



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Letícia Küster

**Estratégias Ecoeficientes Para Pré Alveamento de Substratos de Algodão Baseado na
Ativação do Peróxido de Hidrogênio**

Blumenau
2023
Letícia Küster

**Estratégias Ecoeficientes Para Pré Alvejamento de Substratos de Algodão Baseado na
Ativação do Peróxido de Hidrogênio**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Têxtil do Centro
Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador: Professor Miguel Angelo Granato
Coorientadora: Professora Catia Rosana Lange de Aguiar

Blumenau

2023

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

Kuster, Letícia

Processos de Alvejamento de Fibras de Algodão com o Emprego da Filosofia de Produção Mais Limpa / Letícia Kuster ; orientador, Miguel Angelo Granato, coorientador, Catia Rosana Lange de Aguiar , 2023.

96 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Alvejamento, Ativador Peróxido, Produção Mais Limpa. I. Granato, Miguel Angelo. II. Aguiar , Catia Rosana Lange de . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Letícia Küster

**Estratégias Ecoeficientes Para Pré Alvejamento de Substratos de Algodão Baseado na
Ativação do Peróxido de Hidrogênio**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora
composta pelos seguintes membros:

Professor José Alexandre Borges Valle
Universidade Federal de Santa Catarina

Professor Carlos Rafael Silva de Oliveira.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Professor. Miguel Angelo Granato
Orientador Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 2023.

Dedico este trabalho especialmente a Luísa e Rafael.

Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde e persistência para trilhar esse caminho.

Em especial ao meu marido Rafael e a minha filha Luísa pela paciência, amor, apoio, tempo e incentivo na realização desse sonho. Nós três sabemos que essa fase não foi fácil, mas superamos.

Aos meus queridos companheiros de mestrado e amigos Larissa, Elizandra e Guido tão importantes durante esta caminhada, compartilhando momentos de estudo, troca de informações, angústias e alegrias.

À Brandili Têxtil LTDA, por ter disponibilizado amostras, equipamentos e tempo para realização de aulas e testes, em especial a equipe da Engenharia Têxtil pela ajuda, apoio e incentivo na realização do mestrado.

À Hanier Especialidades Químicas LTDA, pelo envio das amostras dos produtos químicos, em especial aos amigos Mauro e Adriano pelos testes, análises, discussões de resultados, troca de ideias, empréstimos de livros, materiais didáticos, mas principalmente pelo incentivo e parceria durante a realização da dissertação.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que me permitiu realizar esse trabalho. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil pelo apoio e suporte fornecidos.

Ao meu orientador Professor Miguel Ângelo Granato, pela ajuda durante a elaboração da dissertação.

Especial gratidão a minha coorientadora Professora Cátia Rosana Lange de Aguiar, por todo o incentivo, apoio, ajuda e ensino proporcionado, Deus foi bom demais comigo colocando você nesse caminho.

A todo corpo docente, técnicos administrativos, pesquisadores, alunos da UFSC de Blumenau, que contribuíram para o trabalho de forma direta ou indireta, muito obrigada!

“Se você quer transformar o mundo, experimente primeiro promover o seu aperfeiçoamento pessoal e realizar inovações no seu próprio interior”.

Dalai Lama.

RESUMO

A produção têxtil tem diversas variações e possibilidades, cada uma com sua particularidade e importância, e dentre tantas, destaca-se o pré alvejamento por esgotamento do algodão com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que é o método mais amplamente utilizado no tratamento desse tipo de fibra. Ele é convencionalmente realizado em condições alcalinas (pH 11-12) em temperaturas próximas à fervura, por um tempo de permanência médio de 60 minutos. Esse processo, por sua vez, gera alto consumo de energia, químicos e de tempo de produção. Atualmente, a indústria têxtil enfrenta grandes desafios relacionados à gestão de recursos, milhões de toneladas de tecido de malha de algodão são produzidos anualmente e melhorias no processamento podem levar a reduções significativas. Neste contexto, essa dissertação teve como objetivo utilizar a filosofia de Produção mais Limpa (P+L) aplicada ao processo de alvejamento, avaliando o uso de triacetina, ácido peracético e ácido per fórmico como ativadores de peróxido de hidrogênio, visando reduzir o consumo de energia por meio da redução da temperatura, bem como do tempo de processo, em substrato de algodão no processo por esgotamento. Os resultados obtidos foram muito positivos, dentre eles a melhor performance se deu com a combinação de 0,9 g/L de triacetina e 1,0 g/L de ácido peracético, em um processo a 80°C durante 30 minutos. O grau alvura encontrado foi de 61,09 Berger e o tingimento subsequente desse pré alvejamento, resultou em 0,53 de delta E cmc e 103,23% de força colorística para o iluminante D65. A seleção da cor para o tingimento da amostra pré alvejada, teve como finalidade estimular o uso do processo para todas as gamas de cores, visto que, quanto mais limpa/clara a cor for, maior será a interferência do pré alvejamento sobre ela. Esse resultado representou 97% de proximidade de um alvejamento convencional, uma redução de 26% no consumo de vapor, porém aumento de 17% de tempo de processo. Sabendo que conceitualmente P+L é uma filosofia pró-ativa de antecipação, que permite que empresas aumentem a eficiência do uso de recursos naturais através da minimização dos resíduos gerados, propiciando redução de desperdícios de matéria-prima, energia e na diminuição de riscos ambientais pode-se dizer que o processo estudado atendeu parcialmente esses requisitos, porém deixou ideias para novos estudos.

