

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

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO  
PROCESSO DE TINGIMENTO DE FIBRA MISTA  
ACRÍLICO / ALGODÃO EM BOBINA CRUZADA**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de  
Santa Catarina, como requisito à obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Química.**

**Catia Rosana Lange**

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza  
**Co-orientador:** Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza

Florianópolis SC, Dezembro de 2004.

*“A mente que se abre a  
uma nova idéia jamais voltará ao  
seu tamanho original.”*

*Albert Einstein*

*Ao meu filho Rafael Schroeder com muito amor.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde física e mental e por sempre iluminar o meu caminho, fazendo com que minhas buscas não sejam em vão.

Aos meus pais, Hadvig e Anelise Lange, pelo amor, apoio, incentivo e dedicação que contribuíram para o sucesso de mais uma etapa da minha vida.

Ao meu grande companheiro, Mauro Celso de Aguiar, pelo carinho, compreensão, dedicação e cumplicidade em todos os momentos.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dra. Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza e o meu co-orientador Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza, por sua dedicação, compreensão e conhecimentos transmitidos no decorrer do trabalho.

À minha amiga Sheila Cristini Pinheiro da Costa, pela grande ajuda nos trabalhos experimentais e pela amizade.

À pesquisadora do LABMASSA, Dra. Heloísa de Lima Brandão, pela valiosa ajuda na parte experimental.

Ao Edevilson Silva, pela colaboração ao longo de todo o curso.

Aos meus grandes amigos e companheiros de curso, Rolf Twardokus, Neseli Dolzan e Dinae Karine Weiler, pela força transmitida uns aos outros e, sobretudo, pela amizade.

À empresa FIOBRAS Ltda, pelo apoio na obtenção dos dados experimentais.

## ÍNDICE GERAL

|  |    |
|--|----|
| LISTA DE TABELAS .....   | 9  |
| LISTA DE FIGURAS .....   | 11 |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....                                    | 16 |
| CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                         | 20 |
| 2.1 – Compostos que integram um sistema de tingimento .....      | 20 |
| 2.2 – Teoria do Tingimento .....                                 | 21 |
| 2.2.1 – O Processo de Tingimento .....                           | 23 |
| 2.2.2 – Corante e Fibras – o que faz com que se unam? .....      | 23 |
| 2.2.3 – Teorias de Tingimento .....                              | 24 |
| 2.2.4 – Ciência da Cor .....                                     | 24 |
| 2.2.5 – Ciência do Tingimento .....                              | 25 |
| 2.2.5.1 – Mecanismo .....  | 25 |
| 2.2.5.2 – Estado de equilíbrio .....                             | 26 |
| 2.2.5.3 – Cinética do tingimento .....                           | 27 |
| 2.2.5.4 – Isotermas de adsorção .....                            | 28 |
| 2.2.5.5 – Equipamentos para tingimento .....                     | 30 |
| 2.2.6 – Tingimento de Fio em Bobinas .....                       | 31 |
| 2.2.6.1 – Velocidade de fluxo de banho através das bobinas ..... | 33 |
| 2.2.6.2 – Relação de banho .....                                 | 33 |
| 2.2.6.3 – Suportes para o tingimento de fio em bobina .....      | 34 |
| 2.2.6.4 – Densidade do empacotamento da bobina .....             | 35 |
| 2.2.6.5 – Equipamentos para tingimento de fio em bobina .....    | 36 |
| 2.3 – Aplicação Prática dos Corantes às Fibras .....             | 38 |
| 2.3.1 – Corantes para Fibras Protéicas .....                     | 39 |

|   |           |
|---|-----------|
|   | 6         |
| 2.3.2 – Corantes para Fibras Hidrófobas .....             | 40        |
| 2.3.3 – Corantes para Poliamidas .....                    | 41        |
| 2.3.4 – Pigmentos .....                                   | 42        |
| 2.3.5 – Corantes Básicos .....                            | 42        |
| 2.3.6 – Corantes para Fibras Celulósicas .....            | 43        |
| 2.4 – Algodão .....                                       | 46        |
| 2.4.1 – Produção .....                                    | 47        |
| 2.4.2 – Estrutura Química e Morfologia .....              | 48        |
| 2.4.2.1 – Microscopia .....                               | 49        |
| 2.4.2.2 – Comprimento .....                               | 51        |
| 2.4.2.3 – Tipo .....                                      | 53        |
| 2.4.2.4 – Maturidade .....                                | 54        |
| 2.4.2.5 – Resistência .....                               | 56        |
| 2.4.2.6 – Finura .....                                    | 56        |
| 2.4.2.7 – Porosidade .....                                | 57        |
| 2.4.2.8 – Estabilidade Dimensional .....                  | 57        |
| 2.4.2.9 – Efeito dos Álcalis .....                        | 57        |
| 2.4.2.10 – Efeito dos Ácidos .....                        | 57        |
| 2.5 – Estudos Relacionados a Tingimentos .....            | 58        |
| <b>CAPÍTULO 3 – MATERIAL, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTO</b> | <b>61</b> |
| <b>EXPERIMENTAL.....</b>                                  |           |
| 3.1 – Equipamentos e Procedimentos Experimentais .....    | 61        |
| 3.1.1 – Equipamento para Fabricação do Fio .....          | 61        |
| 3.1.2 – Equipamento para Tingimento do Fio .....          | 63        |
| 3.2 – Determinação da Cinética de Tingimento .....        | 65        |
| 3.3 – Tingimentos Realizados .....                        | 67        |
| 3.3.1 – Tingimento 1 .....                                | 67        |
| 3.3.2 – Tingimento 2 .....                                | 70        |
| 3.3.3 – Tingimento 3 .....                                | 72        |
| 3.3.4 – Tingimento 4 .....                                | 74        |
| 3.3.5 – Tingimento 5 .....                                | 77        |
| 3.3.6 – Tingimento 6 .....                                | 79        |

|   |           |
|---|-----------|
|   | 7         |
| 3.3.7 – Tingimento 7 .....  | 82        |
| 3.3.8 – Tingimento 8 .....  | 85        |
| 3.3.9 – Tingimento 9 .....  | 85        |
| 3.3.10 – Tingimento 10 .....  | 85        |
| 3.3.11 – Tingimento 11 .....  | 85        |
| 3.3.12 – Tingimento 12 .....  | 86        |
| 3.3.13 – Tingimento 13 .....  | 86        |
| 3.4 - Dados Operacionais e geométricos empregados nos processos de tingimento .....   | 86        |
| 3.5 – Controle de retirada de Amostras ao Longo da Bobina .....   | 87        |
| 3.6 – Determinação da Intensidade de Cor das Amostras .....   | 88        |
| 3.7 – Análise da retração / expansão das fibras de acrílico e algodão .....   | 89        |
| <b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>90</b> |
| 4.1 – Determinação do Perfil de Concentração para o Tingimento da Fibra de Acrílico e da Fibra de Algodão – Escala Piloto e de Produção ..... | 90        |
| 4.1.1 – Determinação da cinética de tingimento para o corante básico .....  | 92        |
| 4.1.2 – Determinação da cinética de tingimento para o corante reativo .....   | 93        |
| 4.2 – Resultados Obtidos Nos Tingimentos 1 a 13 .....   | 94        |
| 4.2.1 – Resultados Obtidos com o Tingimento 1 .....   | 98        |
| 4.2.2 – Resultados Obtidos com o Tingimento 2 .....   | 99        |
| 4.2.3 – Resultados Obtidos com o Tingimento 3 .....   | 101       |
| 4.2.4 – Resultados Obtidos com o Tingimento 4 .....   | 102       |
| 4.2.5 – Resultados Obtidos com o Tingimento 5 .....   | 104       |
| 4.2.6 – Resultados Obtidos com o Tingimento 6 .....   | 106       |
| 4.2.7 – Resultados Obtidos com o Tingimento 7 .....   | 108       |
| 4.2.8 – Resultados Obtidos com o Tingimento 8 .....   | 110       |
| 4.2.9 – Resultados Obtidos com o Tingimento 9 .....   | 111       |
| 4.2.10 – Resultados Obtidos com o Tingimento 10 .....   | 113       |
| 4.2.11 – Resultados Obtidos com o Tingimento 11 .....   | 114       |
| 4.2.12 – Resultados Obtidos com o Tingimento 12 .....   | 116       |
| 4.2.13 – Resultados Obtidos com o Tingimento 13 .....   | 118       |
| 4.3 – Interpretação dos Tingimentos de Fios Mistos de Acrílico e Algodão  |           |

|  |     |
|--|-----|
|  | 8   |
| com Corantes Básicos e Reativos: C.I. Yellow Basic 28, C.I. Yellow Reactive 145 e C.I. Yellow Reactive 160 ..... | 120 |
| 4.3.1 – Análise dos Tingimentos 1, 8 e 9 .....   | 120 |
| 4.3.2 – Análise dos Tingimentos 4 e 5 .....  | 122 |
| 4.3.3 – Análise dos Tingimentos 6 e 11 .....   | 123 |
| 4.3.4 – Análise dos Tingimentos 7 e 10 .....   | 124 |
| 4.3.5 – Análise dos Tingimentos 12 e 13 .....  | 126 |
| 4.4 – Análise da retração / expansão das Fibras de Acrílico e Algodão .....                                      | 126 |
| 4.5 – Considerações Finais .....   | 127 |
| CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....  | 129 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 132 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Principais Desenvolvimentos na História do Tingimento .....  | 22 |
| Tabela 2 – Velocidade de Fluxo para Diferentes Fibras .....   | 33 |
| Tabela 3 – Tipo de Fibra e Tipo de Corante .....  | 39 |
| Tabela 4 – Metais Presentes no Algodão .....  | 49 |
| Tabela 5 – Comprimento, Títulos e Processos de Fiação de Algodão .....  | 51 |
| Tabela 6 – Classificação do Algodão Segundo o Tipo .....  | 53 |
| Tabela 7 – Algodão Paulista .....   | 54 |
| Tabela 8 – Algodão Seridó e Sertão .....  | 54 |
| Tabela 9 – Composição da Fibra de Algodão .....   | 56 |
| Tabela 10 – Informação técnica dos corantes empregados nos tingimentos .....  | 64 |
| Tabela 11 – Amostras para determinação da cinética dos tingimentos das fibras<br>de acrílico com corante básico e das fibras de algodão com corante reativo . | 66 |
| Tabela 12 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no<br>Tingimento 1 .....   | 68 |
| Tabela 13 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no<br>Tingimento 2 .....   | 70 |
| Tabela 14 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no<br>Tingimento 3 .....   | 73 |
| Tabela 15 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no<br>Tingimento 4 .....   | 75 |
| Tabela 16 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no<br>Tingimento 5 .....   | 78 |
| Tabela 17 – Características e Quantidades dos Compostos empregados nos  |    |

|   |     |
|---|-----|
|   | 10  |
| Tingimentos 6 e 7 .....   | 81  |
| Tabela 18 - Dados operacionais e geométricos empregados no processo de tingimento de fios com o corante básico Yellow 28 e com os corantes reativos Yellow 160 e Yellow 145 ..... | 87  |
| Tabela 19 – Descrição dos pontos ao longo da bobina .....   | 88  |
| Tabela 20 – Processos aplicados nos Tingimentos 1 a 13 .....  | 96  |
| Tabela 21 – Valores da intensidade de cor ao longo da bobina para cada um dos tingimentos .....   | 97  |
| Tabela 22 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 1 .....   | 98  |
| Tabela 23 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 2 .....   | 100 |
| Tabela 24 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 3 .....   | 101 |
| Tabela 25 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 4 .....   | 103 |
| Tabela 26 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 5 .....   | 105 |
| Tabela 27 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 6 .....   | 107 |
| Tabela 28 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 7 .....   | 109 |
| Tabela 29 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 8 .....   | 111 |
| Tabela 30 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 9 .....   | 112 |
| Tabela 31 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 10 .....  | 113 |
| Tabela 32 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 11 .....  | 115 |
| Tabela 33 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 12 .....  | 117 |
| Tabela 34 – pH nas Diferentes Fases do Processo do Tingimento 13 .....  | 119 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Esquema Representativo dos Componentes de um Sistema de Tingimento de Fibras Têxteis, Perkins (1995) ..... | 21 |
| Figura 2 – Esquema Representativo de Tingimento em Bobina .....   | 32 |
| Figura 3 – Suportes para Tingimento .....   | 35 |
| Figura 4 – Tinturaria de Fios Vertical do fabricante de máquinas Indsteel .....                                       | 37 |
| Figura 5 – Processo Típico de Tingimento com Corante Reativo .....  | 45 |
| Figura 6 – Corte Transversal da Fibra de Algodão .....  | 49 |
| Figura 7 – Vista Esquemática da Fibra de Algodão .....  | 50 |
| Figura 8 – Fibras Imaturas de Algodão .....   | 55 |
| Figura 9 – Filatório de Anel utilizado para fabricação de fio singelo.....  | 62 |
| Figura 10 – Retorcedeira utilizada para retorção dos fios .....   | 62 |
| Figura 11 – Equipamento para tingimento de fio em bobina em escala piloto (Obermaier do Brasil Ltda) .....            | 63 |
| Figura 12 – Diagrama Esquemático dos Equipamentos Empregados .....  | 64 |
| Figura 13 – Equipamento de tingimento em escala industrial (Phoenix Ltda) ....  | 65 |
| Figura 14 – Bobina de Fio Misto Acrílico/Algodão .....  | 67 |
| Figura 15 – Conicais Perfurados .....   | 67 |
| Figura 16 – Conical perfurado utilizado nos tingimentos .....   | 68 |
| Figura 17 – Curva do processo do Tingimento 1 (Temperatura versus Tempo)..  | 69 |
| Figura 18 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e lavação (b) .....           | 71 |
| Figura 19 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e lavação (b) .....           | 74 |

|   |     |
|---|-----|
|   | 12  |
| Figura 20 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e pós-alveijamento (b) .....  | 76  |
| Figura 21 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e pós-alveijamento/amaciamento (b) .....  | 79  |
| Figura 22 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento PAC / pré-alveijamento (a) e tingimento CO / lavagem /amaciamento (b) .....                               | 82  |
| Figura 23 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de pré – alveijamento (a), tingimento da fibra de Acrílico (b) e tingimento da fibra de Algodão e amaciamento (c) ..... | 84  |
| Figura24 – Perfil de concentração de corante básico no tingimento da fibra de acrílico .....  | 91  |
| Figura 25 – Perfil de concentração de corante reativo no tingimento da fibra de algodão .....   | 92  |
| Figura 26 – Tingimento com corante básico – piloto e produção .....   | 93  |
| Figura 27 – Tingimento com corante reativo – piloto e produção .....  | 94  |
| Figura 28 – Bobina tingida em escala industrial .....   | 97  |
| Figura 29 – Intensidade de cor ao longo da bobina para os tingimentos relevantes à conclusão do trabalho proposto .....   | 98  |
| Figura 30 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 1 .....   | 99  |
| Figura 31 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 2 .....   | 100 |
| Figura 32 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 3 .....   | 102 |
| Figura 33 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 4 .....   | 104 |
| Figura 34 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 5 .....   | 106 |
| Figura 35 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 6 .....   | 108 |
| Figura 36 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 7 .....   | 110 |
| Figura 37 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 8 .....   | 111 |
| Figura 38 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 9 .....   | 112 |
| Figura 39 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 10 .....  | 114 |
| Figura 40 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 11 .....  | 116 |
| Figura 41 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 12 .....  | 118 |
| Figura 42 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 13 .....  | 120 |

|  |     |
|--|-----|
|  | 13  |
| Figura 43 –Intensidade de cor ao longo da bobina, tingindo somente a fibra de acrílico, variando a circulação de banho .....                 | 121 |
| Figura 44 –Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na seqüência acrílico / algodão / alvejamento – Tingimentos 4 e 5 .....    | 123 |
| Figura 45 – Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na seqüência acrílico / alvejamento / algodão – Tingimentos 6 e 11 .....  | 124 |
| Figura 46 –Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na seqüência alvejamento / acrílico / algodão. Tingimentos 7 e 10 .....    | 125 |
| Figura 47 – Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na seqüência mercerização / acrílico / algodão. Tingimentos 12 e 13 ..... | 126 |

## RESUMO

Neste trabalho são estudadas diferentes condições de tingimento de fios em bobinas da mistura acrílico/algodão, com o objetivo de identificar, através da preparação da fibra de algodão, qual o método mais eficaz de eficiência de intensidade de cor. Também é estudada a interferência da adição de amaciante na diferença de tonalidade ao longo da bobina, principalmente na extremidade interna. São abordados conceitos básicos de tingimento como a teoria do tingimento, cinética do tingimento, tingimento de fios em bobinas, aplicação prática dos corantes às fibras. Neste trabalho foram realizados diferentes tingimentos, onde foi analisada a circulação de banho através da bobina, o tingimento individual da fibra de acrílico, o tingimento individual da fibra de algodão, o tingimento da mistura acrílico / algodão sem alvejamento, o tingimento da mistura acrílico / algodão com alvejamento em diferentes posições – antes do tingimento do acrílico, após o tingimento do acrílico, após o tingimento do algodão, todos com e sem amaciante e finalmente com a bobina mercerizada, também com e sem amaciante. Com os tingimentos realizados, determinaram-se os perfis de concentração do corante básico e do corante reativo, individualmente, tanto em escala piloto como em escala industrial, e os resultados apresentaram excelente concordância, o que permite a utilização da escala piloto para prever as condições a serem obtidas em escala industrial. Para o tingimento das fibras de acrílico, o sentido da circulação de banho não interfere na intensidade de cor ao longo da bobina. O melhor resultado de intensidade de cor foi obtido com as bobinas de fio mercerizado, porém, é necessário analisar a redução de custo de corantes e o custo para a implementação da mercerização no processo têxtil. Em todos os tingimentos, a maior intensidade de cor foi obtida na extremidade interna da bobina. Este fato deve-se à maior velocidade de fluxo no interior da bobina, favorecendo os efeitos convectivos no processo de transferência de massa. Este trabalho gerou várias contribuições à indústria têxtil, onde o processo anterior foi substituído pela seqüência Acrílico / Alvejamento / Algodão, trazendo ganhos com a economia de água e vapor, menor quantidade de efluentes gerados e redução de tempo de processo.

## Abstract

Different conditions of thread dyeing on bobbin of the acrylic/cotton mixture with the purpose of identifying the most effective method of efficiency of color intensity through the preparation of the cotton fiber are studied in this paper. The interference of the addition of softener on the difference of shade throughout the bobbin, mainly in the internal extremity, is also studied. Underlying concepts of dyeing such as the dyeing theory, dyeing kinetics, thread dyeing on bobbin and practical application of dyes on the fibers are covered. Different dyeing baths have been performed in this work, in which the circulation of bath through the bobbin, the individual dyeing of the acrylic fiber, the individual dyeing of the cotton fiber, the dyeing of the acrylic / cotton mixture without bleaching, the dyeing of the acrylic / cotton mixture with bleaching in different positions – before the dyeing of the acrylic, after the dyeing of the acrylic, after the dyeing of the cotton, all of them with and without softener, and finally, with the mercerized bobbin, also with and without softener have been analyzed. After the dyeing baths were performed, the concentration profiles of the basic dyes and of the reactive dyes were determined, both on a pilot basis and on an industrial basis, and the results showed excellent conformity, which allows the use of the pilot basis to predict the conditions to be obtained on industrial basis. In the dyeing of the acrylic fibers the direction of the bath circulation does not interfere in the intensity of the color throughout the bobbin. The best result of color intensity was obtained on the bobbins of mercerized thread. However, it is necessary to analyze the cost reduction of the dyes and for the implementation of mercerizing in the textile process. In all the dyeing baths, the stronger intensity of color was obtained in the internal extremity of the bobbin. This is due to the higher velocity in the inside of the bobbin, contributing with the convective effects in the mass transfer process. This work produced several contributions to the textile industry where the former process was replaced by the sequence Acrylic / Bleaching / Cotton and generated profits with the saving of water and steam, of smaller quantity of effluents, and of reduction of process time.

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A indústria têxtil brasileira tem uma participação histórica e decisiva no processo de desenvolvimento industrial do País. Foi um dos primeiros setores industriais a ser implantado, remontando aos tempos do Império.

O setor encontra-se estruturado com empresas espalhadas por todos os recantos do País, gerando milhões de empregos, sejam eles diretos, na fase de produção fabril, ou indiretos, na produção de matérias-primas e de vários outros insumos. Destaca-se como estimulador da criação de outras indústrias, entre as quais de máquinas têxteis, de fibras artificiais e sintéticas, de embalagens, de auxiliares e de corantes. Não se pode omitir a imensa massa trabalhadora, existente na produção de fibras naturais, na lavoura e na pecuária.

O setor têxtil é formado por cerca de 5.000 empresas, das quais apenas 11% são consideradas de grande porte e 21% de pequeno e médio porte. As microempresas, que atingem 68% do total, representam a grande maioria do setor.

No que concerne à propriedade do capital, o setor têxtil caracteriza-se por ser constituído por empresas de capital nacional, pois 91% delas pertence a grupos brasileiros e apenas 9% são de grupos estrangeiros.

A indústria têxtil catarinense movimentou em exportações, quantias médias correspondentes a 346,16 milhões de dólares, obtendo-se o valor máximo de 423,59 milhões de dólares nas exportações, no ano de 1993, conforme dados da Associação Comercial e Industrial de Blumenau.

A importância do setor têxtil na economia brasileira é imensa, com um faturamento total equivalente a 4,4% do PIB e empregando cerca de 1,9% da população ativa. É um setor com forte impacto social e de extrema relevância para a economia do país.



Pode-se verificar que o mercado têxtil mundial vem registrando uma significativa expansão, tanto no que se refere aos montantes produzidos quanto ao comércio entre os grandes países produtores e consumidores. A partir de 2005, com o término do sistema de quotas para exportação de têxteis para países asiáticos, é provável que o comércio mundial possa apresentar uma expansão ainda maior.

No ano de 2003, o mercado têxtil movimentou, em exportações, a quantia média de 630 mil toneladas de produtos têxteis, entre fibras, filamentos, fios, tecidos, confecções, linhas de costura, etc., a um preço médio de US\$ 2,63 /kg, segundo dados da ABIT.

A atividade têxtil é um dos principais ramos da economia estadual de Santa Catarina, onde se totaliza aproximadamente 300 empresas do ramo. O maior pólo têxtil do Estado situa-se principalmente entre as regiões de Blumenau, Brusque, Joinville e Jaraguá do Sul, onde empresas como Hering, Büettner, Coteminas, Teka, Marisol, Malwee, Menegotti, Karsten, etc. respondem por grande porcentagem da produção nacional.

No que tange aos recursos humanos, a indústria têxtil é o quinto maior empregador de mão-de-obra na indústria de transformação, sendo que este percentual sobe em 15% quando se agrega o setor de confecção.

Os gastos com pesquisa e desenvolvimento realizados pelas empresas do setor têxtil são reduzidos quando comparados com os realizados por indústrias de outros setores. Isto significa que as inovações tecnológicas na área têxtil são de natureza incremental (não alteram fundamentalmente o processo de fabricação), e são geradas predominantemente em outros setores industriais.

Recentemente a indústria têxtil tem mostrado uma forte preocupação com a redução das fontes contaminantes e com a reutilização da água. Com esta preocupação, o desenvolvimento de novos processos de tingimento vem fazendo-se necessário.

O tingimento é um processo que tem por finalidade a fixação de corantes sobre a fibra para conferir-lhe cor. É praticado desde os primórdios, porém sua industrialização data apenas do final do século XIX, deixando de ser uma arte, para tornar-se uma tecnologia avançada.

O processo de tingimento têxtil é caracterizado pela atração entre o corante e as fibras têxteis; esta atração natural promove a transferência do corante desde o banho até a

fibra. A intensidade desta atração depende da interação do par corante/fibra, que determina as características de solidez do produto final.

As interações entre as fibras têxteis e o banho são determinantes na escolha do corante a ser aplicado. Fibras hidrófilas atraem a água, ocasionando o inchamento da fibra. Este inchamento favorece a difusão do corante para as fibras, possibilitando a utilização de corantes de molécula grande. Já as fibras hidrófobas não sofrem inchamento com a presença de água, sendo neste caso necessária a utilização de corante de molécula pequena. Normalmente estas moléculas apresentam melhores propriedades de solidez, pois difundem até os menores poros.

O tingimento do material têxtil é uma das etapas finais da indústria têxtil, sendo este feito diretamente na malha e no tecido ou sobre os fios.

Os fios podem ser tingidos em meadas ou empacotados em forma de bobinas. O processo de tingimento de fios em bobinas caracteriza-se pela passagem do banho através da bobina de fio. Esta passagem pode ocorrer em qualquer sentido, de dentro para fora ou de fora para dentro, até que o corante tenha sido transferido para a fibra.

A fixação do corante na fibra têxtil está associada à interação fibra/corante, determinando o grau de esgotamento no final do processo. É extremamente importante que em todos os processos de tingimento, o grau de esgotamento seja tal que a solidez final do artigo esteja dentro de normas internacionalmente aceitas e reconhecidas.

O residual de corante, além de estar sendo desperdiçado, gerando perdas econômicas, causa grande impacto no sistema de tratamento de resíduos. Na grande maioria das indústrias têxteis, o efluente gerado pelos resíduos de corante contém elevados níveis de cor e demais compostos, gerando amplos problemas de gerenciamento de efluentes.

A indústria tem se preocupado muito com o desenvolvimento de tecnologias de otimização de processos que visam à redução de desperdícios. Estes desperdícios podem ser tanto da ordem de corantes residuais nos efluentes líquidos como de material têxtil desperdiçado por problemas de qualidade gerados principalmente na tinturaria.

Indústrias que tingem fios em bobinas cruzadas apresentam elevado índice de perdas devido a diferenças de tonalidade entre a extremidade interna e externa da bobina. Principalmente no tingimento de fios mistos de acrílico/algodão este problema é bastante acentuado.

Neste trabalho são estudadas diferentes formas de tingimento de fios em bobinas da mistura acrílico/algodão, com o objetivo de identificar, através da preparação da fibra de algodão, qual o método mais eficaz de eficiência de intensidade de cor. Também é estudada a interferência da adição de amaciante na diferença de tonalidade ao longo da bobina, principalmente na extremidade interna.

Esta dissertação está dividida em vários capítulos, conforme descrito a seguir:

**CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:** Neste capítulo são abordados conceitos básicos de tingimento como a teoria do tingimento, cinética do tingimento, tingimento de fios em bobinas, aplicação prática dos corantes às fibras, algodão e alguns dos principais trabalhos encontrados na literatura que abordaram o assunto de processo de tingimento.

**CAPÍTULO 3 – MATERIAL, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:** Neste capítulo são apresentadas as metodologias experimentais utilizadas para a determinação das melhores condições operacionais em um tingimento de fios mistos de acrílico/algodão em bobina cruzada. É apresentado o procedimento experimental, bem como, os equipamentos utilizados neste trabalho.

**CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos com os experimentos realizados em escala piloto. Também é apresentado o perfil de concentração ao longo do tempo nos tingimentos da fibra de acrílico e da fibra de algodão individualmente, comparando-se os resultados obtidos na escala piloto com os resultados da escala industrial.

**CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES:** Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas nesta dissertação, bem como as sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O tingimento das diversas fibras têxteis envolve a transferência de massa de um ou mais corantes do banho de tingimento para a fibra. A maior parte dos processos de tingimento é reversível, o que implica que as moléculas de corante do banho são transferidas para a fibra, e outras moléculas de corante são desprendidas da fibra, e retornam novamente ao banho. A quantidade de corante na fibra é aumentada com o tempo de tingimento, até que seja alcançada uma proporção constante de moléculas na fibra e no banho, o que significa que o sistema atingiu o estado de equilíbrio. O corante é distribuído entre as fases líquida e sólida devido à afinidade inerente pelas duas fases, segundo Revello (2002).

### **2.1 - Compostos que integram um sistema de tingimento**

Os compostos que integram um sistema de tingimento são: as fibras, a água, o corante e os compostos aditivos, segundo Perkins (1995). Cada um destes quatro componentes pode influenciar ou interagir sobre um ou outro componente do sistema, como mostrado na Figura 1. As interações entre alguns componentes do sistema de tingimento tem sido estudadas em detalhe por diversos pesquisadores, mas em alguns casos estas interações não são bem compreendidas, e o comportamento de alguns componentes do sistema é de difícil predição.

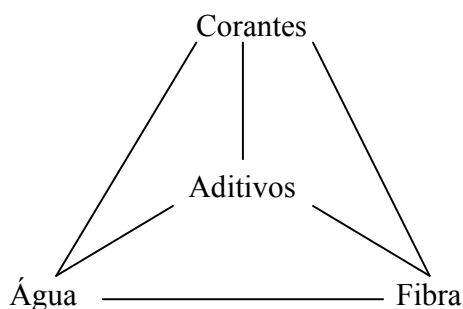


Figura 1 – Esquema representativo dos componentes de um sistema de tingimento de fibras têxteis, Perkins (1995).

## 2.2 – Teoria do Tingimento

Desde os primórdios, a cor tem sido usada em todas as maneiras de decoração. Pinturas coloridas decoravam as paredes das cavernas na França, a mais antiga delas data de cerca de 30.000 anos atrás. Curiosamente, também ficou claro que para se obter a cor exata da pintura, o povo de Lascaux deve ter aquecido os pigmentos naturais a temperaturas superiores a 1000°C.

Segundo Welham (2003), milhares de anos mais tarde, os corantes e pigmentos naturais ainda eram usados para tingir os potes de barro e artigos têxteis. Entre os mais populares corantes vegetais estavam o anil, o açafrão, o garança e o índigo, e exemplos de corantes de origem animal incluíam a cochinha ou Púrpura Tyrian.

