

Heloísa Gauche

**FUNCIONALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE  
SUBSTRATOS TÊXTEIS COM MATERIAIS  
HIDROCRÔMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Departamento de  
Engenharia Têxtil da Universidade  
Federal de Santa Catarina para  
obtenção do Grau de bacharel em  
Engenharia Têxtil.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fernanda  
Steffens.

Blumenau  
2019

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

Gauche, Heloisa  
Funcionalização e caracterização de substratos  
têxteis com materiais hidrocromáticos / Heloisa Gauche  
; orientadora, Fernanda Steffens, 2019.  
92 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Blumenau, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau,  
2019.

Inclui referências.

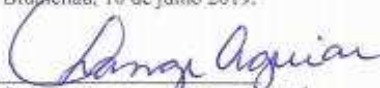
1. Engenharia Têxtil. 2. Hidrocromático. 3.  
Materiais crômicos. 4. Têxteis inteligentes. I.  
Steffens, Fernanda . II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III.  
Título.

Heloisa Gauche

**FUNCIONALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE  
SUBSTRATOS TÊXTEIS COM MATERIAIS  
HIDROCRÔMICOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil

Blumenau, 10 de julho 2019.

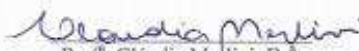


Prof.<sup>a</sup> Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr.<sup>a</sup>  
Coordenador do Curso

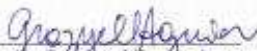
**Banca Examinadora:**



Prof.<sup>a</sup> Fernanda Stefans, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.<sup>a</sup> Cláudia Merlini, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.<sup>a</sup> Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina





Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais e aos meus amigos que sempre estiveram comigo.





## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sílvia e Charles, por todo amor, apoio, oportunidade e incentivo durante toda a trajetória da minha graduação.

Em especial, a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fernanda Steffens, que sempre esteve me incentivando e se dedicando da melhor forma para a realização deste trabalho. Ao Prof. Dr. Fernando Ribeiro Oliveira que também esteve auxiliando durante a execução desta monografia.

Ao corpo docente de Engenharia Têxtil, que foram profissionais excelentes durante esta jornada, compartilharam conhecimento e deixaram um aprendizado enorme.

Ao Centro de Investigação 2C2T da Universidade do Minho, que gentilmente proporcionou o material hidrocrômico para a realização deste trabalho.

Aos professores Dr.<sup>a</sup> Claudia Merlini e Dr. Claudio Michel Poffo por disponibilizarem recursos para a realização de experimentos.

Aos técnicos, Henrique e Liliana, pelo auxílio na operação dos equipamentos dos laboratórios.

Aos meus amigos de turma, Gabriela, Victor Hugo e Victor K., Victor Fischer, que sempre estiveram presentes me apoiando e ajudando no que fosse preciso.

As minhas amigas de vida, Maria Paula, Samara, Thalita e Karoline por estarem presentes neste momento e darem apoio emocional.

A todos os colegas que ajudaram de alguma forma a finalização deste trabalho.

O meu muito obrigada a instituição UFSC Blumenau que foi um dos fatores determinantes para chegar até aqui.



“Menor que meu sonho não posso ser.”  
(Lindolf Bell)



## RESUMO

Têxteis inteligentes são promissores para o futuro da indústria têxtil, proporcionando produtos com características únicas, atrativas e interativas para o consumidor. Dentro deste contexto pode-se destacar os materiais crômicos, como por exemplo os hidrocrômicos, que são materiais que alteram suas propriedades visuais (cor) por meio de um estímulo externo (água). Trata-se de um assunto até o momento pouco estudado, com poucas publicações científicas acerca do tema, constituído por conceitos e sem o devido aprofundamento científico. Desta forma, a proposta deste trabalho é caracterizar e funcionalizar substratos têxteis de algodão e poliamida com agentes hidrocrômicos. O método utilizado para sua aplicação foi por meio da estamperia por quadro manual. As seguintes técnicas de caracterização nas malhas foram realizadas: densidade; gramatura; análise de DSC e MEV; microscopia ótica de luz refletida; alambeta; permeabilidade ao ar; através do espectrofotômetro foi verificado a uniformidade da funcionalização, a curva de cinética de secagem (para diferentes líquidos) e a solidez da cor à lavagem e à fricção. Para o ensaio de solidez à lavagem, para ambas as fibras, os resultados foram muito satisfatórios, obtendo uma avaliação com grau de 4-5. Já o ensaio de solidez a fricção não apresentou resultados promissores para a poliamida, obtendo uma avaliação com grau 1, sendo que o algodão apresentou um resultado melhor, grau 3-4. Portanto, analisando globalmente, observa-se que os melhores resultados foram obtidos para a malha de algodão. A partir deste trabalho de conclusão de curso foi proposto o desenvolvimento de dois produtos com aplicação de agentes hidrocrômicos. Verificou-se o potencial da utilização destes materiais para o desenvolvimento de novos produtos, com novas funcionalidades e aplicações.

**Palavras-chave:** Têxteis inteligentes. Materiais crômicos. Hidrocrômico.





## ABSTRACT

Smart textiles are promising for the future of the textile industry, providing products with unique, attractive and interactive features for the consumer. Within this context it is possible to emphasize the chromic materials, as for example the hydrochromic ones, materials that alter their visual properties (color) through an external stimulus (water). It is a subject so far little studied, with few scientific publications, consisting of concepts and without proper scientific deepening. In this way, the purpose of this work is to characterize and functionalize textile substrates made of cotton and polyamide with hydrochromic agents. The method used for its application was manual screen printing. The following technical analysis of the knitted fabric were performed: loop density; grams per square meter; DSC and SEM analysis; reflected light microscopy; alambeta; air permeability; through a spectrophotometer was verified the uniformity of the kinetic drying curve (for different liquids) and color fastness to washing and rubbing. For the wash fastness test for both fibers, the results were very satisfactory, obtaining a 4-5 degree evaluation. On the other hand, the rubbing fastness test did not show promising results for polyamide, obtaining a grade 1 evaluation, with cotton having a better grade 3-4 result. Therefore, analyzing globally, it is observed that the best results were obtained for the cotton knitted fabric. From this conclusion work it was proposed the development of two products with application of hydrochromic agents. It was verified the potential of using these materials for the development of new products with new functionalities and applications.

**Keywords:** Smart textiles. Chromic materials. Hydrochromic.



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Classificação das fibras têxteis. ....  | 37 |
| Figura 2 – Seção transversal do algodão. ....  | 39 |
| Figura 3 – Representação química das poliamidas. ....  | 40 |
| Figura 4 – Superfícies têxteis. ....   | 41 |
| Figura 5 – Malha por trama (a) e malha por urdume (b). ....  | 41 |
| Figura 6 – Subdivisão dos têxteis inteligentes. ....   | 44 |
| Figura 7 – Esquema do funcionamento do material hidrocrômico reversível. ....  | 47 |
| Figura 8 – Guarda-chuva hidrocrômico. ....   | 48 |
| Figura 9 – Estamparia por quadro manual. ....  | 50 |
| Figura 10 – Coordenadas colorimétricas CIELab. ....  | 51 |
| Figura 11 – Desenho experimental. ....   | 53 |
| Figura 12 – DSC da amostra da malha de CO. ....  | 61 |
| Figura 13 – DSC da amostra de PA. ....   | 62 |
| Figura 14 – Microscopia da malha por trama em CO, 50x de resolução. ....   | 63 |
| Figura 15 – Microscopia da malha por urdume em PA, 50x de resolução. ....  | 63 |
| Figura 16 – Poliamida funcionalizada, 50x (a); 100x (b) e 200x (c). ...  | 64 |
| Figura 17 – Análise de MEV das amostras de CO sem funcionalização com ampliações de 50x (a) e 2000x (b). ....                                | 64 |
| Figura 18 – Análise de MEV das amostras de CO funcionalizadas com ampliações de 50x (a); 500x (b) e (c); e 1000x (d). ....                   | 65 |
| Figura 19 – Análise de MEV das amostras de PA sem funcionalização com ampliações de 50x (a) e 2000x (b). ....                                | 66 |
| Figura 20 – Análise de MEV das amostras de PA funcionalizadas com ampliações de 50x (a); 500x (c) e (d); e 1000x (b). ....                   | 67 |
| Figura 21 – Avaliação fotográfica da cinética de secagem da pasta hidrocrômica para o CO com o líquido água, em função do tempo. ....        | 73 |
| Figura 22 – Avaliação fotográfica da cinética de secagem da pasta hidrocrômica para a PA com o líquido água, em função do tempo. ....        | 75 |
| Figura 23 – Amostras de CO (a) e PA (b) funcionalizadas após as 10 lavagens. ....  | 78 |
| Figura 24 – Malhas funcionalizadas de CO à seco (a) e à úmido (b), e PA à seco (c) e à úmido (d), após 10 ciclos no <i>crockmeter</i> . .... | 79 |
| Figura 25 – Esquema da alteração de cor da pasta hidrocrômica. ....  | 80 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 26 – Ficha técnica de calcinha interativa hidrocrômica. ....       | 81 |
| Figura 27 – Peça íntima infantil hidrocrômica, seca (a) e malhada (b). 82 |    |
| Figura 28 – Ficha técnica maiô interativo hidrocrômico.....               | 83 |
| Figura 29 – Maiô hidrocrômico, seco (a) e molhado (b).....                | 84 |



## **LISTA DE QUADROS**

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 – Fenômeno e estímulo para alteração de cor..... | 45 |
|---|----|





## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Publicações de 2009 - 2018.....   | 34 |
| Tabela 2 – Composição da fibra de algodão. ....  | 38 |
| Tabela 3 – Parâmetros para as amostras não funcionalizadas no DSC. ....                  | 55 |
| Tabela 4 – Parâmetros para a curva de secagem das amostras funcionalizadas.....          | 57 |
| Tabela 5 – Número de fileiras e colunas em 1 polegada dos tecidos de malha. ....         | 59 |
| Tabela 6 – Massa dos tecidos de malha.....   | 60 |
| Tabela 7 – Propriedades térmicas da malha de PA. ....                                    | 68 |
| Tabela 8 – Avaliação da uniformidade da pasta sobre malha de CO. ...                     | 70 |
| Tabela 9 – Avaliação da uniformidade da pasta sobre malha de PA.....                     | 70 |
| Tabela 10 – Coordenadas colorimétricas obtidas durante a secagem para malhas de CO. .... | 72 |
| Tabela 11 – Coordenadas colorimétricas obtidas durante a secagem para malhas de PA.....  | 75 |
| Tabela 12 – Comparação da coordenada L* em diferentes condições. .                       | 76 |
| Tabela 13 – Análise de alteração da cor após diferentes ciclos de lavagens.....          | 77 |
| Tabela 14 – Análise de alteração da cor após fricção através da escala cinza.....        | 78 |



## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 – Número de publicações no decorrer dos anos. ....  | 34 |
| Gráfico 2 – Cinética de secagem para as malhas funcionalizadas de CO<br>para diferentes líquidos..... | 72 |
| Gráfico 3 – Cinética de secagem para as malhas funcionalizadas de PA<br>para diferentes líquidos..... | 74 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |  |
|--------|--|
| ABIT   | Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de confecção |
| ABR    | Algodão Brasileiro Responsável                           |
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas                 |
| BCI    | <i>Better Cotton Initiative</i>                          |
| CIELab | Coordenadas colorimétricas L*, a* e b*                   |
| CO     | Algodão  |
| CV     | Coefficiente de variação                                 |
| DSC    | Calorimetria Exploratória Diferencial                    |
| ISO    | <i>International Organization for Standardization</i>    |
| LABCT  | Laboratório de Cuidados Têxteis                          |
| LABENE | Laboratório de Beneficiamento                            |
| LABTEC | Laboratório de Tecidos e Malhas                          |
| LCME   | Laboratório Central de Microscopia Eletrônica            |
| LAMAE  | Laboratório de Microscopia e Análise Estrutural          |
| LTE    | Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia        |
| MEV    | Microscopia Eletrônica de Varredura                      |
| NBR    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                 |
| PA     | Poliamida  |
| Pa     | Pascal   |
| pol    | Polegada   |
| UFSC   | Universidade Federal de Santa Catarina                   |
| UMinho | Universidade do Minho                                    |



## LISTA DE SÍMBOLOS

|            |  |
|------------|--|
| A          | Área                                     |
| a          | Difusividade térmica                     |
| a*         | Eixo vermelho – verde                    |
| $\Delta a$ | Diferença de cor no eixo a               |
| b          | Absortividade térmica                    |
| b*         | Eixo amarelo – azul                      |
| $\Delta b$ | Diferença de cor do eixo b               |
| $\Delta E$ | Diferença total de cor                   |
| h          | Espessura                                |
| L*         | Luminosidade                             |
| $\Delta L$ | Diferença de cor do eixo da Luminosidade |
| m          | Massa                                    |
| Q          | Fluxo de calor                           |
| r          | Raio                                     |
| R          | Resistência térmica                      |
| S          | Densidade                                |
| $\lambda$  | Condutividade térmica                    |





## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                    | <b>33</b> |
| <b>2</b>     | <b>OBJETIVOS</b> .....                     | <b>36</b> |
| 2.1          | OBJETIVO GERAL.....                        | 36        |
| 2.2          | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                | 36        |
| <b>3</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....         | <b>37</b> |
| 3.1          | FIBRAS TÊXTEIS .....                       | 37        |
| <b>3.1.1</b> | <b>Algodão</b> .....                       | <b>38</b> |
| <b>3.1.2</b> | <b>Poliamida</b> .....                     | <b>39</b> |
| 3.2          | SUPERFÍCIE TÊXTIL.....                     | 40        |
| <b>3.2.1</b> | <b>Tecidos de malha</b> .....              | <b>41</b> |
| 3.3          | TÊXTEIS CONVENCIONAIS .....                | 41        |
| 3.4          | TÊXTEIS TÉCNICOS .....                     | 42        |
| 3.5          | TÊXTEIS FUNCIONAIS.....                    | 43        |
| 3.6          | TÊXTEIS INTELIGENTES.....                  | 43        |
| <b>3.6.1</b> | <b>Cromismo</b> .....                      | <b>44</b> |
| 3.6.1.1      | Fotocrômico .....                          | 45        |
| 3.6.1.2      | Termocrômico .....                         | 46        |
| 3.6.1.3      | Eletrocrômico .....                        | 46        |
| 3.6.1.4      | Halocrômico .....                          | 47        |
| 3.6.1.5      | Hidrocrômico .....                         | 47        |
| 3.7          | PROCESSOS DE APLICAÇÃO DE AGENTES CRÔMICOS | 48        |
| <b>3.7.1</b> | <b>Microencapsulação</b> .....             | <b>48</b> |
| <b>3.7.2</b> | <b>Estamparia</b> .....                    | <b>49</b> |
| 3.8          | COLORIMETRIA.....                          | 50        |
| 3.9          | CONSIDERAÇÕES RELEVANTES .....             | 51        |
| <b>4</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....           | <b>52</b> |
| 4.1          | MATERIAIS.....                             | 52        |
| <b>4.1.1</b> | <b>Superfícies têxteis</b> .....           | <b>52</b> |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>4.1.2</b> | <b>Pasta hidrocrômica .....</b>  | <b>52</b> |
| <b>4.1.3</b> | <b>Quadro de estamparia .....</b>  | <b>52</b> |
| 4.2          | MÉTODOS .....  | 52        |
| <b>4.2.1</b> | <b>Caracterização.....</b>   | <b>53</b> |
| 4.2.1.1      | Número de fileiras e colunas por comprimento .....   | 53        |
| 4.2.1.2      | Gramatura.....   | 54        |
| 4.2.1.3      | Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....  | 54        |
| 4.2.1.4      | Microscopia Ótica de Luz Refletida.....  | 55        |
| <b>4.2.2</b> | <b>Funcionalização das amostras.....</b>   | <b>55</b> |
| 4.2.2.1      | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....   | 56        |
| 4.2.2.2      | Alambeta .....   | 56        |
| 4.2.2.3      | Permeabilidade ao ar .....   | 56        |
| 4.2.2.4      | Espectrofotômetro de Refletância .....   | 56        |
| 4.2.2.6      | Ensaio de resistência à lavagem.....   | 57        |
| 4.2.2.7      | Ensaio de resistência à fricção .....  | 58        |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>   | <b>59</b> |
| 5.1          | CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS DE MALHA.....   | 59        |
| <b>5.1.1</b> | <b>Número de fileiras e colunas por comprimento.....</b>                                   | <b>59</b> |
| <b>5.1.2</b> | <b>Gramatura .....</b>   | <b>60</b> |
| <b>5.2.3</b> | <b>Calorimetria Exploratória Diferencial.....</b>  | <b>60</b> |
| <b>5.1.4</b> | <b>Microscopia Ótica de Luz Refletida .....</b>  | <b>62</b> |
| <b>5.1.5</b> | <b>Microscopia Eletrônica de Varredura.....</b>  | <b>64</b> |
| 5.2          | ALAMBETA .....   | 68        |
| 5.3          | PERMEABILIDADE AO AR .....   | 68        |
| 5.4          | ESPECTROFOTOMETRIA DE REFLETÂNCIA.....   | 69        |
| <b>5.4.1</b> | <b>Uniformidade da pasta nos tecidos de malha .....</b>                                    | <b>69</b> |
| <b>5.4.2</b> | <b>Comportamento cinético de secagem do material hidrocrômico no tecido de malha .....</b> | <b>71</b> |
| <b>5.4.3</b> | <b>Solidez à lavagem .....</b>   | <b>77</b> |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>5.4.4</b> | <b>Solidez à fricção.....</b>  | <b>78</b> |
| 5.5          | MECANISMO DE FUNCIONAMENTO DO MATERIAL<br>HIDROCRÔMICO REVERSÍVEL..... | 79        |
| <b>6</b>     | <b>DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....</b>                                 | <b>81</b> |
| 6.1          | ROUPAS ÍNTIMAS INFANTIL.....   | 81        |
| 6.2          | ROUPAS DE BANHO.....   | 83        |
| 6.3          | INTERDISCIPLINARIDADE.....   | 84        |
| <b>7</b>     | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>85</b> |
| <b>8</b>     | <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>                           | <b>86</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>87</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil vem se desenvolvendo para alcançar cada vez mais as necessidades e desejos dos consumidores por meio da utilização de novas tecnologias. Os têxteis funcionais e inteligentes são as expectativas futuras deste setor, por proporcionarem características únicas, atrativas e interativas. Os têxteis funcionais, como o próprio nome sugere, apresentam uma funcionalidade específica, enquanto que os têxteis inteligentes alteram suas características por meio de estímulos.