Palavras-chave: Pré alvejamento, Algodão, Têxtil, Ativador de Peróxido, Baixa Temperatura, Produção Mais Limpa.

ABSTRACT

Textile production has several variations and possibilities, each with its particularity and importance, and among many, the pre-bleaching by exhaustion of cotton with hydrogen peroxide (H₂O₂) stands out, which is the most widely used method in the treatment of this type fiber. It is conventionally carried out under alkaline conditions (pH 11-12) at temperatures close to boiling, for an average residence time of 60 minutes. This process, in turn, generates high consumption of energy, chemicals and production time. Currently, the textile industry faces major challenges related to resource management, millions of tons of cotton knitted fabric are produced annually and improvements in processing can lead to significant reductions. In this context, this dissertation aimed to use the Cleaner Production (P+L) philosophy applied to the bleaching process, evaluating the use of triacetin, peracetic acid and performic acid as hydrogen peroxide activators, aiming to reduce energy consumption by reducing the temperature, as well as the process time, in cotton substrate in the exhaustion process. The results obtained were very positive, among them the best performance occurred with the combination of 0,9 g/L of triacetin and 1,0 g/L of peracetic acid, in a process at 80°C for 30 minutes. The brightness degree found was 61,09 Berger and the subsequent dyeing of this bleaching resulted in 0,53 of delta E cmc and 103,23% of coloristic strength for the illuminant D65. The purpose of selecting the color for dyeing the pre-bleached sample was to encourage the use of the process for all ranges of colors, since the cleaner/clear the color, the greater the interference of pre-bleaching on it. This result was 97% closer to conventional bleaching, a 26% reduction in steam consumption, but a 17% increase in process time. Knowing that conceptually P+L is a proactive philosophy of anticipation, which allows companies to increase the efficiency of the use of natural resources by minimizing the waste generated, providing a reduction in the waste of raw materials, energy and the reduction of environmental risks it can be said that the process studied partially met these requirements but left ideas for further studies.

Keywords: Pre Bleaching, Cotton, Textile, Peroxide Activator Low Temperature, Cleaner Production