No século XVIII foi a França que abriu o caminho para o desenvolvimento da teoria do tingimento. Charles François du Fay de Cisternay foi o primeiro a considerar o tingimento como um fenômeno químico e não puramente físico. Jean Hellot (1685 – 1765) propôs teorias baseadas no aprisionamento dos corantes nos poros da fibra. Pierre Joseph Macquer (1718 – 1784) descobriu que esta não era a história completa e desenvolveu a abordagem física/química de Du Fay e sugeriu que o tingimento era um resultado de uma afinidade particular entre o corante e a fibra. Hellot escreveu um tratado definitivo sobre o tingimento de lã; Macquer fez um trabalho similar sobre a seda, e foi ainda um terceiro, Frenchman, Lê Pileur d'Apigny, quem escreveu *Traité sur part de la teinture sur fil et cotton*.

William Henry Perkin, de forma casual, descobriu o primeiro corante sintético, violeta-claro. Este aluno promissor então imediatamente desistiu de seus estudos e criou uma empresa para a produção do corante violeta-claro. Sua descoberta modificou a história e, nas décadas seguintes, um grande número de corantes foi sintetizado. Esta atividade, principalmente dos químicos ingleses e alemães, deu origem à indústria química orgânica sintética (incluindo produtos farmacêuticos) conhecida atualmente.

Tabela 1 – Principais Desenvolvimentos na História do Tingimento.

| <b><i>PRINCIPAIS DESENVOLVIMENTOS NA HISTÓRIA DO TINGIMENTO</i></b> |  |
|---|--|
| <b>Ano</b>  | <b>Resultado</b>   |
| 1825  | Faraday descobre o benzeno.  |
| 1828  | Whöler sintetiza a uréia (um químico orgânico) a partir de elementos inorgânicos.  |
| 1845  | Hofmann reconhece a significância do alcatrão de carvão como uma rica fonte de químicos orgânicos, incluindo o benzeno, e é indicado para o Royal College of Chemistry.  |
| 1856  | William Henry Perkin, tentando sintetizar o quinino, produziu o violeta-claro (anilina púrpura) – o primeiro corante sintético – e, um ano mais tarde, passa a produzir. |
| 1862  | O primeiro corante azo, Bismark Brown, é feito por Martius na Roberts, Dale and Co.  |
| 1865  | Kekulé elucida a estrutura do benzeno.   |
| 1880  | Baeyer sintetiza o índigo.   |
| 1893  | Os primeiros corantes sulfúricos são produzidos por Vidal.   |
| 1901  | A BASF inicia a produção dos corantes antraquinonas a cuba.  |
| 1911  | Os corantes complexos de metal 1:1 são produzidos pela BASF.   |
| 1934  | Os corantes Phthalocyanine Blue são comercializados pela ICI.  |
| 1956  | Os corantes reativos para fibras são sintetizados pela ICI.  |

Fonte – Welham (2003).

### 2.2.1 – O Processo de Tingimento

De acordo com Harry Sumer em *Theory of Coloration of Textiles*, Welham (2003), “quando uma fibra têxtil é imersa em uma solução de corante em condições adequadas, a fibra se torna colorida, a cor da solução diminui e o tingimento ocorre. O processo não deve ser confundido com saturação, no qual a fibra simplesmente se torna saturada com líquido colorido, e então manchada, enquanto que a concentração do corante na solução permanece inalterada. No primeiro caso há claramente alguma força de comando que causa a transferência do corante da solução para a fibra, e soluções que se comportam desta maneira são chamadas substantivas à fibra em questão”.

O tingimento pode ser visto como um processo aparentemente simples, mas que realmente é muito difícil de explicar. Por que as grandes moléculas ou íons coloridos se transfeririam de uma fase líquida (quase sempre aquosa) para uma fase sólida? Em todos os aspectos isto parece contrariar a segunda lei da Termodinâmica na qual parece ser uma diminuição em entropia (um aumento da ordem das moléculas de corante). A explicação para isso provavelmente está na complexidade de todo o sistema (incluindo a estrutura complexa da própria água). Entretanto, o fato que tal transferência de fase, envolvendo a adsorção de grandes íons ou moléculas de uma fase para outra, ocorra é muito mais compreendido em outros campos.

O tingimento não é apenas um processo físico como a pintura ou outros processos de coloração envolvendo aplicação física de pigmentos. Há dificuldades encontradas no controle das alterações físico-químicas que ocorrem durante o tingimento, de modo a maximizar fatores tais como rendimento da cor, nível de tingimento, penetração, solidez da cor, etc. Portanto há uma vasta gama de sub-tecnologias de auxiliares químicos, especialmente usados na preparação para o tingimento e no próprio processo de tingimento, tais como aditivos e pós-tratamentos.

### **2.2.2 – Corantes e fibras – o que faz com que se unam?**

Não é somente uma simples impregnação da fibra têxtil com o corante que ocorre no processo de tingimento. Um corante é tomado pela fibra como resultado de uma reação química entre eles. Muitos corantes para têxteis são solúveis em água e, como simples eletrólitos, suas moléculas se dividem em íons carregados positiva e negativamente. A tomada do corante pela fibra dependerá da natureza do corante e de seus constituintes químicos. A união corante-fibra mais forte envolve uma ligação covalente com outra interação importante (atração eletrostática) onde o íon de corante e a fibra tem cargas opostas. Em todos os processos envolvendo forças de van der Waals, ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas estão também envolvidas. A força combinada das interações moleculares se refere como a afinidade do corante ao substrato. A substantividade do corante é um termo menos específico, mas pode indicar o nível de exaustão. É a atração entre o substrato e o corante sob condições determinadas, onde o corante é seletivamente extraído de um meio pelo substrato.

### **2.2.3 – Teorias de tingimento**

Muitas das classes de corantes são aplicadas por técnicas que envolvem reações que tornam o corante difícil de ser removido da fibra à qual ele foi aplicado. Isto, portanto, afeta o equilíbrio físico-químico estabelecido durante a adsorção dos corantes nas fibras. Entretanto todos os processos, incluindo corantes naturais históricos e os atuais sintéticos, envolvem, no estágio inicial, pelo menos, a transferência de grandes íons ou moléculas coloridas (ou potencialmente coloridas) de uma fase aquosa para uma fase de fibra sólida.

Um processo de tingimento pode ser convenientemente dividido em três etapas principais: a difusão do corante no banho de tingimento para a superfície da fibra, a adsorção do corante na superfície da fibra; e a difusão do corante da superfície da fibra para o seu interior.



## 2.2.4 – Ciência da cor

O fenômeno da cor é provocado pela absorção diferencial das radiações visíveis, propriedade que possuem as substâncias corantes.

Segundo Araújo e Castro (1987), pode-se considerar a cor como resultante da interação entre o órgão visual, a luz e o objeto. Quanto à luz, as suas características vão naturalmente afetar a sensação obtida. Por outro lado, tem-se que considerar dois tipos de influência do objeto: por reflexão da luz (essencialmente objetos opacos) e por transmissão (essencialmente objetos transparentes).

## 2.2.5 – Ciência do tingimento

### 2.2.5.1 – Mecanismo

Podem-se distinguir dois tipos de processos de aplicação de corantes:

- processos descontínuos, ou por esgotamento;
- processos contínuos, por foulardagem.

a) Nos *processos descontínuos*, o movimento do corante em direção ao interior das fibras é provocado pela chamada substantividade do corante. Podem-se, nestes casos, distinguir as seguintes etapas:

- desagregação dos agregados de corante no banho
- difusão no banho
- absorção superficial na fibra
- difusão na fibra
- fixação

Para que se processem as etapas acima referidas, Araújo e Castro (1987), esclarecem que é essencial que haja agitação mecânica, que a temperatura seja adequada e que o banho possua produtos auxiliares adequados ao sistema corante/fibra.

Um tingimento não deve ser muito rápido, para não provocar falta de uniformidade, que é designada por não igualização, nem muito lento, por ser antieconômico e conduzir a degradação das fibras.

b) Nos *processos contínuos (e semicontínuos)*, o fenômeno da substantividade é indesejável, pois não se pretende que haja esgotamento do banho no balseiro do foulard de impregnação, mas sim que haja uma repartição, o mais uniforme possível, do corante à largura e ao comprimento do tecido.

As etapas neste caso são as seguintes:

- impregnação das fibras com o banho
- compressão para uniformização do banho nas fibras
- tratamentos posteriores adequados que envolvem a difusão do corante no interior da fibra e a fixação.

Tanto nos processos descontínuos como nos contínuos, fica sempre uma quantidade de corante depositado sobre as fibras, mas não fixado, que deve ser eliminado por enxaguamento e, em muitos casos, por tratamentos mais severos, como um ensaboamento ou mesmo um tratamento alcalino redutor. Só assim se consegue reduzir o manchamento na lavagem posterior dos substratos têxteis.

#### **2.2.5.2 – Estado de equilíbrio**

A fixação do corante à fibra é um processo exotérmico, dado pela reação:

Corante na solução → Corante na fibra

A força (potencial químico) que atrai o corante para a fibra é designada por afinidade. A afinidade, assim definida, vai diminuindo à medida que o corante vai se fixando na fibra. Quando se atingir o equilíbrio:

Corante na solução ↔ Corante na fibra

A afinidade atinge um valor nulo, e a fibra não fixa mais corante. Qualquer que seja o sistema corante/fibra atinge-se por esgotamento um estado estacionário de equilíbrio no qual fica sempre uma dada quantidade de corante no banho. Diz-se então que o banho está esgotado.

O estado de equilíbrio é afetado pela temperatura, bem como pela presença de certas substâncias (os sais, com comportamento de eletrólito).

### 2.2.5.3 – Cinética do tingimento

Na tinturaria existe o interesse de atingir-se ou aproximar-se do estado de equilíbrio, porém é de extrema importância controlar-se a velocidade do tingimento.

O controle da velocidade de tingimento pode ser efetuado de diversas formas, entre elas: a variação da temperatura e a utilização de produtos auxiliares.

No que diz respeito à temperatura, é freqüente aumentar gradualmente o seu valor no início do tingimento, para que a velocidade inicial não seja excessiva. Uma forma corrente de quantificar a velocidade de tingimento é através do tempo de meio tingimento, ou seja, o tempo necessário para a fixação de metade da quantidade de corante que se fixa no equilíbrio.

Segundo Cegarra et al. (1981), os coeficientes de difusão aumentam quando a temperatura aumenta. A causa fundamental do incremento da energia cinética dos corantes é que estes se movem com maior rapidez, necessitando de menos tempo para difundir para o interior da fibra.

Outra forma de regular a cinética é através da adição de produtos auxiliares. Assim, no caso de corantes que necessitem de meio ácido ou alcalino para a sua fixação, pode retardar-se o tingimento se não colocar logo de início o ácido ou a base, respectivamente. O mesmo acontece no caso dos corantes cuja fixação seja acelerada pela presença de eletrólitos ou de transportadores (*carriers*).

Em certos sistemas corante/fibra, é mesmo necessária a adição de produtos retardadores, que não vão permitir que o corante se fixe tão rapidamente.

Em qualquer processo de tingimento de uma fibra têxtil estão presentes as etapas a seguir:

- Desagregação das moléculas do corante;
- Difusão de corante no banho em direção à superfície da fibra;
- Absorção do corante na superfície da fibra;
- Difusão do corante dentro da fibra;
- Fixação do corante na fibra (adsorção/reação).

Em muitos processos de tingimento, algumas vezes o corante não é uniformemente fixado, tendo-se um acúmulo de corante em determinadas regiões do substrato têxtil que é tingido, e conseqüentemente obtendo-se baixos níveis de uniformidade. Problemas deste tipo são devidos a uma baixa difusão do corante para a fibra, causada por uma escolha inadequada do corante, ou por condições inadequadas de operação ao longo de um dado processo.

#### 2.2.5.4 – Isotermas de Adsorção

A concentração de corante na fibra e a concentração do corante no banho, a uma dada temperatura, podem ser relacionadas através das isotermas.

- **Isoterma de Nernst**

$$[C]_f = K[C]_s \quad (1)$$

onde  $[C]_f$  e  $[C]_s$  expressam, respectivamente, as concentrações do corante na fibra e no banho de tingimento, e  $K$  é o coeficiente de partição entre a fibra e o banho. A relação entre a concentração de corante na fibra e a concentração de corante na fase líquida é

linear, e finaliza exatamente no ponto de saturação da fibra. Essa isoterma é característica do tingimento do poliéster com corantes dispersos.

- **Isoterma de Freundlich**

$$[C]_f = K[C]_s^x \quad (2)$$

onde K é uma constante, e x é o expoente que é característico do sistema fibra-corante considerado, cujo valor oscila entre 0,5 e 0,8.

- **Isoterma de Langmuir**

Enquanto a isoterma de Freundlich tem uma base empírica, a isoterma de Langmuir é obtida a partir de princípios cinéticos do processo de tingimento. A hipótese principal é que o corante é adsorvido pela fibra em sítios específicos. Como as moléculas vão ocupando os sítios dentro da fibra, a adsorção do corante vai diminuindo com o tempo, devido à saturação da fibra. É suposto que a fibra adsorve uma concentração de corante,  $[C]_f$  (g de corante/kg de fibra), que está em equilíbrio com a concentração de corante no banho de tingimento,  $[C]_s$  (g de corante/L de banho).

Quando todos os sítios da fibra são ocupados pelo corante, a concentração é chamada de concentração de saturação, e é simbolizada por  $[C]_{SAT}$ .

A concentração de corante na fibra em equilíbrio com a concentração de corante no banho é representada:

$$[C]_f = \frac{K[C]_s [C]_{SAT}}{1 + K[C]_s} \quad (3)$$

### - Isoterma de BET

A isoterma de BET é frequentemente usada para estimar a área superficial de um dado adsorvente.

$$[C]_f = \frac{K[C]_{SAT}[C]_r}{(1 + (K - 1)[C]_r)(1 - [C]_r)} \quad (4)$$

onde K é uma constante,  $[C]_{SAT}$  é a concentração de saturação, e  $[C]_r$  é a concentração reduzida definida pela equação abaixo:

$$[C]_r = \frac{[C]_s}{[C]_{SAT}} \quad (5)$$

O termo  $[C]_s$  é a concentração da espécie química na fase líquida (banho de tingimento).

#### 2.2.5.5 – Equipamentos para tingimento

Os equipamentos para tingimento podem ser classificados de acordo com o tipo de material a que se destinam. Assim, pode-se tingir em:

- Quando do fabrico de fibras (tingimento na massa)
- Rama
- Manta de carda ou em mecha
- Fio (em meada ou bobina)
- Tecido (tecido plano, malha, não-tecido, tapete, renda, etc.)
- Artigo confeccionado.

Os equipamentos para tingir (processos descontínuos) devem satisfazer às seguintes condições:

- provocarem agitação suficiente do banho e/ou substrato têxtil de forma que haja penetração uniforme;
- devem dispor de mecanismo para o aquecimento progressivo do banho;
- devem possuir dispositivo de adição, para que o corante seja diluído antes de entrar em contato com a fibra;
- devem ser construídos em material resistente, geralmente aço inoxidável;
- devem ser fechados ou cobertos para evitar as perdas de calor. Se fechados, devem permitir temperaturas superiores a 100°C;
- devem possuir válvulas de entrada e saída para a rápida entrada e saída dos banhos;
- preferencialmente, devem possuir sistema de controle automático do processo, para garantir uniformidade.

### **2.2.6 – Tingimento de Fio em Bobinas**

O tingimento de fio em bobinas dá-se pela passagem de um banho de tingimento através da bobina onde os fios estão empacotados, de forma imóvel. As moléculas de corante são inicialmente dissolvidas em solução, na presença de outros produtos auxiliares. Na transferência de massa do corante do banho para o fio, o tempo de contato entre o fio e o banho de tingimento é uma variável determinante do processo.

De maneira geral, o dispositivo para o tingimento de fio em bobinas consta de um cilindro metálico A, dentro do qual estão em contato uma solução ou banho de tingimento e um substrato têxtil empacotado B, como é mostrado na Figura 2. O banho de tingimento é circulado por meio de uma bomba através das tubulações C e D, de forma alternada nos sentidos I→E e E→I, segundo Cegarra et al. (1992).

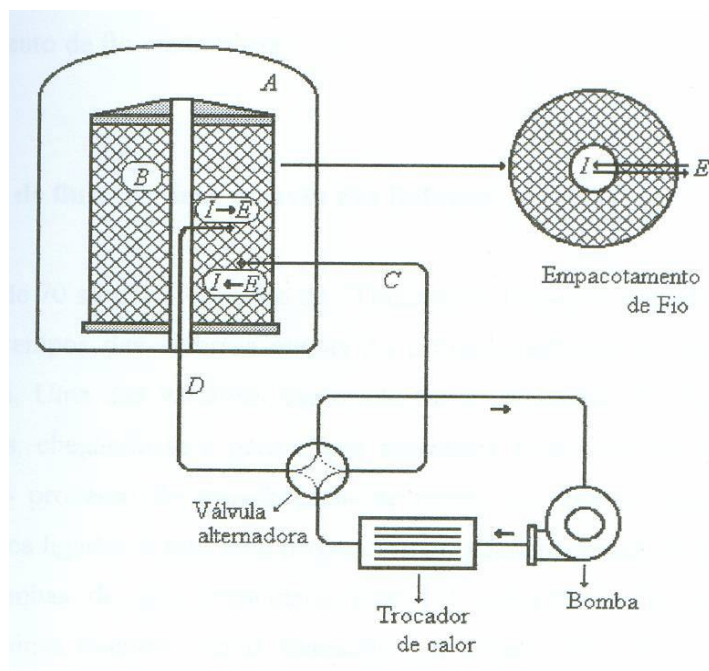


Figura 2 – Esquema representativo de tingimento em bobinas.

Uma das principais dificuldades no tingimento de fio em bobinas é a obtenção de um produto final com características uniformes de cor, que depende da velocidade de fixação do corante sobre a fibra e da circulação do banho de tingimento através do substrato a ser tingido. A velocidade de fixação do corante sobre a fibra depende das características do corante a ser utilizado, do tipo de eletrólito, das temperaturas de cada uma das etapas do processo e da relação de banho, definida pela Equação (6); enquanto que a circulação de solução através da bobina é influenciada pelo tipo de bomba empregada, pela densidade do substrato a ser tingido, pela espessura da bobina e pelo suporte a ser utilizado no processo, (Revello, 2002).

$$\text{Relação de banho (L)} = \frac{\text{massa de banho}}{\text{massa de substrato têxtil}} \approx \frac{\text{volume de banho}}{\text{massa de substrato têxtil}} \quad (6)$$



### 2.2.6.1 – Velocidade de fluxo de banho através das bobinas

O conceito de Tingimento Rápido, surgido na década de 70, teve por base a diminuição dos tempos das diversas etapas do processo. Uma das variáveis exploradas foi a velocidade de fluxo do banho através das bobinas. Foram projetadas grandes máquinas, as quais estavam equipadas com bombas de alta capacidade (até 150 L/kg.min). Estas máquinas tiveram muitas limitações, principalmente relacionadas com a deformação das bobinas pela excessiva pressão para gerar o fluxo (Revello, 2002).

Na Tabela 2 são apresentados valores característicos da velocidade de fluxo para algumas fibras comerciais.

Tabela 2 – Velocidade de fluxo para diferentes fibras.

| <b>Tipo de Fibra</b> | <b>Velocidade do Fluxo (L/kg.min)</b> | <b>Renovação de Banho (ciclos/min)</b> | <b>Pressão na descarga (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------|---------------------------------------|--|---|
| Poliéster            | 42                                    | 5 a 6                                  | 2,5   |
| Rayon                | 33                                    | 4 a 5                                  | 2,1   |
| Algodão              | 33                                    | 4 a 5                                  | 2,1   |
| Acrílico             | 25                                    | 4 a 5                                  | 1,5   |
| Lã                   | 25                                    | 3 a 4                                  | 1,5   |

### 2.2.6.2 – Relação de banho

A relação de banho é a quantidade de banho de tingimento usada por massa de substrato têxtil a ser tingido. Segundo Cegarra et al. (1992), o efeito da relação de banho sobre a uniformidade obtida em um tingimento é bastante significativo, obtendo-se uma percentagem de esgotamento do corante maior para baixas relações de banho. Uma menor quantidade de banho de tingimento em relação à quantidade de fibras a serem tingidas implica em uma menor quantidade de corante, favorecendo o fator de renovação

do banho no reator de tingimento, devido a um maior grau de circulação da solução através das bobinas. Atualmente existe uma grande preocupação, por parte dos fabricantes de equipamentos de tingimento, com a economia de água e energia, como também com a preservação do meio ambiente, produzindo-se grandes equipamentos que operam com baixas relações de banho, Revello (2002).

### **2.2.6.3 – Suportes para o tingimento de fio em bobinas**

No processo de tingimento em autoclave, o fio é enrolado sobre suportes perfurados, dando-se lugar a empacotamentos, através dos quais é realizada uma circulação radial do banho de tingimento. O suporte para o tingimento de geometria cônica foi introduzido no mercado em 1937, e no ano de 1970, foi verificado que aproximadamente 70% do fluxo tendia a vazar pelos espaçamentos livres entre uma bobina e outra, perdendo-se pressão para geração do fluxo e dando-se origem a uma não uniformidade na tonalidade do produto final tingido, segundo Cunningham (1995). Nos processos atuais de tingimento de fio, as bobinas são colocadas em arranjos verticais sobre tubos ou varetas de aço inox, evitando deixar caminhos preferenciais para o fluxo da solução, chegando-se a obter incrementos de até 40% em comparação com os sistemas tradicionais de tingimento, segundo Revello (2002).

Estão disponíveis no mercado suportes de geometrias cilíndricas e cônicas e a sua classificação pode ser feita de acordo com a capacidade de deformação, como: suportes rígidos e elásticos, como pode ser visto na Figura 3. Os suportes rígidos não apresentam uma deformação no decorrer do processo de tingimento e conseqüentemente não absorvem as tensões que são criadas no fio como resultado da contração durante o tratamento a úmido; no entanto, os suportes elásticos apresentam deformações, especialmente durante o processo a úmido, e desta forma absorvem de forma total ou parcial as tensões produzidas durante o processo.



Figura 3 – Suportes para tingimento

#### 2.2.6.4 – Densidade do empacotamento da bobina

A influência da densidade do empacotamento sobre a velocidade do fluxo do banho e sobre o grau de uniformidade na tonalidade da cor, no tingimento de fios de algodão em bobinas com corantes diretos, foi estudada por Yang e Mattison (1997). Através deste estudo, foi concluído que a densidade do empacotamento da bobina está diretamente relacionada com a tensão imposta ao fio durante o processo em bobinamento, com o adensamento e tensão impostos pelas vizinhanças de uma dada região. Uma bobina pode ter diferentes densidades, porque a região interna está em contato com o suporte em uma de suas extremidades, a região intermediária está em contato somente com o fio e a região externa está em contato com o banho de tingimento em uma de suas extremidades. Desta forma, é possível obter um modelo linear que correlaciona a densidade em uma área específica com as tensões em bobinamento nas três subcamadas da bobina, permitindo demonstrar com eficiência o intervalo ótimo de densidade de empacotamento da bobina, com o objetivo de obter-se uma homogeneidade na tonalidade do fio, em toda a sua extensão.

A velocidade do fluxo do banho através das bobinas e a transferência de massa do banho para o fio são influenciados pela densidade de empacotamento da bobina. Segundo Revello (2002), uma não uniformidade na densidade do empacotamento produz um fluxo não uniforme de solução através da seção a ser tingida, obtendo-se diferenças colorimétricas entre as primeiras camadas do fio nas vizinhanças do suporte, camadas intermediárias e camadas externas, sendo uma das causas de diferenças de tonalidade no

fio. Um fio com defeitos de tonalidade quando enviado para o processo subsequente, que é a tecelagem (malharia ou tecelagem plana), dará origem a tecidos com o defeito de “barramento”.

### **2.2.6.5 – Equipamentos para tingimento de fio em bobina**

O tingimento têxtil pode ser efetuado em processos contínuos e descontínuos, e os equipamentos de tingimento descontínuo devem satisfazer às seguintes condições, segundo Salas (1986):

- Provocar uma agitação suficiente do banho ou do substrato têxtil, proporcionando uma penetração uniforme do banho;
- Dispôr de mecanismo para o aquecimento progressivo e uniforme do banho (normalmente este aquecimento é por injeção direta de vapor);
- Possuir um dispositivo para adicionar a solução de corante, de forma que a diluição ocorra antes de haver o contato com o material a ser tingido;
- Possuir válvulas de entrada e saída que permitam a entrada e a evacuação rápida dos banhos.

Uma característica fundamental dos equipamentos de tingimento descontínuo é a relação de banho, que é definida pela quantidade de banho de tingimento usada por unidade de substrato seco a ser tingido. Quanto menor for a relação de banho, menor será o consumo de água e conseqüentemente de energia. Esta relação varia de 1/1 até 1/30, segundo Souza (2004).

A transferência de massa de corante no processo de tingimento de fios em bobinas é efetuada em equipamentos onde o substrato têxtil é imóvel e o banho de tingimento é movimentado através do substrato têxtil a ser tingido.

Comparado com outros processos de produção, no processo de acabamento de fios, o grau de automação é bastante alto. Foram efetuadas inovações e desenvolvimentos no sistema de controle e nos sistemas computacionais, permitindo assim, o monitoramento

e o controle de variáveis que intervêm no processo, o que proporciona melhores planejamentos na produção, conforme Böhringer (1997).

Existem diversos tipos de equipamentos disponíveis no mercado com disposições verticais e horizontais, que estão equipados com sistemas que permitem o monitoramento e controle de velocidade de fluxo do banho de tingimento através do substrato têxtil a ser tingido. O controle da velocidade do fluxo é feito através da manipulação da vazão de descarga fornecida pela bomba de reciclo utilizada no processo, sendo possível também efetuar medidas de outras variáveis relevantes, como pressão diferencial, o pH e a concentração de sal no produto final enxaguado, entre outras, conforme Böhringer (1997).

A pressão diferencial desempenha papel importante e decisivo na obtenção de produtos com tonalidade uniforme. Atualmente a maior parte dos equipamentos para o tingimento de fio em bobinas disponíveis no mercado estão equipados com instrumentos para a medição da pressão diferencial, tendo-se a possibilidade de manipular e controlar esta variável, por meio de válvulas ou reguladores de pressão.

Na Figura 4 pode-se observar uma tinturaria de fios, com máquinas que operam na vertical. A tinturaria representada é do fabricante de máquinas Indsteel.



Figura 4 – Tinturaria de fios vertical do fabricante de máquinas Indsteel

### **2.3 – Aplicação Prática dos Corantes às Fibras**

Para a obtenção das mais diversas cores em substratos têxteis, o homem aprendeu a utilizar os corantes. Até meados do século XIX apenas eram utilizados corantes naturais, e sua nomenclatura era derivada de sua origem. Após o aparecimento dos corantes sintéticos, a nomenclatura dos mesmos também sofreu multiplicações, e para sistematizar esta nomenclatura foi criado o “Colour Index”, espécie de dicionário dos corantes.

Quanto à classificação dos corantes, para a área têxtil, é imprescindível conhecer a aplicação de cada um dos mesmos.

Na Tabela 3, Araújo e Castro (1987), são apresentados os diferentes tipos de corantes, de acordo com sua classificação por utilização, bem como a sua aplicação às diferentes fibras.

Tabela 3 – Tipo de Fibra e Tipo de Corante.

| Tipo de Fibra →   | Protéica<br>(Lã,<br>Seda) | Celulósica<br>(algodão,<br>artificiais) | Acetato e<br>Triacetato | Poliamida | Poliéster | Acrílica |
|---|---------------------------|---|-------------------------|-----------|-----------|----------|
| Tipo de Corante ↓   |                           |   |                         |           |           |          |
| Ácido   | XX                        | -                                       | -                       | XX        | -         | -        |
| Azóico  | -                         | XX                                      | X                       | X         | X         | X        |
| Básico (catiônico)  | -                         | -                                       | -                       | -         | -         | XX       |
| De Cuba   | X                         | XX                                      | -                       | -         | -         | -        |
| De Cuba solubilizado  | X                         | XX                                      | -                       | -         | X         | -        |
| Direto  | X                         | XX                                      | -                       | X         | -         | -        |
| Disperso  | -                         | -                                       | XX                      | XX        | XX        | XX       |
| Ftalocianina  | -                         | XX                                      | -                       | -         | -         | -        |
| Metalífero  | XX                        | -                                       | -                       | XX        | -         | -        |
| A Mordente  | XX                        | -                                       | -                       | -         | X         | -        |
| De Oxidação   | -                         | X                                       | -                       | -         | -         | -        |
| Pigmento (*)  | X                         | X                                       | X                       | X         | X         | X        |
| Reativo   | XX                        | XX                                      | -                       | X         | -         | -        |
| Sulfuroso   | -                         | XX                                      | -                       | -         | -         | -        |
| Observações:<br>XX Muito adequado<br>X Adequado em certos casos<br>(*) Não pode ser considerado um verdadeiro corante |                           |   |                         |           |           |          |

### 2.3.1 – Corantes para Fibras Protéicas

As fibras protéicas, como a lã e a seda, devem ser preferencialmente tingidas em meio ácido, pois degradam em meio alcalino. Não podem ser lavadas a temperaturas superiores a 40°C; portanto, a solidez requerida para estes artigos não pode ser muito elevada.

**Corantes ácidos:** são corantes de fácil aplicação e com vasta gama de cores, sendo aplicados em meio ácido. Têm elevado brilho, boa solidez à luz, porém baixa solidez aos tratamentos à água. Os corantes ácidos ou aniônicos são caracterizados pela presença, na sua molécula, de um ou vários agrupamentos ácidos, tais como:  $-\text{SO}_3\text{H}$  e  $-\text{COOH}$ . Os produtos comerciais são, na maior parte dos casos, sais de sódio ou de potássio.