Segundo o relatório divulgado em março de 2019 pela *Grand View Research, Inc.*, no ano de 2018 o mercado global de têxteis inteligentes foi avaliado em US \$ 878,9 milhões. Para os anos de 2019 a 2025 prevê-se uma expansão de 30,4% e uma perspectiva de atingir US \$ 5,55 bilhões em 2025. Estes números corroboram com a importância dos têxteis inteligentes e funcionais, podendo ser aplicados em diferentes áreas, como por exemplo relacionados ao design, esportes, médico, transporte, proteção/militar e arquitetura (GRAND VIEW RESEARCH, 2019).

Têxteis inteligentes, como materiais crômicos, referem-se a um dos grupos de materiais muito desafiadores quando se refere ao futuro dos produtos têxteis (MATTILA et al., 2006). Materiais crômicos são aqueles que alteram suas propriedades visuais por meio de um estímulo externo. Especificamente os agentes hidrocômicos alteram sua cor na presença de água, pode-se afirmar que se tratam de materiais ainda muito recentes e pouco estudados cientificamente. No sentido de verificar esta premissa, foram escolhidas palavras-chave relacionadas aos materiais hidrocômicos para coletar a quantidade de publicações onde essas palavras aparecem. As buscas foram realizadas na plataforma *Google Scholar*. Procurou-se publicações entre os anos de 2009 a 2018. Quatro palavras-chaves foram escolhidas: *Hydrochromic*, Hidrocômico, “*Hydrochromic*” “*Textiles*” e “Hidrocômico” “Têxtil” (Tabela 1). É possível verificar que este assunto vem crescendo no decorrer dos anos, como observado no Gráfico 1.

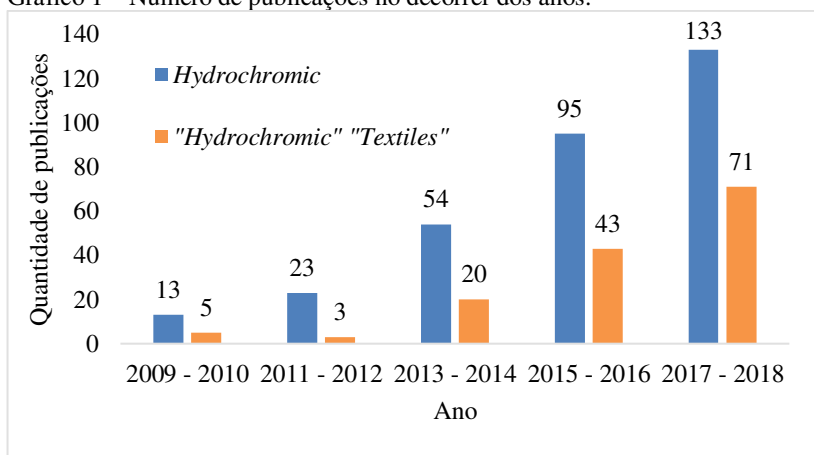
Tabela 1 – Publicações de 2009 - 2018.

| Palavra-chave                               | Quantidade de publicações | Ano         |
|---|---------------------------|-------------|
| <i>Hydrochromic</i>                         | 318                       | 2009 – 2018 |
| Hidrocrômico                                | 6                         |             |
| “ <i>Hydrochromic</i> ” “ <i>Textiles</i> ” | 142                       |             |
| “Hidrocrômico” “Têxtil”                     | 4                         |             |

\*Pesquisa realizada em 14 de junho de 2019.

Fonte: Autor (2019).

Gráfico 1 – Número de publicações no decorrer dos anos.



\*Pesquisa realizada em 14 de junho de 2019.

Fonte: Autor (2019).

A partir das buscas, observa-se um número reduzido de publicações na língua portuguesa sobre este assunto, sendo verificado apenas 4 publicações relacionando materiais hidrocrômico com têxteis, uma das motivações para a realização deste trabalho. O que também pode-se observar foi que a maioria das produções científicas apresentam apenas o conceito dos materiais hidrocrômicos, sem constar pesquisas aprofundadas acerca do tema. Além disto, com a pesquisa das palavras *Hydrochromic* e “*Hydrochromic*” “*Textiles*” verifica-se a existência destes materiais não apenas na área têxtil, confirmando a abrangência do tema. Vale ressaltar ainda que o Gráfico 1 ilustra o crescimento ao longo dos anos, comprovando o aumento potencial de aplicação destes materiais.

Desta forma, afirma-se que o estudo dos materiais crômicos é relevante no desenvolvimento de pesquisas que culminem em novas descobertas e aplicações. E isto pode ser evidenciado no desenvolvimento de produtos têxteis inovadores, que agreguem mais valor ao substrato têxtil que será comercializado, atendendo ou superando as expectativas do consumidor.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Aplicar materiais hidrocrômicos em substratos fibrosos, nomeadamente algodão e poliamida, para o desenvolvimento de produtos têxteis funcionais e inteligentes.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- (a) Estudar a aplicação de agentes hidrocrômicos pelo método de estamperia por quadro manual;
- (b) Caracterizar malhas de algodão e poliamida antes e após a funcionalização;
- (c) Analisar o comportamento obtido nos tecidos após a aplicação dos materiais hidrocrômicos;
- (d) Explicar o mecanismo envolvido referente a alteração do substrato através da funcionalização com materiais hidrocrômicos;
- (e) Apresentar produto interativo com agentes hidrocrômicos.



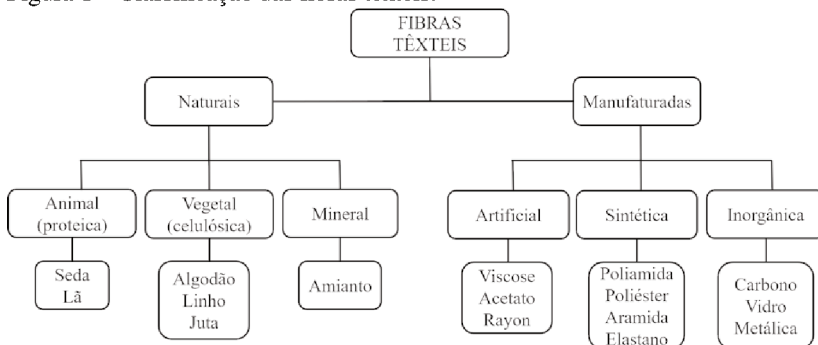
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dedicado ao estado da arte do tema abordado neste trabalho. Inicialmente, disserta-se sobre as fibras e as superfícies têxteis. Posteriormente, são apresentadas informações sobre a classificação dos materiais têxteis, com ênfase nos têxteis funcionais e inteligentes, que são o tema principal desta monografia. A seguir, explica-se sobre alguns fenômenos crômicos, concentrando-se especificamente sobre os hidrocrômicos. Por fim, é apresentada a técnica para funcionalizar o substrato têxtil, sendo o método estampa por quadro manual.

#### 3.1 FIBRAS TÊXTEIS

Existem diversas fibras utilizadas para a produção de materiais têxteis. Estas podem ser classificadas genericamente em dois grandes grupos: as fibras naturais e as manufaturadas. Estes grupos podem também ser subdivididos, conforme ilustrado na Figura 1 (GUPTA, 2008). A partir das fibras são fabricados os fios ou filamentos, que darão origem as superfícies têxteis. As fibras podem se diferir uma das outras por sua estrutura química, física, seção transversal, forma, cor, comprimento, largura e propriedades mecânicas (GUPTA, 2008; HOUCK, 2009).

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis.



Fonte: Adaptado de Gupta (2008).

### 3.1.1 Algodão

Fibras de algodão (CO) são de origem natural, sendo a fibra de maior interesse comercial no grupo das fibras naturais (GUPTA, 2008). Provém de sementes das plantas da família *Malvaceae*, tipo *Gossypieae* e gênero *Gossypium*. Estas fibras, quando colhidas, são descaroçadas e limpas mecanicamente e possuem aproximadamente 94% de celulose em sua composição. Após os tratamentos para remover os materiais não celulósicos o teor de celulose da fibra passa a ser mais de 99% (WAKELYN et al., 2006). A Tabela 2 apresenta a composição da fibra de algodão.

Tabela 2 – Composição da fibra de algodão.

| Constituição        | Proporção (%) |
|---------------------|---------------|
| Celulose            | 94,0          |
| Proteína            | 1,3           |
| Substâncias Pécicas | 0,9           |
| Ceras               | 0,6           |
| Cinzas              | 1,2           |
| Ácidos Orgânicos    | 0,8           |
| Açúcares            | 0,3           |
| Outras Substâncias  | 0,9           |

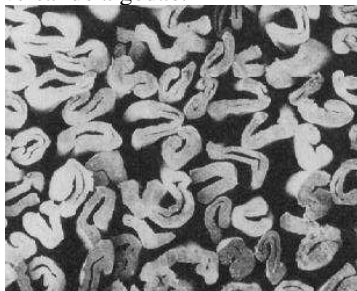
Fonte: CHEREM (2004).

Atualmente, a produção brasileira de algodão detém dois tipos de certificação: *Better Cotton Initiative* (BCI) e o Algodão Brasileiro Responsável (ABR). Em síntese, o BCI é uma certificação internacional e o ABR é de âmbito nacional (ABIT, 2017). Segundo a ABIT, o Brasil produz 30% de todo o algodão BCI do mundo (ABIT, 2017).

A fibra de algodão apresenta variação de comprimento e diâmetro, relacionado ao tipo de algodão, possuindo em média  $2,5 \pm 0,5$  cm de comprimento e  $18 \pm 2$   $\mu$ m de diâmetro. A fibra apresenta seção transversal na forma de “feijão” (Figura 2), e quando processada pode adquirir uma forma arredondada (GUPTA, 2008). Apresenta como características boas propriedades mecânicas de resistência como por exemplo a tração e boa estabilidade dimensional (NUNES FILHO, 1999), é extensível, hidrofílica, e, ao contrário da maioria das outras

fibras, se torna mais resistente quando molhada. Para aplicações que requerem um material absorvente, macio e que possa ser lavado frequentemente, o algodão é uma ótima opção (GUPTA, 2008).

Figura 2 – Seção transversal do algodão.



Fonte: CAMARGO (2010).

### 3.1.2 Poliamida

As fibras poliamídicas são manufaturadas a partir de polímeros sintéticos. Os dois tipos de poliamidas mais comuns são a poliamida 6,6 e a poliamida 6 (SALEM, 2010). Estas fibras são muito aplicadas para a produção de roupas de banho, vestuário esportivo e moda íntima. Possui uma elevada resistência mecânica e é também muito utilizada para o desenvolvimento de equipamentos de segurança (OLIVEIRA, 1997).

A indústria de polímeros sintéticos já existe no mercado desde o início dos anos 30, quando a poliamida (PA) foi desenvolvida. A produção comercial de PA 6,6 iniciou em 1938 (Carothers, Du Pont) (HOUCK, 2009), sendo que grande parte da produção na época era destinada para a fabricação de tecidos para paraquedas (MATHER; WARDMAN, 2015). A produção da PA 6 iniciou em 1942 (Schlack, Alemanha) (HOUCK, 2009). A principal diferença entre a poliamida 6 e a 6,6 está nas propriedades térmicas e mecânicas. A PA 6,6 tem temperatura de fusão um pouco mais elevada, 265-290°C (DEOPURA et al., 2008). Já, a temperatura de fusão da PA 6 é entre 220-260°C. Esta variação de temperatura é relativa a massa molar de cada tipo de polímero (HOUCK, 2009).

A PA 6,6 é obtida pela reação de policondensação de hexametilenodiamina e ácido adípico (DEOPURA et al., 2008). O processo de obtenção da PA 6 ocorre em 3 etapas, as quais podem ser concentradas em um único reator contínuo ou em reator batelada semi-

contínuo. A reação ocorre por polimerização de abertura de anel da lactama ( $\epsilon$ -caprolactama) (HOUCK, 2009).

A presença de amida permite a ligação de hidrogênio entre os grupos NH e CO, o que proporciona as fibras de PA excelente estabilidade mecânica e térmica. Em comparação ao poliéster, as fibras de poliamida interagem melhor com a umidade, sendo um dos polímeros mais resistentes e elásticos (GUPTA, 2008). As representações químicas das PA 6,6 e PA 6 podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3 – Representação química das poliamidas.



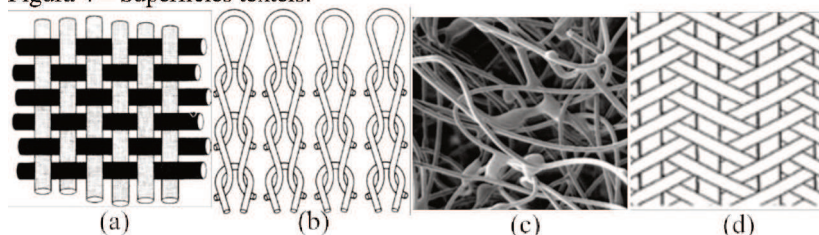
Fonte: Adaptado de Mather; Wardman (2015).

No início dos anos 50, a PA dominava quase 100% do mercado de fibras sintéticas. Em 1970, o poliéster, o acrílico e o polipropileno haviam sido introduzidos no mercado e a produção mundial de fibras sintéticas havia aumentado mais de 50 vezes. As fibras de PA ainda representavam 40% da produção de fibra sintética. Desde 1975, o poliéster ultrapassou a PA e atualmente é a fibra sintética mais utilizada. A PA, no entanto, ainda possui uma importante presença comercial (MATHER; WARDMAN, 2015).

### 3.2 SUPERFÍCIE TÊXTIL

Tratando-se do desenvolvimento de superfícies têxteis, quatro tecnologias destacam-se: tecelagem (a); malharia (b); não tecidos (c) e os entrançados (d) (RANA; FANGUEIRO, 2015). Os produtos derivados destas tecnologias estão representados na Figura 4.

Figura 4 – Superfícies têxteis.

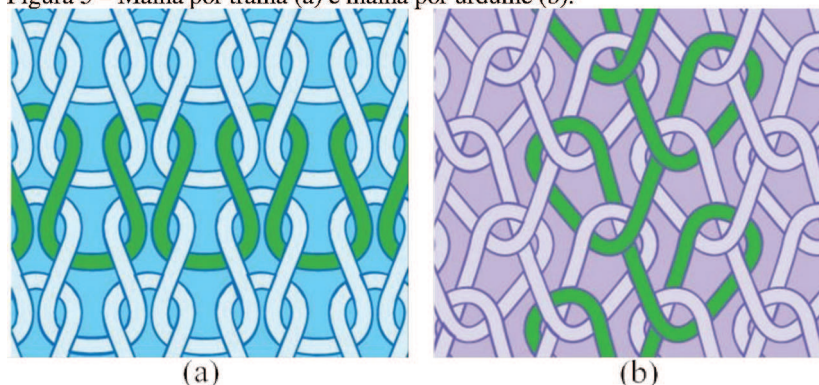


Fonte: ALBRECHT et al. (2006), BILISIK et al. (2016).