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hierarquia de níveis para implantação da metodologia da produção mais limpa.....	27
Figura 2 – Ferramentas da produção mais limpa.	27
Figura 3 – Classificação das fibras naturais.	30
Figura 4 – Ciclo do crescimento de uma planta de algodão.	31
Figura 5 – Capulho de algodão aberto.	31
Figura 6 – Representação esquemática da estrutura da fibra do algodão.	31
Figura 7 – Processos de alvejamento.	38
Figura 8 – Gráfico de pré-alvejamento para algodão com peróxido de hidrogênio. .	41
Figura 9 – Esquema reacional da acetilação do glicerol.	41
Figura 10 – Reação de hidrólise x peridrólise da triacetina.	42
Figura 11 – Gráfico de alvejamento com hipoclorito de sódio seguido de anticloro.	45
Figura 12 – Gráfico de alvejamento para algodão com clorito de sódio.	46
Figura 13 – Espectro de energia eletromagnética e espectro da luz visível.....	51
Figura 14 – Significado geométrico das coordenadas $L^*a^*b^*$ e $L^*C^*h^*$	54
Figura 15 – Sistema elíptico CMC.....	55
Figura 16 – Pipeta semi automática e balança analítica.....	58
Figura 17 – Máquinas de tingir Kimak, modelo AT1-SW.	59
Figura 18 – Máquinas de tingir Kimak, modelos AT-HT 2.....	59
Figura 19 – Foulard vertical Mathis modelo vfl-B-350.	60
Figura 20 – Secadora de varal Fischer modelo super ciclo 8kg.....	60
Figura 21 – Espectrofotômetro modelo color i5.	61
Figura 22 – Curvas de pré alvejamento a 75°C.	66
Figura 23 – Curva de pré alvejamento a 80°C.	66
Figura 24 – Teste de hidrofiliidade do tecido.	68
Figura 25 – Teste de capilaridade do tecido pré alvejado.....	69
Figura 26 – Curva dos processos de tingimento e lavação.	71
Figura 27 – Grau de alvura alvejamento 75°C – 15 e 30 minutos.	76
Figura 28 – Grau de alvura alvejamento 80°C – 15 e 30 minutos.	77
Figura 29 – Dureza material têxtil 80°C - 15 minutos.....	78
Figura 30 – Dureza material têxtil 80°C - 30 minutos.....	78
Figura 31 – Capilaridade das amostras 80°C – 15 minutos.	79

Figura 32 – Capilaridade das amostras 80°C – 30 minutos.	80
Figura 33 – Massa das amostras 75°C – 15 minutos.	81
Figura 34 – Massa das amostras 75°C – 30 minutos.	81
Figura 35 – Massa das amostras 80°C – 15 minutos.	81
Figura 36 – Massa das amostras 80°C – 30 minutos.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produtos químicos auxiliares utilizados no pré alvejamento.	57
Quadro 2 – Produtos químicos auxiliares utilizados no tingimento.	57
Quadro 3 – Reagentes químicos utilizados para experimentos de dureza e hidrofili- dade/capilaridade do material	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da fibra do algodão.....	32
Tabela 2 – Quantidade de metais típicos presentes no algodão.	33
Tabela 3 – Produção de algodão no Brasil.....	34
Tabela 4 – Processos de pré alvejamento empregados.	62
Tabela 5 – Produtos químicos com quantidades fixas nas formulações 1 a 28.	63
Tabela 6 – Produtos variáveis utilizados nas formulações 1 a 17 a 75°C.....	63
Tabela 7 – Produtos variáveis utilizados nas formulações 18 a 28 a 80°C.....	64
Tabela 8 – Gasto de vapor saturado a 5 atm. para aquecimento de água em kg/m ³ . .	73
Tabela 9 – Consumo de vapor saturado a 5 atm. para manter 1 m ³ de água à temperatura constante por hora.	73
Tabela 10 – Perda de massa média das formulações.	82
Tabela 11 – Dados colorísticos dos tingimentos das amostras pré alvejadas.	83
Tabela 12 – Melhores resultados em termos de força colorística e delta E cmc das amostras tintas.....	84
Tabela 13 – Consumo vapor saturado e tempo dos processos.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPA	Associação Brasileira de Produtores de Algodão
CAS	Número de Identificação de Substância Química (Chemical Abstracts Service)
CI	Índice Internacional de Cores (Color Index Internacional)
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
CMC	Comitê de Medição de Cor
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
ISO	Organização Internacional de Normalização
NBR	Norma Técnica Brasileira
OEKO-TEX®	Certificação Internacional do Setor Têxtil
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
P+L	Produção mais Limpa
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
ZDHC	Descarte Zero de Produtos Químicos Perigosos (Zero Discharge of Hazardous Chemicals)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	20
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivos Específicos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 SUSTENTABILIDADE	21
2.1.1 A indústria têxtil e o desenvolvimento sustentável.....	22
2.1.2 Consumo de água e produção de efluentes.....	23
2.1.3 Consumo de energia	23
2.1.4 Uso de produtos químicos e agrotóxicos.....	23
2.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA	26
2.2.1 P+L na indústria têxtil	28
2.3 FIBRAS TÊXTEIS.....	30
2.3.1 Algodão e sua estrutura	30
2.3.2 Mercado brasileiro de algodão	33
2.4 PROCESSOS TÊXTEIS	34
2.5 PRÉ ALVEJAMENTO CONVENCIONAL	36
2.5.1 Insumos e auxiliares químicos	36
2.5.2 Tipos de alvejamento.....	38
2.5.3 Alvejamento com peróxido de hidrogênio.....	39
2.5.4 Ativadores de peróxido de hidrogênio	41
2.5.4.1 <i>Triacetina</i>	41
2.5.4.2 <i>Ácido Peracético</i>	42
2.5.4.3 <i>Ácido Perfórmico</i>	42
2.5.5 Alvejamento com hipoclorito de sódio.....	43
2.5.6 Alvejamento com clorito de sódio	45