**Corantes a Mordente:** são corantes que resultam de corantes ácidos com a presença de um metal (mordente), o qual reforça a ligação fibra-corante, aumentando sua solidez. Os corantes a mordente possuem na sua estrutura dois grupos próximos capazes de mordentar o metal. A presença do metal, muitas vezes, altera a tonalidade do corante.

**Corantes Metalíferos:** são corantes que já contém o metal na sua estrutura, normalmente o cromo, sendo assim a aplicação mais rápida. A solidez à lavagem é intermediária entre os dois tipos anteriores.

**Corantes Reativos:** são corantes que reagem com a fibra, proporcionando boa solidez, porém exigem alto controle do processo.

### 2.3.2 – Corantes para Fibras Hidrófobas

Os corantes dispersos são insolúveis na água, formando uma dispersão aquosa (daí o seu nome). São “solúveis” nas matérias orgânicas hidrófobas, razão pela qual se apelidam também de “corantes plastossolúveis”.

São praticamente os únicos corantes que se podem aplicar para tingir o acetato e o triacetato de celulose, bem como o poliéster, conduzindo a boa solidez.

O poliéster é o polímero sintético de maior popularidade no mundo, usado atualmente na fabricação de fibras. Os usos para a fibra de poliéster incluem confecções, acessórios para uso doméstico, tais como cortinas, tapetes, capas de chuva, gravatas, roupas em geral e artigos de malha e tricô de todos os tipos, e tecidos industriais, tais como cintos de segurança e tecidos para o interior dos automóveis, conforme Revello (2002).

No processo de tingimento de fibras de poliéster, ocorrem as seguintes etapas:

- Dispersão do corante no banho de tingimento;
- Transferência de massa por convecção para a superfície da fibra;
- Absorção do corante na superfície da fibra;
- Difusão do corante dentro da fibra;



- Fixação do corante no interior da fibra.

A concentração máxima de corante admitida pela fibra de poliéster durante o processo de tingimento é definida como a concentração de saturação, e é influenciada pelo tamanho das partículas de corante que formam a dispersão, e pela natureza química do agente dispersante e do corante utilizados.

Os corantes dispersos são caracterizados de maneira geral de acordo com a sua solidez à sublimação (quando passados em rama) em três grupos genéricos: baixa, média e alta energia. Essa classificação é usada frequentemente para prever o comportamento de um dado corante no processo de tingimento, encontrando-se que os corantes de alta energia apresentam uma pobre igualação e cobertura, comparados aos de baixa energia.

Lallam et al. (1997) estudaram a influência do tamanho das moléculas de corante no processo de tingimento do poliéster, tingindo com corantes dispersos tecidos planos de poliéster. Uma amostra era constituída de microfibras de 10 µm de diâmetro, e a outra de microfibras de 20 µm. Em ambas as amostras as isotermas de adsorção seguem uma tendência similar. O tecido constituído por fibras de menor diâmetro adsorve uma maior quantidade de corante, o que indica que com a diminuição do tamanho da fibra, a proporção de regiões amorfas é alterada, conduzindo a uma maior quantidade de corante adsorvido pela fibra.

### 2.3.3 – Corantes para Poliamidas

As fibras da poliamida (poliamida 6, poliamida 6-6, poliamida 11, Qiana, Tactel, etc.) podem em princípio ser tingidas com um elevado número de corantes, tais como: dispersos, ácidos, a mordente, pré-metalizados, reativos, etc, pois se trata por um lado de fibras hidrófobas e por outro de fibras com grupos ácidos e básicos nos extremos das macromoléculas.

A matéria-prima das poliamidas é a caprolactam ou sal de nylon. Para distinguir os diversos tipos usa-se o número de átomos de carbono que existem nas moléculas da matéria-prima. PA 6, nylon 6 ou perlon, é o policaprolactam, uma poliamida que se origina do  $\epsilon$ -Caprolactam(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>CONH. PA 66, nylon 66 é a poliamida que se origina do sal de nylon ou sal AH. O sal de nylon é obtido da hexametildiamina (1,6 Diaminohexano)

$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$  e ácido adípico  $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ . PA 11, nylon 11 é uma poliamida de fórmula  $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ .

As características físicas do nylon fazem com que esta fibra seja ideal para elaborar produtos de uso doméstico, tais como calçados, tapetes e tecidos industriais.

Segundo Revello (2002), os corantes ácidos contêm usualmente  $-\text{SO}_3\text{H}$  em sua estrutura e são usados em fibras que contêm grupos básicos que podem interagir com estes agrupamentos ácidos. As fibras que contêm alguns grupos aminos livres ( $-\text{NH}_2$ ) são tingidas com corantes ácidos.

### **2.3.4 – Pigmentos**

Segundo Revello (2002), os pigmentos são substâncias corantes insolúveis que são depositadas na superfície da fibra e fixadas por “colagem”. São aplicáveis a todos os tipos de fibras. Por não haver qualquer afinidade ou ligação direta com a fibra, essas substâncias não são consideradas como verdadeiros corantes.

A sua aplicação em processos de tingimentos de fibras têxteis é relativamente restrita. Pelo contrário, em estamperia encontram enorme aplicação, pois seu emprego é bastante fácil, sem precisar de vaporização para a sua fixação. É por isso que mais da metade dos produtos estampados são feitos à base de pigmentos.

### **2.3.5 – Corantes Básicos**

Acrílico é o nome genérico de uma fibra que contém pelo menos 85% em peso de unidades de acrilonitrila, sendo os 15% restantes de uma fibra constituída por outros monômeros.

No tingimento de fibras acrílicas com corantes básicos, é necessário levar em consideração o índice de saturação da fibra, o qual depende muito da fibra. Por outro lado, para cada corante, é dado pelo fabricante um fator de concentração que, multiplicado pela concentração respectiva, permite elaborar as receitas de forma a não ultrapassar o índice de saturação da fibra.

Quando se combinam diferentes corantes, é ainda necessário levar em conta o seu comportamento cinético. Se houver corantes com comportamento bastante distinto, o resultado de um tingimento pode não ser satisfatório.

Os corantes básicos são em geral muito substantivos. Além disso, abaixo da temperatura de transição vítrea, a fixação é quase nula, mas acima deste valor dá-se uma rápida fixação, o que causa problemas de igualização. Para reduzir este fenômeno, usam-se agentes retardadores, que podem ser:

- catiônicos, indo competir com o corante igualmente catiônico, na fixação na fibra.
- aniônicos, formando um complexo de adição com o corante, mantendo este em solução coloidal.

O tingimento das fibras acrílicas com corantes básicos inicia-se normalmente a 60°C, aumentando lentamente a temperatura, sobretudo na zona dos 80 – 90°C até atingir os 98 – 100°C. O pH do banho deve ser de 4 a 5.

A solidez dos corantes básicos sobre as fibras acrílicas é bastante boa, quer aos tratamentos à água, quer à luz, conforme Araújo e Castro (1987).

Maillo et al. (1998) estudaram, em diferentes percentagens de relaxação, a influência da temperatura sobre a velocidade de tingimento de fibras de acrílico, sendo calculados os coeficientes de difusão, a energia de ativação e a temperatura de transição. Concluíram que aumentos na percentagem de relaxação e na temperatura do processo ocasionam um aumento na quantidade de corante adsorvido pela fibra.

### 2.3.6 – Corantes para Fibras Celulósicas

Todas as fibras naturais de origem vegetal são essencialmente constituídas por celulose. As fibras regeneradas de viscose, lyocel, modal, cupro e acetato desacetilado são igualmente constituídas por celulose. Para todas estas fibras podem-se aplicar os corantes a seguir.

**Corantes Diretos:** são corantes que possuem, como os corantes ácidos, grupos solubilizantes do tipo sulfônico  $-\text{SO}_3\text{Na}$ , mas que, além disso, tem uma estrutura que lhes confere substantividade para com a celulose. São igualmente designados por corantes

substantivos. Estes corantes são normalmente aplicados na presença de sal, que se comporta como um eletrólito em solução, facilitando a aproximação das moléculas de corante à fibra.

São corantes de baixo custo e de fácil aplicação. A solidez à luz é razoável, mas os tratamentos a úmido, em muitos casos, não são satisfatórios.

**Corantes de Cuba:** são corantes insolúveis na água, e que como tal, necessitam de um tratamento prévio para sua fixação. Seu nome deriva do fato da redução ser tradicionalmente feita em cuba de madeira. O corante natural mais conhecido nesta classe é o anil ou índigo. Os corantes de cuba podem ser divididos em dois grupos, conforme a sua constituição química: os indigóides e os antraquinônicos, estes últimos mais usados atualmente.

**Corantes ao Enxofre:** são corantes com uma constituição química pouco definida, mas que tem como característica fundamental a presença de enxofre, normalmente sob a forma dissulfídrica. São freqüentemente utilizados para tonalidades escuras, em virtude do seu preço relativamente baixo, mas a solidez é inferior aos corantes de cuba. Estes corantes apresentam um bom poder de igualação.

**Corantes Azóicos:** são corantes insolúveis que são formados no interior da fibra por reação entre dois elementos (elemento copulador e base diazotável), normalmente aplicados separadamente, conduzindo a bons níveis de solidez. São particularmente aplicados nas tonalidades avermelhadas, difíceis de se conseguir com outros corantes. São também conhecidos por naftóis.

**Corantes de Oxidação:** são corantes formados no interior da fibra por oxidação em meio ácido de uma molécula pequena. O corante mais importante deste grupo é o preto de anilina, com o qual pode-se tingir o algodão num preto intenso por um baixo custo e com boa solidez.

**Ftalocianinas:** são uma família química de corantes com uma tonalidade azul turquesa. Podem constituir um grupo especial de corantes que são fabricados no interior da fibra por processos distintos dos corantes azóicos insolúveis ou os de oxidação. São designados no “Colour Index” por C.I. Ingrain.

**Corantes Reativos:** Em 1954, descobriu-se que um corante que contenha um grupo diclorotriazinil pode reagir com a celulose, formando-se uma verdadeira ligação covalente que conduz a uma boa solidez. Em 1956 foram lançados os primeiros corantes reativos. A reação do corante com a celulose dá-se essencialmente em meio alcalino. Nessas condições dá-se igualmente a reação entre o corante e a própria água, formando-se o

corante hidrolisado que, tendo perdido o grupo reativo, se comporta como um corante direto, conduzindo a uma baixa solidez. Por isso, o agente alcalino não deve ser introduzido na fase inicial do tingimento; só após o corante ter penetrado na fibra, como se fosse um corante direto (na presença de um eletrólito como, por exemplo, o sulfato de sódio) é que se introduz o agente alcalino, como mostra a Figura 5. Desta forma a reação dá-se preferencialmente com a celulose.

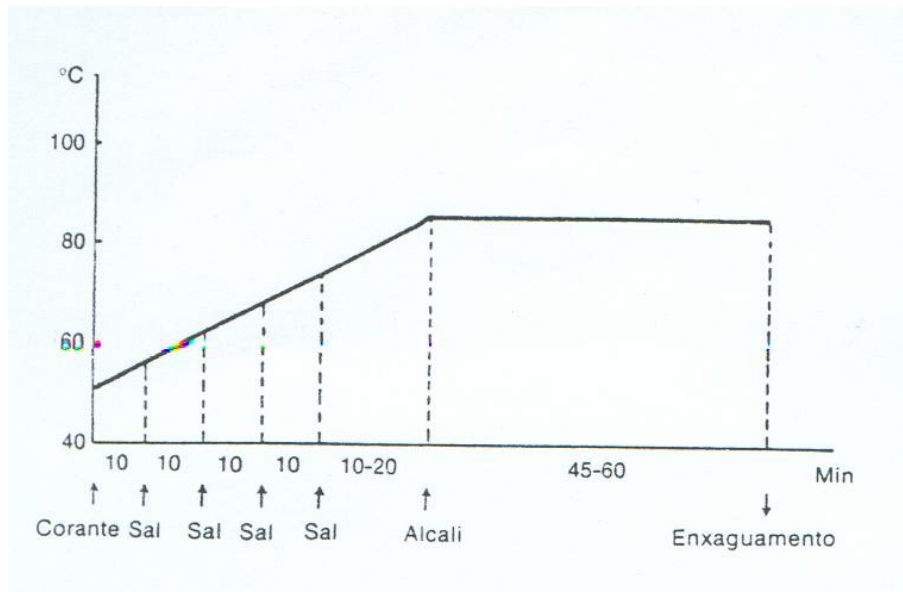
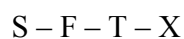


Figura 5 – Processo Típico de Tingimento com Corante Reativo

De qualquer forma, há sempre uma certa quantidade de corante reativo hidrolisado, fixado como um corante direto e que é necessário eliminar, para evitar o manchamento quando da lavagem doméstica. Para isso o substrato tingido é submetido a um ensaboamento à ebulição que elimina o corante hidrolisado.

Conforme Sadow et al. (1973), a estrutura de um corante reativo é:



Onde:

S = grupo que solubiliza a molécula de corante

F = Porção cromófora da molécula de corante

T = “Carrier” do grupo reativo

X = Grupo reativo

A maioria das fibras celulósicas são tingidas com os corantes reativos. Principalmente o algodão, que detém a maioria do mercado de artigos têxteis, é tingido com este corante, que atende a uma grande gama de exigências do mercado.

## 2.4 - Algodão

A palavra “*algodão*” deriva do arábico “*qoton*” ou “*qutum*”, o que significa uma planta encontrada numa terra conquistada. O vocábulo “*muslin*”, também de origem arábica, foi aplicado aos tecidos de algodão em Mosul. Escritores primitivos descreveram este tecido como sendo tão transparente que chegava a ser invisível quando estendido sobre um fundo saturado de corante.

Conforme Araújo e Castro (1987), o algodão é uma planta classificada na ordem das **Malváceas**, sob o nome de “*Gossypium*”. LINNAEUS dividiu o gênero em cinco espécies, DE CANDOBLE dividiu em treze espécies assim como outros botânicos. DE ROYLE, pesquisador muito cuidadoso, reduziu esse número a oito e entendeu que poderia concentrar essas oito espécies em quatro espécies primárias, da seguinte forma:

G. Inducum

G. Arboreum

G. Hirsutum

G. Barbadense

O algodão é usado como fibra têxtil há mais de 7000 anos, podendo dizer-se que está ligado à origem mais remota do vestuário e à evolução da produção de artigos têxteis, segundo Araújo e Castro (1987).

De acordo com Pita (1996), o grande impulso ocorrido na agricultura do algodão verificou-se depois que ELI WHITNEY (1765 – 1825) inventou o descaroçador, uma máquina de separar o caroço do algodão das fibras. Como consequência, a cotonicultura nos Estados Unidos rapidamente suplantou a produção de fumo, tornando-se um dos fatores preponderantes para o progresso, a glória e a fortuna dos Estados do Sul daquele país. Até 1793, antes de ser inventado o descaroçador, a produção de algodão foi mais

baixa que a das outras fibras naturais (linho, lã, seda) porque as fibras eram obrigatoriamente separadas manualmente.

#### **2.4.1 - Produção**

Segundo Guillén (1991), entre o semeio e a colheita do algodão, transcorrem entre 175 a 220 dias. A semente brota alguns dias após o semeio e a floração aparece após aproximadamente três meses. A flor se desprende e o “capulho” começa a crescer. Este adquire seu tamanho definitivo em umas três semanas e se abre após aproximadamente 50 dias depois da sua floração. Dentro do “capulho” ou cápsulas encontram-se as sementes, nas quais se desenvolvem as fibras antes que se abram. Em cada célula crescem de 2 a 6 grãos de sementes do tamanho de um grão de café, conforme o tipo.

A metade do tempo necessário para o desenvolvimento da fibra é ocupado no crescimento longitudinal e a outra metade no crescimento interno. Enquanto cresce longitudinalmente, a fibra consiste em um tubo de paredes finas, ocupado pelo protoplasma. A parede secundária se forma à medida que aumenta a espessura da fibra ao depositar-se camadas de celulose desde o interior da parede primária. A parede secundária não se desenvolve uniformemente em todas as fibras de uma mesma semente. Segundo a espessura se distinguem:

- a) Fibras maduras, que se desenvolvem completamente e que apresentam paredes grossas e voltas de torção.
- b) Fibras imaturas, cuja parede secundária não se desenvolve totalmente. Sua parede celular é fina.
- c) Fibras mortas, que morreram antes de ter iniciado o desenvolvimento do crescimento da parede celular.

Em cada caroço de algodão desenvolvem-se entre 1.200 a 1.700 fibras. Na maioria dos tipos de algodão, quando o “capulho” se rompe ao cabo de seu desenvolvimento e as fibras saem brotando, chegou o momento da colheita.

Após a colheita, o algodão é descaroçado, recebendo a fibra a denominação de “lint”. Na separação do “lint” da semente, um moderno descaroçador removerá matérias estranhas à fibra, tais como sujeiras, pedaços de cascas, folhas, etc.

As fibras ou “lints” (ou algodão em pluma) serão enfardados em embalagens com cerca de 200 kg.

#### **2.4.2 – Estrutura Química e morfologia**

O algodão é uma fibra natural celulósica. Contém também outras substâncias naturais localizadas principalmente na parede primária. Dependendo da área em que o algodão é cultivado e de seu tempo de crescimento, a quantidade de metais em sua composição é variável. É importante conhecer os metais presentes no algodão, pois os mesmos contribuem para diversos problemas em sua manufatura, alvejamento e tingimento. Sais de magnésio afetam alvejamentos com peróxido, e ferro e cobre podem causar má igualização em alvejamentos. Sais insolúveis de cálcio e magnésio podem interferir no tingimento e o cobre pode causar amarelamento em produtos acabados.

Lewin (1998) apresenta os metais presentes no algodão, que podem ser vistos na Tabela 4.



Tabela 4 – Metais Presentes no Algodão

| <i>Metal</i>         | <i>Ppm</i>  |
|----------------------|-------------|
| Potássio             | 2000 – 6500 |
| Magnésio             | 400 – 1200  |
| Cálcio               | 400 – 1200  |
| Sódio                | 100 – 300   |
| Ferro                | 30 – 90     |
| Manganês             | 1 – 10      |
| Cobre                | 1 – 10      |
| Zinco                | 1 – 10      |
| Chumbo               | n.d.        |
| Cádmio               | n.d.        |
| Arsênio              | <1          |
| Fósforo              | 180 – 1000  |
| n.d. = não detectado |             |

#### 2.4.2.1 - Microscopia

As fibras de algodão são compostas por uma cutícula externa (“skin” = pele), uma parede primária, uma parede secundária e um canal central chamado lúmen, como pode ser visto na Figura 6 e Figura 7.

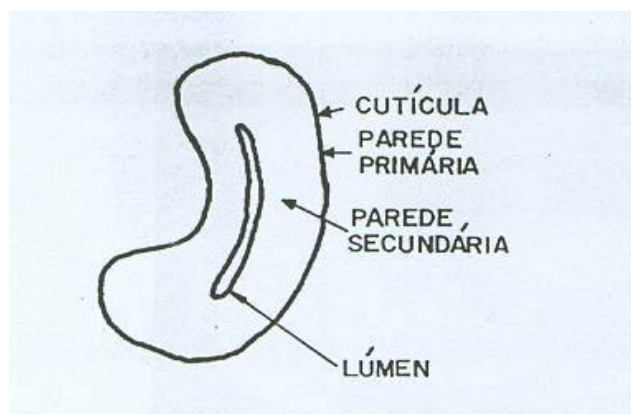


Figura 6 – Corte transversal da Fibra de Algodão.

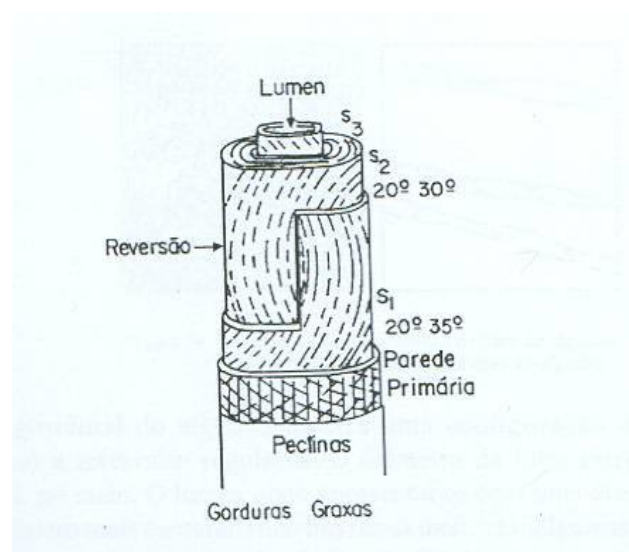


Figura 7 – Vista Esquemática da Fibra de Algodão

Fonte – Pita (1996).

As fibras imaturas apresentam paredes estreitas e lúmen acentuado. Esta afirmação, no entanto, não pode servir de parâmetro para a determinação da maturidade.

Pita (1996) destaca que a vista longitudinal do algodão mostra uma configuração de fita com torções (convoluções) a intervalos regulares. O diâmetro da fibra estreita-se na ponta e é pronunciado no meio. O lúmen pode apresentar-se com uma área sombreada ou com estrias, sendo isto mais característico nas fibras imaturas. Algumas fibras são circulares, outras elípticas e algumas arredondadas. As fibras imaturas são, geralmente, mais irregulares do que as maduras, possuindo um formato em “U”. A parede primária apresenta uma estrutura espiralada, sendo formada principalmente por celulose impura. Sua composição química difere da estrutura da cutícula (prevalecem celulose e pectinas).

A parede celular (secundária) compõe-se, essencialmente, de celulose depositada em camadas concêntricas ao longo e em torno da membrana primária.

O lúmen encerra os restos do citoplasma e núcleo que foram responsáveis diretos pelo crescimento da fibra. Apresenta largura e conformação variadas e as substâncias nitrogenadas nele existentes favorecem o desenvolvimento de fungos e bactérias, que poderão danificar as fibras e, conseqüentemente, o produto manufaturado.

### 2.4.2.2 - Comprimento

É a mais importante das propriedades da fibra de algodão, dependendo inicialmente do uso que se poderá dar à fibra. O comprimento está diretamente relacionado com a finura, a resistência e o número de torções que poderá ser dado na formação dos fios. Determinará, também, todos os ajustes a serem feitos não só no processamento têxtil normal, mas também até mesmo na construção dos equipamentos.

Fibras muito finas são, normalmente, mais longas, necessitando de um número menor de torções para se obter fios de boa resistência, contribuindo com isso para um maior rendimento do processo industrial. Quanto maior o comprimento efetivo do algodão, melhor será sua classificação comercial. A Tabela 5 apresenta os comprimentos, títulos e processos de fiação do algodão.

Tabela 5 – Comprimento, títulos e processos de fiação de algodão.

| <b>COMPRIMENTO, TÍTULOS E PROCESSOS DE FIAÇÃO DE ALGODÃO.</b> |                 |                |                 |
|---|-----------------|----------------|-----------------|
| <i>Comprimento (mm)</i>                                       |                 | <i>Títulos</i> | <i>Fiação</i>   |
| <i>Fibra Curta</i>  | 18 – 20         | 6 – 10 Ne      | <i>Cardada</i>  |
|   | 20 – 22         |                |                 |
|   | 22 – 24         | 8 – 20 Ne      |                 |
|   | 24 – 26         |                |                 |
|   | 26 – 28         |                |                 |
| <i>Fibra Média</i>  | 28 – 30         | 14 – 30 Ne     | <i>Penteada</i> |
|   | 30 – 32         | 20 – 50 Ne     |                 |
|   | 32 – 34         |                |                 |
| <i>Fibra Longa</i>  | 34 – 36         | 36 – 80 Ne     |                 |
|   | 36 – 38         |                |                 |
|   | 38 – 40 (acima) | 60 – 150 Ne    |                 |

### Titulação

É uma nomenclatura utilizada na indústria têxtil e afins, para estabelecer uma diferença entre variados títulos (números), servindo de orientação nas transações

comerciais e no seu uso para a fabricação de um determinado tecido ou na comparação de um fio com outro.

Segundo Garcia (1995), o título de produtos têxteis é representado por um número que expressa uma relação entre um determinado comprimento e a massa correspondente.

### **Grupo direto de titulação**

No grupo direto de titulação o título é diretamente proporcional ao diâmetro. É empregado na titulação de fios compostos de fibras químicas (artificiais e sintéticas) e de seda natural. Fazem parte deste grupo:

- Sistema DENIER (Simbologia = Td)

O título denier de um fio de seda ou qualquer fibra química é igual à massa em gramas de 9.000 metros desse fio.

- Sistema TEX (Simbologia = Tt)

O título tex foi criado com o objetivo de titular todas as fibras, sendo por isso conhecido como Sistema Universal. O título tex de um fio é igual à massa em gramas de 1.000 metros de fio de qualquer outro material têxtil.

### **Grupo indireto de titulação**

No grupo indireto de titulação o título é inversamente proporcional ao diâmetro. É o mais empregado na titulação de fios de algodão. Fazem parte deste grupo:

- Sistema INGLÊS (Simbologia = Ne)

O título inglês de um fio de algodão é igual ao número de meadas de 840 jardas cada uma necessária para se obter a massa de 1 libra.

- Sistema MÉTRICO (Simbologia = Nm)

O título métrico de um fio de algodão é igual ao número de meadas de 1.000 metros cada uma necessária para ser obtida uma massa de 1.000 gramas.

### 2.4.2.3 - Tipo

O tipo representa a cor e o grau de limpeza do algodão, afetando bastante o seu preço. Há duas formas de verificar o tipo do algodão:

#### (1) Caixas de Algodão-Padrão

Trata-se da comparação com padrões fornecidos pelo Ministério da Agricultura em caixas de papelão. Esses padrões representam a quantidade de impurezas e o aspecto do algodão de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação do Algodão Segundo o Tipo.

| <b><i>TIPO</i></b> | <b><i>CLASSIFICAÇÃO</i></b> |
|--------------------|-----------------------------|
| 1                  | Superior                    |
| 2                  | Superior                    |
| 3                  | Bom                         |
| 4                  | Bom                         |
| 4/5                | Bom                         |
| 5                  | Regular                     |
| 5/6                | Regular                     |
| 6                  | Regular                     |
| 6/7                | Regular                     |
| 7                  | Sofrível                    |
| 7/8                | Sofrível                    |
| 8                  | Sofrível                    |
| 9                  | Inferior                    |

#### (2) Percentual de Impurezas

É um método prático, que consiste na pesagem das impurezas, comparando o seu valor percentual com tabelas fornecidas pela Bolsa de Mercadorias de São Paulo e pela D.A.U.S.A, conforme ilustrado nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Algodão Paulista.

| <i>% de Impurezas</i>                    | <i>Tipo</i> |
|--|-------------|
| 0 – 1,8                                  | 03          |
| 1,9 – 2,2                                | 04          |
| 2,3 – 3,4                                | 05          |
| 3,5 – 4,8                                | 06          |
| 4,9 – 6,8                                | 07          |
| 6,9 – 9,0                                | 08          |
| Fonte: Bolsa de Mercadorias de São Paulo |             |

Tabela 8 – Algodão Seridó e Sertão.

| <i>% de Impurezas</i> | <i>Tipo</i> |
|-----------------------|-------------|
| 0 – 2,9               | 03          |
| 3,0 – 3,7             | 04          |
| 3,8 – 4,4             | 4/5         |
| 4,5 – 5,1             | 05          |
| 5,2 – 6,3             | 5/6         |
| 6,4 – 7,6             | 06          |
| Fonte: D.A.U.S.A.     |             |

#### 2.4.2.4 - Maturidade

A maturidade é medida pela espessura da parede celular em relação ao diâmetro da fibra. A deposição de celulose na parte interna da fibra não é uniforme e varia não só para as fibras de sementes diferentes, como também entre fibras de mesma semente e fibras de mesmas células ao longo de seu comprimento.

Afirma-se que as fibras com parede secundária de grande espessura são consideradas maduras, ao passo que as fibras que apresentam pouco espessamento da parede celular são consideradas imaturas, conforme visto na Figura 8.

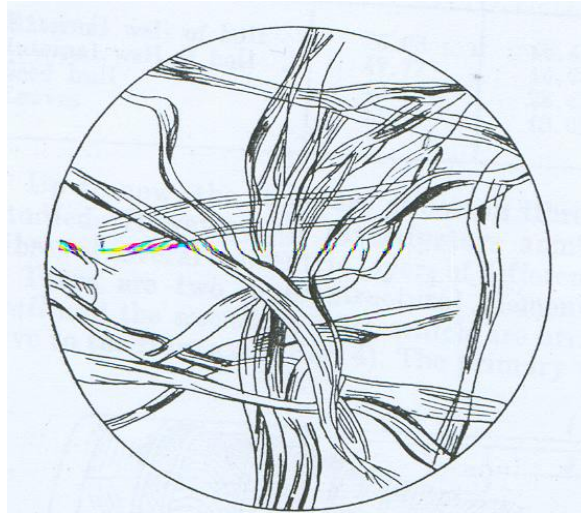


Figura 8 – Fibras imaturas de algodão

As fibras imaturas provocam uma série de inconvenientes nas diversas etapas do processo têxtil: interrupções desencadeadas por quebras, embolamento de uma fibra com outras, provocando elevado número de “neps” e menor poder de absorção, ocasionando irregularidades no processo de tingimento de fios e tecidos.