### 3.2.1 Tecidos de malha

O termo “malha” descreve a técnica de construção de estruturas têxteis que, através de laçadas, formam as colunas e carreiras de um tecido. As malhas são divididas em dois grandes grupos: malha por trama (laçadas formadas no sentido horizontal) (Figura 5-a) e malha por urdume (laçadas formadas no sentido vertical) (Figura 5-b) (SPENCER, 2001). As laçadas mais escuras da Figura 5 ilustram o sentido do fio, ou seja, da formação da malha.

Figura 5 – Malha por trama (a) e malha por urdume (b).



Fonte: Adaptado de Olivete (2014).

### 3.3 TÊXTEIS CONVENCIONAIS

Os têxteis podem ser classificados de diversas maneiras, muito relacionado ao requisito que devem cumprir durante a sua utilização.

Assim, podem ser classificados como têxteis convencionais, técnicos, funcionais e inteligentes.

Os têxteis convencionais estão presentes no cotidiano das pessoas, estando principalmente relacionados ao vestuário e aos têxteis lar (KUMAR, 2016), como cama, mesa, banho e decoração. Apresentam a função de suprir as necessidades humanas, sem que reajam a algum estímulo específico ou que apresentem alguma propriedade funcional ou de elevado desempenho. Nesta classe de têxteis, o vestuário, por exemplo, apresenta apenas a função de proteger contra intempéries, podendo cumprir requisitos relacionados a estética (PARK; JAYARAMAN, 2003).

Devido as novas demandas do mercado, estudos vêm sendo realizados com o objetivo de produzir têxteis que cumpram outras condições, além do simples “vestir”. Aqui destacam-se os têxteis denominados como técnicos, inteligentes e funcionais. Estes produtos agregam muito mais valor aos substratos têxteis convencionais, por apresentarem, por exemplo, diferentes funcionalidades, ou reagirem a determinado estímulo (FERREIRA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2014).

### 3.4 TÊXTEIS TÉCNICOS

A função desta classe de têxteis é o desempenho proporcionado pelo produto em uma ampla gama de categorias como: agricultura, geotêxteis, construção, arquitetura, vestuário, habitação, medicina, transporte, aeroespacial, esportes, proteção pessoal, entre outros (HORROCKS; ANAND et al., 2000). Materiais como entrançados, fitas, filtros, isoladores de calor e som (KUMAR, 2016), *airbags*, cintos de segurança (SCOTT, 2005), tecidos com estruturas diferenciadas fazem parte da classificação dos têxteis técnicos. Estes são usados em muitas áreas onde o desempenho é o fator determinante (KUMAR, 2016), pois sua utilização pode, por exemplo, salvar vidas.

Os têxteis técnicos proporcionam, dependendo da sua aplicação, um aumento da resistência ao impacto, a tração, a abrasão, ou até mesmo podem proporcionar flexibilidade. Através da utilização, por exemplo, de fios específicos, como os de elevado desempenho, estruturas diferenciadas, acabamentos, desenvolvimento de compósitos, é possível a concepção de têxteis técnicos (HORROCKS; ANAND et al., 2000).

### 3.5 TÊXTEIS FUNCIONAIS

São muitas as pesquisas que apresentam como objetivo melhorar as propriedades funcionais dos têxteis, a fim de alcançar novas particularidades (PAN; SUN, 2011). Os têxteis funcionais são produzidos para proporcionar conforto térmico, termorregulação, gestão de umidade (SOUZA; PACHECO, 2016), estética, segurança entre outros (PAN; SUN, 2011). Existem diferentes maneiras de se obter os efeitos desejados; pode-se citar a utilização de fibras de elevada tecnologia; construção de novas estruturas de tecidos (sejam malhas, tecidos planos ou nãotecidos); aplicação de determinados acabamentos, que apresentem o objetivo de funcionalizar a superfície têxtil (SOUZA; PACHECO, 2016). As técnicas ideais de aplicação introduzem uma fina camada uniforme da funcionalidade desejada, sem alterar as suas propriedades intrínsecas (PAN; SUN, 2011).

### 3.6 TÊXTEIS INTELIGENTES

Os têxteis inteligentes surgiram para revolucionar a interação do usuário com o vestuário. São substratos que respondem a um estímulo, seja por variação de umidade, luz, toque, temperatura; e quando não expostos aos fatores externos (estímulos), se comportam normalmente, sem apresentar nenhuma alteração (FERREIRA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2014). A resposta aos estímulos se dá por mudanças das propriedades físicas, mecânicas, químicas, magnéticas, elétrica ou térmica do material (BEHERA et al., 2014), sendo visualizada, por exemplo, através da alteração da cor, forma, volume, viscosidade (FERREIRA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2014). A grande maioria dos efeitos são obtidos pela técnica de microencapsulação do agente que será aplicado aos substratos têxteis (SÁNCHEZ, 2006).

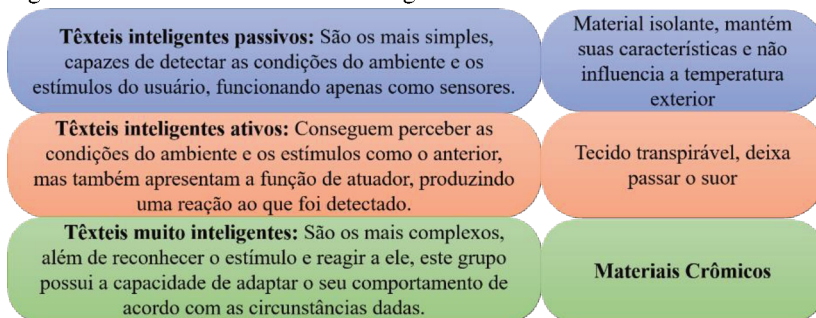
Os *wearables*, *e-textiles* ou têxteis eletrônicos são uma classe de têxteis inteligentes aplicados em peças de vestuário e acessórios, seja através de fios condutores, circuitos integrados, LEDs, baterias, entre outros. Apresentam algum tipo de dispositivo eletrônico introduzido na sua estrutura e que pode ser conectado a qualquer tecnologia de transmissão, para coletar ou fornecer informações (PICARD; HEALEY, 1997). Atualmente, já existem roupas que são capazes de ativarem a circulação sanguínea, monitorar os batimentos cardíacos, eliminar toxinas, controlar o período fértil da mulher, a temperatura corporal, etc,

a partir da introdução de tecnologias eletrônicas específicas (PIWEK et al., 2016).

Outra classe de materiais que fazem parte dos têxteis inteligentes são os materiais indutores de atividade (SOUZA; PACHECO, 2016). Alguns exemplos destes materiais são: PCM's (*phase change materials*), materiais que mudam de fase quando estimulados (MATTILA et al., 2006); SMA's (*shape memory alloys*), produtos com memória de forma (MATTILA et al., 2006).

Os têxteis inteligentes mencionados anteriormente podem ser também classificados em subgrupos, como ilustrado na Figura 6. Em cada subdivisão, é apresentado um exemplo de cada têxtil inteligente.

Figura 6 – Subdivisão dos têxteis inteligentes.



Fonte: Adaptado de Stoppa; Chiolerio (2014).

Os materiais crômicos, como por exemplo os hidrocrômicos, fazem parte do subgrupo de têxteis muito inteligentes. A partir de uma análise global, torna-se possível verificar a complexidade que envolvem os materiais têxteis inteligentes.

### 3.6.1 Cromismo

Os materiais crômicos são aqueles que alteram suas propriedades visuais, projetando cor devido à sua indução por estímulos externos (CHOWDHURY; JOSHI; BUTOLA, 2014). Os materiais crômicos também são descritos como materiais “camaleônicos”, pela mudança de acordo com as condições do ambiente ou estímulo induzido (FERRARA; BENGISU, 2014). “Cromismo”, como sufixo, significa mudança reversível de cor (MATTILA et al., 2006), ou seja, um



fenômeno decorrente de interações entre a luz incidente e determinado material (SÁ, 2015).

O início dos estudos crômicos é datado antes do século XX e as primeiras aplicações foram nas áreas de fotocromismo, termocromismo e eletrocromismo, sendo empregados em tintas, azulejos, óculos, janelas e muitas outras aplicações óticas (MATTILA et al., 2006). Os materiais cromáticos tiveram ampla aplicação e são reconhecidos por vários setores e indústrias. A aplicação de materiais crômicos em têxteis é uma tendência crescente (MAL; IQBAL, 2014). Importante ressaltar que, os fenômenos crômicos na área têxtil estão dentro da categoria de têxteis inteligentes na maioria das vezes sendo também classificados como têxteis funcionais. A classificação dos fenômenos de alteração de cor é apresentada no Quadro 1, estando cada fenômeno relacionado a determinado estímulo.

Quadro 1 – Fenômeno e estímulo para alteração de cor.

| Fenômeno      |                           | Estímulo         |
|---------------|---------------------------|------------------|
| Fotocrômico   | ( <i>Photochromic</i> )   | Luz              |
| Termocrômico  | ( <i>Thermochromic</i> )  | Temperatura      |
| Eletocrômico  | ( <i>Electrochromic</i> ) | Eletricidade     |
| Halocrômico   | ( <i>Halochromic</i> )    | pH               |
| Hidocrômico   | ( <i>Hydrochromic</i> )   | Umidade          |
| Piezocrômico  | ( <i>Piezochromic</i> )   | Pressão          |
| Vapocrômico   | ( <i>Vapochromic</i> )    | Vapor            |
| Quimocrômico  | ( <i>Chemochromic</i> )   | Reação química   |
| Toquecrômico  | ( <i>Touchchromic</i> )   | Toque            |
| Biocrômico    | ( <i>Biochromic</i> )     | Patógenos        |
| Mecanocrômico | ( <i>Mechanochromic</i> ) | Forças mecânicas |

Fonte: Autor (2019).

As propriedades crômicas mais aplicadas sobre os materiais fibrosos são do grupo fotocrômico e termocrômico (MATTILA et al., 2006), sendo a maioria das suas aplicações realizadas através de estampas e tingimentos (MAL; IQBAL, 2014). Entretanto, vale ressaltar que os materiais hidocrômicos também estão ganhando cada vez mais popularidade na área têxtil (MAL; IQBAL, 2014).

### 3.6.1.1 Fotocrômico

Neste tipo de cromismo a mudança de cor ocorre devido à incidência de luz solar ou radiação UV. Geralmente são incolores e

quando expostos a luz o material exibe cor. Quando a luz é removida, a cor desaparece (MATTILA et al., 2006). Os agentes fotocromáticos foram desenvolvidos para utilização em diversas aplicações, e nos têxteis eles são basicamente usados para produzir efeitos nos mais diversos produtos, como camisetas, bonés, mochilas, entre outros (CHOWDHURY; JOSHI; BUTOLA, 2014).

### 3.6.1.2 Termocrômico

Um têxtil termocrômico é aquele que altera sua cor conforme a alteração da temperatura da sua superfície. Quando aplicado no substrato apresenta cor, e na presença de calor, o agente termocrômico altera a sua cor retornando para a cor original do tecido; conforme o material for resfriando ele regressa a sua cor original novamente (NOVINSON, 1996). Os termocrômicos podem ser usados em aplicações gerais e até mesmo para representar sinais de alerta (MATTILA et al., 2006), por exemplo, um indivíduo que apresente febre devido a elevação da sua temperatura corporal.

### 3.6.1.3 Eletrocrômico

Os materiais que mudam de cor na presença de eletricidade são os eletrocrômicos (FERREIRA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2014), resultante da oxidação ou da redução do material por meios eletroquímicos (BEAUPRÉ; DUMAS; LECLERC, 2006). Apresentam ampla aplicação em diversas áreas, como em janelas de vidro inteligentes, painéis elétricos, espelhos retrovisores, placas de direção de tráfego, pranchas de embarque do aeroporto, entre outros. Os materiais eletrocrômicos mais comumente disponíveis nos têxteis são os corantes eletrocrômicos, que são óxidos inorgânicos de metais, como óxido de cobalto, óxido de níquel, trióxido de tungstênio, etc (MAL; IQBAL, 2014). Segundo Beaupré, Dumas e seu grupo de investigação, usando um tecido condutor como cátodo, foi relatado as mudanças de cor de amarelo pálido para verde, transparente para cáqui e verde para marrom-avermelhado (BEAUPRÉ; DUMAS; LECLERC, 2006). Uma aplicação muito interessante em materiais têxteis refere-se no desenvolvimento de camuflagens (MAL; IQBAL, 2014).

### 3.6.1.4 Halocrômico

Os materiais halocrômicos são sensíveis ao pH, podendo ser usados em sistemas de sensores flexíveis, para fornecer um sinal visível. Esses sensores potencializam muitas aplicações, tais como para acompanhar o processo de cicatrização em feridas, roupas de proteção de laboratórios, filtração, ou seja, situações estas que a variação do pH seja observada (SCHUEREN et al., 2012).

### 3.6.1.5 Hidrocrômico

Materiais hidrocrômicos são materiais que sofrem alterações de propriedades visuais (cor) com a presença de umidade (água) (MAL; IQBAL, 2014). Eles formam uma categoria de um grupo mais abrangente chamado solvatocrômico, que mudam suas propriedades por serem sensíveis à polaridade do solvente (FERRARA; BENGISU, 2014). Os hidrocrômicos também são conhecidos como higrócrômicos (VIK; PERIYASAMY, 2018).

Os agentes hidrocromáticos podem ser reversíveis ou irreversíveis. Os irreversíveis geralmente são encontrados nas cores azul e preto (ĐURĐEVIĆ et al., 2015). Já as reversíveis são os mais comuns e modificam da cor branco opaco para transparente, quando molhado, e retornam para o branco quando seco novamente (YATES, 2012). A Figura 7 representa esquematicamente o funcionamento do material hidrocrômico reversível: primeiramente é verificado um tecido estampado (a); após a funcionalização do tecido, a estampa é coberta pelo material hidrocrômico, ficando o tecido branco (b); quando o tecido é molhado, novamente observa-se a estampa inicial (c); quando o tecido é seco, volta a ter a cor branca do material hidrocrômico, ocultando o desenho inicial da estampa (d).

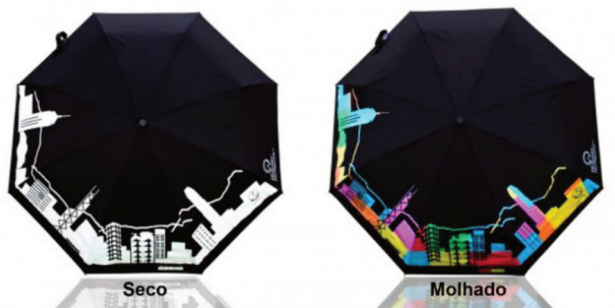
Figura 7 – Esquema do funcionamento do material hidrocrômico reversível.



Fonte: Autor (2019).

Quando agentes hidrocrômicos são aplicados em substratos têxteis pode-se sugerir em revestimento de mobílias, toalhas de mesa, roupas de banho, roupas esportivas, até mesmo curativo para feridas, entre outros, onde a aplicação de líquidos provoca a interação com o material. Outro exemplo é o guarda-chuva ilustrado na Figura 8, onde os pingos de água mudam a cor do substrato (VIK; PERIYASAMY, 2018; YATES, 2012).

Figura 8 – Guarda-chuva hidrocromático.



Fonte: Adaptado de Ashton Moran (2015).

### 3.7 PROCESSOS DE APLICAÇÃO DE AGENTES CRÔMICOS

Diferentes processos podem ser empregados para a obtenção de materiais funcionais, que são apresentados nos itens 3.7.1 e 3.7.2, a seguir.

#### 3.7.1 Microencapsulação

A microencapsulação é conhecida nos Estados Unidos desde 1968 (SÁNCHEZ, 2006) e sua aplicação nos substratos têxteis é apresentado desde o princípio dos anos de 1990 (NELSON, 2002). Referem-se a partículas poliméricas esféricas que variam seu tamanho de 1 a 999  $\mu\text{m}$ . São tecnicamente conhecidas como microesferas ou microcápsulas (SMITH, 2010). No sentido mais amplo, o processo de microencapsulação envolve três etapas gerais: formação de cápsulas; o endurecimento da parede das mesmas; e o isolamento das cápsulas (SMITH, 2010).