2.5.7	Fatores a serem controlados em um processo de pré alveamento	47
2.5.8	Dureza.....	47
2.5.9	Umectação e hidrofiliidade	47
2.5.10	Perda de massa	47
2.6	PRÉ ALVEJAMENTO A BAIXA TEMPERATURA.....	48
2.7	COLORIMETRIA.....	50
2.7.1	Grau de Alvura	52
2.7.2	Modelo WI Berger.....	52
2.7.3	Medida de cor	53
2.7.4	Sistemas CIELab e CIEL*C*h°	53
3	MATERIAIS E MÉTODOS	56
3.1	MATERIAIS	56
3.1.1	Reagentes e produtos químicos auxiliares.....	56
3.1.2	Substrato	58
3.1.3	Equipamentos e acessórios.....	58
3.2	MÉTODOS.....	61
3.2.1	Plano de ensaios para os parâmetros de processo e seleção de variáveis	62
3.2.2	Seleção do substrato para pré alveamento.....	64
3.2.3	Preparo das soluções de químicos auxiliares	65
3.2.4	Pré alveamento das amostras	65
3.2.5	Determinação do grau de alvura e da diferença de cor	66
3.2.6	Determinação da perda de massa	67
3.2.7	Hidrofiliidade do tecido.....	67
3.2.8	Capilaridade do tecido	68
3.2.9	Dureza total do material têxtil.....	69
3.2.10	Preparo das soluções de corantes	70
3.2.11	Tingimento das amostras	70
3.2.12	Secagem das amostras	72

3.2.13 Cálculo do tempo e consumo de vapor do processo	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1 AVALIAÇÃO DO GRAU DE ALVURA	75
4.2 DUREZA DO MATERIAL TÊXTIL	78
4.3 CAPILARIDADE E HIDROFILIDADE DAS AMOSTRAS APÓS PROCESSO DE PRÉ ALVEJAMENTO.....	79
4.4 PERDA DE MASSA.....	80
4.5 AVALIAÇÃO DA COR	82
4.6 CÁLCULO DO CONSUMO DE VAPOR	84
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	86
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE A – COMPARATIVOS PRE ALVEJAMENTO 100 °C e 80 °C.....	97

1 INTRODUÇÃO

O consumo de produtos em geral tem se tornado um hábito compulsivo na sociedade em que vivemos, e parte desse comportamento é certamente alimentado pelas facilidades de comunicação e livre comércio de um mundo globalizado. Diante das novidades que surgem no mundo o tempo todo e desse consumismo mundial, a industrialização foi bastante impulsionada (GIACOMETTI, 2018).

Segundo Luo et al. (2021) citado por Oliveira et al. (2021), a moda e o marketing intensificaram o consumismo irresponsável e aceleraram o ciclo de descarte desses materiais. Para atender a demanda dos consumidores, as empresas passaram a utilizar grande parte dos recursos naturais elevando os impactos ambientais, que por vezes, são irreversíveis. Mesmo com constante avanço científico e desenvolvimento tecnológico, as atividades fabris da indústria têxtil, pouco mudaram em relação aos sistemas produtivos originais, principalmente nos países pobres/emergentes, que concentram os maiores volumes de produção do globo.

A indústria têxtil é considerada um dos maiores e mais importantes setores da economia mundial (BERLIN, 2014). Ela também é reconhecida como uma das principais poluidoras do meio ambiente devido a sua complexa cadeia produtiva, setorialmente diversificada em processos e tipos de poluentes (SILVA, 2016).

Considerando que a poluição é uma deficiência dos processos produtivos, piorada pelos desperdícios de matérias-primas e energia, tem-se uma oportunidade de melhoria, isto é, de economizar prevenindo a geração de poluentes com o desenvolvimento de técnicas que minimizem os custos ambientais e otimizem a produção. Tais técnicas são conhecidas como produção mais limpa (P+L) (VELASCO, 2012). Neste sentido, o grande desafio é encontrar matérias-primas e insumos, bem como desenvolver novos processos, que reduzam os impactos ambientais e que tenham vantagens competitivas.

