acadêmicos e industriais, em conjunto, determinar as melhores condições na obtenção de um produto final de excelente qualidade, buscando as necessidades do consumidor final.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Apoio a Pesquisa do SENAI-SP, à Fapesp e às empresas Golden Química e Ouro Verde pela cessão de insumos químicos utilizados nos ensaios.

5. REFERÊNCIAS

- ABIQUM: Associação Brasileira da Indústria Química. Disponível e acessado em 07/10/2014, www.abiquim.org.br/comissao/setorial/corantes-pigmentos/especificidade/historico-aplicacao, 2014.
- ANDREAUS, J.; DALMOLIN, M.C.; OLIVEIRA JUNIOR, I.B.; BARCELLOS, I.O.: Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis. In: **Química Nova**, vol.33, n.4, p.929-937, 2010.
- BASTIAN, E.Y.O.; ROCCO, J.L.S: **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**, São Paulo, CETESB-SINDITÊXTIL, 2009.
- BEZERRA, R.N.; ROSA, J.M.; FILETI, A.M.F.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: Estudo sobre a Influência da Umidade na Termofixação de Estampas com Corantes Reativos em tecidos de algodão. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, SC, 2014.
- COSTA, N.P.: Gerenciamento de resíduos sólidos nas pequenas e médias empresas de Itabirito-MG. Estudo de caso: Produção mais Limpa em empresa do setor têxtil. **Dissertação**. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2010.
- IWAKIRI, S.; VIANEZ, B.F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C.: Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. In: **Acta Amazonica**, vol. 42(1) 2012: 59-64.
- LOPES, L.C.: Controle metrológico aplicado à estamperia digital de materiais têxteis. **Dissertação**. Programa de Pós Graduação em Metrologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
- MACEDO, J.C.: A Inovadora Tecnologia da Estamperia Digital. **Anais do XIX Congresso Latinoamericano de Química y Textil**, Santiago, Chile, 2008.
- NEIRA, L.G.: Estampas na tecelagem brasileira: da origem à originalidade. **Tese**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2012.
- PRADO M.V.: Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira, **ABIT/IEMI**, 2013.
- SILVA, B.B.; BEZERRA, R.N.; ROSA, J.M.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: Influência da estiragem mecânica nas propriedades físico-químicas de multifilamentos de poliamida 6. In: **Química Têxtil**, n.112, p. 30-38, 2012.
- WERNECK, C.G.; BREDÁ, F.A.; ZONTA, E.; LIMA, E.; POLIDORO, J.C.; BALIEIRO, F.C.; BERNARDI, A.C.C.: Volatilização de amônia proveniente de ureia com zeólita natural, **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.3, p.466-470, mar. 2012.

ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA TERMOFIXAÇÃO DE ESTAMPAS COM CORANTES REATIVOS EM TECIDOS DE ALGODÃO

R. N. BEZERRA¹, J. M. ROSA^{1,2}, A. M. F. FILETI², E. B. TAMBOURGI², J. C. C. SANTANA³

¹ Faculdade de Tecnologia SENAI Antoine Skaf – Pós-Graduação em Química Têxtil

² UNICAMP – Faculdade de Engenharia Química

³ UNINOVE – Programa de Mestrado em Engenharia de Produção

RESUMO – Este estudo comparou dois processos de termofixação de estampas com os corantes RY84, RR120 e RB160. Foram avaliados os itens diferença de intensidade colorística ($K \cdot S^{-1}$), desvio total entre as cores (ΔE^*), diferença de energia térmica entre os processos e solidez das cores à água. O processo em presença de umidade demonstrou maior rendimento, ou seja, para que os $K \cdot S^{-1}$ ficassem iguais nos dois processos, seria necessário um aumento de 25% na concentração de RY84, 8% na concentração de RR120 e 13% na concentração de RB160 no processo de termofixação sem umidade. Os desvios apresentados foram de 5,54 para o RY84, 1,47 para o RR120 e 4,91 para o RB160, sendo que valores abaixo de 1,5 são aceitáveis dentro da indústria de confecções. O processo em presença de umidade despende maior quantidade de energia térmica, $6,83 \cdot 10^3$ J, consumindo $2,00 \cdot 10^{-4}$ m³ a mais de gás combustível e gerando emissão de $4,32 \cdot 10^{-10}$ kg de CO₂. Os testes de solidez não apresentaram diferença significativa.