No setor têxtil, o maior interesse com a microencapsulação ocorre com a aplicação de fragrâncias, hidratantes, repelentes a insetos,

corantes, vitaminas, agentes antimicrobianos, materiais de mudança de fase, entre outros (NELSON, 2002). Ressalta-se que muitos materiais crômicos podem ser apresentados de forma microencapsulada. A técnica de microencapsulação permite proteger os agentes ativos da oxidação causada pelo calor, luz, umidade e outras substâncias (SILVA et al., 2017). O agente encapsulado pode ser liberado por diferentes mecanismos, a citar: ruptura mecânica, variações de temperatura, irradiação, difusão, modificação do pH, biodegradação e dissolução (SILVA et al., 2017).

### 3.7.2 Estamparia

A estamparia têxtil pode ser realizada a partir de diferentes técnicas, como: estamparia por quadro; rotativa; e digital (YAMANE, 2008). A estamparia por quadro também é conhecida pela técnica de serigrafia e *silk-screen* (YAMANE, 2008). Esta técnica de estampar pode ser classificada em dois métodos: quadro manual e quadro automático. A diferença entre os métodos consiste no posicionamento do quadro, na forma de aplicação da pasta e no método de secagem, sendo a automatização do processo a grande diferença. O processo é realizado através de quadros com moldura de madeira ou metálica, revestidos por uma tela polimérica (fotolito), onde fica gravado o desenho da estampa desejada (LOBO, 2015). Esta tela possui perfurações denominadas de *mesh*: quanto maior o número de *mesh*, mais finos são os orifícios de passagem da pasta (VIEIRA, 2014). A Figura 9 ilustra a técnica de estampar de forma manual.

Figura 9 – Estamparia por quadro manual.



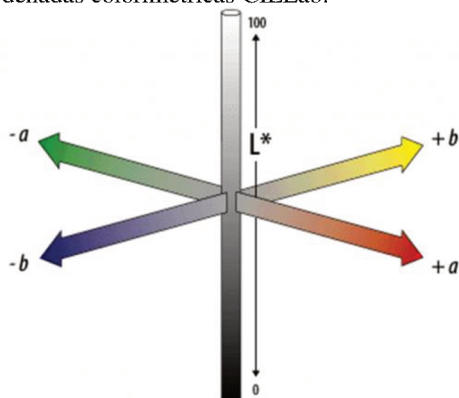
Fonte: Autor (2019).

### 3.8 COLORIMETRIA

A colorimetria é a ciência que estuda as cores. Para isto, utiliza-se o equipamento denominado de espectrofotômetro, que tem como objetivo medir e comparar a quantidade de luz absorvida, transmitida ou refletida por uma determinada amostra, seja ela solução ou sólida. Na refletância, o CIELab é um dos sistemas existentes, e expressa tridimensionalmente coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (Figura 10). Onde o  $L^*$  representa a luminosidade da amostra, ou seja, se o  $L^*=0$ , representa a cor preta ideal; e se  $L^*=100$ , representa a cor branca ideal. O  $a^*$  simula as cores do vermelho (+) ao verde (-) e o  $b^*$  as cores do amarelo (+) ao azul (-). Conhecendo os valores de uma amostra padrão e outra amostra, pode-se calcular a diferença de cor do eixo da luminosidade ( $\Delta L$ ), diferença de cor no eixo a ( $\Delta a$ ), diferença de cor no eixo b ( $\Delta b$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E$ ), equação (1). (OHTA; ROBERTSON, 2006). Além destas coordenadas colorimétricas, o espectrofotômetro pode medir também o grau de Berger, escala cinza, entre outros parâmetros.

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

Figura 10 – Coordenadas colorimétricas CIELab.



Fonte: ANGHINON (2011).

### 3.9 CONSIDERAÇÕES RELEVANTES

Baseando-se nas informações citadas, verifica-se a relevância do estudo da utilização de materiais crômicos, evidenciando-se em especial os hidrocrômicos, onde destaca-se a baixa quantidade de publicações acerca do tema. Principalmente no desenvolvimento de novos produtos têxteis, que apresentem propriedades inovadoras, capazes de auxiliar em situações diversas, onde a presença de umidade indique a modificação sugerida. Para tal, esta primeira parte do trabalho contribuiu com uma revisão geral do tema, a fim de auxiliar no desenvolvimento de futuras aplicações e novos estudos em um assunto não tão explorado até o momento.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O conteúdo apresentado nesta etapa será dedicado a descrição dos materiais e métodos utilizados para a realização deste trabalho de conclusão de curso, que se refere a funcionalização de superfícies têxteis, pelo método de estampar, utilizando agentes hidrocrômicos.

### 4.1 MATERIAIS

#### 4.1.1 Superfícies têxteis

No presente trabalho utilizou-se tecidos de malhas por trama e por urdume, com composição algodão (CO), amostra bege, e poliamida (PA), amostra roxa, respectivamente.

#### 4.1.2 Pasta hidrocrômica

A pasta hidrocrômica utilizada neste trabalho é a base de água, e tem por nome técnico *Water Based Wet & Reveal Ink*, da marca SFXC HC *dispersion*, gentilmente doada pelo Centro de Investigação 2C2T da Universidade do Minho (UMinho), Portugal. Este material apresenta validade de 6 meses e deve ser armazenado em condições controladas de temperatura (em torno de 25°C) e pH ( $8,0 \pm 2,0$ ). O líquido ideal para a utilização desta pasta é a água.

#### 4.1.3 Quadro de estampa

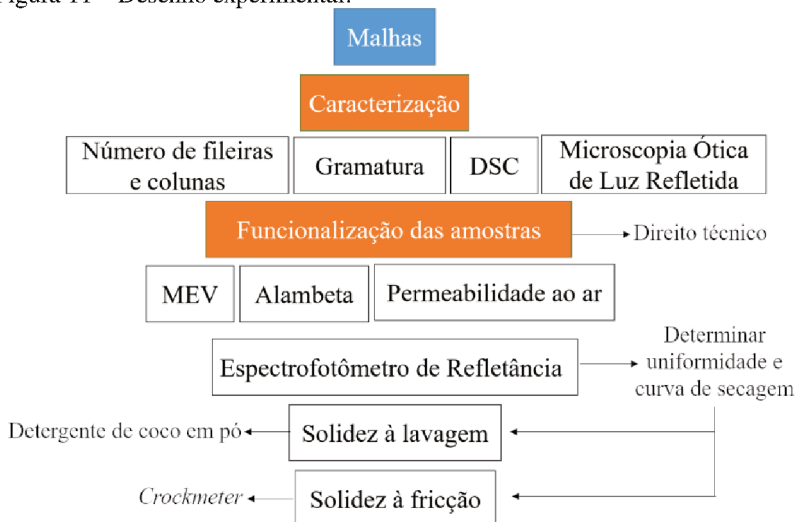
O quadro para estampar utilizado neste trabalho possui um *mesh* de 55, ou seja, 55 furos por  $\text{cm}^2$ .

### 4.2 MÉTODOS

A grande parte dos experimentos foram realizados no Laboratório de Tecidos e Malhas (LABTEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus Blumenau. Procedimentos realizados em outros laboratórios serão citados nos seus respectivos experimentos. O desenho esquemático das atividades experimentais executadas neste capítulo está apresentado na Figura 11.



Figura 11 – Desenho experimental.



Fonte: Autor (2019).

#### 4.2.1 Caracterização

Os substratos têxteis foram analisados para obtenção de informações quanto às suas propriedades antes e após a funcionalização. Para isto foram utilizadas diferentes técnicas, como a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC); Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV); Microscopia Ótica de Luz Refletida; Alambeta; Permeabilidade ao ar; e Espectrofotômetro de Refletância. Para os ensaios de resistência dos agentes funcionalizadores nos substratos foram realizados ensaios de solidez à lavagem e solidez à fricção.

##### 4.2.1.1 Número de fileiras e colunas por comprimento

A determinação do número de fileiras/cursos/carreiras e colunas por unidade de comprimento foi adaptada a partir da NBR 12060 (1991), norma elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Carreiras ou cursos são as séries de laçadas formadas no sentido horizontal da malha, e as colunas são as séries de laçadas formadas no sentido vertical da malha (NBR 12060, 1991). Com o auxílio de uma lupa conta fios, foram realizadas 10 análises em pontos distintos das malhas. A unidade de comprimento utilizada foi a

polegada. Com essas informações determina-se a densidade da malha. A densidade representa o número total de laçadas em uma área. A área utilizada nesta contagem foi de 1 pol<sup>2</sup>. A densidade calculou-se pela equação (2).

$$S = \frac{\text{laçadas totais}}{A} \quad (2)$$

Onde, S = densidade (laçadas/pol<sup>2</sup>); A = área (pol<sup>2</sup>).

#### 4.2.1.2 Gramatura

A gramatura refere-se à quantidade de massa por unidade de área (NBR 10591, 2008). Para determinar a gramatura dos tecidos de malha utilizou-se um cortador de 140 mm de diâmetro e uma balança analítica. Para calcular a área da amostra foi utilizada a equação da área do círculo (3) e por fim, a gramatura foi calculada (4). As medidas foram realizadas em triplicata. Para calcular a gramatura (g/m<sup>2</sup>) das malhas foi realizada a médias da massa de cada tecido.

$$A = \pi r^2 \quad (3)$$

Onde, r = raio (m); A = área (m<sup>2</sup>).

$$\text{gramatura} = m/A \quad (4)$$

Onde, m = massa (g).

#### 4.2.1.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

O equipamento utilizado foi o DSC-TA *Instrument*, modelo 2010, com célula de refrigeração acoplada, do Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC, campus Blumenau. A técnica DSC é utilizada para determinação de transformações físico-química. É possível obter dados de entalpias associadas as transições, como a temperatura de transição dos materiais que ocorrem em determinados processos. O método indica informações relacionadas a propriedades térmicas dos materiais. Para manter o ambiente inerte, foi aplicado o gás nitrogênio a uma vazão de 60 ml/min, com taxa de aquecimento de 10°C/min. Os parâmetros das amostras estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros para as amostras não funcionalizadas no DSC.

| <b>Amostra</b> | <b>Massa (mg)</b> | <b>T<sub>inicial</sub> (°C)</b> | <b>T<sub>final</sub> (°C)</b> |
|----------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| CO             | 4,1               | 50                              | 500                           |
| PA             | 5,0               | 50                              | 450                           |

Fonte: Autor (2019).

#### 4.2.1.4 Microscopia Ótica de Luz Refletida

Este método foi realizado no Laboratório de Microscopia e Análise Estrutural (LAMAE) da UFSC, campus Blumenau. O equipamento utilizado foi da marca ZEISS, modelo AxioVert.A1. As análises foram realizadas no microscópio ótico de luz refletida com o intuito de definir a estrutura dos dois tecidos de malha com o aumento da resolução de 50, 100 e 200 vezes.

#### 4.2.2 Funcionalização das amostras

A aplicação dos materiais hidrocromicos foi realizada por meio da técnica de estampa manual por quadro. Inicialmente, as amostras de malha foram colocadas sobre uma superfície horizontal e lisa. A pasta de estampa foi preparada, tornando-a em uma dispersão homogênea. Com o quadro posicionado sobre o substrato têxtil, e com a ajuda de uma rasqueta, a pasta hidrocromica foi aplicada sobre o quadro, entrando em contato com o direito técnico, ou seja, onde o corpo das laçadas de cada malha está aparente. Após a aplicação, as amostras foram colocadas imediatamente na estufa a aproximadamente 130°C durante 3 minutos, conforme especificação do fabricante da pasta hidrocromica. A fim de se verificar a quantidade ideal de pasta, para cada amostra de malha foram realizadas aplicações da pasta com 1, 2 e 3 passagens da rasqueta sobre o quadro. Após análises no espectrofotômetro de refletância, foi determinado, através da uniformidade, a quantidade de passagens que obteve o menor coeficiente de variação. A funcionalização das amostras foi realizada em triplicata para cada composição de malha.

#### 4.2.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise morfológica das superfícies têxteis, dos materiais hidrocrômicos, bem como da distribuição das mesmas nos substratos foi realizada no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), da UFSC, campus Florianópolis. O equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura JEOL, modelo JSM-6390LV. As amostras foram, inicialmente, depositadas em um *stub* e recobertas com ouro, por meio da técnica de “*sputtering*” em uma recobridora modelo EM SCD 500, da marca LEICA. As amostras foram ampliadas em 50, 500, 1000 e 2000 vezes.

#### 4.2.2.2 Alambeta

O equipamento utilizado foi o SENSORIA, do Laboratório de Física Têxtil Investigação, da UMinho, Portugal. O Alambeta avalia as propriedades térmicas dos substratos, como a resistência térmica (R), a condutividade térmica ( $\lambda$ ), a absorvidade térmica (b), a difusividade térmica (a) e fluxo do calor (Q). O aparelho apresenta uma temperatura constante (32°C) a qual difere da temperatura da amostra (20°C). Quando se inicia a análise, a temperatura da superfície da amostra altera-se bruscamente e o aparelho registra a evolução do fluxo de calor sobre o substrato. Simultaneamente, é medida a espessura (h) da amostra.

#### 4.2.2.3 Permeabilidade ao ar

A permeabilidade ao ar foi mensurada pelo equipamento TEXTTEST Air Permeability Tester FX 3300. As amostras foram submetidas a pressão 100 Pa em uma área de ensaio de 5 cm<sup>2</sup>. O ensaio foi realizado no Laboratório de Física Têxtil Investigação, da UMinho, Portugal. O resultado deste ensaio é dado em l/m<sup>2</sup>/s, ou seja, quantidade de litros de ar dado em determinada área por segundo.

#### 4.2.2.4 Espectrofotômetro de Refletância

O equipamento utilizado foi o DATACOLOR 500, do Laboratório de Cuidados Têxteis (LABCT) da UFSC, campus Blumenau. As medições foram realizadas em triplicata. Para todas as medições neste equipamento, foi usado o sistema CIELab, iluminante

D65, que representa a luz do dia, o observador de 10° para a luz incidida e abertura de 6,6 mm. O espectrofotômetro de refletância foi utilizado para avaliar os ensaios de resistências à lavagem e à ficção; e para:

- a) Caracterizar a uniformidade dos tecidos de malha funcionalizados;
- b) Simular o comportamento cinético do material hidrocrômico na malha, através da curva de secagem do tecido molhado. Para isso, cada amostra foi molhada com 3 gotas do respectivo líquido a ser ensaiado (água, água do mar, água de piscina e urina), cada gota tinha em média 0,0361g. A alteração da cor foi medida ao longo do tempo: 0, 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 80, 100, 120 e 180 minutos. Para esta análise foi verificada a coordenada L\*. Os parâmetros de medição deste item estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros para a curva de secagem das amostras funcionalizadas.

| <b>Amostra</b> | <b>Líquido</b>  | <b>Secagem</b> | <b>Temperatura</b> | <b>Umidade</b> |
|----------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------|
| PA             | Água            | Ambiente       | 24°C               | 36%            |
| PA             | Água            | Sol            | 34°C               | 23%            |
| PA             | Água do mar     | Ambiente       | 22°C               | 40%            |
| PA             | Água da piscina | Ambiente       | 23°C               | 40%            |
| CO             | Água            | Ambiente       | 22°C               | 38%            |
| CO             | Água            | Sol            | 36°C               | 22%            |
| CO             | Urina           | Ambiente       | 22°C               | 42%            |

Fonte: Autor (2019).

#### 4.2.2.6 Ensaio de resistência à lavagem

O equipamento de tingimento por canecos, HT-IR DYER, modelo TC-2200, marca Texcontrol, foi utilizado para realizar a lavagem das amostras, no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) da UFSC, campus Blumenau. Este ensaio tem o intuito de analisar a resistência à lavagem dos materiais hidrocrômicos. O procedimento seguiu a norma NBR ISO 105-C06:2010. Em cada caneco foi adicionado uma amostra de malha, água e o detergente de coco em pó 4g/L, sem esferas, durante 30 minutos, com temperatura de 40°C (uma lavagem). Para cada amostra simulou-se 1, 5 e 10 lavagens. Todos os ensaios para alteração da cor foram avaliados no espectrofotômetro.

#### 4.2.2.7 Ensaio de resistência à fricção

O ensaio de resistência a fricção foi realizado utilizando o equipamento *crockmeter*, da marca Kimak, modelo CA-11, de acordo com a norma NBR ISO 105-X12:2019. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) da UFSC, campus Blumenau. O ensaio consiste em friccionar um tecido, chamado de “testemunha”, sobre a amostra a ser analisada, num total de 10 ciclos, compostos por 20 movimentos lineares. O procedimento foi realizado para as amostras funcionalizadas, tanto a seco como a úmido. O tecido testemunha utilizado foi um tecido plano de algodão desengomado e alvejado, que em um ensaio convencional é utilizado para avaliar a migração de cor que pode ocorrer para o mesmo. Após a fricção, as amostras funcionalizadas foram avaliadas no espectrofotômetro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as discussões dos experimentos realizados. Primeiramente, é discutido os dados obtidos para todas as caracterizações dos tecidos de malha antes e após a funcionalização. Por fim, são apresentados os resultados dos ensaios de solidez à lavagem e à fricção das malhas funcionalizadas.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS DE MALHA

As amostras foram caracterizadas quanto à parâmetros estruturais da malha e tipo de fibra utilizada.