A fibra madura de algodão contém, em média (em percentual de substância completamente seca), a composição apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Composição da Fibra de Algodão.

| <b>COMPOSIÇÃO DA FIBRA DE ALGODÃO</b>  |                   |
|--|-------------------|
| <i>Produtos</i>                        | <i>Percentual</i> |
| Celulose                               | 94,0              |
| Graxas                                 | 0,6               |
| Ácidos orgânicos                       | 0,8               |
| Pectinas (calculada como ácido pécico) | 0,9               |
| Substâncias nitrogenadas               | 1,3               |
| Cinzas                                 | 1,2               |
| Polissacarídeos não celulósicos        | 0,3               |
| Substâncias não identificadas          | 0,9               |

#### **2.4.2.5 – Resistência**

A resistência é uma das principais características das fibras de algodão. A força necessária para romper a fibra de algodão varia bastante, dependendo da parede da fibra e das avarias sofridas anteriormente. Individualmente, as fibras grossas são mais resistentes do que as finas. Sabe-se, no entanto, que somente de 30 a 50% da resistência individual da fibra é transferida para o fio, dependendo da torção que ao mesmo seja aplicada.

#### **2.4.2.6 – Finura**

A finura é, geralmente, medida pela massa da fibra por unidade de comprimento. A maturidade está intimamente relacionada com a finura, pois dela depende, em grande parte, o diâmetro e a espessura da parede celular (secundária). Para uma mesma espécie de algodão, o diâmetro da fibra é bem estável. A finura influi diretamente na qualidade e na aparência dos fios e tecidos.



#### **2.4.2.7 - Porosidade**

As fibras de algodão exibem efeitos capilares em elevado grau em consequência da porosidade. A origem da capilaridade e da porosidade se deve, supostamente, às partes porosas dos anéis concêntricos de celulose da parede secundária e à natureza rendada da cadeia fibrilar. Esta propriedade está intimamente associada à absorção da fibra. Quanto maior for a porosidade, maior será o nível de absorção.

#### **2.4.2.8 – Estabilidade Dimensional**

Os tecidos de algodão são relativamente estáveis. Eles tendem a “encolher” como resultado das tensões observadas durante a fabricação, precisando, portanto de tratamento para evitar o encolhimento.

#### **2.4.2.9 – Efeito dos Álcalis**

O algodão é bastante resistente aos álcalis. De fato, os álcalis são bastante usados no acabamento e na linha de processamento. A maioria dos detergentes e auxiliares de lavagem é de natureza alcalina. Dessa forma, o algodão poderá ser lavado com esses produtos sem que sejam observados problemas. Ele intumescce com NaOH a 18% de concentração, mas não é danificado, sendo tal prática usada para a obtenção de efeitos especiais.

#### **2.4.2.10 – Efeito dos Ácidos**

Os ácidos minerais fortes destroem o algodão e os ácidos diluídos à quente provocam sua degradação. Os ácidos minerais diluídos a frio ocasionam a gradual degradação das fibras, mas o processo é lento e não imediatamente evidente.

## 2.5 – Estudos Relacionados a Tingimentos

Revello e Ulson de Souza (2000) apresentam a modelagem de um processo de tingimento a partir de duas escalas inferiores à macroescala, utilizando o método da média no volume, sendo obtida uma formulação rigorosa do processo, que poderá prever eficientemente os perfis de concentração de corante na fase líquida (banho) e sólida (bobina) no processo de tingimento de fio em bobinas.

Revello et al. (2001) apresentam os resultados experimentais obtidos em nível piloto do tingimento do fio de acrílico em bobina cruzada com o corante básico C.I. Basic Blue 41. Concluíram, comparando-se os resultados experimentais com os resultados numéricos, que a metodologia numérica empregada mostrou-se eficiente para a simulação do tingimento de fios acrílicos com o corante utilizado.

Santos (2003 a) apresentou os benefícios do tingimento de substratos vegetais com corantes polifuncionais – possuem como grupo reativo a vinilsulfona com monoclorotriazina na mesma molécula. Estes corantes possuem bom esgotamento de corante, propiciando maior eficiência nos tratamentos de efluentes, além de apresentarem demais benefícios, tais como: ótima reprodutibilidade tintorial, compatibilidade no processamento de fibras mistas, ótima estabilidade à dureza, diminuição no tempo total de tingimento com conseqüente economia de energia.

Santos (2003 b) desenvolveu processos rápidos de tingimento de fio, malha e tecido plano de poliéster, contendo misturas de algodão e viscose, com o objetivo de reduzir tempo de processo sem prejudicar a qualidade final do substrato têxtil. Também obteve os seguintes benefícios: diminuição no emprego de auxiliares, economia de água e energia, menor desgaste do equipamento e aumento da produtividade.

Maeda et al. (2002) tingiram fibras celulósicas com corantes reativos dispersos usando Dióxido de Carbono Supercrítico (SC-CO<sub>2</sub>) como solvente a 393 K e 20 Mpa. Os resultados foram comparados com tingimentos com outros corantes dispersos, sob as mesmas condições, e foram obtidos tingimentos com boa intensidade de cor e diminuição no tempo de lavagem.

Huang e Yu (1999) estudaram a interferência da concentração de corante, pH e a temperatura no banho de tingimento, fatores que mais afetam na tonalidade e na

uniformidade dos tingimentos. Concluíram que através de métodos convencionais é muito difícil efetuar controles e criar modelos matemáticos, já que estes fatores agem quase que totalmente na não-linearidade.

Giorgi (1988) concluiu que dois fatores são determinantes para um processo de boa qualidade, ou seja, aquele que irá resultar em um tingimento uniforme no menor tempo. Estes fatores são a afinidade do corante sobre a fibra e a razão de reação entre a fibra e o corante.

Shamey e Nobbs (2001) desenvolveram um algoritmo matemático confiável de controle de pH para uso na indústria de tingimento. O controle de pH em um sistema dinâmico, de acordo com um sistema de retroalimentação fechado, se mostrou possível, porém somente se for utilizado um número de fatores simplificados no modelo de controle.

Bae et al. (1997) estudaram o comportamento da difusão/adsorção de dois corantes reativos do tipo monoclorotriazina (MCT) sobre celulose, usando-se uma ampla variedade de concentrações de sulfato de sódio a uma temperatura de 80°C. Para explicar a adsorção de corante sobre a fibra têxtil, o modelo desenvolvido emprega uma isoterma do tipo Langmuir. Os resultados mostram que o coeficiente de difusão aumenta abruptamente com o incremento na concentração de corante no banho, até o ponto em que a fibra é saturada, ou seja, é atingido o equilíbrio.

Koh et al. (2004) estudaram a aplicação de dois tipos de corantes reativos (monoclorotriazina e vinilsulfona) sobre os substratos de rayon viscose e uma nova fibra de celulose regenerada (enVix<sup>®</sup>). Concluíram que a fibra enVix<sup>®</sup> apresentou melhores resultados de igualização e velocidade de tingimento comparados ao rayon viscose.

Czilik et al. (2002) tingiram substratos de celulose com quatro diferentes tipos de corantes reativos azos e expuseram estes substratos à ação de enzimas celulasas. Concluíram que o nível de depolimerização cai com o aumento da concentração de corante fixado no substrato, através de ligações covalentes.

Taylor et al. (2001) concluíram que, tingindo um substrato de algodão com corantes bifuncionais, o nível de fixação do corante na fibra aumenta, reduzindo ou eliminando a necessidade do uso de fixadores, para melhor solidez a tratamentos a úmido. Também observaram que com o uso dos corantes bifuncionais, uma economia no tratamento de efluentes é possível, pois a fixação do corante na fibra é mais eficiente, reduzindo assim a coloração dos efluentes líquidos.

Oliveira (2004) destacou que, nos dias atuais, os tecidos fazem toda a diferença quando a prioridade é o conforto e a superação de desafios impostos para usos específicos. A tecnologia têxtil proporciona hoje tecidos com as mais variadas aplicações: que hidratam a pele, que exalam perfume, que irradiam calor quando o ambiente esfria, que protegem contra os raios UVA e UVB, que são impermeáveis, bacteriostáticos, e muitos outros. O que torna um tecido tecnológico é a soma de características especiais oriundas das fibras, dos fios e de acabamentos físico/químicos especiais.

Mokhtari et al. (2004) estudaram a taxa de consumo do corante derivado do linear trisazo do tipo  $A-N=N-M^1-N=N-M^2-E$ , incorporados os grupos sulfatoetilsulfona e monoclorotriazina pela fibra de algodão. Concluíram que houve bom esgotamento em reduzidos níveis de sal e os índices de migração medidos foram similares aos obtidos com alguns corantes comerciais. Apesar da boa eficiência de esgotamento, o resultado de solidez foi baixo comparado aos corantes comerciais.

No próximo capítulo serão apresentados os equipamentos e procedimentos experimentais utilizados no presente trabalho.

## **CAPÍTULO 3 – MATERIAL, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

### **3.1 – Equipamentos e procedimentos experimentais**

#### **3.1.1 – Equipamentos para a fabricação do fio**

Para a fabricação do fio, o mesmo passa por um processo de fiação, passando por três processos básicos: limpeza das fibras (principalmente no caso do algodão), preparação à fiação e fiação propriamente dita.

Abertura e limpeza: as fibras passam por um processo de abertura e limpeza, em maquinário denominado abridor.

Preparação à fiação: as fibras passam por maquinários que passam a paralelizar as mesmas e iniciar o processo de preparação para a fiação. Os maquinários são: cardas, penteadeiras, passadores e maçaroqueiras.

Fiação: onde acontece a fiação em si. Pode ser feita em filatório de anel (maior qualidade) ou em filatório “open-end” (qualidade inferior).

Após a fiação, o fio é direcionado para o seu uso, que pode ser: malharia, tecelagem, beneficiamento, retorção (quando não se quer um fio singelo).

Na Figura 9 pode ser visto um filatório de anel e na Figura 10 uma retorcedeira. Estes maquinários foram responsáveis pela fabricação do fio utilizado no presente trabalho.



Figura 9 – Filatório de anel utilizado para fabricação de fio singelo.



Figura 10 – Retorcedeira utilizada para a retorção dos fios.

### 3.1.2 – Equipamentos para tingimento do fio

Os experimentos de tingimento foram conduzidos em um reator em escala piloto, da marca Obermaier do Brasil Ltda, de volume de 0,015 m<sup>3</sup> e com capacidade para tingir uma única bobina, como pode ser visto na Figura 11.



Figura 11 – Equipamento para tingimento de fio em bobina em escala piloto (Obermaier do Brasil Ltda).

Para a realização do tingimento em bobinas, o banho de tingimento é transportado no sentido I→E ou E→I, através de bomba de circulação. O banho passa por um trocador de calor, onde haverá o aquecimento ou resfriamento do banho, conforme tingimento a ser realizado. Este processo é mostrado através de um diagrama esquemático na Figura 12.

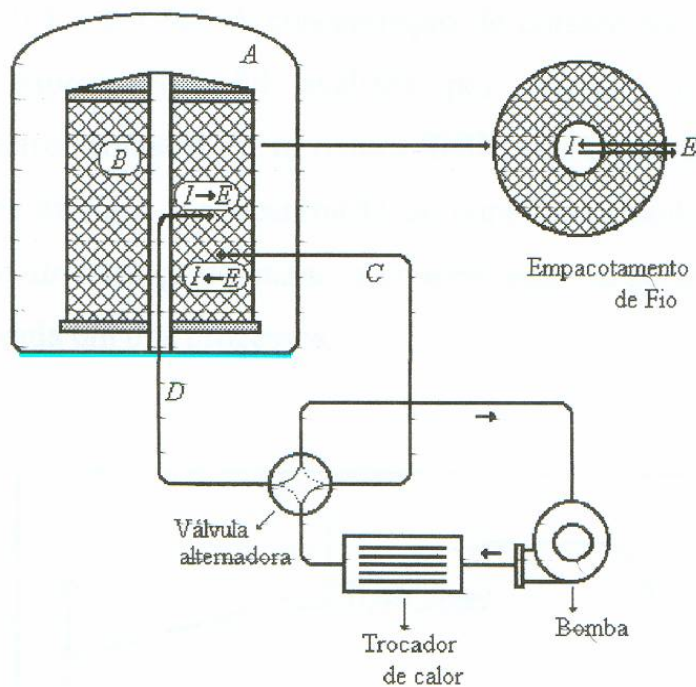


Figura 12 – Diagrama esquemático dos equipamentos empregados.

Na Tabela 10 são apresentadas as fórmulas estruturais dos corantes empregados.

Tabela 10 – Informação técnica dos corantes empregados nos tingimentos.

| <i>Nome do corante</i>   | <i>Fórmula molecular</i>              |
|--------------------------|---------------------------------------|
| C.I. Basic Yellow 28     | $C_{21}H_{27}N_3O_5S$                 |
| C.I. Reactive Yellow 160 | Fórmula não fornecida pelo fabricante |
| C.I. Reactive Yellow 145 | $C_{28}H_{20}ClN_9Na_4O_{16}S_5$      |



### 3.2 – Determinação da cinética de tingimento

Para determinar a cinética do tingimento da fibra de acrílico com corante básico e da fibra de algodão com o corante reativo, foram realizados dois tingimentos: um foi realizado em escala piloto e o outro foi realizado em escala industrial, cuja máquina pode ser vista na Figura 13.

Foram realizados os dois tingimentos para comparar os resultados da escala piloto com a industrial e verificar se há a possibilidade de prever, através da escala piloto, os resultados a serem obtidos na escala industrial.

Para a determinação da cinética, foram coletadas amostras do banho de tingimento. Estas amostras foram coletadas diretamente do tanque de expansão da máquina, conforme Tabela 11.



Figura 13 – Equipamento de tingimento em escala industrial (Phoenix Ltda).

O tanque de expansão da máquina é aquele tanque utilizado para efetuar o enchimento da máquina com água e para efetuar a adição de produtos químicos e corantes. Ao tanque é acoplada uma bomba, denominada bomba de pressão, que succiona o fluido do

tanque de expansão e recalca o fluido para o interior da máquina. O retorno deste fluido se dá novamente para o tanque de expansão. A pressão no interior da máquina é controlada através desta bomba e do diâmetro da tubulação de retorno da máquina ao tanque de expansão. A pressão é aumentada ou diminuída através do diâmetro do orifício de uma placa que fica na tubulação citada.

Tabela 11 – Amostras para determinação da cinética dos tingimentos das fibras de acrílico com corante básico e das fibras de algodão com corante reativo.

| <b>Acrílico – Corante básico</b> |             |                  | <b>Algodão – Corante Reativo</b> |             |                  |
|----------------------------------|-------------|------------------|----------------------------------|-------------|------------------|
| Amostra                          | Tempo (min) | Temperatura (°C) | Amostra                          | Tempo (min) | Temperatura (°C) |
| 1                                | 0           | 75               | 1                                | 0           | 25               |
| 2                                | 23          | 85               | 2                                | 10          | 60               |
| 3                                | 35          | 90               | 3                                | 20          | 60               |
| 4                                | 48          | 95               | 4                                | 30          | 60               |
| 5                                | 60          | 100              | 5                                | 50          | 60               |
| 6                                | 72          | 102              | 6                                | 60          | 60               |
| 7                                | 77          | 102              | 7                                | 75          | 60               |
| 8                                | 107         | 102              | 8                                | 90          | 60               |
| 9                                | 120         | 75               | 9                                | 120         | 60               |

O volume das amostras coletadas foi de 30 mL.

Ao longo dos tingimentos, o pH do banho foi controlado em pHmetro digital, marca Quimis.

### 3.3 – Tingimentos realizados

#### 3.3.1 – Tingimento 1

Neste tingimento de uma bobina de fio misto de 50% algodão e 50% acrílico, somente a fibra de acrílico passou pelo processo de tingimento. Uma bobina de fio misto pode ser vista na Figura 14.



Figura 14 – Bobina de fio misto Acrílico / Algodão

O fio foi enrolado em um suporte perfurado, de formato quase cilíndrico produzido pela indústria Plásticos Cremer S.A. O suporte é comercializado como conical Oben para tingimento de fios com temperatura máxima de 110°C, como pode ser visto na Figura 15.



Figura 15 – Conicais perfurados.

O conical perfurado utilizado nos tingimentos apresentados neste trabalho pode ser observado na Figura 16.



Figura 16 – Conical perfurado utilizado nos tingimentos.

A Tabela 12 apresenta as características e quantidades dos compostos empregados no processo de Tingimento 1.

Tabela 12 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no Tingimento 1.

| <b>Composto</b>   | <b>Função</b> | <b>Característica</b>                    | <b>Quantidade (%)*</b> |
|---|---------------|--|------------------------|
| Ácido Acético   | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,2 g/L**              |
| Reoman WED  | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Reoman R-ACR  | Auxiliar      | Retardante                               | 1,26                   |
| Amarelo Cassacryl GL<br>400%  | Corante       | Corante Básico – C.I.<br>Basic Yellow 28 | 0,1                    |
| * A quantidade dos compostos empregados foi calculada com base no peso final da fibra seca; |               |  |                        |
| ** Quantidade empregada em g/L, onde a quantidade de banho corresponde a 15 litros.         |               |  |                        |

Obs.: A quantidade de retardante é definida por

$$R = \frac{F.S._{Fibra} - \sum (F.S._{corante} * X_{conc.corante})}{F.S._{retardante}} \quad (7)$$

onde:

R= Quantidade de retardante em %.

F.S. = Fator de saturação (fibra, corante e retardante)

X= concentração de corante em %

A Figura 17 ilustra a curva de temperatura em função do tempo empregada no processo do Tingimento 1.

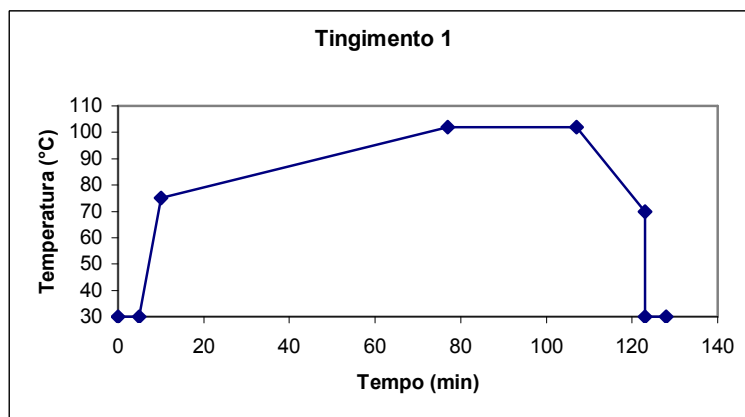


Figura 17 – Curva do processo do Tingimento 1 (temperatura versus tempo).

A bobina de geometria cilíndrica foi fortemente fixada nas suas extremidades superior e inferior por meio de duas placas de aço inox, para evitar caminhos preferenciais para o fluxo da solução. O reator em escala piloto com capacidade para 1 bobina foi completado com 0,015 m<sup>3</sup> de água a 30°C e após 5 minutos foram adicionados os auxiliares Reoman WED e Reoman R-ACR, começando-se a circulação da solução através da bobina no sentido I → E (mostrado na Figura 12) durante todo o tingimento. Após o aquecimento do banho até 75°C (aquecimento direto, sem controle de temperatura/tempo), foi adicionado o corante Amarelo Cassacryl GL 400%. Após esta adição, o banho de tingimento foi aquecido até 102°C na razão de 0,4°C/min e mantido nesta temperatura por mais 30 minutos. Após este tempo, o banho foi resfriado para 70°C em 2°C/min e então o

banho foi esgotado. Após o tingimento, a bobina foi lavada com água fria durante 5 minutos e após esta lavagem foi concluído o processo de tingimento.

### 3.3.2 – Tingimento 2

Neste tingimento de uma bobina de fio misto de 50% algodão e 50% acrílico, somente a fibra de algodão passou pelo processo de tingimento.

A Tabela 13 apresenta as características e quantidades dos compostos empregados no processo de tingimento 2.

Tabela 13 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no Tingimento 2.

| <b>Composto</b>        | <b>Função</b> | <b>Característica</b>                | <b>Quantidade (%)*</b> |
|------------------------|---------------|--------------------------------------|------------------------|
| Securon 540            | Auxiliar      | Dispersante                          | 1,0 %                  |
| Amarelo Cassafix CA-4G | Corante       | Corante Reativo –<br>C.I. Yellow 160 | 1,6 %                  |
| Amarelo Cassafix CA-3R | Corante       | Corante Reativo -<br>C.I. Yellow 145 | 0,8 %                  |
| Carbonato de Sódio     | Auxiliar      | Álcali                               | 15 g/L**               |
| Sulfato de sódio       | Auxiliar      | Sal                                  | 60 g/L**               |
| Ácido acético          | Auxiliar      | Ácido                                | 1,0 g/L**              |
| Securon 540            | Auxiliar      | Dispersante                          | 1,0 %                  |

\* A quantidade dos compostos empregados em % foi calculada com base no peso final da fibra seca;

\*\* A quantidade empregada em g/L foi calculada com relação à quantidade de banho correspondente a 15 litros.

A Figura 18 apresenta a curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e lavagem (b).

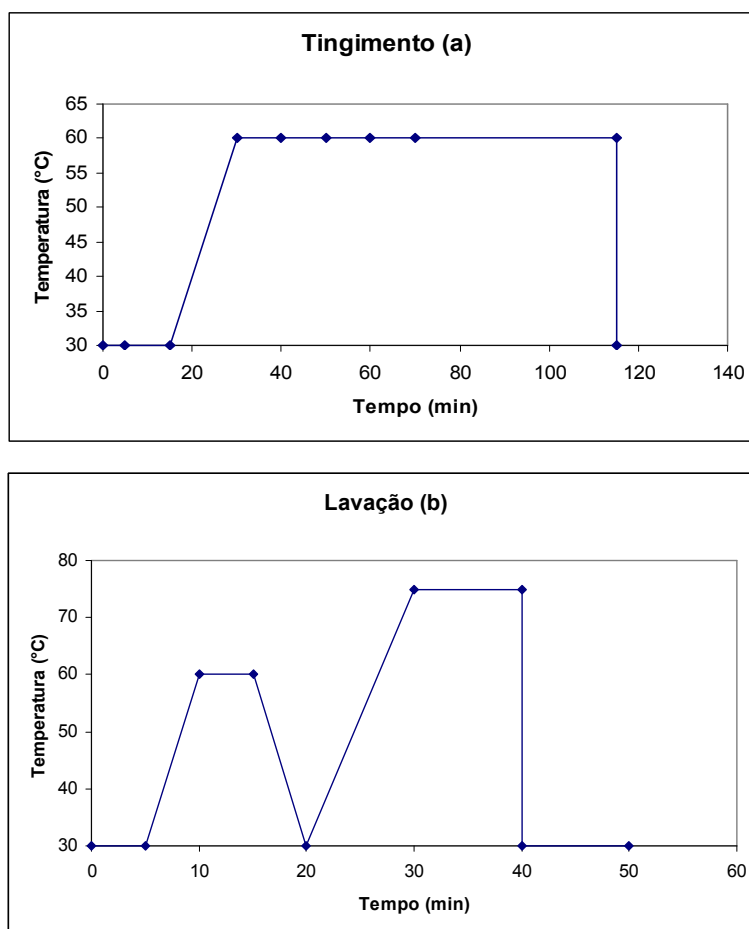


Figura 18 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e lavação (b).

A bobina de geometria cilíndrica novamente foi fortemente fixada nas suas extremidades superior e inferior por meio de duas placas de aço inox, para evitar caminhos preferenciais para o fluxo da solução. O reator em escala piloto com capacidade para 1 bobina foi completado com  $0,015 \text{ m}^3$  de água a  $30^\circ\text{C}$  e imediatamente após o enchimento foi adicionado o auxiliar Securon 540, começando-se a circulação da solução através da bobina no sentido  $E \rightarrow I$  (mostrado na Figura 12) durante todo o tingimento. Após 5 minutos foram adicionados os corantes reativos Amarelo Cassafix CA-4GN e Amarelo Cassafix CA-3R, sendo os mesmos dosados durante 10 minutos. Após o tempo de dosagem, o banho foi aquecido até  $60^\circ\text{C}$  na razão de  $2^\circ\text{C}/\text{min}$ . Ao chegar em  $60^\circ\text{C}$ , foi adicionado 50% da quantidade de sal e após 10 minutos os 50% restantes. O banho circulou por mais 10 minutos e foi então adicionado 10% da quantidade total da barrilha, dissolvida em água quente. Após 10 minutos foram adicionados mais 30% da barrilha e após mais 10

minutos foram adicionados os 60% restantes da quantidade total de barrilha. O banho ficou em circulação por mais 45 minutos quando se deu por concluído o tingimento. Após o tingimento a bobina foi lavada por 5 minutos com água fria, após este banho foi lavado por mais 5 minutos a 60°C com ácido acético para neutralizar o pH do banho e finalmente foi lavado com Securon 540 a 75°C por mais 10 minutos.

### **3.3.3 – Tingimento 3**

Neste tingimento de uma bobina de fio misto de 50% algodão e 50% acrílico, as fibras de acrílico e de algodão passaram pelo processo de tingimento, porém não sofreram nenhum acabamento.

A Tabela 14 apresenta as características e quantidades dos compostos empregados no processo de tingimento 3.



Tabela 14 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no Tingimento 3.

| <b>Composto</b>           | <b>Função</b> | <b>Característica</b>                    | <b>Quantidade (%)*</b> |
|---------------------------|---------------|--|------------------------|
| Ácido Acético             | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,2 **                 |
| Reoman WED                | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Reoman R-ACR              | Auxiliar      | Retardante                               | 1,26                   |
| Amarelo Cassacryl GL 400% | Corante       | Corante Básico –<br>C.I. Basic Yellow 28 | 0,1                    |
| Securon 540               | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0 %                  |
| Amarelo Cassafix CA-4G    | Corante       | Corante Reativo –<br>C.I. Yellow 160     | 1,6 %                  |
| Amarelo Cassafix CA-3R    | Corante       | Corante Reativo -<br>C.I. Yellow 145     | 0,8 %                  |
| Carbonato de Sódio        | Auxiliar      | Álcali                                   | 15 g/L**               |
| Sulfato de sódio          | Auxiliar      | Sal                                      | 60 g/L**               |
| Ácido acético             | Auxiliar      | Ácido                                    | 1,0 g/L**              |
| Securon 540               | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0 %                  |

\* A quantidade dos compostos empregados em % foi calculada com base no peso final da fibra seca;

\*\* A quantidade empregada em g/L foi calculada com relação à quantidade de banho correspondente a 15 litros.

A Figura 19 apresenta a curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e lavação (b).

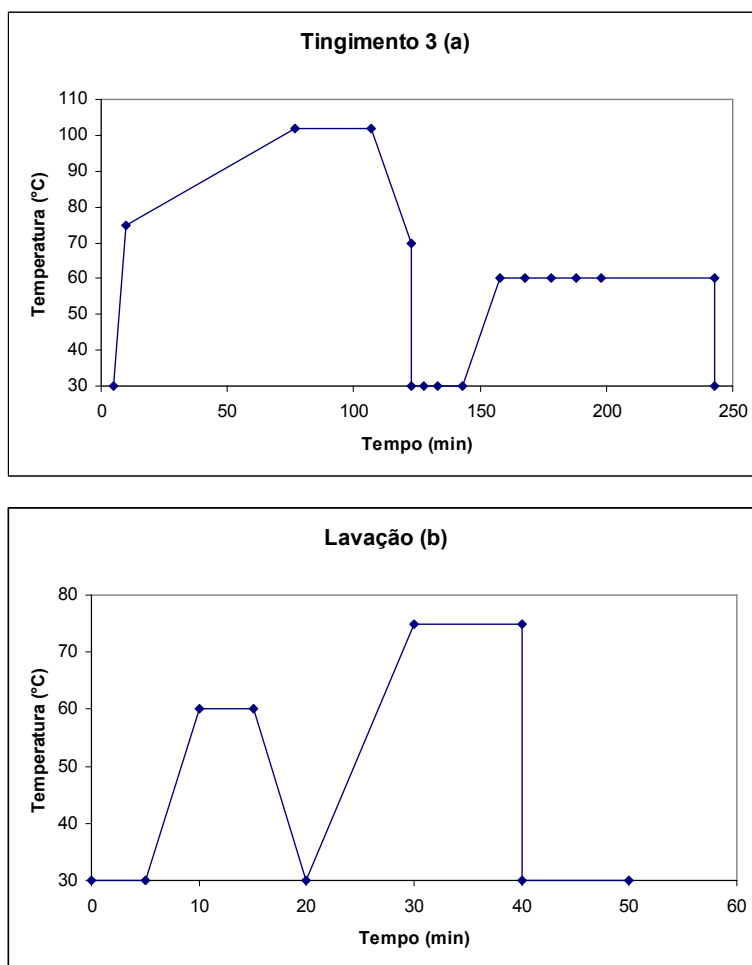


Figura 19 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e lavação (b).

Na realização do tingimento 3, foram realizadas as mesmas operações dos tingimentos 1 e 2, porém em uma mesma bobina. Primeiro foi tingida a fibra de acrílico, e logo após, em novo banho de tingimento, foi tingida a fibra de algodão. Após o tingimento de algodão, o fio sofreu lavação conforme descrito para o Tingimento 2.

### 3.3.4 – Tingimento 4

Neste tingimento de uma bobina de fio misto de 50% algodão e 50% acrílico, as fibras de acrílico e de algodão passaram pelo processo de tingimento; após o tingimento da fibra de algodão, o fio passou por um processo de Pós-Alvejamento, com o objetivo de

eliminar as impurezas presentes no algodão. O fio novamente não sofreu processo de acabamento final.

A Tabela 15 apresenta as características e quantidades dos compostos empregados no processo de tingimento 4.