1. INTRODUÇÃO

A estamparia têxtil, uma arte milenar, é um processo de coloração onde somente um lado do tecido é colorido. Pode ser definido como sendo um conjunto de figuras ou desenhos impressos nos tecidos formando uma padronagem (ANDREONI, 2008). As estampas podem ser efetuadas com pigmentos ou com corantes, sendo a mais comum efetuada com pigmentos. Cerca de 20% de todos os produtos têxteis são estampados e destes, de 45% a 50% fazem uso de pigmentos, o método mais simples e econômico. Porém, as estampas com pigmento proporcionam um toque mais áspero do que as estampas produzidas com corantes (ANDREONI, 2008; MALUF e KOLBE, 2003). Vem sendo realizada e orientada pela "experiência" que, em grande parte, tem substituído a investigação de parâmetros que permitam controlar com exatidão tais processos (GIORDANO, 2002; ANDREAUS et al., 2010). Segundo Prado (2013), em 2012 os tecidos compostos por fibras celulósicas foram os mais produzidos, quando comparados em relação às demais fibras no mesmo período. Este fato que levou a opção por trabalhar com tecido produzido com fibras de algodão, em estampas produzidas com corantes reativos, corantes estes os mais consumidos atualmente no Brasil (ABIQUIM, 2013).

1.1. Corantes Reativos

Os corantes reativos ainda dominam a estamparia com corantes em tecidos de fibras celulósicas principalmente pela facilidade na produção. As pastas de estampar com corantes reativos em geral se conservam bem em ambientes frios por até uma semana. Esses corantes consistem em uma das grandes classes de corantes utilizadas para estamparia em algodão e outros materiais celulósicos. Reagem quimicamente com a celulose para formar uma ligação química covalente e proporcionam altos índices de solidez à fricção e aos tratamentos úmidos (KONS, 2010; PEARSTINE, 2006; YAMANE, 2008). Há dois grandes grupos de corantes reativos, os Vinilsulfônicos (VS) que reagem por adição nucleofílica e os Halogenoheterocíclicos (HHC), grupo do qual fazem parte os corantes do tipo monoclorotriazina (MCT), que reagem por substituição nucleofílica e que foram abordados neste estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Equipamentos: Espectrofotômetro Konica-Minolta CM-3600d, Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B; Mesa de estampar de acionamento eletromagnético Mathis SILK, Misturador Mathis M, Viscosímetro Brookfield Analógico Modelo LVT, Perspirômetro, Esticador pneumático Screen Printing HB, Tensiômetro HB, Lavadora Suzuki com velocidade periférica de $40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, três aletas com 5 cm de altura e tempo de ciclo igual a 17 s e Gerador de Vapor Etna GHV-2000 com capacidade de produção igual a $5,56 \cdot 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) igual a 1,0 MPa operando com eficiência de 85%, este último utilizado como parâmetro para a modelagem da termodinâmica.

Reagentes: Corantes RB 160, RR 120 e RY 84 (BASF), alginato de sódio 98%, etanol 95%, uréia 90%, carbonato de sódio 95% (Manchester) e anti-redutor (Clariant) para as pastas de estampar; adesivo sintético de secagem rápida para preparação da matriz; Ácido Acético 95% (Manchester), Retardante (BASF) e Sequestrante (Goldenquímica) para a lavagem posterior.