#### 5.1.1 Número de fileiras e colunas por comprimento

Na Tabela 5 são apresentados os resultados referentes a medição do número de fileiras e colunas de cada malha.

Tabela 5 – Número de fileiras e colunas em 1 polegada dos tecidos de malha.

| Amostra | Algodão  |         | Poliamida |         |
|---------|----------|---------|-----------|---------|
|         | Fileiras | Colunas | Fileiras  | Colunas |
| 1       | 47       | 35      | 72        | 48      |
| 2       | 46       | 37      | 74        | 48      |
| 3       | 47       | 35      | 74        | 48      |
| 4       | 48       | 35      | 74        | 49      |
| 5       | 48       | 36      | 72        | 48      |
| 6       | 46       | 36      | 72        | 48      |
| 7       | 46       | 36      | 74        | 48      |
| 8       | 48       | 37      | 72        | 49      |
| 9       | 46       | 37      | 72        | 49      |
| 10      | 46       | 36      | 72        | 49      |
| Média   | 46,8     | 36      | 72,8      | 48,4    |

Fonte: Autor (2019).

A densidade média do tecido de malha de algodão é de 1692 laçadas/pol<sup>2</sup> e da poliamida é de 3504 laçadas/pol<sup>2</sup>. A malha de poliamida possui uma densidade maior em relação a de algodão, isto também pode ser verificado através do toque nas malhas.

### 5.1.2 Gramatura

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da massa das malhas.

Tabela 6 – Massa dos tecidos de malha.

| Amostra | Massa[g] |      |
|---------|----------|------|
|         | CO       | PA   |
| 1       | 2,27     | 3,78 |
| 2       | 2,15     | 3,77 |
| 3       | 2,24     | 3,84 |
| Média   | 2,22     | 3,80 |

Fonte: Autor (2019).

A gramatura média da malha de algodão é de 148 g/m<sup>2</sup> e da poliamida é de 253,3 g/m<sup>2</sup>. A gramatura e densidade influenciam diversos fatores, como toque, elasticidade, quantidade de fio consumido, entre outros.

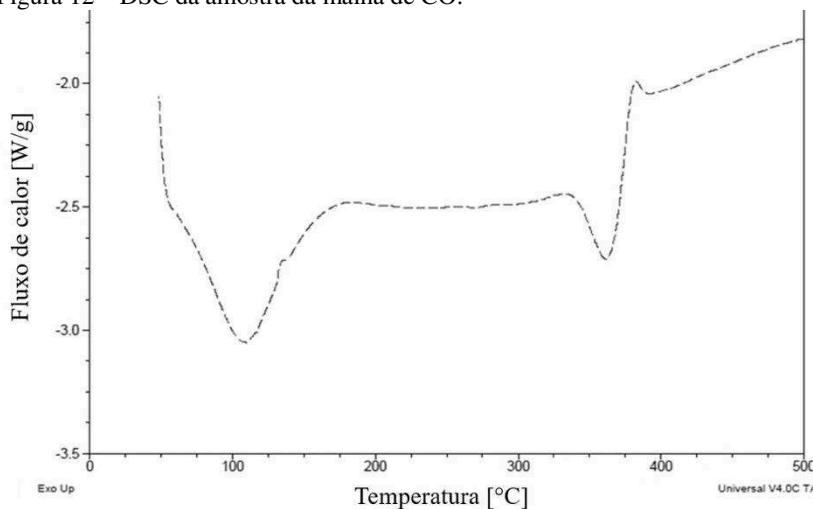
### 5.2.3 Calorimetria Exploratória Diferencial

O DSC foi realizado para as malhas de CO e PA antes da funcionalização para confirmar as matérias-primas de cada fibra e particularmente sobre a poliamida, verificar se trata de uma PA 6 ou PA 6,6.

A Figura 12 apresenta o fluxo de calor em função da temperatura obtido para amostra de malha de CO. Dois “vales” endotérmicos podem ser observados na curva obtida. O primeiro vale de 55°C até aproximadamente 150°C corresponde a perda de umidade e fusão de ceras presentes na fibra. O segundo, com uma temperatura aproximada de 370°C, pode ser atribuído a degradação térmica da celulose. Estes resultados estão de acordo aos obtidos por Xia et al. (2018) e Zhu et al. (2004).



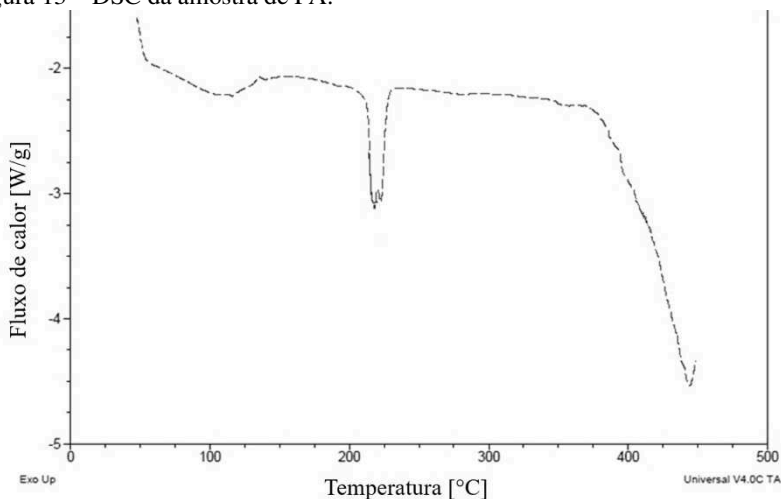
Figura 12 – DSC da amostra da malha de CO.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 13 apresenta a curva de DSC típica de uma fibra de poliamida. O primeiro vale, entre as temperaturas de 50-130°C, pode ser atribuído a umidade da fibra e sujidades presentes na sua superfície. Já o segundo vale, entre as temperaturas de 210-230°C, verifica-se ao ponto de fusão da fibra, referindo-se a temperatura de fusão da PA 6. O que está de acordo com a literatura (KLATA; VELDE; KRUCIŃSKA, 2003).

Figura 13 – DSC da amostra de PA.



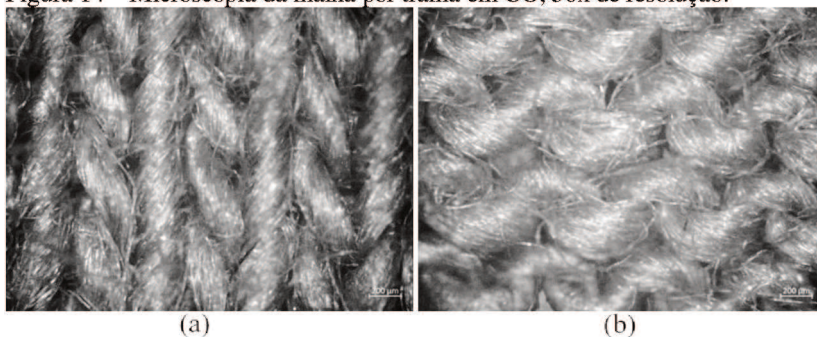
Fonte: Autor (2019).

Os resultados de DSC apresentados comprovam que os substratos utilizados neste estudo se tratam realmente da fibra de algodão e especificamente de uma fibra de poliamida 6.

#### 5.1.4 Microscopia Ótica de Luz Refletida

Com o intuito de definir as estruturas dos tecidos de malha utilizadas no trabalho, a análise das imagens através do microscópio ótico de luz refletida foi realizada. Verificou-se que o tecido de algodão se trata de uma malha por trama de estrutura *Jersey* (meia-malha), com um direito e um avesso técnico distintos (Figura 14-a e Figura 14-b, respectivamente). É possível também notar a quantidade de fibrilas, facilmente observadas na fibra de CO.

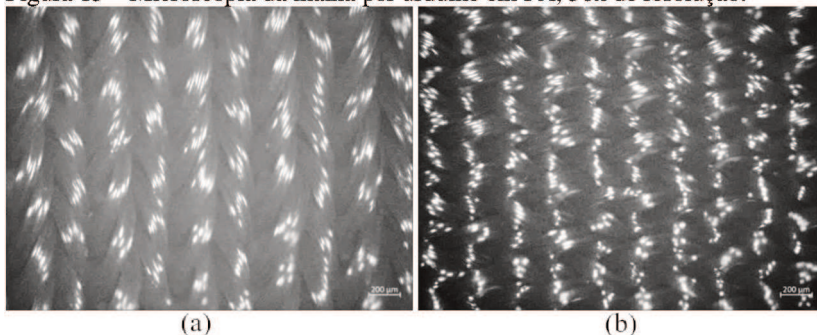
Figura 14 – Microscopia da malha por trama em CO, 50x de resolução.



Fonte: Autor (2019).

Com relação a amostra de PA observou-se se tratar de uma malha por urdume de estrutura com 2 barras de *Tricot (Half Jersey)*, com um direito e um avesso técnico distintos (Figura 15-a e Figura 15-b, respectivamente) A superfície é lisa, sem a presença de fibrilas, justamente por ser uma fibra proveniente de filamento (Figura 15).

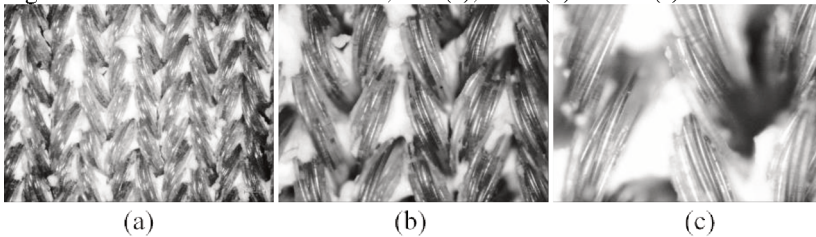
Figura 15 – Microscopia da malha por urdume em PA, 50x de resolução.



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 16 é possível observar o direito técnico do tecido de malha de PA já funcionalizado, ou seja, com a presença da pasta hidrocrômica sobre a superfície.

Figura 16 – Poliamida funcionalizada, 50x (a); 100x (b) e 200x (c).



Fonte: Autor (2019).

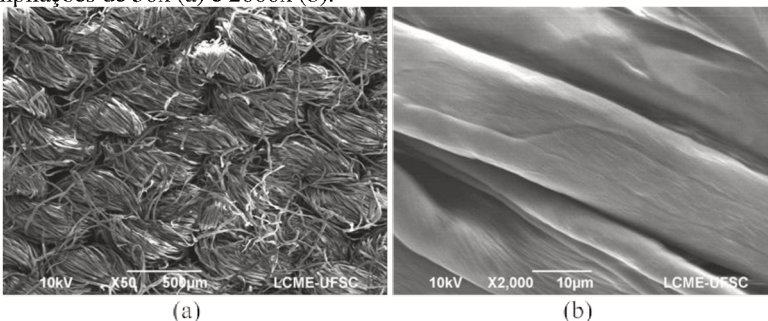
### 5.1.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise de MEV permite a comparação da superfície das amostras com e sem o agente funcionalizante.

As amostras de algodão e poliamida foram analisadas antes e após a funcionalização com pasta hidrocrômica, apresentadas na Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20.

Na Figura 17 observa-se a estrutura morfológica da fibra de algodão no tecido de malha. Na Figura 17-a é observado novamente as fibrilas características da fibra de CO. Na Figura 17-b verifica-se a presença de “estrias” sobre a superfície da fibra. Tanto as fibrilas quanto as estrias podem influenciar na adesão da pasta sobre a superfície.

Figura 17 – Análise de MEV das amostras de CO sem funcionalização com ampliações de 50x (a) e 2000x (b).

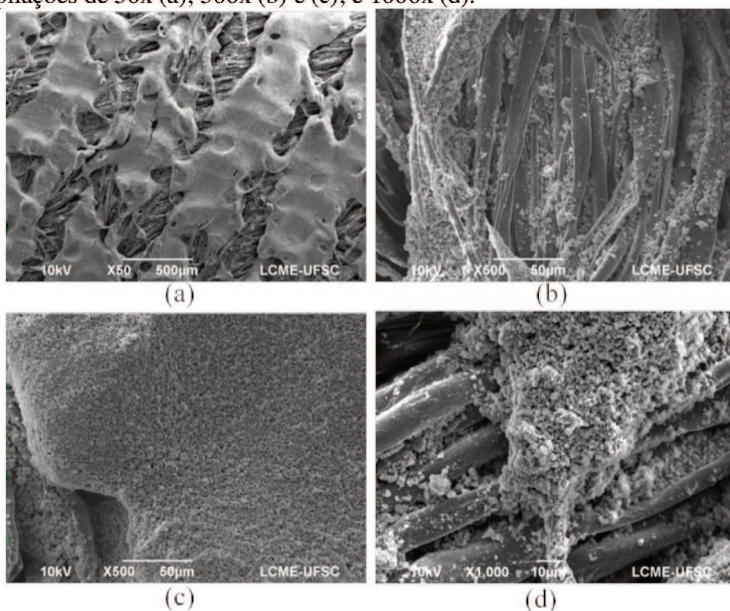


Fonte: Autor (2019).

A incorporação da pasta hidrocrômica na malha de CO é observada na Figura 18 em diferentes ampliações, verificando-se sua distribuição sobre a superfície e a adesão do agente por entre as fibras,

ou seja, por dentro da malha. Ressalta-se que geralmente o algodão é proveniente de fios fiados, o que pode dar origem as fibrilas. Este fato é muito importante pois pode contribuir para a uma maior durabilidade da funcionalização aplicada, pois os materiais hidrocromicos que estão por entre as fibras, e não apenas superficialmente, tendem a apresentar maior solidez.

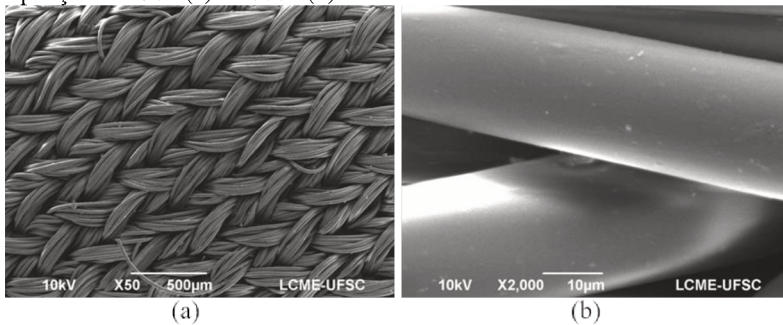
Figura 18 – Análise de MEV das amostras de CO funcionalizadas com ampliações de 50x (a); 500x (b) e (c); e 1000x (d).



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 19 observa-se a estrutura morfológica da fibra de PA no tecido de malha. Nestas imagens é possível ver a uniformidade da fibra e a sua superfície lisa, sem estrias.

Figura 19 – Análise de MEV das amostras de PA sem funcionalização com ampliações de 50x (a) e 2000x (b).



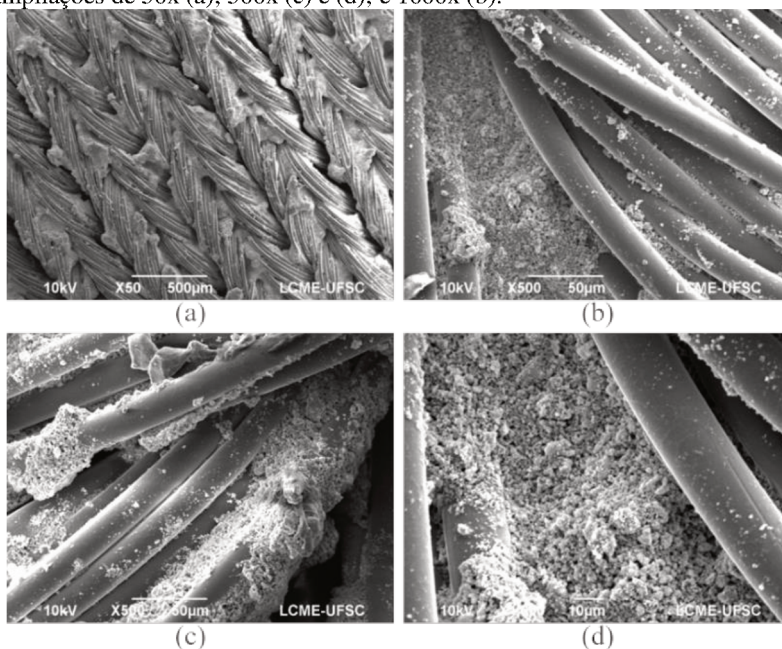
Fonte: Autor (2019).