Tabela 15 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no Tingimento 4.

| <b>Composto</b>           | <b>Função</b> | <b>Característica</b>                    | <b>Quantidade (%)*</b> |
|---------------------------|---------------|--|------------------------|
| Ácido Acético             | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,2 g/L **             |
| Reoman WED                | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Reoman R-ACR              | Auxiliar      | Retardante                               | 1,26                   |
| Amarelo Cassacryl GL 400% | Corante       | Corante Básico –<br>C.I. Basic Yellow 28 | 0,1                    |
| Securon 540               | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Amarelo Cassafix CA-4G    | Corante       | Corante Reativo –<br>C.I. Yellow 160     | 1,6                    |
| Amarelo Cassafix CA-3R    | Corante       | Corante Reativo -<br>C.I. Yellow 145     | 0,8                    |
| Carbonato de Sódio        | Auxiliar      | Álcali                                   | 15 g/L **              |
| Sulfato de sódio          | Auxiliar      | Sal                                      | 60 g/L **              |
| Securon 540               | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Soda Cáustica             | Auxiliar      | Álcali                                   | 0,6                    |
| Peróxido de Hidrogênio    | Auxiliar      | Oxidante                                 | 1,6                    |
| Color Red P-100           | Auxiliar      | Neutralizador de<br>peróxido             | 0,5                    |
| Ácido Acético             | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,5                    |
| Securon 540               | Auxiliar      | Dispersante                              | 1                      |

\* A quantidade dos compostos empregados em % foi calculada com base no peso final da fibra seca;

\*\* A quantidade empregada em g/L foi calculada com relação à quantidade de banho correspondente a 15 litros.

A Figura 20 apresenta a curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e pós-alveamento (b).

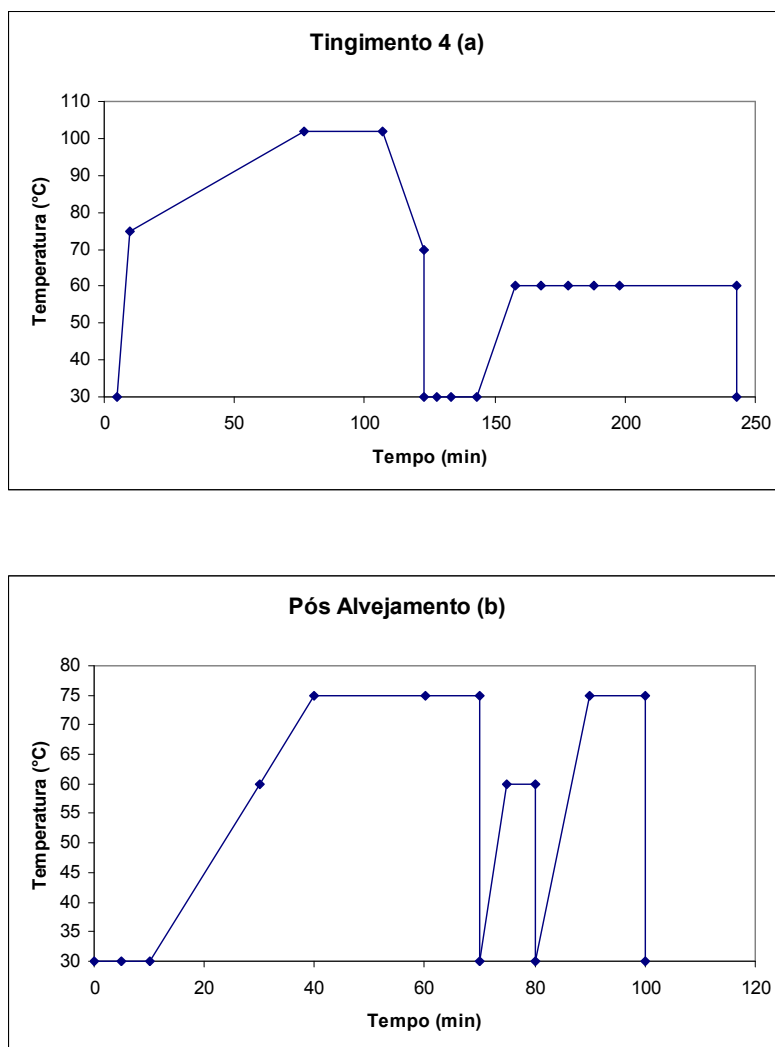


Figura 20 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e pós-alveamento (b).

No tingimento 4 foram realizadas as mesmas operações do tingimento 3 em uma mesma bobina. Primeiro foi tingida a fibra de acrílico, e logo após, em novo banho de tingimento, foi tingida a fibra de algodão. Após o tingimento de algodão, o fio sofreu um processo de pós-alveamento, onde primeiro o fio foi lavado a frio durante 5 minutos para a retirada de sais. Após esta lavagem, iniciou-se o processo de pós-alveamento, onde após encher a máquina com água fria e limpa, adicionou-se o Securon 540 e a Soda Cáustica. O banho teve a temperatura elevada até 60°C numa razão de 1.5°C/min e em 60°C foi

adicionado o Peróxido de Hidrogênio e o banho foi aquecido até 75°C na razão anterior. O banho foi mantido em circulação por 20 minutos em 75°C e após este período foi adicionado o Color Red P-100 e circulado por mais 10 min. Este banho foi esgotado, e em novo banho foi efetuada a neutralização do banho com ácido acético a 60°C durante 5 minutos. Novamente a bobina foi lavada com Securon 540 a 75°C durante 10 minutos e então foi encerrado o tingimento.

### **3.3.5 – Tingimento 5**

Neste tingimento de uma bobina de fio misto de 50% algodão e 50% acrílico, as fibras de acrílico e de algodão passaram pelo processo de tingimento; após o tingimento da fibra de algodão, o fio passou por um processo de Pós-Alvejamento, com o objetivo de eliminar as impurezas presentes no algodão. Após o pós-alvejamento, o fio sofreu acabamento final, com amaciante catiônico.

A Tabela 16 apresenta as características e quantidades dos compostos empregados no processo de tingimento 5.

Tabela 16 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no Tingimento 5.

| <b>Composto</b>   | <b>Função</b> | <b>Característica</b>                    | <b>Quantidade (%)*</b> |
|---|---------------|--|------------------------|
| Ácido Acético   | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,2 g/L **             |
| Reoman WED  | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Reoman R-ACR  | Auxiliar      | Retardante                               | 1,26                   |
| Amarelo Cassacryl GL 400%   | Corante       | Corante Básico –<br>C.I. Basic Yellow 28 | 0,1                    |
| Securon 540   | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Amarelo Cassafix CA-4G  | Corante       | Corante Reativo –<br>C.I. Yellow 160     | 1,6                    |
| Amarelo Cassafix CA-3R  | Corante       | Corante Reativo -<br>C.I. Yellow 145     | 0,8                    |
| Carbonato de Sódio  | Auxiliar      | Álcali                                   | 15 g/L **              |
| Sulfato de sódio  | Auxiliar      | Sal                                      | 60 g/L **              |
| Securon 540   | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Soda Cáustica   | Auxiliar      | Álcali                                   | 0,6                    |
| Peróxido de Hidrogênio  | Auxiliar      | Oxidante                                 | 1,6                    |
| Color Red P-100   | Auxiliar      | Neutralizador de<br>peróxido             | 0,5                    |
| Ácido Acético   | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,5                    |
| Securon 540   | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Terasoft ACB  | Auxiliar      | Amaciante                                | 3,0                    |
| * A quantidade dos compostos empregados em % foi calculada com base no peso final da fibra seca;          |               |  |                        |
| ** A quantidade empregada em g/L foi calculada com relação à quantidade de banho corresponde a 15 litros. |               |  |                        |

A Figura 21 apresenta a curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e pós-alveamento/amaciamento (b).

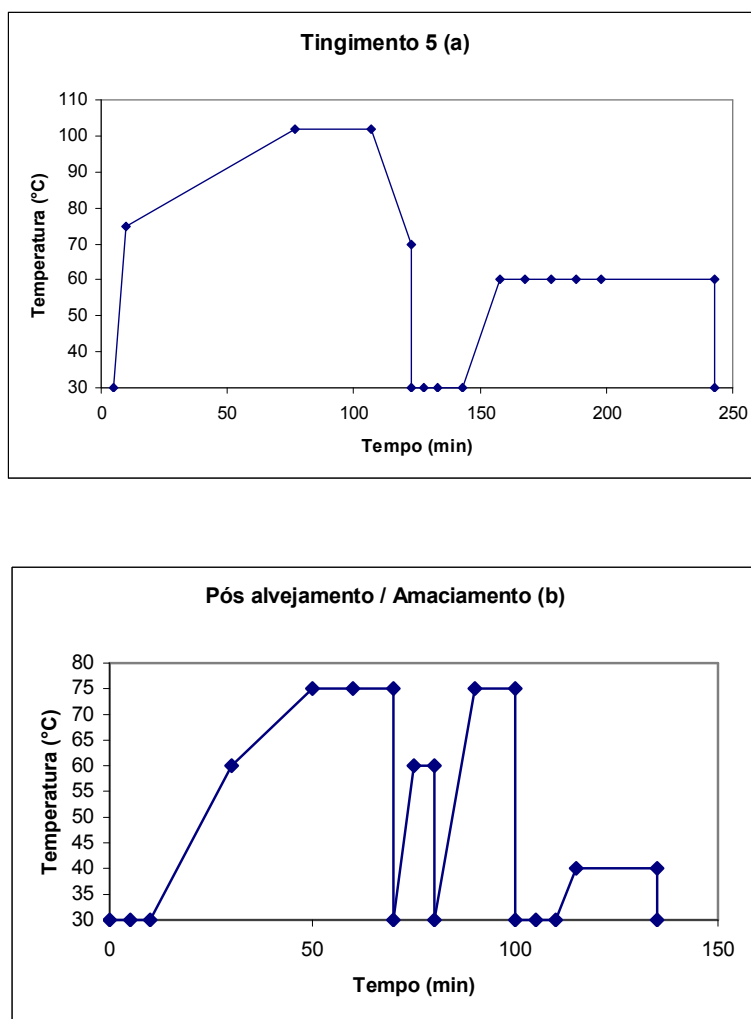


Figura 21 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento (a) e pós-alveijamento/amaciamento (b).

No tingimento 5 foram realizadas as mesmas operações do tingimento 4 em uma mesma bobina, porém, após o pós-alveijamento, a bobina recebeu amaciante catiônico a 40°C durante 20 minutos para que a malha tecida com este fio tenha toque agradável e para que o fio tenha lubrificação para poder ser tecido sem problemas de atrito no tear.

### 3.3.6 – Tingimento 6

Neste tingimento de uma bobina de fio misto de 50% algodão e 50% acrílico, as fibras de acrílico e de algodão passaram pelo processo de tingimento; após o tingimento da

fibra de acrílico, o fio passou por um processo de Pré-Alvejamento da fibra de algodão, com o objetivo de eliminar as impurezas presentes nesta fibra. Após o pré-alvejamento, foi tingida a fibra de algodão e então o fio foi lavado e aplicado o acabamento final, com amaciante catiônico.

A Tabela 17 apresenta as características e quantidades dos compostos empregados no processo de tingimento 6.



Tabela 17 – Características e Quantidades dos Compostos empregados no Tingimentos 6.

| <b>Composto</b>   | <b>Função</b> | <b>Característica</b>                    | <b>Quantidade (%)*</b> |
|---|---------------|--|------------------------|
| Ácido Acético   | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,2 g/L **             |
| Reoman WED  | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Reoman R-ACR  | Auxiliar      | Retardante                               | 1,26                   |
| Amarelo Cassacryl GL 400%   | Corante       | Corante Básico –<br>C.I. Basic Yellow 28 | 0,1                    |
| Securon 540   | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Amarelo Cassafix CA-4G  | Corante       | Corante Reativo –<br>C.I. Yellow 160     | 1,6                    |
| Amarelo Cassafix CA-3R  | Corante       | Corante Reativo -<br>C.I. Yellow 145     | 0,8                    |
| Carbonato de Sódio  | Auxiliar      | Álcali                                   | 15 g/L **              |
| Sulfato de sódio  | Auxiliar      | Sal                                      | 60 g/L **              |
| Securon 540   | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Soda Cáustica   | Auxiliar      | Álcali                                   | 0,6                    |
| Peróxido de Hidrogênio  | Auxiliar      | Oxidante                                 | 1,6                    |
| Color Red P-100   | Auxiliar      | Neutralizador de<br>peróxido             | 0,5                    |
| Ácido Acético   | Auxiliar      | Ácido                                    | 0,5                    |
| Securon 540   | Auxiliar      | Dispersante                              | 1,0                    |
| Terasoft ACB  | Auxiliar      | Amaciante                                | 3,0                    |
| * A quantidade dos compostos empregados em % foi calculada com base no peso final da fibra seca;          |               |  |                        |
| ** A quantidade empregada em g/L foi calculada com relação à quantidade de banho corresponde a 15 litros. |               |  |                        |

A Figura 22 apresenta a curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento da fibra de acrílico e pré alvejamento da fibra de algodão (a) tingimento da fibra de algodão e amaciamento (b).

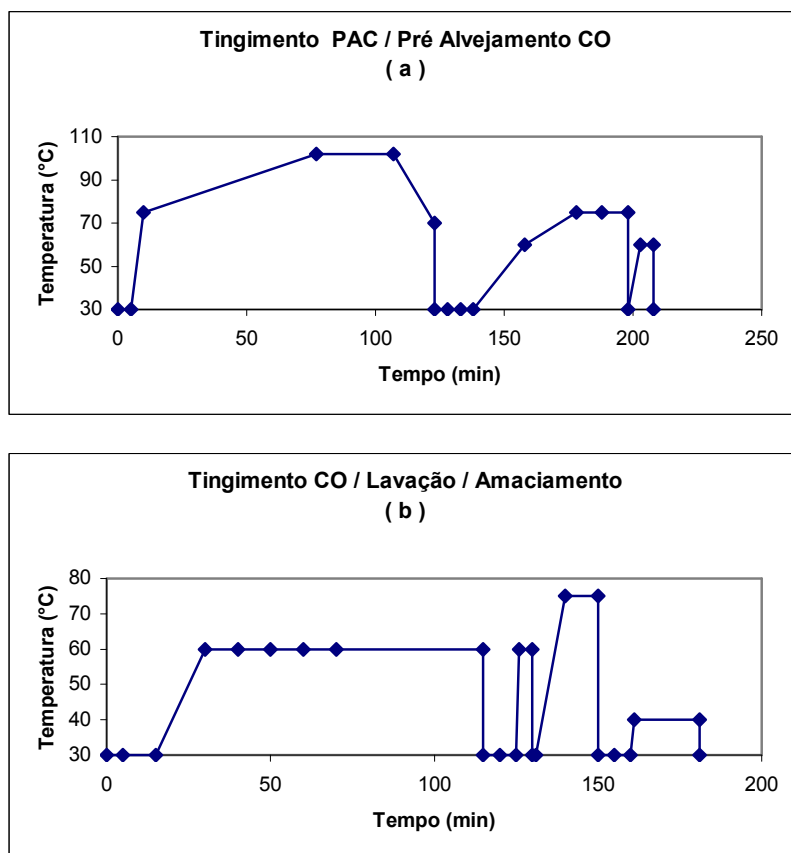


Figura 22 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de tingimento PAC / pré-alvejamento (a) e tingimento CO / lavação /amaciamento (b).

Neste tingimento, foram realizados os mesmos processos do tingimento 5, porém com sua ordem invertida.

### 3.3.7 – Tingimento 7

Neste tingimento de uma bobina de fio misto de 50% algodão e 50% acrílico, as fibras de acrílico e de algodão passaram pelo processo de pré-alvejamento, em seguida pelo processo de tingimento da fibra de acrílico e finalmente pelo processo de tingimento da fibra de algodão. Após estes processos, a bobina foi lavada e aplicado o acabamento final, com amaciante catiônico.

Na Tabela 17 podem ser vistas as características e quantidades dos compostos empregados no processo de tingimento 7, que são as mesmas utilizadas no processo de tingimento 6.

A Figura 23 apresenta a curva de temperatura em função do tempo para os processos de pré – alveamento (a), tingimento da fibra de acrílico (b) e tingimento da fibra de algodão e amaciamento (c).

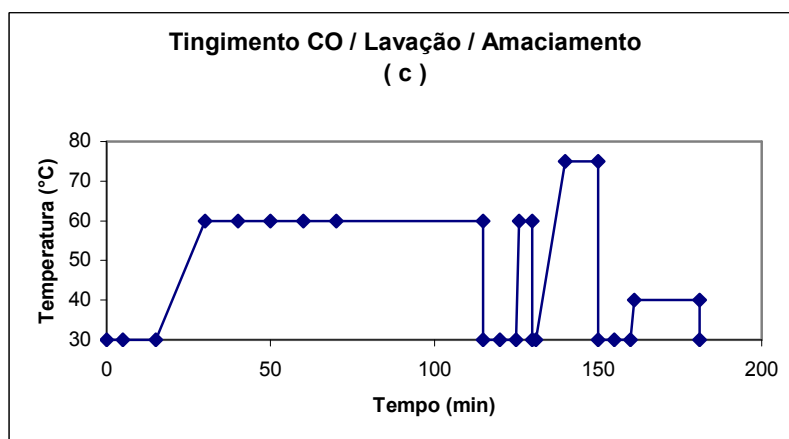
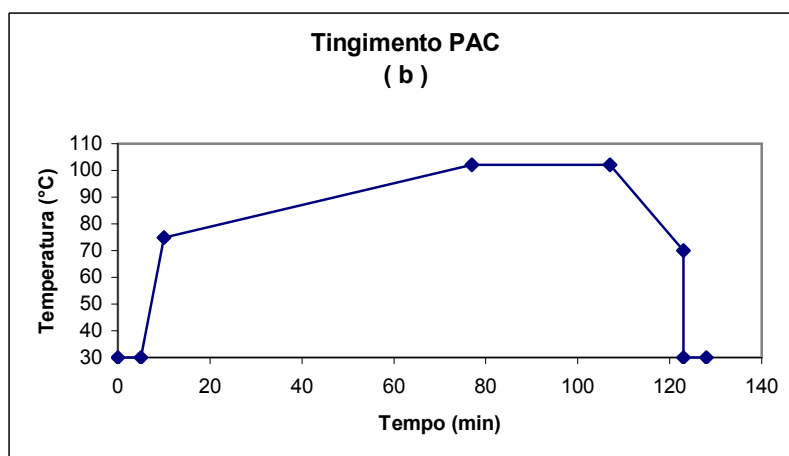
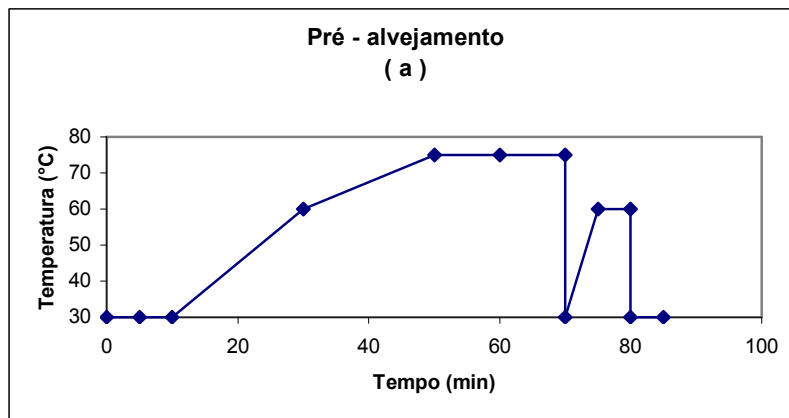


Figura 23 – Curva de temperatura em função do tempo para os processos de pré – alvejamento (a), tingimento da fibra de Acrílico (b) e tingimento da fibra de Algodão e amaciamento (c).

### **3.3.8 – Tingimento 8**

Após realizar todos os tingimentos com a circulação de banho no sentido Dentro – Fora ( $I \rightarrow E$ ), foi realizado um tingimento similar ao tingimento 1, porém com a circulação de banho no interior da bobina com a seguinte reversão:  $I \rightarrow E$ : 5 min,  $E \rightarrow I$ : 3 min, onde as características e quantidades dos compostos empregados podem ser vistos na Tabela 12. A curva de tingimento também pode ser apreciada através da Figura 17.

### **3.3.9 – Tingimento 9**

Seguindo o tingimento 8, este tingimento foi realizado com a circulação de banho somente no sentido  $E \rightarrow I$ , conforme dados do tingimento 1.

### **3.3.10 – Tingimento 10**

Este tingimento é similar ao tingimento 07, porém sem a adição de amaciante. Na Tabela 17 podem ser vistas as características e quantidades dos compostos e a curva de tingimento pode ser vista na Figura 23.

### **3.3.11 – Tingimento 11**

Este tingimento é similar ao tingimento 06, porém sem a adição de amaciante. Na Tabela 17 podem ser vistas as características e quantidades dos compostos e a curva de tingimento pode ser vista na Figura 18.

### **3.3.12 – Tingimento 12**

Neste tingimento, a bobina foi desenrolada e o fio foi novamente enrolado em meadas. Após este processo, o fio foi mercerizado com hidróxido de sódio a 38° Bé e 13 g/L de Resimerc (umectante específico para mercerização – Resitex). A temperatura de mercerização foi de 32°C a 35°C durante 1 hora e 30 minutos. Após a mercerização, o fio foi lavado a quente e depois a frio. Após a lavagem, o fio passou por um processo de neutralização com 0,6 mL/L de ácido acético para chegar a pH na faixa de 7,00. Todo o processo foi realizado em um equipamento de produção conhecido como Armário, na indústria Linhas Círculo S.A. A relação de banho da mercerização foi de 1:22.

Após mercerizado, o fio foi enrolado em bobinas de tingimento.

O processo de tingimento pode ser visto na Figura 19, que é similar ao tingimento 3, ou seja, o fio teve as fibras de acrílico e algodão tingidas, porém não recebeu amaciante. Não ocorreu o processo de alveamento, pois o fio foi mercerizado, eliminando assim o processo de alveamento.

### **3.3.13 – Tingimento 13**

Neste tingimento, a bobina foi mercerizada conforme descrito no Tingimento 12. O tingimento deu-se conforme o tingimento 03, que pode ser visto na Figura 19, porém com adição de amaciante, conforme processo do tingimento 05.

## **3.4 – Dados Operacionais e geométricos empregados nos processos de tingimento**

Na Tabela 18, são apresentados dados operacionais e geométricos empregados no processo de tingimento de fios com o corante básico Yellow 28 e com os corantes reativos Yellow 160 e Yellow 145.

Tabela 18 – Dados operacionais e geométricos empregados no processo de tingimento de fios com o corante básico Yellow 28 e com os corantes reativos Yellow 160 e Yellow 145.

| Parâmetro                          | Símbolo        | Valor                | Unidade           |
|------------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| Relação de banho                   | RB             | 1:15                 | Kg/L              |
| Raio maior da bobina               | $R_1$          | 0,180                | m                 |
| Raio menor da bobina               | $R_2$          | 0,177                | m                 |
| Altura da bobina                   | $H_{bobina}$   | 0,1475               | m                 |
| Diâmetro do fio                    | $D_{fio}$      | $6,31 \cdot 10^{-4}$ | m                 |
| Número do fio                      | T              | 18/2                 | Ne                |
| Massa específica da fibra          | $\rho_{fibra}$ | 1170                 | Kg/m <sup>3</sup> |
| Diâmetro da fibra                  | $D_{fibra}$    | $1,30 \cdot 10^{-5}$ | m                 |
| Comprimento da fibra               | $l_{fibra}$    | 0,04                 | m                 |
| Massa média das bobinas utilizadas | $M_{bobina}$   | 1,00                 | Kg                |
| Vazão na descarga da bomba         | $Q_b$          | $5 \cdot 10^{-5}$    | m <sup>3</sup> /s |

### 3.5 – Controle de retirada de amostras ao longo da bobina

Para a determinação da intensidade de cor ao longo da bobina, foram retiradas meadas de 50 jardas (1 jarda = 0,91 m) em meadeira marca Marte. As meadas foram retiradas através da partição da bobina, medidas em comprimento (metros).

Na Tabela 19, é apresentada a descrição para cada ponto da bobina.

Tabela 19 – Descrição dos pontos ao longo da bobina

| <b>Meada</b> | <b>Descrição</b>   |
|--------------|--|
| 1            | Meada externa da bobina                                  |
| 2            | Meada após 2.000 m de fio de fora para dentro da bobina  |
| 3            | Meada após 4.000 m de fio de fora para dentro da bobina  |
| 4            | Meada após 6.000 m de fio de fora para dentro da bobina  |
| 5            | Meada após 8.000 m de fio de fora para dentro da bobina  |
| 6            | Meada após 10.000 m de fio de fora para dentro da bobina |
| 7            | Meada após 12.000 m de fio de fora para dentro da bobina |
| 8            | Meada após 1235 m de fio de dentro para fora da bobina   |
| 9            | Meada após 915 m de fio de dentro para fora da bobina    |
| 10           | Meada após 595 m de fio de dentro para fora da bobina    |
| 11           | Meada após 275 m de fio de dentro para fora da bobina    |
| 12           | Meada interna da bobina                                  |

Na parte interna da bobina, o número de retirada de meadas foi maior. Este procedimento é devido ao problema de diferença de tonalidade na parte interna da mesma que costuma ser maior em casos específicos.

### **3.6 – Determinação da intensidade de cor das amostras**

Farkas (2001) destaca que cor é a palavra que descreve uma distribuição irregular da energia radiante, visível, que impressiona os olhos, partindo de uma fonte de luz e refletindo nos objetos; quimicamente é o resultado de uma reação que ocorre com algumas moléculas, originando grupos que, quando excitados eletronicamente, emitem radiação característica.

Para efetuar avaliações visuais confiáveis de aparência e diferenças de cor, deve-se controlar as seguintes etapas:

- 1 – a qualidade espectral da fonte de luz;
- 2 – a intensidade da fonte de luz;
- 3 – o tamanho angular da fonte de luz;



- 4 – a direção da qual a luz golpeia o objeto. (Ângulo de Incidência);
- 5 – a direção pela qual o objeto é visto (Ângulo de Visão);
- 6 – o fundo;
- 7 – a distância entre as amostras;
- 8 – a resposta da função espectral do observador.

Para a determinação da intensidade de cor, as amostras tiveram a cor avaliada em um Espectrofotômetro da marca X-Rite.

A intensidade de cor foi determinada em uma curva de reflectância espectral, que representa a identidade de uma cor, de tal forma que padrão e amostra, para serem considerados muito próximos, devem ter suas curvas de reflectância espectral muito semelhantes.

No presente trabalho, a intensidade de cor foi medida na Linguagem CMC, que significa “COLOR MEASUREMENT COMMITTEE”.

CMC é definido por um jogo de equações de diferença de cor, desenvolvidas pelo Comitê de Medição de Cor (CMC), da Sociedade dos Tintureiros e Coloristas da Inglaterra. O desenvolvimento do modelo matemático CMC baseou-se em um grande estudo de aceitabilidade das diferenças de cor em todas as regiões do espaço de cor, segundo Farkas (2001).

### **3.7 – Análise da retração/expansão das fibras de acrílico e algodão.**

Uma bobina de fio 100% acrílico e uma bobina de fio 50% acrílico/50% algodão foram submetidas à análise de expansão / retração a 100°C. Foi medido o diâmetro de cada uma das bobinas secas em estado cru e a 100°C.

A seguir serão apresentados os principais resultados obtidos neste trabalho, bem como a análise dos mesmos.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estarão sendo apresentados os resultados obtidos através dos experimentos realizados junto à Indústria Têxtil *FIOBRAS LTDA – Indaial - SC* e apresentados no Capítulo 3.

Na primeira etapa foram realizados dois experimentos, um em escala piloto e outro em produção. Estes experimentos foram conduzidos com o objetivo de comparar a cinética do tingimento do Acrílico e do Algodão nos dois equipamentos, avaliando-se desta forma a reprodutibilidade dos tingimentos realizados em escala piloto e depois convertidos para a escala industrial.

Na segunda etapa, os experimentos foram conduzidos visando determinar a interferência da preparação da fibra de algodão, ou seja, em que etapa da preparação há melhor eficiência de rendimento de cor. Em paralelo, foi estudada a influência da adição do amaciante na bobina, com o objetivo de avaliar a diferença de tonalidade ao longo da mesma.

### **4.1 – Determinação do perfil de concentração de corante para o tingimento da fibra de acrílico e da fibra de algodão – Escala piloto e de produção**

Com o objetivo de verificar a concentração de corante no banho em função do tempo, foi necessário determinar o espectro de absorção para os tingimentos estudados, obtendo-se um comprimento de máxima absorção de  $\lambda=528$  nm para o corante básico e de  $\lambda=536$  nm para o corante reativo.

Foram estudados os perfis de concentração dos corantes em um tingimento realizado em escala piloto e em um tingimento realizado em escala industrial.

Os perfis de concentração do corante básico e do corante reativo, desde a etapa inicial de adição de corante (após 10 minutos), são apresentados nas Figuras 24 e 25, respectivamente.

É possível visualizar a partir de ambas as curvas que a transferência de corante para o substrato têxtil possui o mesmo comportamento na escala piloto e na escala industrial. Os valores da concentração na escala piloto são superiores à concentração na escala industrial, indicando que houve uma maior transferência do corante para a fibra na escala industrial. O erro máximo do valor obtido na escala piloto, comparativamente ao valor da escala industrial, não ultrapassou 15%, com relação à concentração inicial. Estas diferenças podem ser atribuídas às diferentes condições geométricas de empacotamento (com várias bobinas), diferentes condições de agitação de banho, diferentes condições de relação de banho, etc. Estas diferenças podem alterar o processo de transferência de massa do corante para a fibra.

As diferenças obtidas são pequenas, o que permite a utilização da escala piloto para prever as condições a serem obtidas na escala industrial, economizando tempo de processo e minimizando custos.