Materiais diversos: quadro de alumínio, tecido plano de poliéster multifilamento de densidade linear igual a $90 \text{ fios} \cdot \text{cm}^{-1}$ para a preparação do quadro; malha alvejada (ROSA, 2012) de algodão 100%, fio 30/1 Ne cardado, 16 colunas/cm e 18 malhas/cm, com largura tubular de 92 cm e gramatura igual a 130 gramas por cm^2 , produzida em equipamento circular monofrontura Orizio, John/C model, 120 alimentadores, diâmetro de 30 polegadas e velocidade de 30 RPM, tecido utilizado para a estampa.

2.2. Metodologia

Colocou-se o tecido de poliéster sobre o quadro de alumínio e aplicou-se a tensão através das garras (Esticador HB), efetuando-se em seguida a leitura da tensão obtida (Tensiômetro HB), de valor igual a $38 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$; colou-se a tela de poliéster no quadro de alumínio; efetuou-se a lavagem da matriz com água e detergente não iônico; secou-se a matriz durante 30 minutos a 50°C ; para o preparo das pastas coloridas, utilizou-se as quantidades de produtos descritas na Tabela 1, mantendo a mistura sob agitação constante de 1300 RPM durante 10 minutos (Misturador Mathis M); efetuou-se a medida da viscosidade das pastas (Viscosímetro Brookfield, spindler 6, 10 RPM), cujos resultados encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Receitas das pastas coloridas (SENAI, 2012).

Produtos	Corante			Viscosidade (cP)
	RY84	RR120	RB160	
Alginato a 4%	500	500	500	4000 à 26 °C
RY 84	30	-	-	
RR 120	-	30	-	
RB 160	-	-	30	
Uréia	100	100	100	
Anti-redutor	10	10	10	
Carbonato de Sódio 1:3	90	90	90	
Água	270	270	270	
TOTAL	1000	1000	1000	

Colocou-se o tecido na mesa (Mesa de estampar Mathis SILK), adicionou-se a pasta na matriz e, em seguida, com intensidade eletromagnética em nível 6, vareta de diâmetro igual a 10 mm e velocidade igual a $3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, executou-se somente uma passagem.

Após o processo de estampa, as amostras foram divididas em duas partes, sendo uma delas submetida em condições de termofixação em presença de umidade (vaporização com 280 g de água por m^3) e a outra em condições de termofixação sem presença de umidade, ambas em temperatura de 105°C durante 10 minutos, com velocidade do motor de circulação de ar em 1000 RPM (Termofixador-Vaporizador Mathis GD-B).

Todas as amostras estampadas foram submetidas em lavagem posterior (Lavadora Suzuki), em relação de banho igual a 1:15 (15 litros de água para cada 1 kg de substrato lavado), utilizando-se $0,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de retardante (A), $0,5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de ácido acético (B) e $0,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de sequestrante (C). Todas as etapas efetuadas no processo de lavagem estão representadas graficamente na Figura 1.

Figura 1 - Etapas do processo de lavagem posterior a termofixação (SENAI, 2012).

Para comparação do rendimento entre os processos, avaliou-se refletância (R) das cores através de espectrofotometria visível, sob iluminante D65 10° , Sistema CIELab (CM-3600d), calculando-se a intensidade colorística ($K \cdot S^{-1}$) através da Equação 1, de Kubelka-Munk (SILVA et al., 2012).

$$K \cdot S^{-1} = (1-R)^2 \cdot (2R)^{-1} \quad (1)$$

Determinou-se, também por espectrofotometria visível, os valores de desvios ΔL^* , Δa^* e Δb^* , calculando-se o Desvio Total (ΔE^*) através da Equação 2 (SILVA et al., 2012), a seguir.

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

Para determinação da correlação $[R]/K \cdot S^{-1}$, foram desenvolvidas curvas de calibração com valores de $[R]$ descritos na Tabela 2, juntamente com os respectivos valores de $K \cdot S^{-1}$ obtidos. Através destes dados foi obtido os Gráfico 1, juntamente com as equações e os valores de regressão linear. Esta correlação é necessária para calcular a diferença em “g.kg⁻¹” de corante entre os ensaios com e sem presença de umidade, já que o $K \cdot S^{-1}$ é adimensional, demonstrando somente a intensidade colorística.