As amostras de PA funcionalizadas também apresentam a presença do material hidrocrômico, como observado na Figura 20.

A incorporação da pasta funcionalizante na malha de PA é observada na Figura 20, em diferentes ampliações. Verifica-se que a adesão da pasta na superfície não foi tão promissora assim como na amostra de CO. Isto está relacionado a superfície da fibra de PA, que é totalmente lisa, relacionada a sua origem, que geralmente é proveniente de filamentos.



Figura 20 – Análise de MEV das amostras de PA funcionalizadas com ampliações de 50x (a); 500x (c) e (d); e 1000x (b).



Fonte: Autor (2019).

Comparando-se as amostras de PA e CO com a presença do agente funcionalizante, percebe-se que nas malhas de CO provavelmente ocorre uma melhor adesão do material hidrocromico nas fibras que nas amostras de PA. Isto se dá, pois, as fibras de PA são filamentos muito lisos, com seção transversal circular, enquanto às fibras de CO possuem estrias na seção longitudinal, fibrilas que podem permitir a melhor fixação do agente funcionalizador.

## 5.2 ALAMBETA

Na Tabela 7 é possível verificar as propriedades térmicas da malha de poliamida.

Tabela 7 – Propriedades térmicas da malha de PA.

| <b>Símbolo</b> | <b>Grandeza</b>       | <b>Unidade</b>                        | <b>Não funcionalizado</b> | <b>Funcionalizado</b> |
|----------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| $\lambda$      | Condutividade Térmica | W/m.K                                 | 43,1±0,7                  | 44,1±0,9              |
| a              | Difusividade Térmica  | m <sup>2</sup> /s                     | 0,182±0,011               | 0,198±0,032           |
| b              | Absortividade Térmica | W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> .K | 101,3±3,0                 | 99,1±4,0              |
| R              | Resistência Térmica   | m <sup>2</sup> K /W                   | 34,3±2,5                  | 30,4±3,3              |
| h              | Espessura             | Mm                                    | 1,80±0,08                 | 1,82±0,11             |
| Q              | Fluxo do calor        | W/m <sup>2</sup>                      | 0,462±0,010               | 0,454±0,012           |

Fonte: Autor (2019).

A partir dos dados apresentados na Tabela 7 nota-se que as propriedades térmicas estudadas não apresentam variações consideráveis antes e após a aplicação do agente funcionalizante. Verificou-se uma pequena diminuição no fluxo de calor após a funcionalização da amostra, o que se dá devido à quantidade de pasta aplicada à superfície têxtil. De acordo com o resultado fornecido pelo equipamento, a amostra funcionalizada obteve uma resistência térmica e absorvidade térmica um pouco inferior quando comparadas com a amostra não funcionalizada, no entanto os valores de desvio padrão apresentados mostram que estas diferenças não são estatisticamente significativas. Já a condutividade térmica, difusividade térmica e espessura aumentaram pouco, em relação ao desvio padrão. Ou seja, a pasta hidrocrômica não influencia significativamente nestas propriedades térmicas da malha.

## 5.3 PERMEABILIDADE AO AR

A permeabilidade ao ar da amostra de PA foi de 670 l/m<sup>2</sup>/s para a malha não funcionalizada e de 236 l/m<sup>2</sup>/s para a malha funcionalizada. Ou seja, a permeabilidade ao ar passa para quase um 1/3 após a funcionalização com a pasta hidrocrômica. Este comportamento era



esperado, uma vez que o agente funcionalizante cobre os orifícios abertos comparando com a malha sem a funcionalização, conforme já verificado pelas técnicas de microscopia ótica e eletrônica de varredura.

## 5.4 ESPECTROFOTOMETRIA DE REFLETÂNCIA

As amostras foram analisadas por espectrofotometria de refletância, para análises de uniformidade da pasta, curva de secagem, solidez à lavagem e solidez à fricção.

### 5.4.1 Uniformidade da pasta nos tecidos de malha

Para determinar a uniformidade da pasta hidrocrômica sobre os tecidos de malha de acordo com a fibra, foi utilizado o espectrofotômetro para medir as coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  de cada amostra. As medições foram realizadas para 1, 2 e 3 passagens da pasta hidrocrômica sobre as malhas de CO e PA, conforme apresentado no item 4.2.2. As avaliações da uniformidade das superfícies das malhas relacionadas a quantidade de passagens da pasta estão apresentadas na Tabela 8 e Tabela 9, respectivamente para malhas de CO e PA. A partir dos valores obtidos foram calculadas a média, desvio padrão e coeficiente de variação da uniformidade das amostras (CV) das coordenadas supracitadas.

A partir dos valores obtidos na Tabela 8 para as malhas de CO, percebe-se que o desvio padrão apresenta valores das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  inferiores para as amostras com 3 passagens, em comparação com as amostras de 1 e 2 passagens. Observa-se ainda que o menor CV foi verificado para 3 passagens, sendo, portanto, o parâmetro escolhido para ser aplicado na amostra de algodão.

Tabela 8 – Avaliação da uniformidade da pasta sobre malha de CO.

|                      | 1 Passagem |       |      | 2 Passagens |      |      | 3 Passagens |      |      |
|----------------------|------------|-------|------|-------------|------|------|-------------|------|------|
|                      | L*         | a*    | b*   | L*          | a*   | b*   | L*          | a*   | b*   |
| <b>Ponto 1</b>       | 82,79      | 3,42  | 3,93 | 77,39       | 5,28 | 5,90 | 78,18       | 5,25 | 5,78 |
| <b>Ponto 2</b>       | 82,60      | 3,56  | 4,12 | 76,66       | 5,47 | 5,87 | 77,22       | 5,61 | 6,02 |
| <b>Ponto 3</b>       | 81,29      | 3,99  | 4,57 | 78,21       | 4,95 | 5,49 | 78,42       | 5,09 | 5,75 |
| <b>Ponto 4</b>       | 80,43      | 4,32  | 4,86 | 77,65       | 4,96 | 5,79 | 78,69       | 5,20 | 5,93 |
| <b>Média</b>         | 81,78      | 3,82  | 4,37 | 77,48       | 5,17 | 5,76 | 78,13       | 5,29 | 5,87 |
| <b>Desvio Padrão</b> | 1,12       | 0,41  | 0,42 | 0,64        | 0,25 | 0,19 | 0,64        | 0,23 | 0,13 |
| <b>CV [%]</b>        | 1,37       | 10,75 | 9,67 | 0,83        | 4,93 | 3,25 | 0,82        | 4,26 | 2,17 |

Fonte: Autor (2019).

Com base na Tabela 9, as variações dos valores de CV para a coordenada L\* das malhas de PA foram maiores que as obtidas para as malhas de CO. Analisando ainda o CV das coordenadas L\*, a\* e b\* é verificado que a amostra com 2 passagens apresentou a maior uniformidade, sendo, portanto, a quantidade de passagens escolhida para a poliamida.

Tabela 9 – Avaliação da uniformidade da pasta sobre malha de PA.

|                      | 1 Passagem |       |       | 2 Passagens |      |       | 3 Passagens |      |       |
|----------------------|------------|-------|-------|-------------|------|-------|-------------|------|-------|
|                      | L*         | a*    | b*    | L*          | a*   | b*    | L*          | a*   | b*    |
| <b>Ponto 1</b>       | 69,13      | 4,14  | -1,41 | 61,10       | 6,04 | -1,64 | 68,26       | 4,30 | -1,79 |
| <b>Ponto 2</b>       | 67,18      | 4,93  | -1,41 | 62,32       | 6,12 | -1,58 | 67,31       | 4,83 | -1,62 |
| <b>Ponto 3</b>       | 63,45      | 5,69  | -1,85 | 61,79       | 5,97 | -1,77 | 65,96       | 4,70 | -1,63 |
| <b>Ponto 4</b>       | 65,25      | 5,36  | -1,46 | 62,39       | 5,74 | -1,74 | 67,26       | 4,47 | -1,97 |
| <b>Média</b>         | 66,25      | 5,03  | -1,53 | 61,90       | 5,97 | -1,68 | 67,20       | 4,58 | -1,75 |
| <b>Desvio Padrão</b> | 2,45       | 0,67  | 0,21  | 0,60        | 0,16 | 0,09  | 0,94        | 0,24 | 0,16  |
| <b>CV [%]</b>        | 3,70       | 13,32 | 13,90 | 0,96        | 2,74 | 5,24  | 1,41        | 5,16 | 9,39  |

Fonte: Autor (2019).

A partir destes dados foi possível perceber que a uniformidade da pasta sobre a superfície das malhas obteve um comportamento diferente para as duas fibras, podendo ser influenciado pela morfologia das mesmas. Assim, as amostras foram produzidas com a aplicação de 3 passagens da pasta para o algodão e 2 passagens para a poliamida.

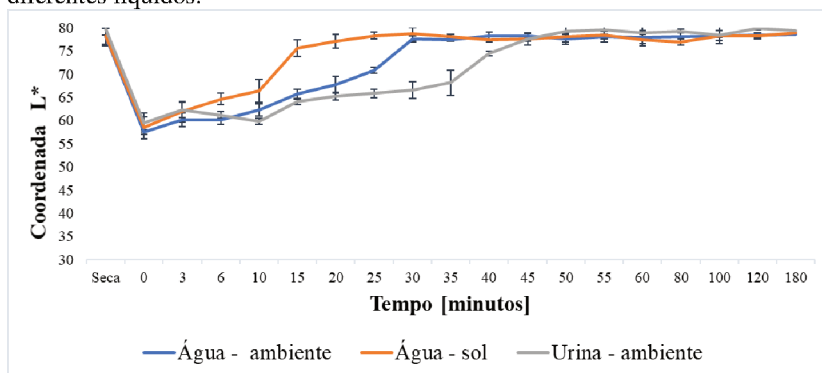
### **5.4.2 Comportamento cinético de secagem do material hidrocrômico no tecido de malha**

Foram realizados ensaios de molhamento das superfícies estudadas e analisada a coordenada colorimétrica  $L^*$  através da curva de secagem do tecido molhado em função do tempo. Para isso foram escolhidos quatro líquidos distintos: água, água do mar, água de piscina e urina. A água foi utilizada para ambos os tecidos, pois é o líquido padrão para este produto crômico. Os líquidos distintos foram analisados para verificar o comportamento da eficiência em um material hidrocrômico. A água do mar e da piscina foram escolhidos para a amostra de poliamida, neste sentido, pressupondo-se o desenvolvimento de um produto de banho. A urina foi analisada no algodão, fibra que também é utilizada para roupa íntima.

As curvas de secagem foram realizadas por até 180 minutos, até a completa secagem das amostras. Estes dados são apresentados através da média dos valores obtidos para a coordenada  $L^*$  (3 medições) no Gráfico 2 para a malha de CO, e no Gráfico 3 para a malha de PA. As amostras molhadas com água foram simuladas sendo secas em um ambiente fechado e ao sol; os demais líquidos foram simulados apenas em um ambiente fechado.

O Gráfico 2 apresenta a cinética de secagem dos líquidos nas malhas de CO. A amostra exposta ao sol secou mais rápido que a amostra no ambiente. Este resultado era o esperado, visto que as condições climáticas deste dia eram temperatura de  $36^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 22%. Já para a secagem da água em ambiente fechado, a temperatura e umidade eram de  $22^{\circ}\text{C}$  e 38%, respectivamente. A secagem um pouco mais prolongada ocorreu para a urina nas condições de  $22^{\circ}\text{C}$  de temperatura e 42% de umidade, e pode ter sido influenciada pela composição deste líquido, que geralmente é constituído por água, uréia e sal. Ou seja, a uréia e sal devem ser fatores determinantes para este tempo maior de secagem. O tempo para estabilizar a secagem quando utilizada a água no sol foi de 25 minutos, água em ambiente fechado foi de 30 minutos e para a urina de 45 minutos.

Gráfico 2 – Cinética de secagem para as malhas funcionalizadas de CO para diferentes líquidos.



Fonte: Autor (2019).

Na Tabela 10 é possível verificar os valores de  $\Delta E$  para cada amostra de CO, para os diferentes líquidos. Esses valores foram calculados em relação as amostras secas, antes do líquido entrar em contato com as mesmas. Os valores de  $\Delta E$  mostram a mudança de cor de cada amostra no tempo 0, ou seja, assim que a malha foi molhada, e após os 180 minutos. Quando a amostra está molhada, como esperado, verifica-se um elevado valor para o  $\Delta E$ , pois a cor foi alterada de branco para a cor original da malha. Já o  $\Delta E$ , quando calculado em relação a amostra seca, após 180 minutos, apresenta valor muito baixo, o que significa que o agente hidrocrômico volta a cor original (branco).

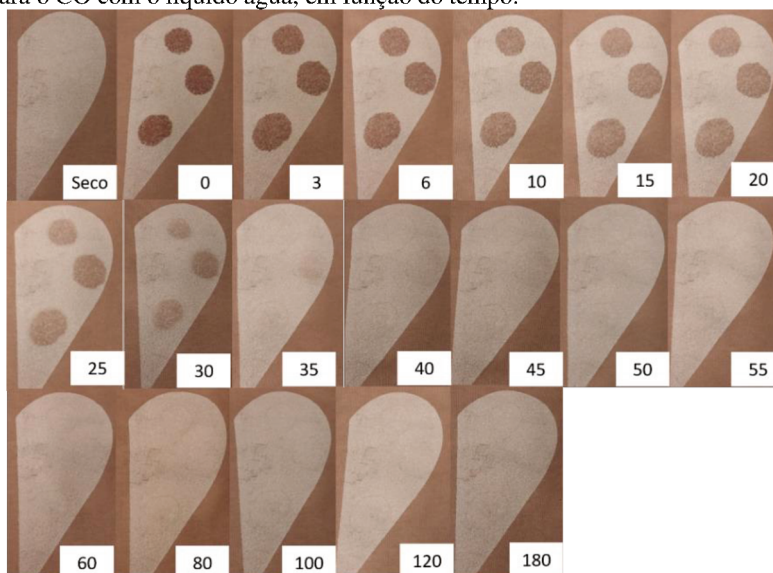
Tabela 10 – Coordenadas colorimétricas obtidas durante a secagem para malhas de CO.

| Tempo [min] | Amostra | Líquido | Secagem  | L*    | a*    | b*    | $\Delta E$ |
|-------------|---------|---------|----------|-------|-------|-------|------------|
| Seco        |         |         |          | 78,13 | 5,29  | 5,87  |            |
| 0           |         | Água    | Ambiente | 57,52 | 12,40 | 10,60 | 22,31      |
| 180         |         |         |          | 78,47 | 5,10  | 5,98  | 0,40       |
| Seco        |         |         |          | 78,14 | 5,20  | 6,49  |            |
| 0           | CO      | Água    | Sol      | 58,41 | 12,10 | 12,10 | 21,64      |
| 180         |         |         |          | 78,87 | 4,98  | 5,81  | 1,02       |
| Seco        |         |         |          | 79,75 | 4,42  | 5,12  |            |
| 0           |         | Urina   | Ambiente | 59,56 | 10,98 | 10,70 | 21,95      |
| 180         |         |         |          | 79,43 | 4,36  | 6,29  | 1,22       |

Fonte: Autor (2019).

A molhabilidade da amostra de CO foi fotografada no instante em que a malha se encontrava seca e ao longo do tempo (até 180 minutos), até estar seca novamente (Figura 21).

Figura 21 – Avaliação fotográfica da cinética de secagem da pasta hidrocrômica para o CO com o líquido água, em função do tempo.



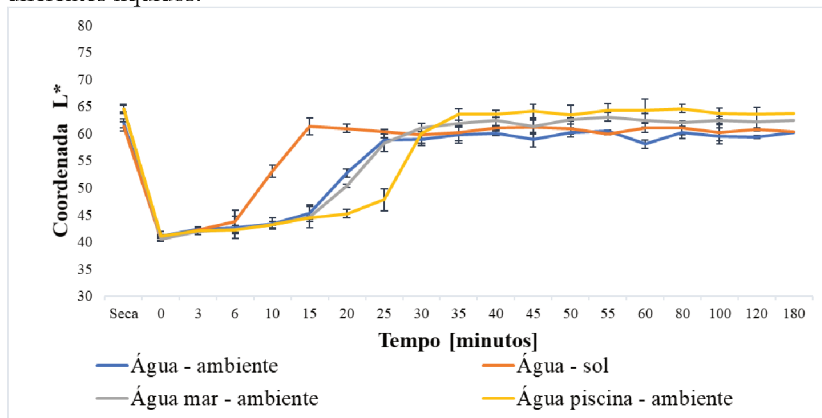
Fonte: Autor (2019).