As empresas passaram a avaliar as questões relacionadas ao meio ambiente, compreendendo-as não como algo ruim ou difícil, mas sim como um desafio e uma oportunidade de desenvolvimento e crescimento (SANTOS, 2021).

O termo sustentabilidade passou a ser um rótulo que muitos buscam para agregar valor ao seu produto (BOFF, 2016), e essa tendência global de conservação dos recursos ambientais bem como a qualidade de vida, cada vez mais passa a ser vista pela indústria têxtil.

A produção têxtil tem diversas variações e possibilidades, cada uma com sua particularidade e importância, dentre tantas, destaca-se o pré alvejamento do algodão com

peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que é o método mais amplamente utilizado no pré-tratamento desse tipo de fibra. Ele é convencionalmente realizado em condições alcalinas em temperaturas próximas à fervura por um longo tempo de permanência.

Essa dissertação tem como objetivo usar ativadores de peróxido de hidrogênio no processo de pré alvejamento, bem como a adoção do conceito de Produção mais Limpa (P+L) nesse processo. Para tal, estudou-se formulações distintas com aplicação a baixa temperatura e tempos reduzidos. Este sistema tem sido demonstrado por vários pesquisadores como Ribeiro et al. (2020), Zuoqiang, (2018), Liu, et al. (2017) e Montibeller (2016), nos últimos anos e trazido vantagens tanto para a indústria quanto ao meio ambiente, tais como redução no consumo de energia e tempo de processo, maior resistência do tecido e diminuição da perda de massa por danos químicos, se mostrando muito eficaz e assim caracterizando a evolução desse processo em comparação ao método convencional.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência da aplicação de 1,2,3-triacetoxipropano (triacetina), de ácido peracético e ácido perfórmico como ativadores de peróxido de hidrogênio no processo de pré-alvejamento por esgotamento a baixa temperatura em substrato de algodão, empregando o conceito de Produção mais Limpa.

1.1.2 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral, foram traçados os objetivos específicos descritos a seguir:

- a) Determinar os parâmetros relevantes ao processo de pré alvejamento a baixa temperatura, considerando temperatura, tempo e os ativadores de peróxido;
- b) Avaliar a influência dos diferentes ativadores de peróxido de hidrogênio por meio da medição do grau de alvura;
- c) Verificar a viabilidade de aplicação do substrato tratado no tingimento de cores consideradas claras/limpas;
- d) Avaliar a degradação da celulose pela variação do processo e a influência desse efeito na perda de massa do substrato e
- e) Aplicar o conceito de P+L verificando a possibilidade de tornar o processo mais sustentável.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUSTENTABILIDADE

Dentre as várias definições existentes sobre sustentabilidade, Afonso (2006), estabelece que o termo implica na manutenção qualitativa e quantitativa do estoque dos recursos ambientais, utilizando tais recursos sem danificar suas fontes ou limitar a capacidade de suprimento futuro, para que tanto as necessidades atuais quanto aquelas do futuro possam ser igualmente satisfeitas.

Boff (2016) menciona uma consulta aos dicionários “Novo Dicionário Aurélio” e o clássico “Dicionário de Verbos e Regimes”, onde fala da raiz das palavras “sustentabilidade” e “sustentar”. Em ambos os dicionários são mencionados dois sentidos, sendo um passivo e outro ativo. O passivo diz que sustentar, significa equilibrar-se, manter-se, conservar-se a mesma altura, conservar-se sempre bem. Nesse sentido, sustentabilidade é, em termos ecológicos, tudo que a terra faz em um ecossistema para que não decaia e não arruíne. Essa diligência implica que a terra e os biomas tenham condições não apenas de conservar-se assim como são, mas também que possam prosperar, fortalecer-se e coevoluir.

No sentido ativo, Boff (2016) enfatiza a ação feita de fora para conservar, manter, proteger, nutrir, alimentar, fazer prosperar, subsistir, viver. E ainda diz que no dialeto ecológico a sustentabilidade representa os procedimentos que tomamos para permitir que a Terra e seus biomas se mantenham vivos, protegidos, alimentados de nutrientes a ponto de estarem sempre bem e conservados e a altura dos riscos que possam advir.