Tabela 2 - Valores de concentração e $K \cdot S^{-1}$ para os corantes RY84, RR120 e RB160.

g.kg ⁻¹	$K \cdot S^{-1}$		
	RY84 (em 430 nm)	RR120 (em 550 nm)	RB160 (em 620 nm)
15,00	10,183	13,942	13,723
10,00	7,4051	9,0651	9,1462
7,50	6,2497	6,7484	7,8467
6,00	5,0156	5,7576	5,6778
5,00	4,2084	4,5281	5,4411

Gráfico 1 - Correlações $[Corantes]/K \cdot S^{-1}$.

O ensaio de solidez a água foi executado segundo norma NBR ISO 105-E01:2011. Antes dos ensaios, as amostras foram condicionadas por 24 h em atmosfera padrão de temperatura igual a 20 ± 2 °C e umidade relativa igual a 65 ± 2 % (GUN e TIBER, 2011). Os resultados foram avaliados por espectrofotometria Vis, sob iluminante D65, 10°.

3. RESULTADOS

3.1. Avaliação das cores

Os valores de intensidade colorística ($K \cdot S^{-1}$), desvios parciais (Δa^* , Δb^* e ΔL^*) e desvio total (ΔE^*) estão descritos na Tabela 3. Estes valores foram mensurados tendo como “ponto zero” a leitura da amostra alvejada, entretanto, o delta foi calculado entre as cores obtidas.

Tabela 3 - Desvios entre as amostras com e sem presença de umidade.

Umidade	Parâmetros	RY84	RR120	RB160
COM	$K \cdot S^{-1}$	18,09	19,25	20,65
	L^*	58,88	39,05	22,56
	a^*	39,89	58,54	-0,78
	b^*	62,37	3,92	-16,36
SEM	$K \cdot S^{-1}$	13,64	16,75	17,27
	L^*	56,82	40,24	24,70
	a^*	37,15	58,19	-4,53
	b^*	58,02	3,14	-18,70
	$\Delta K \cdot S^{-1}$	4,45	2,50	3,38
	ΔL^*	2,06	-1,19	-2,14
	Δa^*	2,74	0,35	3,75
	Δb^*	4,35	0,78	2,34
	ΔE^*	5,54	1,47	4,91

As diferenças entre os valores de $K \cdot S^{-1}$ ficaram em 4,45 para o RY84; 2,50 para o RR120 e 3,38 para o RB160. Observou-se que há um comportamento particular para cada corante, isto significa que pode haver diferenças de tonalidade quando utilizados em tricromias.

De acordo com as equações de correlação $[\text{Corante}]/K \cdot S^{-1}$, calculou-se essa diferença em $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, onde obteve-se o valor de 7,59 para o RY84; 2,94 para o RR120 e 4,01 para o RB160. Este fato demonstra que, para obter-se a mesma intensidade em cores termofixadas com e sem presença de umidade utilizando-se estes corantes, seria necessário acrescentar esta diferença nos processos com termofixação sem presença de umidade. Quanto aos valores de ΔE^* , ficaram acima de 2,0 o RY84 e o RB160, valores de ΔE^* abaixo de 1,5 são aceitáveis dentro do mercado.

3.2. Solidez à água

As diferenças entre os valores dos índices de solidez à água não foram significativas. As notas obtidas por avaliação espectrofotométrica estão dispostas na Tabela 4, onde se pode observar a semelhança entre os valores para os dois processos.

Tabela 4 - Notas relativas ao ensaio de solidez à água.