Como pode ser observado na Figura 21, a funcionalidade da amostra após molhar com água, e seca em temperatura ambiente, durou em média 30 minutos. Observa-se também que esta amostra voltou a cor original da pasta, branca, após o tempo de avaliação, sem apresentar qualquer tipo de manchamento.

O Gráfico 3 apresenta a cinética de secagem dos líquidos sobre as malhas de PA. A amostra seca no sol (34°C de temperatura e 23% de umidade), secou rapidamente, como o esperado, assim como ocorreu com a amostra de CO. O comportamento de secagem em ambiente para a água e água do mar foram muito similares, com condições de temperatura e umidade de 24°C e 36% e 22°C e 40%, respectivamente. A água da piscina foi a que mais demorou para secar, e as condições do ambiente eram de 23°C temperatura e 40% de umidade. Este tempo

pode ter sido influenciado através de componentes presentes nesta água, como por exemplo o cloro. A água exposta ao sol teve uma estabilidade de secagem a partir de 15 minutos, água em ambiente fechado no tempo de 25 minutos, água do mar em 30 minutos e água da piscina em 35 minutos.

Gráfico 3 – Cinética de secagem para as malhas funcionalizadas de PA para diferentes líquidos.



Fonte: Autor (2019).

Na Tabela 11 verifica-se os valores de  $\Delta E$  para cada amostra de PA, em relação aos diferentes líquidos. O valor de  $\Delta E$  foi calculado no tempo 0 e após 180 minutos, em relação as amostras secas (antes de molhar). Os valores seguem o mesmo padrão que os obtidos para as amostras de CO.

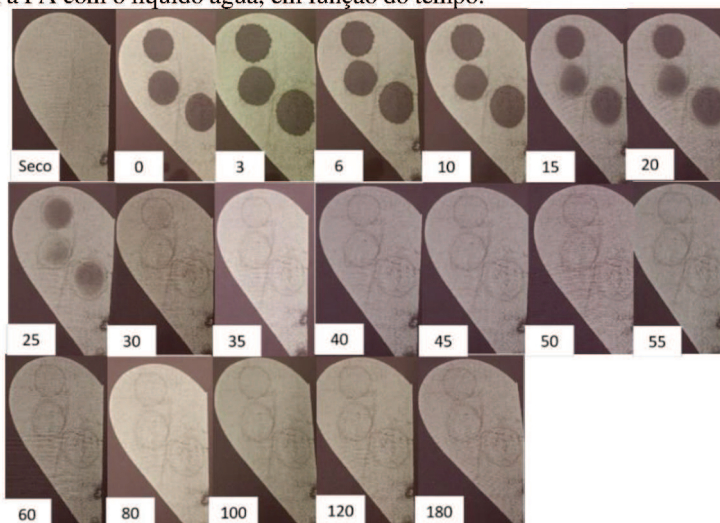
Tabela 11 – Coordenadas colorimétricas obtidas durante a secagem para malhas de PA.

| Tempo [min] | Amostra | Líquido         | Secagem  | L*    | a*   | b*    | $\Delta E$ |
|-------------|---------|-----------------|----------|-------|------|-------|------------|
| Seco        |         |                 |          | 61,91 | 5,97 | -1,68 |            |
| 0           |         | Água            | Ambiente | 41,01 | 8,12 | -2,93 | 21,05      |
| 180         |         |                 |          | 60,19 | 6,24 | -1,28 | 1,79       |
| Seco        |         |                 |          | 61,28 | 6,15 | -1,03 |            |
| 0           |         | Água            | Sol      | 40,54 | 8,08 | -2,52 | 20,88      |
| 180         |         |                 |          | 60,29 | 6,35 | -1,28 | 1,04       |
| Seco        | PA      |                 |          | 64,61 | 5,50 | -1,54 |            |
| 0           |         | Água do mar     | Ambiente | 40,56 | 8,39 | -2,68 | 24,25      |
| 180         |         |                 |          | 62,38 | 5,91 | -1,73 | 2,28       |
| Seco        |         |                 |          | 64,52 | 5,57 | -1,38 |            |
| 0           |         | Água da piscina | Ambiente | 41,06 | 7,98 | -2,89 | 23,63      |
| 180         |         |                 |          | 63,67 | 5,87 | -1,64 | 0,94       |

Fonte: Autor (2019).

A molhabilidade da amostra de PA foi fotografada no instante em que a malha se encontrava seca e ao longo do tempo (até 180 minutos), até estar seca novamente (Figura 22).

Figura 22 – Avaliação fotográfica da cinética de secagem da pasta hidrocromica para a PA com o líquido água, em função do tempo.



Fonte: Autor (2019).

A análise realizada com a amostra de PA nas condições previamente informadas (Figura 22) apresenta um tempo de funcionalização da amostra em média de 25 minutos. No entanto, após a secagem, percebe-se que a amostra ficou um pouco manchada. Isto pode ter acontecido devido a interação entre a pasta e a fibra de poliamida ou mesmo entre a classe de corante que foi tingida a PA e a pasta hidrocrômica.

Comparando os dois substratos (Figura 21 e Figura 22), percebe-se que o comportamento da fibra de algodão teve um desempenho melhor do que da poliamida, pois não obteve manchas após a secagem, e a funcionalização permaneceu por um maior tempo (30 minutos). Isto está dentro do esperado, pois as fibras sintéticas possuem baixo *regain*, ou seja, capacidade de absorção de umidade e, portanto, secam mais rápido (DEOPURA et al., 2008). O algodão possui em média um *regain* de 8,5% e a poliamida em média de 4,0% (SOUZA, 2011).

Com base na Tabela 12 é possível identificar, a partir da coordenada  $L^*$ , o comportamento das malhas funcionalizadas ao longo de 180 minutos. Os valores de  $L^*$  no instante 180 minutos, para as amostras de algodão, são mais parecidos com o valores de  $L^*$  seco. Já estes valores variam um pouco para a malha de poliamida, causando também manchamento nas amostras.

Tabela 12 – Comparação da coordenada  $L^*$  em diferentes condições.

| <b>Amostra</b> | <b>Líquido</b>  | <b>Secagem</b> | <b><math>L^*</math> [seco]</b> | <b><math>L^*</math> [0 min]</b> | <b><math>L^*</math> [180 min]</b> |
|----------------|-----------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| PA             | Água            | Ambiente       | 61,91                          | 41,01                           | 60,19                             |
| PA             | Água            | Sol            | 61,28                          | 40,54                           | 60,29                             |
| PA             | Água do mar     | Ambiente       | 64,61                          | 40,56                           | 62,38                             |
| PA             | Água da piscina | Ambiente       | 64,52                          | 41,06                           | 63,67                             |
| CO             | Água            | Ambiente       | 78,13                          | 57,52                           | 78,47                             |
| CO             | Água            | Sol            | 78,14                          | 58,41                           | 78,87                             |
| CO             | Urina           | Ambiente       | 79,75                          | 59,56                           | 79,43                             |

Fonte: Autor (2019).



### 5.4.3 Solidez à lavagem

Para o estudo da solidez à lavagem as amostras funcionalizadas foram lavadas uma, cinco e dez vezes, de acordo com a norma NBR ISO 105-C06:2010. A avaliação da alteração da cor foi realizada por meio do espectrofotômetro com o objetivo de retirar a subjetividade da análise. Este método gera um valor que varia entre 1 a 5, sendo 1 o pior e 5 o melhor resultado. Para a análise da alteração da cor, as amostras após a primeira, quinta e décima lavagem foram comparadas com uma amostra padrão, antes de ser lavada. A partir desta comparação, o espectrofotômetro atribui um valor (Tabela 13) de acordo com a variação de cor obtida ( $\Delta E$ ).

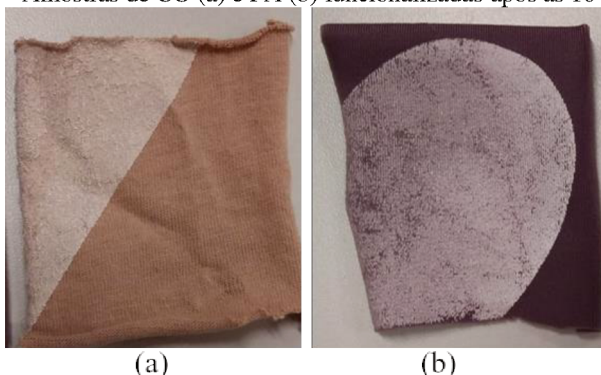
Tabela 13 – Análise de alteração da cor após diferentes ciclos de lavagens.

| <b>Amostra funcionalizada</b> | <b>Lavagem</b> | <b>Valor</b> | <b>Grau</b> |
|-------------------------------|----------------|--------------|-------------|
| CO                            | Primeira       | 4,87         | 5           |
| CO                            | Quinta         | 4,75         | 4 – 5       |
| CO                            | Décima         | 4,57         | 4 – 5       |
| PA                            | Primeira       | 4,41         | 4 – 5       |
| PA                            | Quinta         | 4,05         | 4           |
| PA                            | Décima         | 3,88         | 4           |

Fonte: Autor (2019).

Com os dados obtidos é possível verificar que a amostra de algodão teve um resultado um pouco superior comparada com a amostra de poliamida. No entanto, pode-se afirmar que para ambos os substratos o resultado foi excelente, ou seja, indicam que os materiais hidrocrômicos, após a décima lavagem, continuam presentes nas malhas de algodão e poliamida. Segundo Sánchez, 30% das microcápsulas de diversos materiais permanecem no tecido após 10 lavagens (SÁNCHEZ, 2006). Os resultados obtidos foram, portanto, muito satisfatórios, pois a resistência do agente hidrocrômico foi bastante superior que o observado na literatura. A Figura 23 mostra que o efeito hidrocrômico continua nas amostras em estudo, mesmo após as mesmas serem submetidas a 10 ciclos de lavagens.

Figura 23 – Amostras de CO (a) e PA (b) funcionalizadas após as 10 lavagens.



Fonte: Autor (2019).

#### 5.4.4 Solidez à fricção

Os resultados obtidos após a utilização do *crockmeter* para determinação da solidez à fricção também foram avaliados no espectrofotômetro através da alteração de cor (Tabela 14). Os ensaios foram realizados à seco e à úmido e foi avaliado também a amostra antes do ensaio, a qual é considerada como padrão.

Tabela 14 – Análise de alteração da cor após fricção através da escala cinza.

| <b>Amostra funcionalizada</b> | <b>Ensaio</b> | <b>Valor</b> | <b>Grau</b> |
|-------------------------------|---------------|--------------|-------------|
| CO                            | Seco          | 3,85         | 4           |
| CO                            | Úmido         | 3,69         | 3 – 4       |
| PA                            | Seco          | 1,22         | 1           |
| PA                            | Úmido         | 0,80         | 1           |

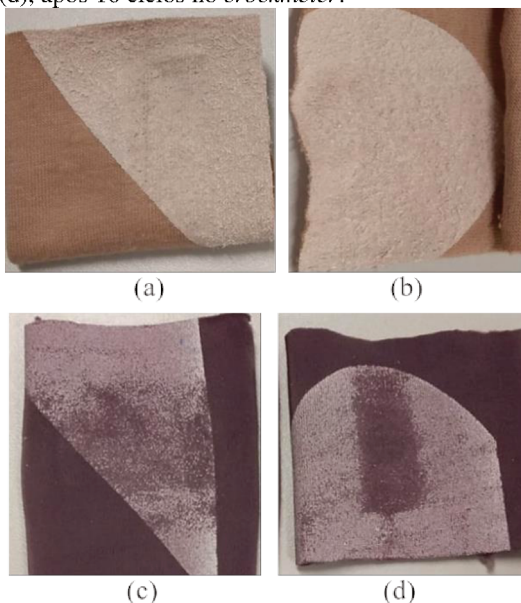
Fonte: Autor (2019).

Para as malhas de algodão se obteve uma melhor resistência a fricção em relação as malhas de poliamida. Após o ensaio de fricção as microcápsulas hidrocrômicas permaneceram na malha de algodão, o que não aconteceu com a malha de poliamida, que teve uma perda significativa, motivo pelo qual receberam nota 1.

Esses resultados podem estar relacionados entre a interação da pasta hidrocrômica e a superfície das fibras, relacionados a aspectos morfológicos e químicos. Quimicamente são fibras completamente distintas, como apresentado no estado da arte. Morfológicamente a

poliamida possui uma estrutura muito lisa, como visualizado anteriormente pela análise de MEV (Figura 19), e neste sentido a pasta pode ter tido dificuldade de aderir nas fibras que compõem a malha. Já o algodão possui uma superfície menos regular, com a presença de estrias, além das próprias fibrilas, o que pode contribuir na preservação do material hidrocromático. As amostras após o ensaio estão ilustradas na Figura 24.

Figura 24 – Malhas funcionalizadas de CO à seco (a) e à úmido (b), e PA à seco (c) e à úmido (d), após 10 ciclos no *crockmeter*.



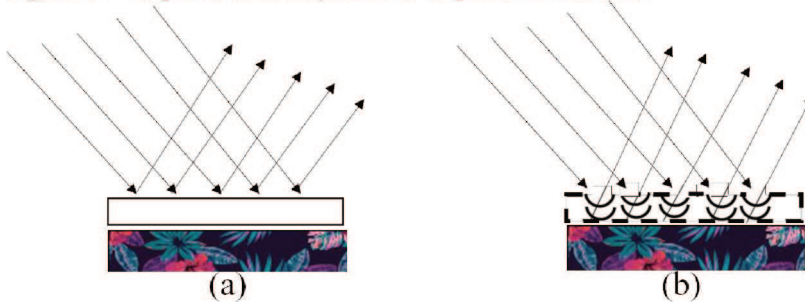
Fonte: Autor (2019).

## 5.5 MECANISMO DE FUNCIONAMENTO DO MATERIAL HIDROCRÔMICO REVERSÍVEL

De acordo com a literatura, a maioria das situações em que se aplicou os materiais hidrocromáticos se deu sobre uma superfície que já tinha uma camada colorida sobre ela, formando, portanto, um fino filme branco que reflete as ondas de luz. Esta camada de pasta impede alcançar a imagem previamente impressa. No momento em que a superfície é molhada com um determinado líquido, o filme usado

adquire um aumento de viscosidade criando “fissuras” que torna permeável a passagem das ondas de luz (efeito de difração), permitindo que as mesmas sejam filtradas, tornando visível a imagem colorida que se encontra por baixo da pasta (FERRARA; BENGISU, 2014). O mecanismo está representado na Figura 25. A Figura 25-a representa a superfície seca, bloqueando a visualização do desenho por baixo da pasta, onde as ondas de luz refletidas são apenas brancas. A Figura 25-b ilustra a superfície molhada, permitindo a visualização do desenho por baixo da pasta, devido a alteração da viscosidade da mesma.

Figura 25 – Esquema da alteração de cor da pasta hidrocrômica



Fonte: Autor (2019).

## 6 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Na última etapa deste trabalho de conclusão de curso foi proposto o desenvolvimento de dois produtos a partir das matérias-primas estudadas, funcionalizadas com agentes hidrocrômicos. O intuito é estimular o desenvolvimento de novas aplicações que podem ocorrer a partir deste TCC.