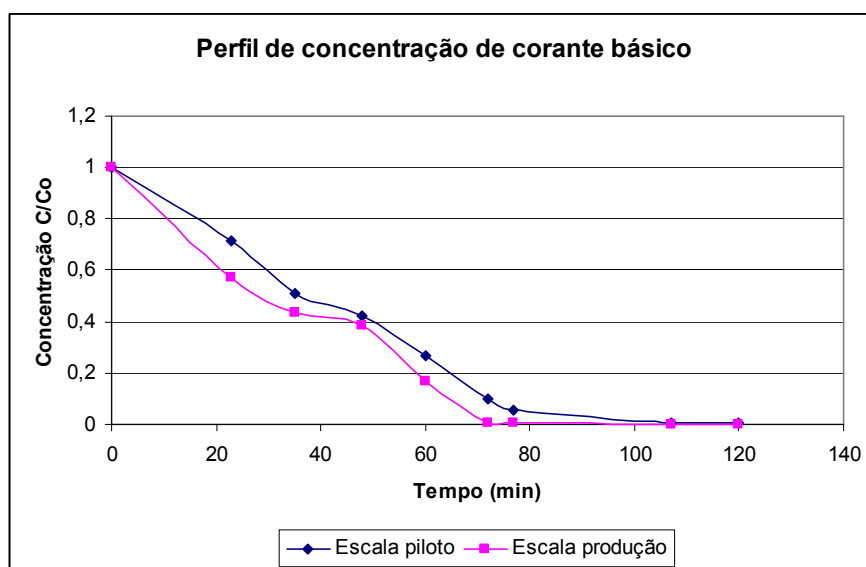


Figura 24 – Perfil de concentração de corante básico no tingimento da fibra de acrílico.

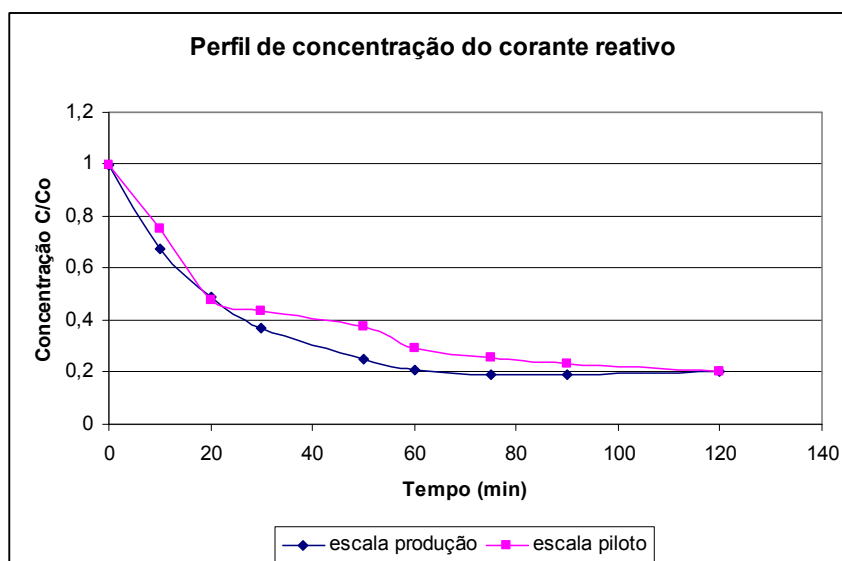


Figura 25 – Perfil de concentração de corante reativo no tingimento da fibra de algodão.

#### 4.1.1 – Determinação da cinética de tingimento para o corante básico

Conforme se pode verificar na Figura 26, para o tingimento com o corante básico admite-se uma cinética de 1ª ordem com  $K_1$  igual a  $0,0697 \text{ min}^{-1}$ , após 60 minutos de tingimento quando este ocorre em escala piloto e após 72 minutos; quando o tingimento se dá em produção, também se admite uma cinética de 1ª ordem com  $K_1$  igual a  $0,0305 \text{ min}^{-1}$ .

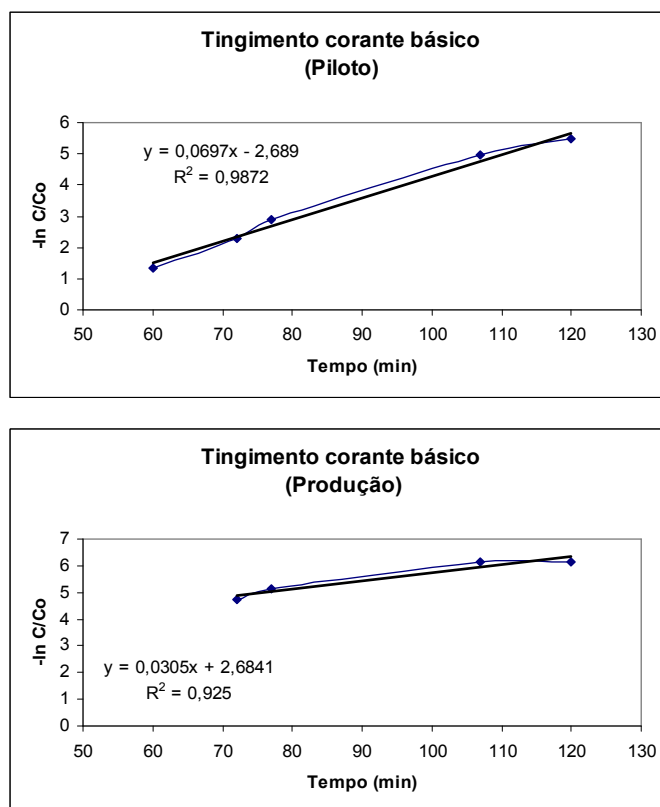


Figura 26 – Tingimento com corante básico – piloto e produção

#### 4.1.2 – Determinação da cinética de tingimento para o corante reativo

Como se pode verificar na Figura 27, o corante reativo admite uma cinética de 1ª ordem nos 60 minutos iniciais, tanto no tingimento em escala piloto como no tingimento em produção. Para a escala piloto o valor de  $K_1$  é igual a  $0,0186 \text{ min}^{-1}$  e na escala de produção o valor de  $K_1$  é igual a  $0,0252 \text{ min}^{-1}$ .

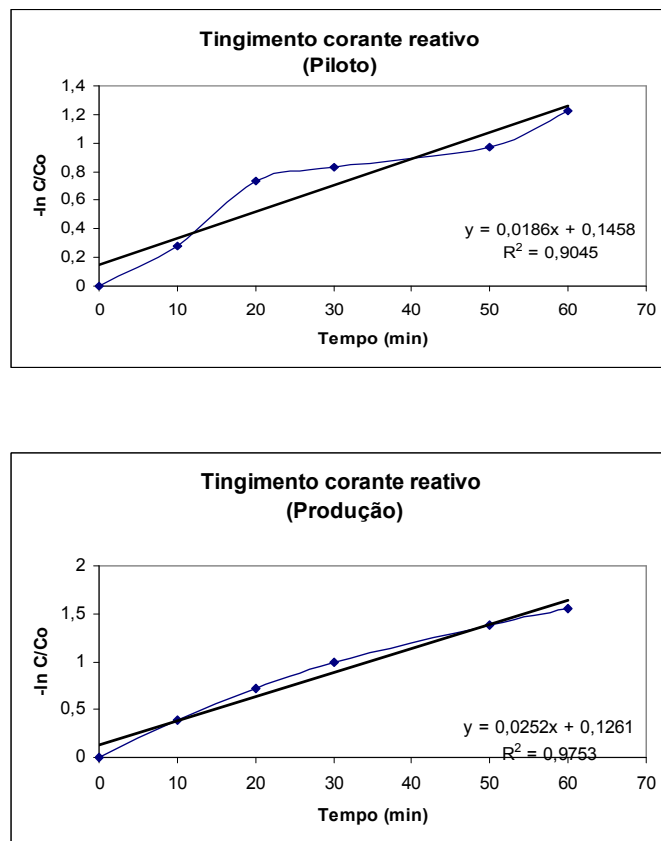


Figura 27 – Tingimento com corante reativo – piloto e produção

#### 4.2 – Resultados obtidos nos Tingimentos 1 a 13

Os 13 tingimentos foram efetuados conforme apresentado no Capítulo 3.

Tingimento 1: somente a fibra de acrílico foi tingida, em circulação de banho I→E, sem adição de amaciante no final do processo.

Tingimento 2: somente a fibra de algodão foi tingida, em circulação de banho I→E, sem adição de amaciante no final do processo.

Tingimento 3: foi tingida a fibra de acrílico e em seguida foi tingida a fibra de algodão, em circulação de banho I→E, sem adição de amaciante no final do processo.

Tingimento 4: foi tingida a fibra de acrílico, em seguida foi tingida a fibra de algodão e finalmente foi efetuado o alvejamento da fibra de algodão, em circulação de banho I→E, sem adição de amaciante no final do processo.

Tingimento 5: foi tingida a fibra de acrílico, em seguida foi tingida a fibra de algodão, efetuado o alvejamento da fibra de algodão e finalmente foi adicionado o amaciante. Todo o processo foi realizado com circulação de banho I→E.

Tingimento 6: foi tingida a fibra de acrílico, em seguida foi efetuado o alvejamento da fibra de algodão, tingida a fibra de algodão e finalmente adicionado o amaciante. Todo o processo foi realizado com circulação de banho I→E.

Tingimento 7: foi efetuado o alvejamento da fibra de algodão, tingida a fibra de acrílico, em seguida tingida a fibra de algodão e finalmente adicionado o amaciante, com o processo em circulação I→E.

Tingimento 8: somente a fibra de acrílico foi tingida, em circulação E→I, sem amaciante no final do processo.

Tingimento 9: somente a fibra de acrílico foi tingida, em circulação de banho 3 min I→E e 5 min E→I, sem adição de amaciante no final do processo.

Tingimento 10: foi efetuado o alvejamento da fibra de algodão, tingida a fibra de acrílico, em seguida tingida a fibra de algodão, em circulação de banho I→E, sem adição de amaciante no final do processo.

Tingimento 11: foi tingida a fibra de acrílico, em seguida foi efetuado o alvejamento da fibra de algodão e finalmente tingida a fibra de algodão. O processo foi realizado em circulação de banho I→E e não houve adição de amaciante.

Tingimento 12: foi mercerizada a fibra de algodão, tingida a fibra de acrílico e tingida a fibra de algodão, em circulação de banho I→E, sem adição de amaciante.

Tingimento 13: foi mercerizada a fibra de algodão, tingida a fibra de acrílico, tingida a fibra de algodão e adicionado amaciante no final do processo, que foi realizado em circulação de banho I→E.

A síntese dos processos acima pode ser visto na Tabela 20.

Tabela 20 – Processos aplicados nos Tingimentos 1 a 13

| Tingimento | Acrílico<br>(PAC) | Algodão<br>(CO) |       | Alveamento            |                      |                     | Ama-<br>ciante | Circulação |     |
|------------|-------------------|-----------------|-------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------|------------|-----|
|            |                   | Alv.            | Merc. | Antes<br>ting.<br>PAC | Após<br>ting.<br>PAC | Após<br>ting.<br>CO |                | I→E        | E→I |
| 01         | X                 |                 |       |                       |                      |                     |                | x          |     |
| 02         |                   | x               |       |                       |                      |                     |                | x          |     |
| 03         | X                 | x               |       |                       |                      |                     |                | x          |     |
| 04         | X                 | x               |       |                       |                      | x                   |                | x          |     |
| 05         | x                 | x               |       |                       |                      | x                   | x              | x          |     |
| 06         | x                 | x               |       |                       | x                    |                     | x              | x          |     |
| 07         | x                 | x               |       | x                     |                      |                     | x              | x          |     |
| 08         | x                 |                 |       |                       |                      |                     |                |            | x   |
| 09         | x                 |                 |       |                       |                      |                     |                | x          | x   |
| 10         | x                 | x               |       | x                     |                      |                     |                | x          |     |
| 11         | x                 | x               |       |                       | x                    |                     |                | x          |     |
| 12         | x                 |                 | x     |                       |                      |                     |                | x          |     |
| 13         | x                 |                 | x     |                       |                      |                     | x              | x          |     |

Todos os tingimentos tiveram o comportamento de intensidade de cor analisados ao longo da bobina. Os valores do percentual de intensidade de cor podem ser vistos na Tabela 21.

Esta análise teve como objetivo analisar qual o método de tingimento da mistura acrílico/algodão é mais eficiente em termos de rendimento de corante e qual o comportamento da cor ao longo a bobina.

Na Figura 28, pode-se observar uma bobina tingida em escala industrial, que é idêntica às bobinas tingidas em escala piloto.





Figura 28 – Bobina tingida em escala industrial

Tabela 21 – Valores da intensidade de cor ao longo da bobina para cada um dos tingimentos.

| Tingim. | 1     | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8     | 9     | 10     | 11     | 12     | 13     |
|---------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Ponto   | %     | %     | %      | %      | %      | %      | %      | %     | %     | %      | %      | %      | %      |
| 1       | 38,65 | 54,35 | 136,90 | 105,65 | 110,85 | 125,45 | 128,05 | 36,90 | 36,65 | 136,85 | 113,95 | 158,50 | 150,35 |
| 2       | 40,25 | 62,35 | 137,45 | 99,55  | 106,65 | 123,10 | 128,25 | 34,75 | 33,80 | 135,25 | 116,70 | 154,70 | 149,15 |
| 3       | 35,15 | 51,65 | 136,50 | 106,60 | 106,70 | 124,55 | 125,20 | 38,35 | 35,10 | 141,45 | 122,30 | 163,95 | 156,00 |
| 4       | 32,60 | 54,00 | 137,40 | 103,05 | 117,85 | 119,05 | 127,70 | 36,65 | 36,10 | 140,15 | 119,70 | 161,50 | 147,30 |
| 5       | 33,65 | 61,70 | 141,80 | 108,45 | 118,50 | 126,95 | 133,00 | 38,10 | 39,45 | 138,80 | 118,20 | 160,55 | 149,65 |
| 6       | 33,30 | 54,80 | 131,30 | 106,55 | 112,05 | 129,90 | 132,30 | 35,05 | 34,65 | 137,30 | 118,45 | 172,65 | 142,35 |
| 7       | 33,80 | 56,15 | 133,80 | 100,10 | 105,40 | 122,40 | 128,25 | 33,45 | 32,10 | 133,80 | 117,95 | 172,75 | 146,40 |
| 8       | 36,75 | 53,70 | 143,70 | 103,70 | 105,75 | 130,20 | 133,00 | 34,95 | 37,85 | 147,20 | 111,70 | 164,20 | 151,10 |
| 9       | 40,20 | 60,00 | 133,80 | 101,65 | 106,95 | 124,55 | 128,60 | 35,60 | 32,80 | 135,65 | 116,30 | 169,95 | 155,70 |
| 10      | 38,90 | 50,60 | 127,10 | 102,65 | 118,65 | 134,15 | 138,80 | 30,85 | 39,05 | 135,25 | 115,65 | 163,75 | 160,40 |
| 11      | 39,30 | 55,95 | 132,85 | 100,15 | 117,80 | 136,75 | 145,20 | 31,95 | 31,45 | 138,70 | 112,70 | 168,90 | 156,40 |
| 12      | 44,70 | 60,90 | 137,50 | 111,35 | 122,95 | 150,25 | 146,70 | 36,10 | 42,90 | 136,00 | 112,65 | 167,65 | 159,10 |

O ponto 1 refere-se à extremidade externa da bobina e o ponto 12 refere-se à extremidade interna da bobina.

Na Figura 29 pode-se observar a intensidade de cor ao longo da bobina dos tingimentos que apresentaram melhores rendimentos de corante e maior homogeneidade da cor ao longo da bobina.

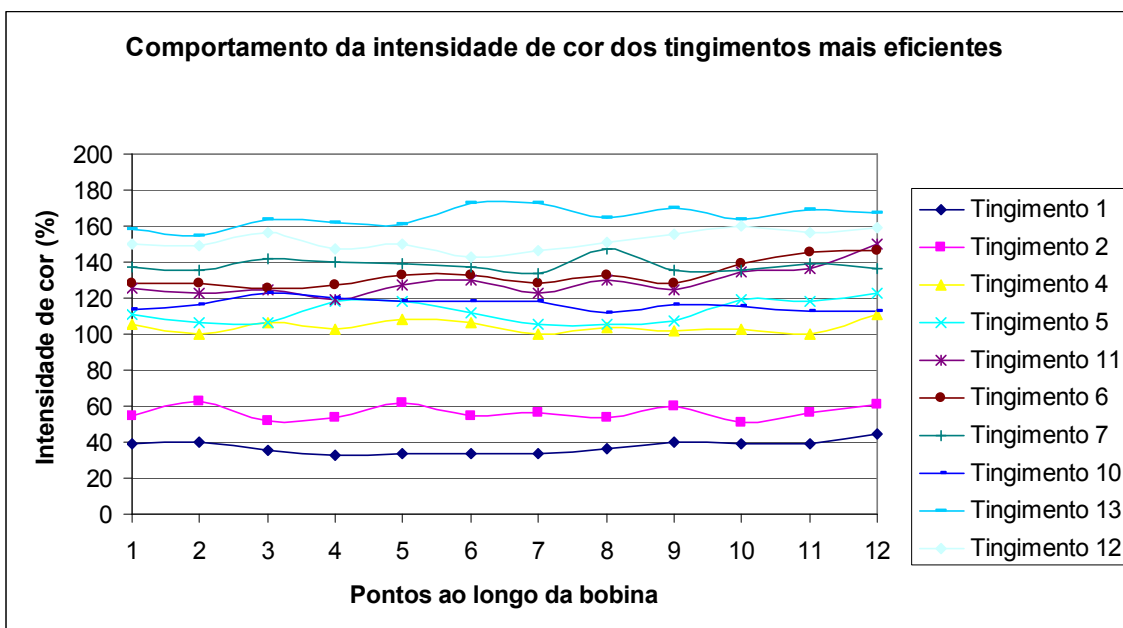


Figura 29 – Intensidade de cor ao longo da bobina para os tingimentos mais eficientes.

#### 4.2.1 – Resultados obtidos com o Tingimento 1

No Tingimento 1 somente a fibra de acrílico foi tingida, em circulação de banho I→E. Não foi adicionado amaciante no final do processo. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 22 e a de intensidade de cor ao longo da bobina pode ser observada na Figura 30, respectivamente.

Tabela 22 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 1.

| Fase do processo                                 | pH   |
|--|------|
| Água limpa                                       | 7,16 |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR | 4,52 |
| Solução após adição de Corante                   | 4,22 |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento    | 4,78 |
| Solução de água (último banho)                   | 5,89 |

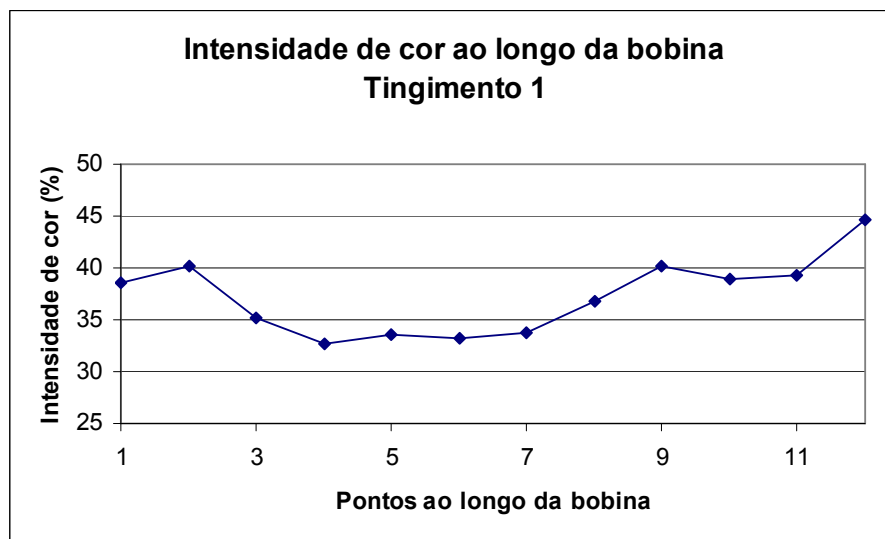


Figura 30 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 1.

Nota-se que a intensidade de cor média é de 37,27% em relação ao padrão. A variação da tonalidade ao longo da bobina não é significativa, porém, percebe-se que há uma pequena elevação na tonalidade no interior da bobina.

Pode-se afirmar que não há um bom equilíbrio tintorial entre as fibras de acrílico e algodão usando-se a receita do Tingimento 1 para a mistura acrílico/algodão, pois haverá maior intensidade de cor na fibra de algodão.

#### 4.2.2 – Resultados obtidos com o Tingimento 2

No Tingimento 2 somente a fibra de algodão foi tingida, em circulação de banho I→E. Não foi adicionado amaciante no final do processo. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 23 e a intensidade de cor pode ser observada na Figura 31, respectivamente.

Tabela 23 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 2.

| Fase do processo                         | pH    |
|--|-------|
| Água limpa                               | 7,07  |
| Solução após adição de Securon 540       | 6,12  |
| Solução após adição de corantes          | 6,23  |
| Solução após adição do 1º sal (50%)      | 6,04  |
| Solução após adição do 2º sal (50%)      | 5,98  |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%) | 9,97  |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%) | 10,57 |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%) | 10,83 |
| 1ª solução de lavagem                    | 10,05 |
| Solução após adição de ácido acético     | 7,27  |
| Solução após adição Securon 540          | 6,98  |

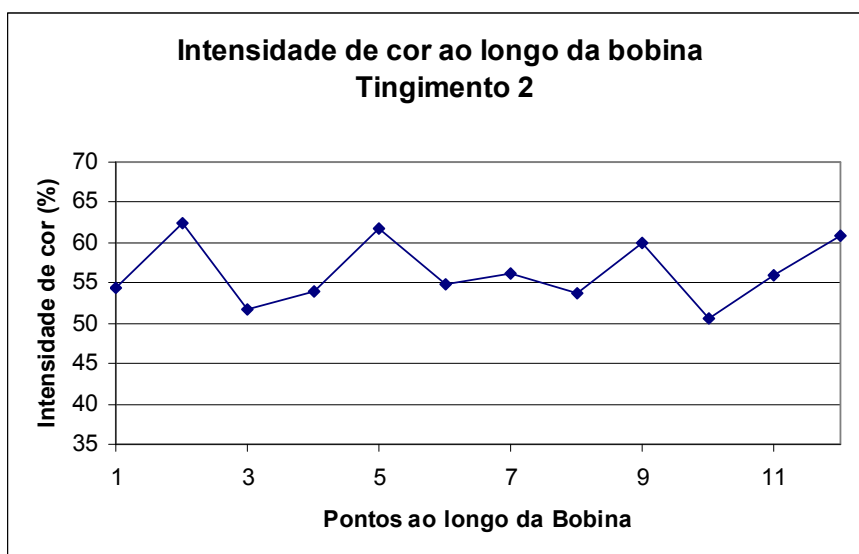


Figura 31 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 2.

Percebe-se se que a intensidade de cor média é de 56,34% em relação ao padrão. A variação da tonalidade ao longo da bobina não é significativa. Nota-se que há uma pequena elevação na tonalidade no interior da bobina, porém sua intensidade não é maior que a intensidade em alguns pontos ao longo da bobina.

### 4.2.3 – Resultados obtidos com o Tingimento 3

No Tingimento 3 foram tingidas as fibras de acrílico e em seguida as fibras de algodão, em circulação de banho I→E. Não foi adicionado amaciante no final do processo. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 24 a intensidade de cor pode ser observada na Figura 32, respectivamente.

Tabela 24 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 3.

| <b>Fase do processo</b>                          | <b>pH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa                                       | 7,27      |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR | 4,45      |
| Solução após adição de Corante                   | 4,20      |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento    | 4,38      |
| Solução de água (último banho)                   | 6,02      |
| Água limpa                                       | 6,89      |
| Solução após adição de Securon 540.              | 5,70      |
| Solução após adição de corante                   | 5,60      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)              | 5,44      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)              | 5,52      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)         | 10,36     |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)         | 11,3      |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)         | 11,16     |
| 1ª solução de lavação                            | 10,78     |
| Solução após adição de ácido acético             | 7,56      |
| Solução após adição Securon 540                  | 7,02      |

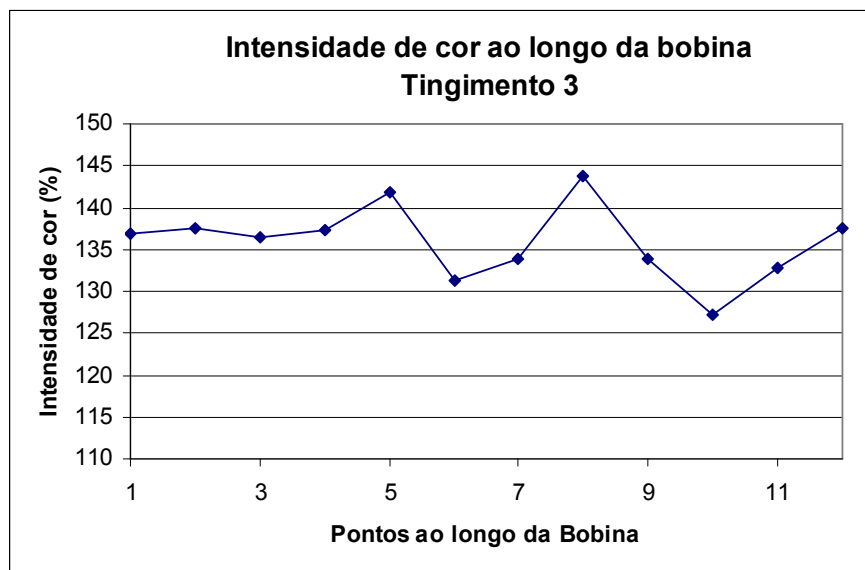


Figura 32 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 3.

A intensidade de cor média é de 135,84% em relação ao padrão, mostrando que, neste processo, o rendimento de corante é superior ao rendimento do mesmo no processo utilizado para a determinação do padrão. A variação de cor ao longo da bobina não é significativa e a intensidade no interior da bobina também não traz perdas ao processo. Porém, convém ressaltar que neste processo a bobina não está adequada para comercialização, pois não foi efetuado o alvejamento da fibra de algodão nem o amaciamento final.

#### 4.2.4 – Resultados obtidos com o Tingimento 4

No Tingimento 4 foram tingidas as fibras de acrílico, em seguida as fibras de algodão e após o tingimento das fibras de algodão, foi efetuado o alvejamento das mesmas, em circulação de banho I→E. Não foi adicionado amaciante no final do processo. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 25.

Tabela 25 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 4.

| <b>Fase do processo</b>                            | <b>pH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa   | 6,98      |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR   | 4,40      |
| Solução após adição de Corante                     | 4,22      |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento      | 4,38      |
| Solução de água (último banho)                     | 4,60      |
| Água limpa   | 5,01      |
| Solução após adição de Securon 540.                | 4,98      |
| Solução após adição de corante                     | 6,43      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)                | 6,70      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)                | 6,70      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)           | 9,96      |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)           | 11,30     |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)           | 11,60     |
| 1ª solução de lavação                              | 10,73     |
| Solução após adição de Securon 540 e Soda Cáustica | 11,15     |
| Solução após adição de Peróxido de Hidrogênio      | 10,97     |
| Solução após adição de Color Red P-100             | 10,99     |
| Solução após adição de ácido Acético               | 7,01      |

Na Figura 33 pode-se observar a intensidade de cor ao longo da bobina do Tingimento 4.

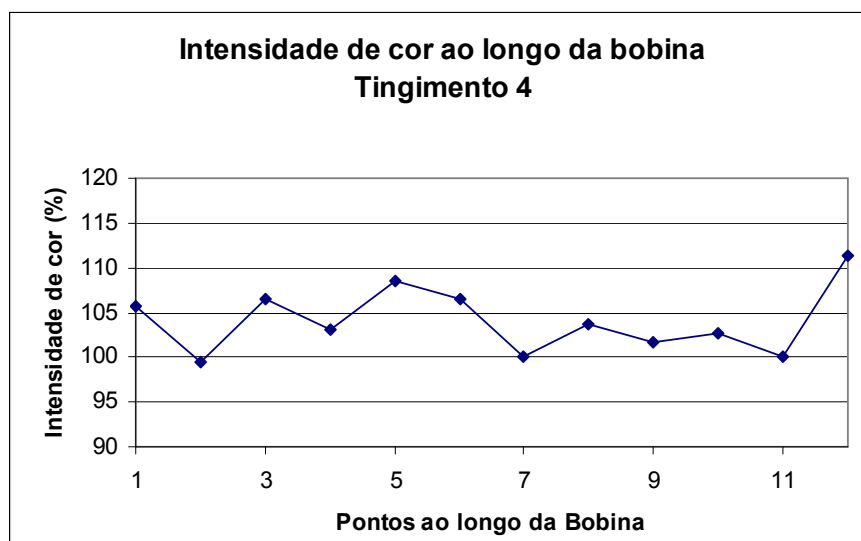


Figura 33 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 4.

A intensidade de cor média para o Tingimento 4 é de 104,12% em relação ao padrão. Novamente percebe-se uma elevação na intensidade de cor no interior da bobina. A elevação não apresenta grande desvio comparado aos demais pontos ao longo da bobina, porém, há uma tendência de aumento de intensidade de cor na parte interna da bobina.

A circulação do banho é na direção I→E, sendo que no interior da bobina está sendo alimentado um banho de tingimento com maior concentração do que nas regiões mais externas na bobina.

#### 4.2.5 – Resultados obtidos com o Tingimento 5

No Tingimento 5 foram tingidas as fibras de acrílico, em seguida as fibras de algodão, após o tingimento das fibras de algodão foi efetuado o alvejamento das mesmas e em seguida foi adicionado o amaciante no final do processo, em circulação de banho I→E. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 26.