Parâmetros	RY84		RR120		RB160	
	A	T	A	T	A	T
Com UMIDADE	5	4/5	5	5	5	4/5
Sem UMIDADE	5	4/5	5	5	5	5

Legenda: A = Alteração T = Transferência

3.3. Termodinâmica

Segundo Atkins e Jones (2011), para vaporizar um mol de água na forma líquida (18,02 g em 25 °C), deve-se fornecer 44,0 kJ de energia na forma de calor. Para o processo de termofixação em presença de umidade foram necessários 280 g de vapor de água por metro cúbico. Para esse montante, o consumo extra de energia em relação ao processo de termofixação sem presença de umidade seria de 683,68 kJ ou $6,83 \cdot 10^3$ J.

De acordo com o fornecedor de gás combustível, a Companhia de Gás de São Paulo (Comgás), o gás comercializado e utilizado no gerador de vapor para este estudo possui 89,0% de metano, 6,0% de etano e 1,8% de propano. Baseando-se no Poder Calorífico Inferior (PCI) descrito pela norma ASTM D 3588-98 (JOSE, 2004), como sendo $3,70 \cdot 10^7$ J·m⁻³ para o metano, $7,00 \cdot 10^7$ J·m⁻³ para o etano e $9,23 \cdot 10^7$ J·m⁻³ de propano, o PCI calculado de gás combustível foi de $4,02 \cdot 10^7$ J·m⁻³.

Nestas condições, para calcular o volume de gás combustível necessário para a obtenção de $6,83 \cdot 10^3$ J, utilizou-se a Equação (3).

$$V = \frac{Q}{4,02 \cdot 10^7 \cdot E_{GV}} \quad (3)$$

Onde: V = volume de gás combustível (m³); Q = energia despendida (J); E_{GV} = eficiência do gerador de vapor (%).

Adotando-se um gás ideal nas condições normais de pressão e temperatura e aplicando-se a Equação 3, determinou-se que o consumo de gás combustível seria de $2,00 \cdot 10^{-4}$ m³, o que geraria $4,32 \cdot 10^{-10}$ kg de CO₂, quantidade obtida através da Equação (4).

$$m_{CO_2} = \frac{P \cdot V \cdot 4,40 \cdot 10^{-2} \cdot F_C}{R \cdot T} \quad (4)$$

Onde: m_{CO₂} = kg; P = 101,3 kPa; V = m³ (Eq.3); R = 8314 m³·kPa·mol⁻¹·K⁻¹; T = 273,15 K e FC = fator de carbono na mistura, igual a 1,10.

4. CONCLUSÃO

Através do estudo com estes corantes, demonstrou-se que há um rendimento maior quando há presença de umidade na termofixação, entretanto, este rendimento é diferente para cada corante. As quantidades de corantes utilizadas para ambos os processos foram de $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, mas para que se obtenha rendimento colorístico semelhante, é necessário um aumento na quantidade de RY84 para $37,59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (25%), $32,49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (8%) para a quantidade de RR120 e $34,01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (13%) na quantidade de RB160, todas elas para receitas com posterior termofixação sem presença de umidade. Este fato demonstra que os corantes possuem comportamento diferente e isto pode acarretar diferentes tonalidades em cores desenvolvidas com esta tricromia.

Há também a diferença no consumo de energia. O processo de termofixação com presença de umidade gera um consumo de $6,83 \cdot 10^3 \text{ J}$ a mais do que o processo sem umidade, consumindo $2,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ a mais de gás combustível, gerando emissão de $4,32 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$ de CO_2 .

Importante acrescentar que o estudo restringiu-se apenas na influência da umidade em três corantes de classe específica. Além de outros corantes utilizados no mercado, como os vinilsulfônicos ou os bi-heterofuncionais, há também outros fatores que podem influenciar na termofixação de corantes reativos, como a temperatura ou ainda a quantidade de álcali.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Diretor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antoine Skaf, Prof. Marcelo Costa, pela disponibilização das dependências da escola para a execução dos ensaios e ao Prof. Marco Aurélio Rodrigues, pelas ideias e apoio técnico.