### 6.1 ROUPAS ÍNTIMAS INFANTIL

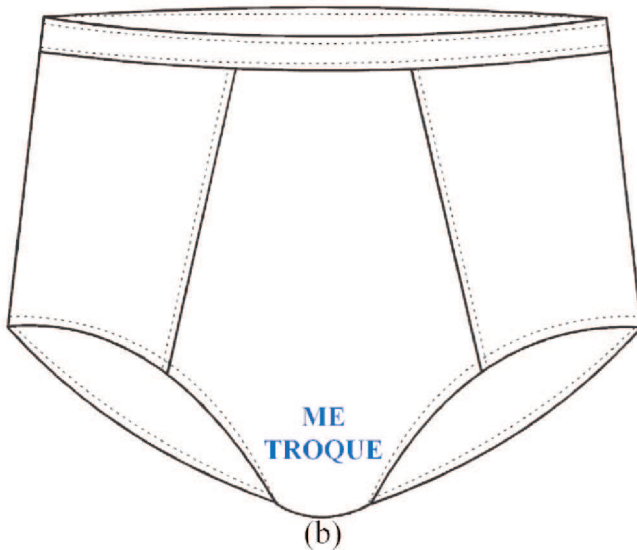
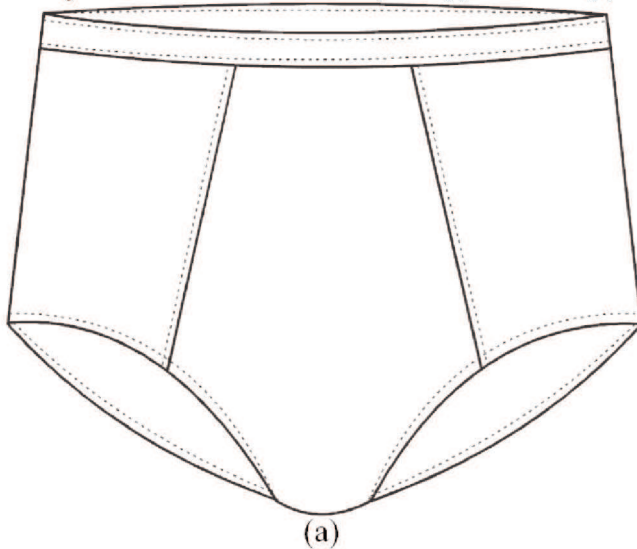
O primeiro produto sugerido é uma calcinha/cueca infantil de CO. Este produto é muito interessante para crianças que estão em fase de desfraldar, ou seja, para crianças que estão começando a parar de urinar na fralda. O objetivo é que assim que a estampa apareça, automaticamente indique que a criança urinou. Isto facilita as mães saberem quando a criança está molhada e assim, saber que é a hora de trocar a peça íntima. A Figura 26 representa uma ficha técnica básica do produto e a Figura 27 representa o desenho gráfico da peça.

Figura 26 – Ficha técnica de calcinha interativa hidrocrômica.

| <b>FICHA TÉCNICA</b>   |  |
|--|--|
| REFERÊNCIA: RII 2020/001   |  |
| Nome do produto: Calcinha interativa   |  |
| Coleção: Primavera/Verão 2020  |  |
| Segmento: Roupas Íntimas Infantis  |  |
| Composição: Algodão (CO)   |  |
| Grade infantil: PP, P, M, G e GG   |  |
| <b>MÉTODO</b>  |  |
| Estamparia por quadro manual com pasta de estampar com cor e por cima uma camada de pasta hidrocrômica branca. |  |

Fonte: Autor (2019).

Figura 27 – Peça íntima infantil hidrocromática, seca (a) e malhada (b).



Fonte: Autor (2019).

## 6.2 ROUPAS DE BANHO

O segundo produto proposto foi o desenvolvimento de roupas de banho, como biquínis, maiôs, sungas, na composição de PA. Quando a pessoa entra no mar ou na piscina o desenho previamente realizado com a pasta hidrocrômica irá desaparecer; quando a peça estiver seca, a estampa retorna a aparecer. Sua aplicação é voltada a estética do produto, exclusividade, design diferenciado, atrativo e interativo. A Figura 28 representa uma ficha técnica básica do produto e Figura 29 representa o desenho gráfico de uma peça de banho.

Figura 28 – Ficha técnica maiô interativo hidrocrômico.

| <b>FICHA TÉCNICA</b>  |  |  |
|---|--|--|
| REFERÊNCIA: MP 2020/001                                     | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Frente</p>  <p>Estampa</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Costas</p>  <p>Costura</p> </div> </div> |  |
| Nome do produto: Maiô interativo                            |  |  |
| Coleção: Verão 2020   |  |  |
| Segmento: Moda Praia  |  |  |
| Composição: Poliamida (PA)                                  |  |  |
| Grade adulto: PP, P, M, G e GG                              |  |  |
| <b>MÉTODO</b>   |  |  |
| Estamparia por quadro manual com pasta hidrocrômica branca. |  |  |

Fonte: Autor (2019).

Figura 29 – Maiô hidrocrômico, seco (a) e molhado (b).



Fonte: Autor (2019).

### 6.3 INTERDISCIPLINARIDADE

Com este trabalho de conclusão de curso foi possível estudar e aplicar conceitos aprendidos durante a graduação em Engenharia Têxtil, relacionando conceitos de Polímeros e Fibras I e II, Tecnologia de Malharia I e II, Tecnologia de Beneficiamento II e III, Estamparia, Ciência das Cores, Representação Técnica do Vestuário e Controle de Qualidade, aos têxteis supracitados, referentes aos fenômenos crômicos, com ênfase nos hidrocrômicos.



## 7 CONCLUSÃO

A partir deste trabalho de conclusão de curso pode-se verificar a importância dos têxteis inteligentes e funcionais no desenvolvimento de novos produtos. Com os dados coletados foi contextualizado diversos materiais inteligentes, principalmente os crômicos, como termocrômico e fotocrômico. Entretanto, a ênfase deste trabalho foi dada as pastas com agentes hidrocromicos aplicados em dois substratos fibrosos, nomeadamente malhas de algodão e malhas de poliamida.

Com a realização deste trabalho pode-se utilizar técnicas como MEV para verificar o tipo de estrutura têxtil e analisar o comportamento da pasta sobre a superfície das malhas. A técnica de DSC foi utilizada para determinar a composição das fibras, confirmando se tratar de um algodão e de uma poliamida 6.

Também se verificou que é possível funcionalizar malhas de algodão e poliamida por meio do método de estamperia por quadro manual. Esta funcionalização foi eficiente, fazendo com que o material seja funcionalizado e que cumpra com o seu objetivo, que é o de alteração da cor por meio de um agente líquido.

O mecanismo de alteração de cor ocorreu adequadamente para os quatro tipos de líquidos estudados, água, água do mar, água de piscina e urina. Para estes líquidos, as amostras funcionalizadas voltaram a sua cor original. A malha na composição de poliamida não apresentou uma boa uniformidade nos resultados, podendo ser explicado pela interação da pasta hidrocromica com a classe de corante ou até mesmo em relação a morfologia da própria fibra.

Os resultados de solidez à lavagem foram muito satisfatórios para ambas as composições, obtendo uma avaliação com grau de 4-5. Com relação a solidez à fricção, a avaliação da cor para as malhas de poliamida não foi promissora, apresentando um grau 1, indicando que é necessário futuramente realizar um estudo mais detalhado para este substrato, enquanto que o algodão apresentou um grau de 3-4. Globalmente pode-se afirmar que a malha de algodão apresentou resultados mais satisfatórios após a funcionalização.

Por fim, tentou-se explicar o mecanismo de alteração da cor a partir da utilização de agentes hidrocromicos. No instante em que a pasta hidrocromica é molhada, a sua viscosidade se altera, permitindo que as ondas de luz sejam filtradas, tornando visível a imagem colorida que se encontra por baixo da pasta.

## 8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho de conclusão de curso, pode-se citar sugestões para pesquisas futuras.

- a) Estudar a funcionalização dos substratos têxteis por outras técnicas, como, tingimento por esgotamento e impregnação por *foulard*;
- b) Potencializar a durabilidade dos agentes hidrocromicos sobre as superfícies têxteis, diminuindo o manchamento sobre substratos de poliamida;
- c) Estudar a aplicação dos agentes hidrocromicos sobre tecidos planos;
- d) Estudar o desenvolvimento de aplicação de agentes hidrocromicos em escala industrial;
- e) Estudar o desenvolvimento de agentes hidrocromicos reversíveis em outras cores, diferente de branco.

## REFERÊNCIAS

ALBRECHT, Wilhelm; FUCHS, Hilmar; KITTELMANN, Walter (Ed.). **Nonwoven fabrics: raw materials, manufacture, applications, characteristics, testing processes**. John Wiley & Sons, 2006.

ASHTON MORAN. Publicado em 19 de novembro de 2015. Disponível em: <<https://gdblogs.shu.ac.uk/b4027225/2015/11/19/hydrochromic-ink/>>. Acessado em 25 de abril de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO - ABIT. Publicado em 16 outubro de 2017. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/noticias/iaf-sessoes-especiaisum-mergulho-no-mundo-do-algodao>>. Acessado em 25 de maio de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10591**: Materiais têxteis - Determinação da gramatura de superfícies têxteis. Rio de Janeiro, p. 1-8, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12060**: Materiais têxteis - Determinação do número de carreiras/cursos e colunas em tecidos de malha - Método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 1-2, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 105-C06**: Têxteis – Ensaio de solidez da cor. Parte C06: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial. Rio de Janeiro, p. 1-14, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 105-X12**: Têxteis – Ensaio de solidez da cor. Parte X12: Solidez a cor à fricção. Rio de Janeiro, p. 1-9, 2019.

BEAUPRÉ, Serge; DUMAS, Jean; LECLERC, Mario. Toward the development of new textile/plastic electrochromic cells using triphenylamine-based copolymers. **Chemistry of materials**, v. 18, n. 17, p. 4011-4018, 2006.

BEHERA, Jagadananda et al. Smart Chromic Colorants Draw Wide Attention for the Growth of Future Intelligent Textile

Materials. **Journal of Advanced Research in Manufacturing, Material Science & Metallurgical Engineering**, v. 1, n. 2, p. 89-119, 2014.

BILISIK, Kadir; KARADUMAN, Nesrin Sahbaz; BILISIK, Nedim Erman. 3D fabrics for technical textile applications. In: **Non-woven Fabrics**. IntechOpen, 2016.

CAMARGO, Marcelo de. Estudos preliminares sobre a produção de nanocelulose a partir de algodão "Never Dried" utilizando hidrólise enzimática seguida de sonicação com ultrassom. 2010.

CHEREM, Luiz Felipe Cabral. Um modelo para a predição da alteração dimensional em tecidos de malha de algodão. 2004.

CHOWDHURY, M. A.; JOSHI, M.; BUTOLA, B. S. Photochromic and thermochromic colorants in textile applications. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 9, n. 1, p. 155892501400900113, 2014.

DEOPURA, B. L. et al. Polyesters and Polyamides. Woodhead publishing, 2008.

ĐURĐEVIĆ, Stefan et al. The development of novel smart packaging labels and mobile application for protection, information and identification of product shelf life. **Acta graphica: znanstveni časopis za tiskarstvo i grafičke komunikacije**, v. 26, n. 4, p. 35-41, 2015.

FERRARA, Marinella; BENGISU, Murat. Intelligent design with chromogenic materials. **JAIC-Journal of the International Colour Association**, v. 13, 2014.

FERRARA, Marinella; BENGISU, Murat. Materials that change color. In: **Materials that Change Color**. Springer, p. 9-60. Cham, 2014.

FERREIRA, A.; FERREIRA, F. N.; OLIVEIRA, F. R. Têxteis Inteligentes--Uma breve revisão da literatura. n. July 2015, 2014.

GRAND VIEW RESEARCH. Publicado em março de 2019. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-textiles-industry>>. Acessado em 23 de abril de 2019.

GRAND VIEW RESEARCH. Publicado em março de 2019. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-smart-textiles-industry>>. Acessado em 23 de abril de 2019.

GUPTA, Bhupender S. **Friction in textile materials**. Elsevier, 2008.

HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash C. (Ed.). **Handbook of technical textiles**. Elsevier, 2000.

HOUCK, Max M. **Identification of textile fibers**. Elsevier, 2009.

KLATA, E.; VELDE, Kathleen van de; KRUCIŃSKA, I. DSC investigations of polyamide 6 in hybrid GF/PA 6 yarns and composites. **Polymer testing**, v. 22, n. 8, p. 929-937, 2003.

KUMAR, R. Senthil. **Textiles for industrial applications**. CRC Press, 2016.

LOBO, Thiago Moreira. **Design de superfície: um estudo sobre a aplicação de materiais inteligentes na estamparia têxtil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015.

MAL, Prithwiraj; IQBAL, Shakeel. Chromic Materials in Textiles. **BS Publications**, p. 557, 2014.

MATHER, Robert R.; WARDMAN, Roger H. **The chemistry of textile fibres**. Royal Society of Chemistry, 2015.

MATTILA, Heikki et al. **Intelligent textiles and clothing**. Woodhead Publishing, 2006.

NELSON, Gordon. Application of microencapsulation in textiles. **International journal of pharmaceutics**, v. 242, n. 1-2, p. 55-62, 2002.

NOVINSON, Thomas. **Reversible thermochromic pigments**. U.S. Patent n. 5,480,482, 2 jan. 1996.

NUNES FILHO, F. R. M. Propriedades mecânicas das fibras de algodão usadas na indústria de fiação open end para fabricação de tecido denim: estudo de caso das indústrias do Ceará. In: **Xv congresso brasileiro de engenharia mecânica**. 1999.

OHTA, Noboru; ROBERTSON, Alan. **Colorimetry: fundamentals and applications**. John Wiley & Sons, 2006.

OLIVEIRA, Maria Helena de. Principais matérias-primas utilizadas na indústria têxtil. 1997.

OLIVETE, A. L. Publicado em 16 de abril de 2014. Disponível em: <<https://www.audaces.com/formas-de-construcao-dos-tecidos-usados-no-vestuario-2/>>. Acessado em 23 de maio de 2019.

PAN, Ning; SUN, Gang. **Functional textiles for improved performance, protection and health**. Elsevier, 2011.

PARK, S.; JAYARAMAN, S. Smart textiles: Wearable electronic systems. **MRS bulletin**, v. 28, n. 8, p. 585-591, 2003.

PICARD, Rosalind W.; HEALEY, Jennifer. Affective wearables. **Personal Technologies**, v. 1, n. 4, p. 231-240, 1997.

PIWEK, L., ELLIS, D. A., ANDREWS, S. e JOINSON, A. The rise of consumer health wearables: promises and barriers. **PLoS Medicine**, v. 13, n. 2, p. e1001953, 2016.

RANA, Soheli; FANGUEIRO, Raul. **Braided structures and composites: production, properties, mechanics, and technical applications**. CRC Press, 2015.

SÁ, Christiane Siqueira de Azevedo. **Desenvolvimento de um material têxtil termosensível com micro/nanocápsulas imobilizadas em fibras regeneradas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2015.

SALEM, Vidal. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. **São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia**, v. 2010, 2010.

SÁNCHEZ, José Cegarra. Têxteis inteligentes. **Revista Química Têxtil**, v. 82, 2006.

SCOTT, Richard A. **Textiles for protection**. Elsevier, 2005.

ANGHINON, M. Publicado em 16 de novembro de 2011. Disponível em: <<http://sellerink.com.br/blog/?tag=cielab>>. Acessado em 14 de julho de 2019.

SILVA, M.; MARTINS, I. M.; BARREIRO, M. F.; DIAS, M. M.; RODRIGUES, A. E. **Functionalized textiles with PUU/limonene microcapsules: effect of finishing methods on fragrance release**. The Journal of The Textile Institute, v. 108, n. 3, p. 361-367, 2017.

SMITH, William C. **Smart textile coatings and laminates**. Elsevier, 2010.

SOUZA, Clara Silvestre de. **Variação de temperatura e umidade e suas influências nas características físicas e mecânicas dos fios de algodão**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2011.

SOUZA, F. A. de; PACHECO, N. M. R. de A. C. Funcionalização de materiais têxteis. *Revista Icônica*, vol. 2, n. 1, 2016.

SPENCER, D. **Knitting technology - a comprehensive handbook and practical guide**. Woodhead Publishing Limited, Cambridg, England, 2001.

STOPPA, Matteo; CHIOLERIO, Alessandro. Wearable electronics and smart textiles: a critical review. **Sensors**, v. 14, n. 7, p. 11957-11992, 2014.

SCHUEREN, Lien van der et al. Novel cellulose and polyamide halochromic textile sensors based on the encapsulation of Methyl Red into a sol-gel matrix. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 162, n. 1, p. 27-34, 2012.

VIEIRA, Liliana Bellio. **A estampaia têxtil contemporânea: produção, produtos e subjetividades.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.

VIK, Michal; PERIYASAMY, Aravin Prince. **Chromic Materials: Fundamentals, Measurements, and Applications.** CRC Press, 2018.

WAKELYN, Phillip J. et al. **Cotton fiber chemistry and technology.** CRC Press, 2006.

XIA, Zhigang; YAO, Cui'e; ZHOU, Jinhui; YE, Wenxiang and XU, Weilin. Comparative study of cotton, ramie and wool fiber bundles' thermal and dynamic mechanical thermal properties, *Textile Research Journal*, 2018.

YAMANE, Laura Ayako. **Estampaia têxtil.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2008.

YATES, S. J. **Structural and Smart Materials Analysis in Responsive Architectural and Textile Mechanical Applications.** Tese de Doutorado em Dalhousie University Halifax, Nova Scotia. June 2012.

ZHU, Ping et al. A study of pyrolysis and pyrolysis products of flame-retardant cotton fabrics by DSC, TGA, and PY-GC-MS. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 71, n. 2, p. 645-655, 2004.