Tabela 26 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 5.

| <b>Fase do processo</b>                            | <b>pH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa   | 7,48      |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR   | 4,7       |
| Solução após adição de Corante                     | 4,4       |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento      | 4,67      |
| Solução de água (último banho)                     | 4,89      |
| Água limpa   | 5,07      |
| Solução após adição de Securon 540.                | 5,04      |
| Solução após adição de corante                     | 5,49      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)                | 6,02      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)                | 6,20      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)           | 10,24     |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)           | 10,86     |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)           | 11,15     |
| 1ª solução de lavação                              | 10,98     |
| Solução após adição de Securon 540 e Soda Cáustica | 11,74     |
| Solução após adição de Peróxido de Hidrogênio      | 10,70     |
| Solução após adição de Color Red P-100             | 10,50     |
| Solução após adição de ácido Acético               | 6,50      |
| Solução após adição de amaciante                   | 6,20      |

Na Figura 34 pode-se observar a intensidade de cor ao longo da bobina do Tingimento 5.

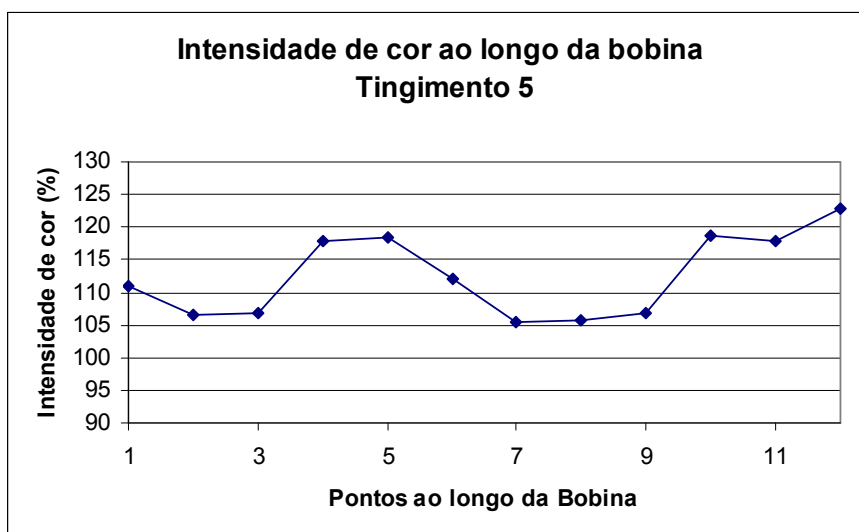


Figura 34 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 5.

A intensidade de cor média para o Tingimento 5 é de 112,51% em relação ao padrão. Este tingimento é similar ao realizado em escala industrial, de onde foi retirada a amostra padrão. Percebe-se uma elevação no ponto relacionado ao interior da bobina. A elevação não apresenta grande desvio comparado aos demais pontos ao longo da bobina, porém, há uma tendência de aumento de intensidade de cor na parte interna da bobina.

#### 4.2.6 – Resultados obtidos com o Tingimento 6

No Tingimento 6 foram tingidas as fibras de acrílico, em seguida foi efetuado o alvejamento das fibras de algodão. Após o alvejamento, foram tingidas as fibras de algodão e, no final do processo, adicionou-se o amaciante. Todo o processo foi realizado em circulação de banho I→E. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 27.

Tabela 27 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 6.

| <b>Fase do processo</b>                            | <b>pH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa   | 7,90      |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR   | 5,00      |
| Solução após adição de Corante                     | 4,10      |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento      | 4,23      |
| Solução de água (último banho)                     | 4,78      |
| Água limpa   | 6,12      |
| Solução após adição de Securon 540 e Soda Cáustica | 11,88     |
| Solução após adição de Peróxido de Hidrogênio      | 10,50     |
| Solução após adição de Color Red P-100             | 10,40     |
| Solução após adição de ácido Acético               | 6,30      |
| Água limpa   | 5,60      |
| Solução após adição de Securon 540.                | 5,67      |
| Solução após adição de corante                     | 5,67      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)                | 5,78      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)                | 5,82      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)           | 9,96      |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)           | 10,75     |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)           | 11,51     |
| 1ª solução de lavagem                              | 9,30      |
| Solução após adição de amaciante                   | 5,80      |

Na Figura 35 pode-se observar a intensidade de cor ao longo da bobina do Tingimento 6.

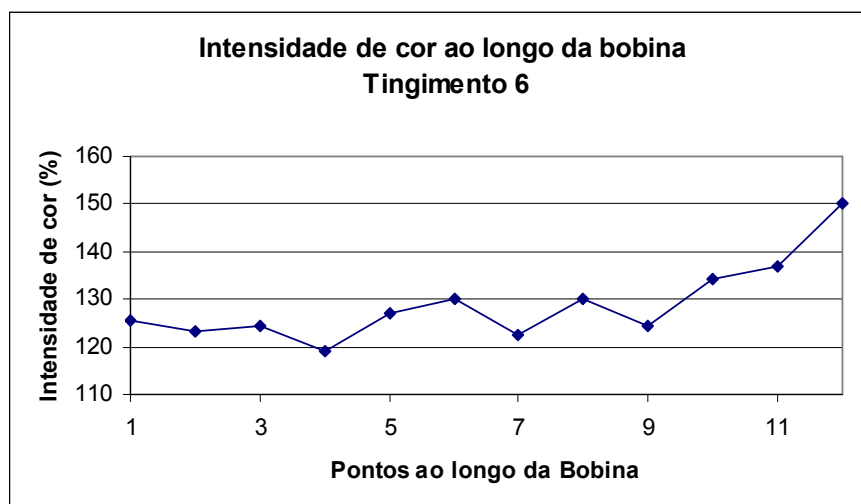


Figura 35 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 6.

A intensidade de cor média para o Tingimento 6 é de 128,94% em relação ao padrão, demonstrando que o processo de tingimento com o alvejamento antes do tingimento das fibras de algodão apresenta maior rendimento do corante, proporcionando cores mais intensas. No caso da cor que vem sendo estudada, para a obtenção da mesma, pode-se reduzir as quantidades de corante aplicadas, ocasionando assim uma redução nos custos do processo. Neste tingimento a intensidade de cor no interior da bobina mostrou uma forte tendência de aumento a partir do ponto 10, intensificando a cor no ponto 12 (interior da bobina), o que mostra que a adição de amaciante ocasionou esta diferença de cor no interior da bobina.

#### 4.2.7 – Resultados obtidos com o Tingimento 7

O Tingimento 7 foi iniciado com o alvejamento das fibras de algodão. Após este alvejamento foram tingidas as fibras de acrílico e, logo em seguida, as fibras de algodão. No final do processo foi adicionado o amaciante e todo o processo foi realizado em circulação de banho I→E. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 28.

Tabela 28 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 7.

| <b>Fase do processo</b>                            | <b>pH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa   | 7,30      |
| Solução após adição de Securon 540 e Soda Cáustica | 11,23     |
| Solução após adição de Peróxido de Hidrogênio      | 10,33     |
| Solução após adição de Color Red P-100             | 9,21      |
| Solução após adição de ácido acético               | 4,50      |
| Água Limpa   | 5,5       |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR   | 3,6       |
| Solução após adição de Corante                     | 3,7       |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento      | 3,9       |
| Solução de água (último banho)                     | 4,2       |
| Água limpa   | 4,99      |
| Solução após adição de Securon 540.                | 5,13      |
| Solução após adição de corante                     | 5,30      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)                | 5,52      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)                | 5,57      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)           | 10,31     |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)           | 10,85     |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)           | 11,33     |
| 1ª solução de lavagem                              | 10,32     |
| Solução após adição de amaciante                   | 5,50      |

Na Figura 36 pode-se observar a intensidade de cor ao longo da bobina do Tingimento 7.

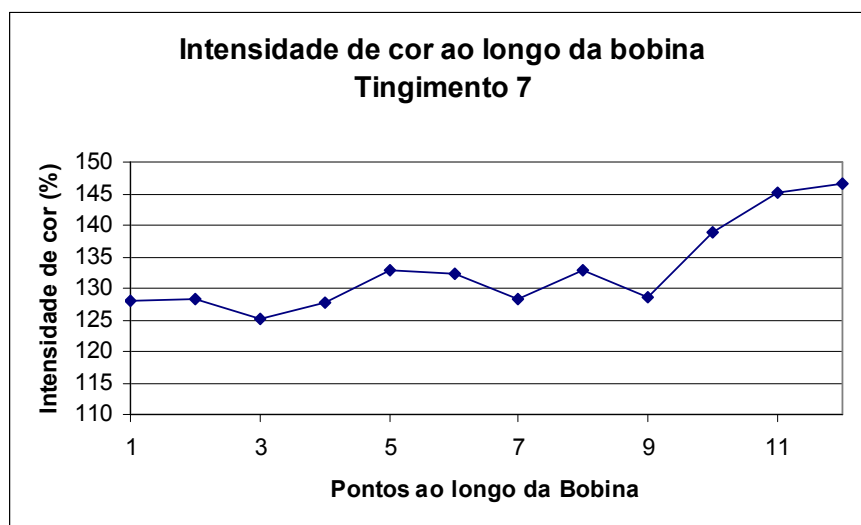


Figura 36 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 7.

A intensidade de cor média para o Tingimento 7 é de 132,95% em relação ao padrão, demonstrando que o processo de tingimento com o alvejamento antes do tingimento das fibras de acrílico e algodão apresenta maior rendimento do corante, rendimento este ainda maior que o apresentado no Tingimento 6, proporcionando cores ainda mais intensas. No caso da cor que vem sendo estudada, para a obtenção da mesma, pode-se reduzir as quantidades de corante aplicadas, ocasionando assim uma redução nos custos de corantes. Neste tingimento novamente a intensidade de cor no interior da bobina mostrou uma forte tendência de aumento a partir do ponto 10, intensificando a cor no ponto 12, mostrando que a adição de amaciante faz com que a intensidade de cor no interior da bobina seja maior.

#### 4.2.8 – Resultados obtidos com o Tingimento 8

No Tingimento 8 somente a fibra de acrílico foi tingida, em circulação de banho 3 min I→E e 5 min E→I. Não foi adicionado amaciante no final do processo. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 29 e a intensidade de cor pode ser observada na Figura 37, respectivamente.

Tabela 29 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 8.

| Fase do processo                                 | pH   |
|--|------|
| Água limpa                                       | 7,46 |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR | 7,36 |
| Solução após adição de Corante                   | 4,35 |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento    | 4,92 |
| Solução de água (último banho)                   | 6,02 |

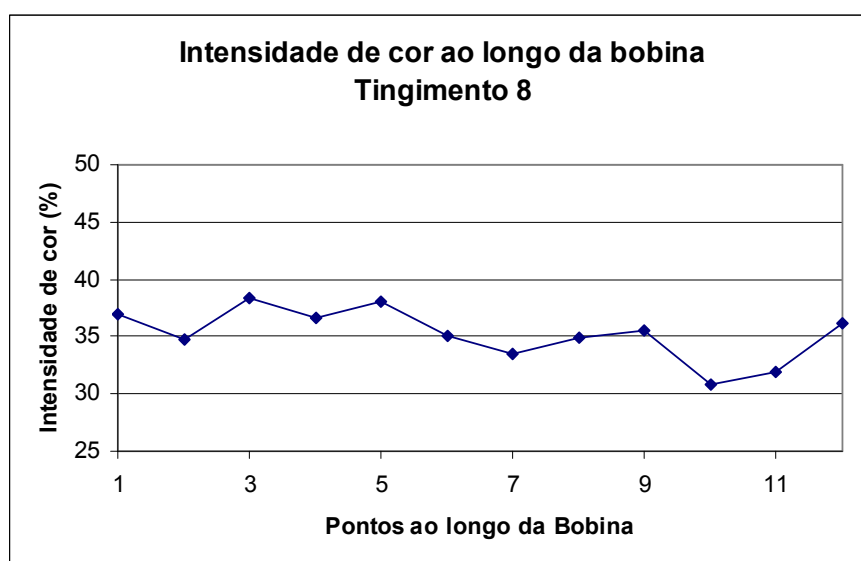


Figura 37 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 8.

Nota-se que a intensidade de cor média é de 35,22% em relação ao padrão. A variação da tonalidade ao longo da bobina é muito pequena. Como a circulação de banho é maior no sentido E→I, nota-se que a intensidade de cor na parte externa da bobina é maior que na parte interna da bobina, porém esta diferença não pode ser considerada relevante.

#### 4.2.9 – Resultados obtidos com o Tingimento 9

No Tingimento 9, novamente somente a fibra de acrílico foi tingida, porém em circulação de banho 100% E→I. Não foi adicionado amaciante no final do processo. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de

intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 30 e a intensidade de cor pode ser observada na Figura 38, respectivamente.

Tabela 30 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 9.

| Fase do processo                                 | pH   |
|--|------|
| Água limpa                                       | 7,51 |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR | 7,28 |
| Solução após adição de Corante                   | 4,72 |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento    | 4,97 |
| Solução de água (último banho)                   | 6,12 |

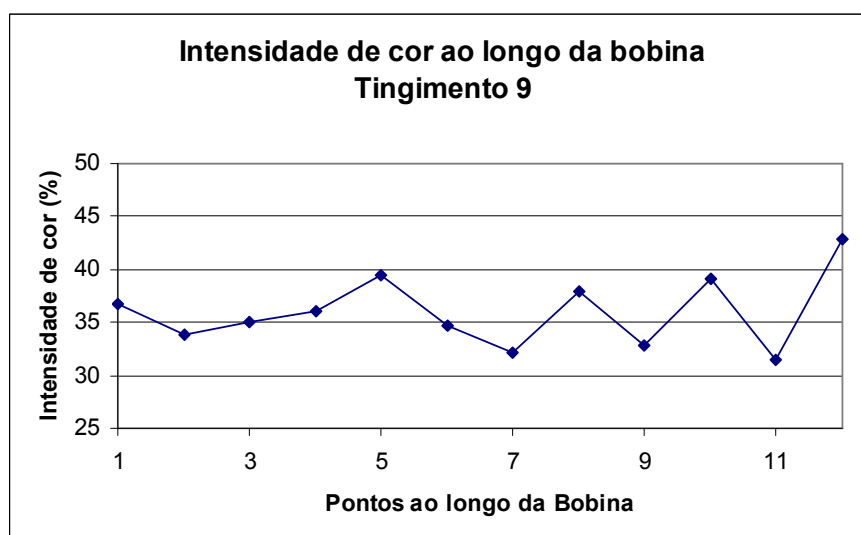


Figura 38 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 9.

Nota-se que a intensidade de cor média é de 35,99% em relação ao padrão. A variação de intensidade de cor ao longo da bobina não é significativa. Neste tingimento, observa-se uma elevação na intensidade de cor no interior da bobina, mesmo o tingimento tendo sido realizado 100% com circulação E→I. Com este resultado, pode-se concluir que o sentido de recirculação do banho não é um parâmetro relevante para o processo de tingimento de fibras de acrílico.



#### 4.2.10 – Resultados obtidos com o Tingimento 10

O Tingimento 10 foi iniciado com o alvejamento das fibras de algodão. Após este alvejamento foram tingidas as fibras de acrílico e logo em seguida as fibras de algodão. Não foi adicionado amaciante e todo o processo foi realizado em circulação de banho I→E. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 31.

Tabela 31 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 10.

| Fase do processo                                   | pH    |
|--|-------|
| Água limpa   | 7,46  |
| Solução após adição de Securon 540 e Soda Cáustica | 11,37 |
| Solução após adição de Peróxido de Hidrogênio      | 10,59 |
| Solução após adição de Color Red P-100             | 9,36  |
| Solução após adição de ácido acético               | 4,55  |
| Água Limpa   | 7,36  |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR   | 6,54  |
| Solução após adição de Corante                     | 3,91  |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento      | 4,1   |
| Solução de água (último banho)                     | 4,7   |
| Água limpa   | 5,23  |
| Solução após adição de Securon 540.                | 4,95  |
| Solução após adição de corante                     | 4,83  |
| Solução após adição do 1º sal (50%)                | 4,8   |
| Solução após adição do 2º sal (50%)                | 5,5   |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)           | 10,56 |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)           | 11,09 |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)           | 11,32 |
| 1ª solução de lavação                              | 10,02 |

Na Figura 39 pode-se observar a intensidade de cor ao longo da bobina do Tingimento10.

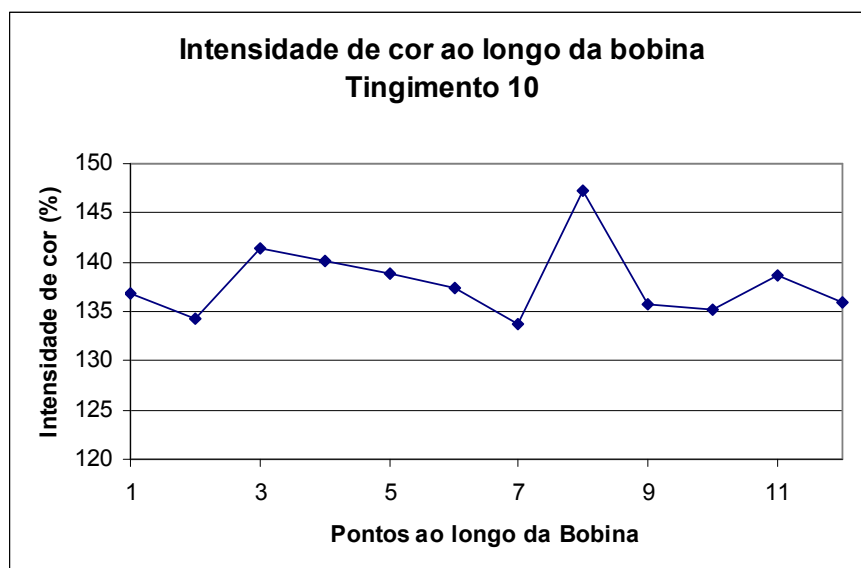


Figura 39 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 10.

A intensidade de cor média para o Tingimento 10 é de 137,95% em relação ao padrão, demonstrando novamente que o processo de tingimento com o alvejamento antes do tingimento das fibras de algodão apresenta maior rendimento do corante, proporcionando cores mais intensas. Neste tingimento, a intensidade de cor no interior da bobina não apresentou tendência de aumento na intensidade de cor, mostrando novamente que o amaciante interfere na intensidade de cor no interior da bobina, já que neste tingimento não foi adicionado amaciante.

#### 4.2.11 – Resultados obtidos com o Tingimento 11

No Tingimento 11 foram tingidas as fibras de acrílico, em seguida foi efetuado o alvejamento das fibras de algodão. Após o alvejamento, foram tingidas as fibras de algodão e não foi adicionado amaciante no final do processo. Todo o processo foi realizado em circulação de banho I→E. Neste tingimento foram efetuadas medidas de pH durante o processo e foi efetuado o controle de intensidade de cor ao longo da bobina. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 32.

Tabela 32 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 11.

| <b>Fase do processo</b>                            | <b>pH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa   | 7,31      |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR   | 4,28      |
| Solução após adição de Corante                     | 4,45      |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento      | 4,75      |
| Solução de água (último banho)                     | 5,11      |
| Água limpa   | 5,40      |
| Solução após adição de Securon 540 e Soda Cáustica | 11,42     |
| Solução após adição de Peróxido de Hidrogênio      | 10,48     |
| Solução após adição de Color Red P-100             | 10,37     |
| Solução após adição de ácido Acético               | 6,61      |
| Água limpa   | 5,98      |
| Solução após adição de Securon 540.                | 5,72      |
| Solução após adição de corante                     | 5,67      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)                | 5,52      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)                | 6,07      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)           | 10,87     |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)           | 11,06     |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)           | 11,42     |
| 1ª solução de lavagem                              | 9,63      |

Na Figura 40 pode-se observar a intensidade de cor ao longo da bobina do Tingimento 11.

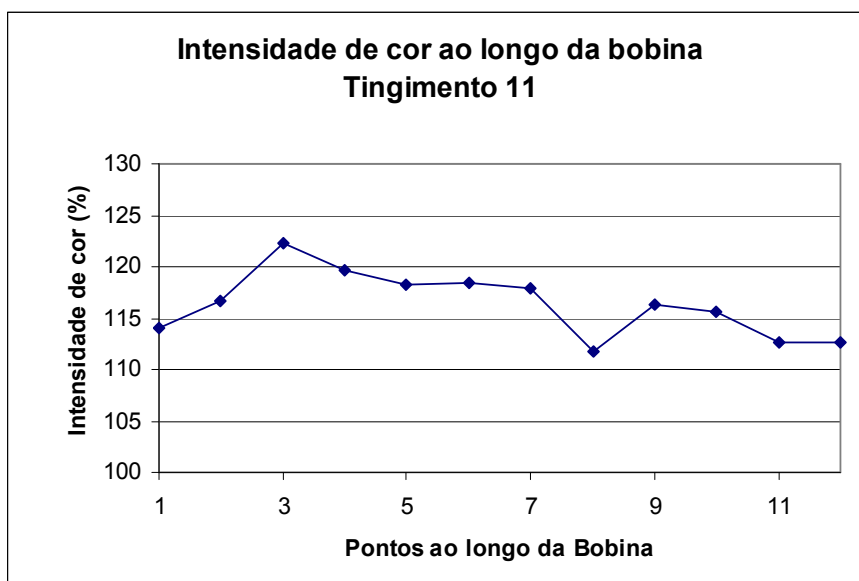


Figura 40 – Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 11.

A intensidade de cor média para o Tingimento 11 é de 116,35 % em relação ao padrão. Neste tingimento a intensidade de cor no interior da bobina não apresentou tendência de aumento na intensidade de cor, mostrando novamente que o amaciante interfere na intensidade de cor no interior da bobina, já que neste tingimento não foi adicionado amaciante.

#### 4.2.12 – Resultados obtidos com o Tingimento 12

O Tingimento 12 foi iniciado com a mercerização das fibras de algodão. Esta mercerização foi realizada em meadas, em equipamento denominado “Armário”. Após a mercerização, as meadas voltaram a ser enroladas em bobinas de tingimento, onde foram tingidas as fibras de acrílico e logo em seguida as fibras de algodão. Não foi adicionado amaciante e todo o processo foi realizado em circulação de banho I→E. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 33.

Tabela 33 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 12.

| <b>Fase do processo</b>                          | <b>PH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa                                       | 6,90      |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR | 6,02      |
| Solução após adição de Corante                   | 4,34      |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento    | 4,63      |
| Solução de água (último banho)                   | 5,38      |
| Água limpa                                       | 5,89      |
| Solução após adição de Securon 540.              | 5,87      |
| Solução após adição de corante                   | 6,07      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)              | 6,37      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)              | 6,53      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)         | 10,66     |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)         | 10,91     |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)         | 11,02     |
| 1ª solução de lavação                            | 10,78     |
| Solução após adição de ácido acético             | 5,57      |
| Solução após adição Securon 540                  | 7,70      |
| Solução após adição de amaciante                 | -         |

Na Figura 41 pode ser observada a intensidade de cor ao longo da bobina no Tingimento 12.

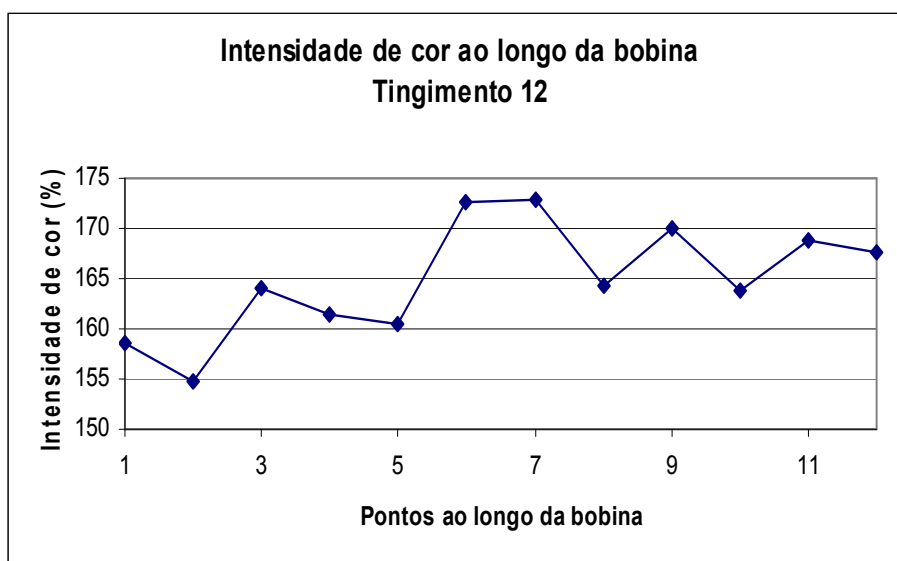


Figura 41– Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 12.

A intensidade de cor média para o Tingimento 12 é de 164,92 % em relação ao padrão. Nota-se que, no tingimento realizado sobre a fibra mercerizada, a intensidade de cor é superior a todos os processos anteriores. Poder-se-ia dizer que este processo é mais eficiente no que diz respeito ao rendimento de corante. Porém, é necessário analisar a viabilidade do processo de mercerização, pois, para a realização do mesmo, a indústria deve investir em equipamentos específicos para mercerização. Também deve ser analisado o impacto ambiental que produz este processo, já que as quantidades de hidróxido de sódio aplicadas são elevadas, elevando assim o número de produtos e controles que devem ser aplicados ao processo de tratamento de efluentes líquidos da indústria.

Nota-se que a variação de intensidade de cor ao longo da bobina é significativa, porém não há aumento considerável no interior da mesma.

#### 4.2.13 – Resultados obtidos com o Tingimento 13

O Tingimento 13 foi iniciado com a mercerização das fibras de algodão, conforme descrito no Tingimento 12. Após a mercerização, as meadas voltaram a ser enroladas em bobinas de tingimento, onde foram tingidas as fibras de acrílico e logo em seguida as fibras de algodão. Após o tingimento das fibras de algodão, foi adicionado o amaciante. Todo o

processo foi realizado em circulação de banho I→E. As medidas de pH podem ser observadas na Tabela 34.

Tabela 34 – pH nas diferentes fases do processo do Tingimento 13.

| <b>Fase do processo</b>                          | <b>pH</b> |
|--|-----------|
| Água limpa                                       | 7,73      |
| Solução após adição de Reoman WED e Reoman R-ACR | 6,84      |
| Solução após adição de Corante                   | 4,02      |
| Solução antes de soltar o banho de tingimento    | 4,37      |
| Solução de água (último banho)                   | 5,67      |
| Água limpa                                       | 5,94      |
| Solução após adição de Securon 540.              | 6,91      |
| Solução após adição de corante                   | 6,22      |
| Solução após adição do 1º sal (50%)              | 6,23      |
| Solução após adição do 2º sal (50%)              | 6,57      |
| Solução após adição da 1ª barrilha (10%)         | 10,45     |
| Solução após adição da 2ª barrilha (30%)         | 11,18     |
| Solução após adição da 3ª barrilha (60%)         | 11,24     |
| 1ª solução de lavação                            | 10,53     |
| Solução após adição de ácido acético             | 4,50      |
| Solução após adição Securon 540                  | 6,30      |
| Solução após adição de amaciante                 | 5,80      |

Na Figura 42 pode ser observada a intensidade de cor ao longo da bobina no Tingimento 13.

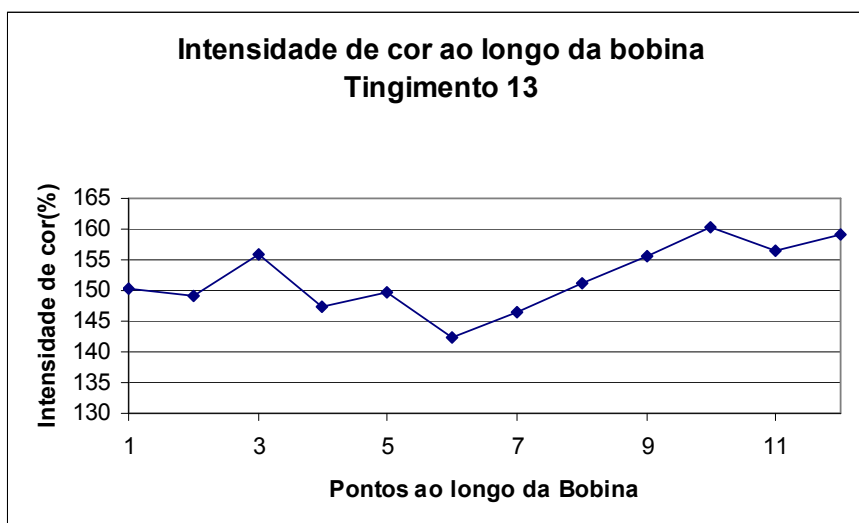


Figura 42– Intensidade de cor ao longo da bobina, Tingimento 13.

A intensidade de cor média para o Tingimento 13 é de 151,99 % em relação ao padrão. Nota-se novamente que, no tingimento realizado sobre a fibra mercerizada, a intensidade de cor é superior a todos os processos anteriores. As considerações apresentadas para o Tingimento 12 são válidas também para o Tingimento 13.

Novamente nota-se que a aplicação de amaciante interfere na intensidade de cor no interior da bobina, já que também neste tingimento os pontos internos da bobina apresentaram maior intensidade de cor.

### **4.3 – Interpretação dos tingimentos de fios mistos de acrílico/algodão com corantes básicos e reativos: C.I. Yellow Basic 28, C.I. Yellow Reactive 145 e C.I. Yellow Reactive 160**

#### ***4.3.1 – Análise dos Tingimentos 1, 8 e 9***

Estão sendo comparados os tingimentos com o objetivo de identificar as diferenças causadas pela variação do fluxo de banho de tingimento.



Nos Tingimentos 1, 8 e 9, a fibra de acrílico foi tingida em três diferentes condições de circulação de banho: somente I→E, somente E→I e 3 min I→E / 5 min E→I, sendo os resultados obtidos apresentados na Figura 43.