5. REFERÊNCIAS

- ABIQUIM: Associação Brasileira da Indústria Química. Disponível e acessado em 02/11/2013, www.abiquim.org.br/comissao/setorial/corantes-pigmentos/especificidade/historico-aplicacao, 2013.
- ANDREAUS, J.; DALMOLIN, M.C.; OLIVEIRA JUNIOR, I.B.; BARCELLOS, I.O.: Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis. *Quim. Nova*, vol.33, n.4, p.929-937, 2010.
- XYZTR, S.; ABCDEF, M.; GHIJ, D. Título completo do artigo. *Chem. Eng. J.*, v. 10, p. 10-20, 2009.
- ANDREONI, M.A.L.: Estamparia Têxtil: Uma estratégia na diferenciação do produto da manufatura do vestuário de moda, *Dissertação*, Engenharia de Produção, Universidade Paulista, São Paulo, 2008.
- ATKINS, P.W.; JONES, J.: "Termodinâmica: A Primeira Lei". In: *Princípios de Química*, 5ª edição, Editora Bookman, p.320, 2011.
- GIORDANO, J.B.: Caracterização Físico-Química da resina acrílica aplicada na estamparia têxtil, *Dissertação*, UNICAMP, 2002.
- GUN, A.D.; TIBER, B.: Color, colorfastness and abrasion properties of 50/50 bamboo/cotton blended plain knitted fabrics in three different stitch lengths. *Text. Res. J.*, 81: 1903–1915, 2011.
- JOSÉ, H.J., 2004. *Combustão e Combustíveis*. Departamento de Engenharia Química e Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2004.
- KONS, T.: Acompanhamento e análise crítica dos processos para identificação das causas dos problemas encontrados em estamparia. *Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharel em Química*, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2010.
- MALUF, E.; KOLBE, W.: *Dados técnicos para a indústria têxtil*, 2. Ed., São Paulo: IPT, 2003.
- PEARSTINE, Kathryn. INK. *Development manager*. Versão para português pela Leila e J. C. Macedo. Siderquímica do Brasil, 2006.
- PRADO M.V.: *Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira*, ABIT/IEMI, 2013.
- ROSA, J.M.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.; CARMO, R.A.S.: Estudo de variáveis e de custos ecológicos no pré-tratamento de tecidos de algodão com peróxido de hidrogênio. In: *Quim. Têxtil*, n.109, p. 30-38, 2012.
- SENAI – Escola SENAI “Francisco Matarazzo”: *Processos Produtivos Têxteis III*, 2012.
- SILVA, B.B.; BEZERRA, R.N.; ROSA, J.M.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: Influência da estiragem mecânica nas propriedades físico-químicas de multifilamentos de poliamida 6. In: *Quim. Têxtil*, n.112, p. 30-38, 2012.
- YAMANE, L.A.: Estamparia Têxtil, *Dissertação*, ECA-USP, 2008.
- www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-red-120.html, acessado em 03/11/2013

Academicth

INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION”

Influence of the Urea in the Colour Intensity on Digital Printing

BARROS, A.A.R.C.^a, TAMBOURGI, E.B.^a, FILETI, A.M.F.^a, ROSA, J.M.^{a,b*},
BEZERRA, R.N.^c, ARAÚJO, M.C.^c, SANTANA, J.C.C.^d,

a. Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas

b. Pós-graduação em Química Têxtil, SENAI, São Paulo

c. Escola de Artes, Ciências e Humanidades, USP, São Paulo

d. Mestrado em Engenharia de Produção, UNINOVE, São Paulo

**Corresponding author, jotarosa@hotmail.com*

Abstract

It was studied the influence of urea in the digital printing of cotton in yellow, red and blue colours. In the first tests, the amount used were in the preparation recipes was 0 (without), 50 and 100 g·L⁻¹, demonstrating high influence in medium (60 %) and dark shades (90 %), in the all three colors assessed. Therefore, another test was performed in order to verify the minimum possible amount to be used, without detriment in the colour intensity (K·S⁻¹), concluding that the quantities above 80 g·L⁻¹ does not influence in a significant increase in the K·S⁻¹.

Keywords: urea, colour intensity, digital printing