Analisando-se a Figura 43, é possível concluir que, variando-se o sentido de direção do banho de tingimento, o comportamento tintorial ao longo da bobina não é alterado significativamente. Nos três tingimentos, a intensidade de cor é próxima da média de 36% da cor padrão. A cor padrão foi considerada a cor 4038 – Amarelo, artigo *Cottoncryn* (50% acrílico / 50% algodão) da cartela de cores da indústria têxtil *FIOBRAS LTDA*.

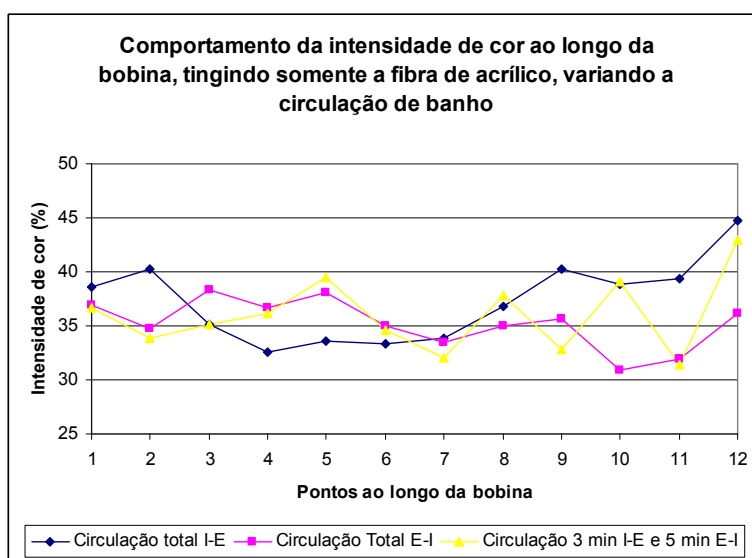


Figura 43 –Intensidade de cor ao longo da bobina, tingindo somente a fibra de acrílico, variando a circulação de banho.

Analisando-se o comportamento de intensidade de cor ao longo da bobina, onde o ponto 01 refere-se à extremidade externa da bobina e o ponto 12 refere-se à extremidade interna da bobina, verifica-se uma tendência de aumento na intensidade de cor no interior da bobina. Este comportamento indica que, no tingimento da fibra de acrílico, independente do sentido de circulação de banho, a extremidade interna da bobina tende a apresentar maior intensidade de cor, provavelmente devido à maior velocidade do banho de tingimento no interior da bobina e, conseqüentemente, maior contribuição da convecção no processo de transferência de massa. A diferença de intensidade de cor entre a extremidade interna e a média dos 11 primeiros pontos foi de:

8,11% superior na circulação I→E;

0,95% superior na circulação 5 min E→I / 3 min I→E;

7,50% superior na circulação E→I,

o que leva a concluir que o tingimento com reversão de banho 5 min E→I / 3 min I→E, reduz a diferença de intensidade de cor na extremidade interna da bobina, obtendo-se uma homogeneidade na intensidade de cor ao longo da bobina.

Em escala industrial, a maioria dos tingimentos das fibras de acrílico são realizados com a circulação I→E. Esta circulação é adotada por que as bobinas no final do tingimento, permanecem muito próximas ao estado inicial, ou seja, não sofrem deformação. No sistema de reversão de banho (I→E / E→I), as bobinas sofrem muita deformação. Com o aumento da temperatura para aproximadamente 100°C, a fibra amolece e este amolecimento, associado a altas pressões, faz com que as bobinas fiquem deformadas, causando elevadas perdas de fio.

#### ***4.3.2 – Análise dos Tingimentos 04 e 05***

A Figura 44 ilustra a intensidade de cor ao longo da bobina obtida para os Tingimentos 4 e 5.

A diferença de intensidade de cor entre a extremidade interna e a média dos 11 primeiros pontos foi de:

7,88% superior na bobina sem amaciante – Tingimento 4;

11,39% superior na bobina com amaciante – Tingimento 5.

Também se observou que, na bobina com amaciante, a média de intensidade da cor ficou 12,50% superior que o padrão, enquanto que na bobina sem amaciante esta média de intensidade foi de apenas 4,12% superior ao padrão.

Nestes tingimentos pode-se observar que:

- a bobina com amaciante apresentou maior diferença de tonalidade na extremidade interna;

- a intensidade de cor em ambas as bobinas, embora maior, apresentou valores muito próximos ao padrão.

Os Tingimentos 4 e 5 são similares ao processo de tingimento na indústria, de onde foi retirado o padrão, o que justifica a menor diferença de tonalidade em relação ao padrão.

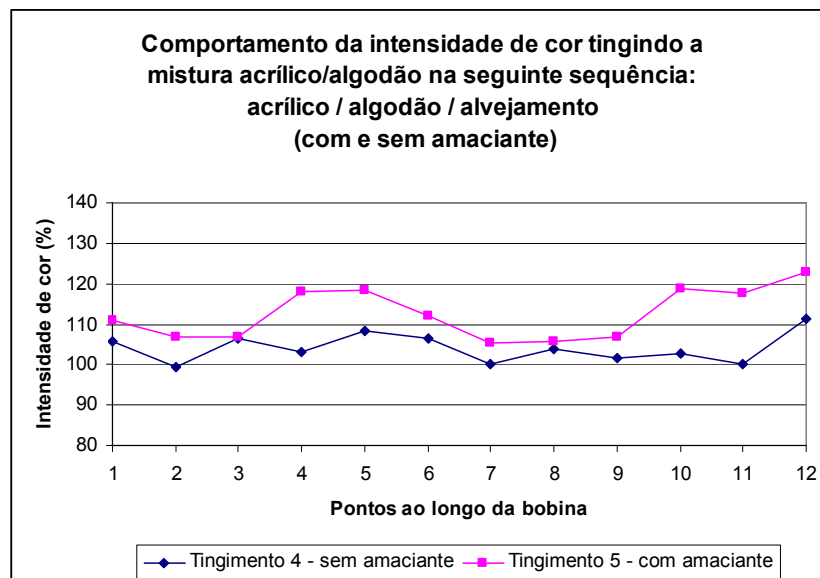


Figura 44 –Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na sequência acrílico / algodão / alveamento – Tingimentos 4 e 5.

#### 4.3.3 – Análise dos Tingimentos 06 e 11

Observando-se a Figura 45, conclui-se que a diferença de intensidade de cor entre a média dos 11 primeiros pontos e da extremidade interna foi de:

4,00% inferior na bobina sem amaciante – Tingimento 6;

23,24% superior na bobina com amaciante - Tingimento 11.

Também se observou que, na bobina com amaciante, a intensidade da cor ficou 28,94% superior ao padrão, enquanto que na bobina sem amaciante esta intensidade foi de 16,35% superior ao padrão.

Nestes tingimentos pode-se observar que:

- a bobina com amaciante apresentou elevada diferença de tonalidade na extremidade interna;

- em ambas as bobinas a intensidade média de cor foi superior ao padrão.

Pode-se concluir que o processo acrílico / alveamento / algodão apresenta maiores rendimentos de intensidade de cor, proporcionando tonalidades mais intensas com a mesma quantidade de corante. Com este processo, a indústria terá redução de custo no que tange à quantidade de corante empregado para atingir a mesma intensidade de cor.

A diferença de tonalidade entre as extremidades da bobina no processo com amaciante representa um problema que pode ser minimizado com a alternância do fluxo do banho de tingimento. Todo fio tingido deve receber amaciante para que seja possível sua aplicação nos teares. O amaciante, além de proporcionar toque agradável, lubrifica o fio, reduzindo o atrito fio/fio e fio/metal, proporcionando maior produtividade nas tecelagens (plana ou malharia) e reduzindo o rompimento do fio (causador de parada de máquina, buracos nos tecidos, etc.).

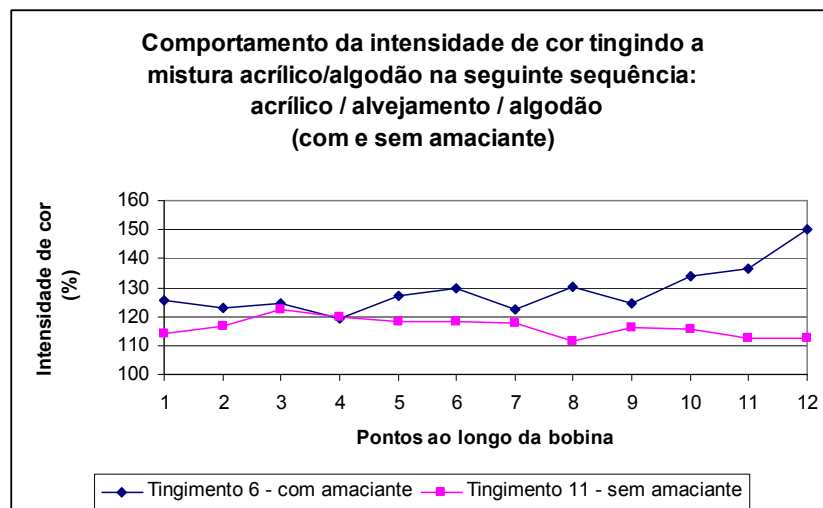


Figura 45 – Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na sequência acrílico / alveamento / algodão – Tingimentos 6 e 11.

#### 4.3.4 – Análise dos Tingimentos 07 e 10

Através da análise da Figura 46, conclui-se que a diferença de intensidade de cor entre a extremidade interna e a média dos 11 primeiros pontos foi de:

2,21% superior na bobina sem amaciante – Tingimento 7;

15,02% superior na bobina com amaciante – Tingimento 10.

Também se observou que, na bobina com amaciante, a intensidade da cor ficou 32,92% superior que o padrão, enquanto que na bobina sem amaciante esta intensidade foi de 38,03% superior ao padrão.

Nestes tingimentos pode-se observar que:

- a bobina com amaciante apresentou elevada diferença de tonalidade na extremidade interna;

- novamente em ambas as bobinas a intensidade de cor foi superior ao padrão.

O processo de tingimento Alvejamento / Acrílico / Algodão apresenta ótimo rendimento de corante, comparado aos processos anteriores. Novamente observa-se que a bobina com amaciante apresenta maior diferença de tonalidade no interior da bobina.

Analisando-se apenas os resultados dos Tingimentos 7 e 10, poder-se-ia sugerir à indústria o emprego deste processo como forma de redução de custo de corantes. Porém, este processo já foi aplicado e os resultados finais não foram totalmente satisfatórios, pois os seguintes problemas ocorreram:

- aumento no tempo de processo;
- aumento no número de banhos aplicados ao processo;
- precipitação dos corantes e auxiliares na etapa de tingimento do acrílico quando a lavagem do processo de alvejamento não for eficiente.

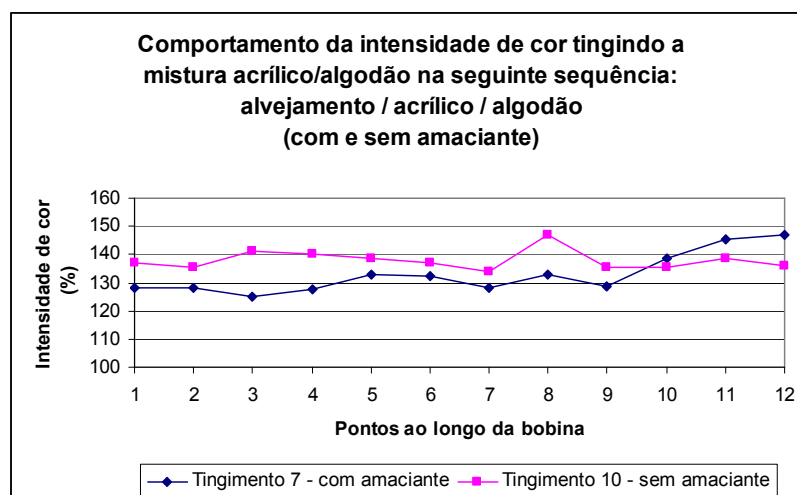


Figura 46 –Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na sequência alvejamento / acrílico / algodão. Tingimentos 7 e 10.

#### 4.3.5 – Análise dos Tingimentos 12 e 13

Analisando-se a Figura 47, pode-se concluir que a diferença de intensidade de cor entre a extremidade interna e a média dos 11 primeiros pontos foi de:

2,97% superior na bobina sem amaciante – Tingimento 12;

7,70% superior na bobina com amaciante – Tingimento 13.

Também se observou que, na bobina com amaciante, a intensidade da cor ficou 51,99% superior que o padrão, enquanto que na bobina sem amaciante esta intensidade foi de 64,92% superior ao padrão.

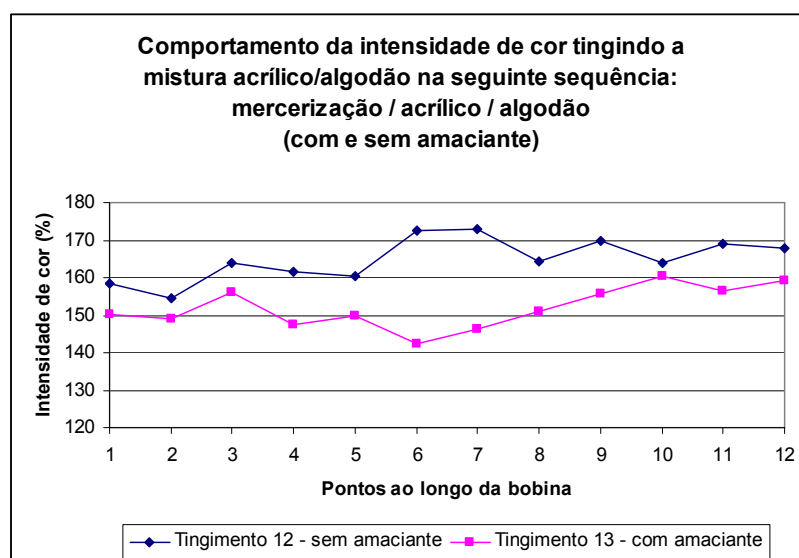


Figura 47 – Intensidade de cor tingindo a mistura acrílico/algodão na sequência mercerização / acrílico / algodão. Tingimentos 12 e 13.

#### 4.4 – Análise da retração/expansão das fibras de acrílico e algodão

##### Retração de uma bobina de fio 100% Acrílico

Uma bobina de fio 100% acrílico foi submetida à análise de expansão / retração a 100°C. Para esta análise, mediu-se o diâmetro de uma bobina de fio 100% acrílico seca em estado cru e a 100°C.

Diâmetro bobina crua: 20,10 cm

Diâmetro bobina a 100°C: 18,90 cm

Retração: 6% em diâmetro

#### **Retração de uma bobina de fio misto acrílico/algodão**

O mesmo teste foi aplicado para uma bobina de fio misto de acrílico/algodão.

Diâmetro bobina crua: 22,00 cm

Diâmetro bobina a 100°C: 21,50 cm

Retração: 2,2%

Ao analisar-se os resultados de retração das duas bobinas, pode-se concluir que a bobina de fio misto acrílico/algodão possui maior porosidade e, portanto possui maior difusividade, favorecendo a transferência de massa em suas fibras.

Isto se deve à maior porosidade proporcionada pela fibra de algodão.

#### **4.5 - Considerações Finais**

De todos os processos estudados neste trabalho, conclui-se que a seqüência mercerização / Acrílico / Algodão é a que representa maior rendimento para corantes. É necessário analisar a redução de custos de corantes e o custo para a implementação da mercerização no processo têxtil.

Considerando apenas as condições de alvejamento, os melhores resultados puderam ser observados na seqüência Alvejamento / Acrílico / Algodão, onde a intensidade média de cor ao longo da bobina foi de 133% para a bobina com amaciante e de 138% para a bobina sem amaciante. Este é o processo comumente utilizado nas indústrias têxteis, porém convém ressaltar que apesar do maior rendimento de corante, este não é necessariamente o melhor processo a ser aplicado, considerando-se as demais variáveis, tais como: consumo de água, efluente gerado, consumo de vapor e tempo de processo.

Este trabalho trouxe uma contribuição para a indústria têxtil, quando o processo Acrílico / Alvejamento / Algodão foi inserido em linha de produção, com algumas

melhorias. Após tingir a fibra de Acrílico e o banho de tingimento ter sido totalmente esgotado e resfriado até 75°C, foram adicionados a este banho os auxiliares de alveamento, promovendo assim um processo simultâneo de tingimento das fibras de acrílico e de alveamento das fibras de algodão. Com este processo a indústria obteve considerável economia e ganho de produtividade, ao reduzir:

- a quantidade de água utilizada no processo;
- o efluente gerado no processo;
- a quantidade de vapor necessária para aquecer o banho;
- o tempo total de processo.

Considerando-se que um tingimento de fios mistos de Acrílico / Algodão através da seqüência Alveamento / Acrílico / Algodão ocorra em um tempo médio de 7 horas e que o mesmo tingimento, porém na seqüência Acrílico / Alveamento / Algodão, com o alveamento em banho simultâneo ao tingimento do Acrílico, tenha uma economia média de 30 minutos, e que a indústria trabalhe 24 horas por dia e 30 dias por mês, a economia de tempo gerada poderá causar um ganho de 7,91 lotes ao final de 1 mês, em uma única máquina de tingir. Além da economia de tempo, gerando um ganho de aproximadamente 7% na produtividade, deve-se também levar em conta a economia de água, efluente e energia.

Também foi estudado em produção o processo cuja seqüência é Acrílico / Algodão / Alveamento. Neste processo, o rendimento do corante é mais baixo, sendo necessário o emprego de maiores quantidades de corante para a obtenção da cor padrão. Também se observou que a cor desenvolvida em laboratório e tingida em produção não apresentava reprodutibilidade, ocasionando assim grande número de reprocessos à indústria, o que gera desperdício de todos os insumos, queda na qualidade final do artigo têxtil, etc.

A seguir, serão apresentadas as principais conclusões e sugestões para desenvolvimento de trabalhos futuros.



## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

Neste trabalho foram determinadas as melhores condições operacionais do processo de tingimento de fibra mista acrílico/algodão em bobinas cruzadas, através do processo de alvejamento da fibra de algodão. Também foi estudado o comportamento da intensidade de cor ao longo da bobina com e sem adição de amaciante.

Inicialmente foram determinados os perfis de concentração do corante básico e do corante reativo, individualmente, tanto em escala piloto como em escala industrial, sendo que os resultados apresentaram excelente concordância, o que permite a utilização da escala piloto para prever as condições a serem obtidas em escala industrial, economizando tempo de processo e minimizando custos.

Neste trabalho foram realizados 13 diferentes tingimentos onde foi analisada a circulação de banho através da bobina, o tingimento individual da fibra de acrílico, o tingimento individual da fibra de algodão, o tingimento da mistura acrílico / algodão sem alvejamento, o tingimento da mistura acrílico / algodão com alvejamento em diferentes posições – antes do tingimento do acrílico, após o tingimento do acrílico, após o tingimento do algodão, todos com e sem amaciante e, finalmente, com a bobina mercerizada, também com e sem amaciante.

Comparando-se os tingimentos 1, 8 e 9, onde somente a fibra de acrílico foi tingida, porém variando-se o sentido de circulação de banho, conclui-se que a variação de intensidade de cor ao longo da bobina não é alterada significativamente. Independente do sentido de circulação de banho, existe um pequeno aumento da intensidade de cor no interior da bobina, que provavelmente deve-se à maior velocidade do banho de tingimento no interior da bobina e, conseqüentemente, maior contribuição convectiva no processo de transferência de massa.

Ao tingir somente a fibra de algodão, nota-se uma intensidade maior de cor do que tingindo somente a fibra de acrílico. Isto ocorre devido ao fato de que o corante reativo forma uma ligação mais forte com a fibra de Algodão, aumentando o grau de fixação do corante na fibra.

Ao tingir a mistura acrílico/algodão na seqüência: Acrílico / Algodão / Alveijamento, com e sem amaciante – Tingimentos 4 e 5, observou-se que na bobina com amaciante a diferença de tonalidade na extremidade interna foi maior que na bobina tingida sem amaciante. A intensidade de cor em ambas as bobinas foi muito próxima à cor padrão, cuja amostra foi retirada de um tingimento realizado em produção, com o mesmo processo de tingimento / alveijamento realizado nestes dois tingimentos.

Nos Tingimentos 6 e 11, onde o processo utilizado foi: Acrílico / Alveijamento / Algodão, com e sem amaciante, novamente na bobina com amaciante a diferença de tonalidade na extremidade interna da bobina foi maior que na bobina sem amaciante. Também se observou um aumento na intensidade da cor com relação ao padrão, o que mostra que o processo Acrílico / Alveijamento / Algodão apresenta maiores rendimentos de intensidade de cor, proporcionando tonalidades mais intensas com mesma quantidade de corante.

O processo de tingimento Alveijamento / Acrílico / Algodão, realizado nos Tingimentos 7 e 10 apresentou resultados de rendimento de corante superior aos processos em que o Alveijamento é posterior ao tingimento. Também neste processo, a bobina com amaciante apresenta maior diferença de tonalidade no interior da bobina do que na bobina sem amaciante.

Finalmente, nas bobinas tingidas após processo de mercerização – Tingimentos 12 e 13, a intensidade de cor foi superior a todos os processos realizados neste trabalho. Pode-se concluir que a seqüência Mercerização / Acrílico / Algodão é a que apresenta maior rendimento para os corantes. Porém, é necessário analisar a redução de custos de corantes e o custo para implementação da mercerização no processo têxtil.

Em todos os tingimentos realizados, a bobina com adição de amaciante apresentou maior intensidade de cor na extremidade interna que as bobinas que não tiveram adição de amaciante. Provavelmente este aumento na intensidade de cor deve-se ao fato de que a bobina cruzada possui maior tensão de enrolamento no seu interior, formando um filtro. Também a presença do amaciante no banho de tingimento interfere nesta diferença de tonalidade. Este problema deverá ser muito bem administrado pela indústria, pois todo fio

tingido deve receber amaciante para que seja possível sua aplicação nos teares. O amaciante, além de proporcionar toque agradável, lubrifica o fio, reduzindo o atrito fio/fio e fio/metal, proporcionando maior produtividade nas tecelagens (plana ou malharia) e reduzindo o rompimento do fio, causador de parada de máquina, buracos nos tecidos, etc..

Este trabalho trouxe várias contribuições para a indústria têxtil, quando o processo Acrílico / Alveamento / Algodão foi inserido em linha de produção, com algumas melhorias, como o Alveamento no mesmo banho do tingimento das fibras de Acrílico. Com este processo a indústria obteve considerável economia e ganho de produtividade, ao reduzir água, efluente, energia e tempo de processo.

Também foi estudado em produção o processo cuja seqüência é Acrílico / Algodão / Alveamento. Neste processo, o rendimento do corante é mais baixo, sendo necessário o emprego de maiores quantidades de corante para a obtenção da cor padrão. Também se observou que a cor desenvolvida em laboratório e tingida em produção não apresentava reprodutibilidade, ocasionando assim grande número de reprocessos à indústria, o que gera desperdício de todos os insumos, queda na qualidade final do artigo têxtil, atrasos nas entregas de pedidos, etc.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se: efetuar os experimentos realizados neste trabalho variando o conical de tingimento (de cilíndrico para cônico), variando o tamanho da bobina, variando a relação de banho, variando o tipo de maquinário. Sugere-se ainda efetuar um estudo para analisar a viabilidade técnico-econômica para se utilizar o processo Mercerização / Acrílico / Algodão, na produção, pois o mesmo apresentou o melhor rendimento de corante.

A realização de um estudo a respeito da aplicação de diferentes amaciantes em bobinas cruzadas, variando caráter iônico, tamanho de molécula, ponto de aplicação, estado físico do amaciante ou até mesmo a aplicação de substância lubrificante / amaciante em processos posteriores ao tingimento, como no repasse do fio.

Sugere-se também um estudo com o objetivo de minimizar o tempo de processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M., CASTRO, E. M. M., Manual de Engenharia Têxtil. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987.
- BAE, S. H., MOTOMURA, H., e MORITA, Z., Diffusion/Adsorption Behaviour of Reactive Dyes in Cellulose, Dyes and Pigments, v.34, n.4, p.321-340, 1997.
- BÖHRINGER, A., What's New in Yarn Dyeing Especially in The Automation Sector?, International Textile Bulletin: Dyeing/Printing/Finishing, v.43, n.3, p.7-28. 1997.
- CEGARRA, J., PUENTE, P. e VALLDEPERAS, J., Fundamentos Científicos Y Aplicados de la Tintura de Matérias Textiles. Editora Romargraf, S. A., Barcelona, Espanha, 1981.
- CEGARRA, J., PUENTE, P., e VALLDEPERAS, J., The Dyeing of Textile materials. Editora G.B. Paravia & C, Torino, Itália, 1992.
- CZILIK, M. et al., Effects of Reactive Dyes on the Enzymatic Depolymerization of Cellulose. Dyes and Pigments, v.54, p.95-106, 2002.
- CUNNINGHAM, A., Coloración Controlada en la Tintura del Poliéster y Sus Mezclas con Celulosa, Colombia Textil, n.119, p.47-61, 1995.
- FARKAS, C., Curso sobre Tecnologia Instrumental em Colorimetria de Aparência. São Paulo, 2001.
- GARCIA, S. J., Fiação - Cálculos Fundamentais. Rio de Janeiro: SENAI.CETIQT, 1995.

- GIORGI, M. R., Correlation between Dyeing Rate and Thermodynamic Affinity of Disperse Reactive Dyes, Dyes and Pigments, p. 293 – 302, Itália, Novembro de 1988.
- GUILLÉN, J. G., Fibras Textiles: Propiedades y Descripción. Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, Espanha, 1991.
- HUANG, C. C. e YU, W. H., Control of Dye Concentration, pH, and Temperature in Dyeing Processes, Textile Research Journal, v. 69, p. 914 – 918, Dezembro de 1999.
- KOH, J., et al., Reactive Dyeing Properties of Novel Regenerated Cellulosic Fibres. Dyes and Pigments, v.64, p.9-16, 2004.
- LALLAM, A., MICHALOWSKA, J., SCHACHER, L., e VIALIER, P., Diffusion and Adsorption of Dye by Polyester Microfibres, J.S.D.C., v.113, p.107-110, 1997.
- LEWIN, M. e PEARCE, E. M., Handbook of Fiber Chemistry. 2 ed, Marcel Dekker Inc, New York, 1998.
- MAEDA, S., HONGYOU, S. e KUNITOU, K., Dyeing Cellulose Fibers with Reactive Disperse Dyes in Supercritical Carbon Dioxide, Textile Research Journal, v. 72, p. 240 – 244, Março de 2002.
- MAILLO, J., PUENTE, P., e CORREAS, A., Dyeing Behaviour and Fine Structure Differences in Acrylic Fibres Relaxed Under Different Conditions, J.S.D.C., v.114, p.135-138, 1998.
- MOKHTARI, J., PHILLIPS, D. A. S. e TAYLOR, J. A., Synthesis and Evaluation of a Series of Trisazo Hetero bi-functional Reactive Dyes for Cotton. Dyes and Pigments, v.64, p.163-170, 2004.
- OLIVEIRA, B. R., Em Busca da Roupada Perfeita. Textília. V. 53, p.6-12, 2004.

- PERKINS, W. S., Los Principios Básicos del Teñido Textil. Textiles Panamericanos, v. 55, n.4, p.190-193, 1995.
- PITA, P., Fibras Têxteis. Rio de Janeiro, SENAI – CETIQT, v.1, 1996.
- REVELLO, J. H. P., Tingimento de Fios Têxteis em Bobinas - Uma Abordagem Numérica e Experimental. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- REVELLO, J. H. P., GUELLI U. SOUZA, S. M. A., e ULSON DE SOUZA, A. A., Modelagem e simulação do Processo de Tingimento de Fios em Bobinas, XXII CILAMCE – 22. Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Campinas (SP), Novembro de 2001.
- REVELLO, J. H. P. e ULSON DE SOUZA, A. A., Transferência de Massa no Processo Têxtil de Tingimento de Fio em Bobinas Utilizando-se Múltiplas Escalas, III Encontro Brasileiro sobre Adsorção – (III EBA), Recife (PE) – Brasil, Julho de 2000.
- SADOV, F., KORCHAGIN, M., e MATETSKY, A., Chemical Technology of Fibrous Materials. Mir Publishers, Moscow, 1973.
- SANTOS, W. V., Tingimento de Fibras Naturais Vegetais com Corantes Polifuncionais de Nova Geração, Química Têxtil, v. 70, p. 38 – 41, São Paulo (SP), 2003 a.
- SANTOS, W. V., Processo Rápido de Tingimento de Fio, Malha e Tecido Plano de Poliéster, contendo Misturas de Algodão e Viscose, Química Têxtil, v. 73, p. 73 – 75, São Paulo (SP), 2003 b.
- SHAMEY, N. L. R. e NOBBS, J. H., O Controle de pH do Banho de Tingimento em Equipamentos de Tingimento sob Condições Dinâmicas: Fatos ou Ficção?, Química Têxtil, v. 63, p. 20 – 28, Junho de 2001.
- SALAS, C. D. A., Critérios de Selección de Colorantes Reactivos en Tintura a la Continua, Colombia Textil, v. 8, n.83, p.24-29, 1986.

SOUZA, D. P., Aplicação do Método de Média no Volume para Simulação do Tingimento de Fios Empacotados com Corantes Reativos. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

TAYLOR, J. A., PASHA, K. e PHILLIPS, D. A. S., The dyeing of cotton with hetero bi-functional reactive dyes containing both a monochlorotriazinyl and a chloroacetylamino reactive group, Dyes and Pigments, v.51, p.145-152, 2001.

WELHAM, A., A Teoria do Tingimento. Revista Têxtil. Ano LXXII, nº 666. Ed. 04, 2003.

YANG, Y., e MATTISON, V.L., The Effect of Package Density Profile on Levelness of Package Dyed Yarn, Textile Chemist and Colorist, v.29, n.8, p.77-81, 1997.