Durante muito tempo o setor industrial, de forma geral, não se preocupou com a destinação dos resíduos gerados em suas unidades fabris e falava-se muito pouco em desenvolvimento sustentável (SILVA, 2010).

Ainda segundo Silva (2010) uma preocupação que tem sido mencionada atualmente, é que nas indústrias ocorre o esgotamento dos recursos naturais, bem como o esgotamento da capacidade da biosfera em absorver os resíduos. Por isso a questão ambiental está cada vez mais inserida nas atividades relativas aos sistemas produtivos e à administração das organizações, sendo fundamental não dissociar as variáveis ambientais das decisões que envolvem as organizações. Nos dias atuais, onde se configura grande competitividade, a busca por um desenvolvimento sustentável faz toda a diferença, tanto economicamente como pela construção da imagem frente à sociedade.

Nos últimos anos, tem ficado evidente que as questões ambientais tem se tornado um assunto de grande importância também para a comunidade científica. Em um cenário marcado por diversas formas de contaminação do meio ambiente, a reflexão sobre as práticas industriais inclui o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis provenientes de recursos naturais, garantindo qualidade de vida às gerações futuras. (BELTRAME et al., 2016).

2.1.1 A indústria têxtil e o desenvolvimento sustentável

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, o Brasil é a maior cadeia têxtil completa do Ocidente, ou seja, possui no sistema produtivo desde a produção das fibras, como plantação de algodão, até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e forte varejo. O faturamento da cadeia têxtil e de confecção em 2021 foi de R\$194 bilhões. Em 2019 o setor foi o segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas juntos. O Brasil estava em quarto maior produtor e consumidor de denim do mundo e quarto maior produtor mundial de malhas.

Segundo dados do Observatório FIESC, o setor têxtil e confecção em Santa Catarina, em 2019 ofereceram 170,96 mil empregos diretos (21,2% do total da indústria) em 9.140 estabelecimentos (18% da indústria de SC). Em 2020, o setor exportou 3,1% e importou 8,8% do total da indústria de Santa Catarina.

A indústria têxtil não é apenas considerada como uma das mais impactantes, como também uma das mais complexas no sentido de rastreio de impactos e também de controle destes impactos (BERLIN, 2014).

Os impactos decorrentes da produção percorrem toda a cadeia produtiva têxtil: desde o plantio do algodão até a confecção da peça, além dos impactos derivados da comercialização. O cultivo do algodão, em virtude da grande quantidade de pesticidas, inseticidas e fertilizantes empregados para a obtenção da fibra, causa contaminação da água, do solo e da fauna local. Além de consumir um volume gigantesco de água nos processos de beneficiamento e acabamento para alvejar e tingir produtos têxteis. Ao longo da cadeia produtiva têxtil, os impactos ambientais envolvem contaminação do solo, consumo de água, de energia, emissões atmosféricas de poluentes e resíduos sólidos (PORTOGENTE, 2014).

Ellen Macarthur Foundation (2015), citada por Correa (2020), diz que a cada segundo, o equivalente a uma carga de um caminhão contendo somente produtos têxteis é incinerada ou descartada em aterros.

Dos impactos gerados por esta indústria, o social é o mais alarmante (BERLIN, 2014).

Entretanto, mesmo acreditando que este aspecto seja tão importante quanto à questão ambiental, o foco deste estudo recai sobre a indústria e seus impactos ambientais em especial.

Sendo eles:

2.1.2 Consumo de água e produção de efluentes

Uma das grandes preocupações da indústria têxtil está relacionada aos elevados volumes de recursos hídricos necessários para o processo de beneficiamento. De acordo com Hussain e Wahab (2018), citado por Guimaraes, et al. (2021), a indústria têxtil é o segundo maior contribuinte para a contaminação de águas residuais, perdendo apenas para a indústria de agricultura.

O maior consumo ocorre principalmente nas etapas de tinturaria e acabamento, gerando em torno de 50 a 100 L de efluente por quilo de tecido produzido. Do ponto de vista ambiental a etapa de tingimento é a mais preocupante devido à variedade e complexidade dos produtos químicos empregados no processo (ARSLAN-ALATON et al., 2008).

2.1.3 Consumo de energia

O setor contribui para o aquecimento global com a queima de combustível fóssil primeiramente no setor da agricultura, nos maquinários utilizados, posteriormente na geração de energia para esquentar caldeiras de lavagem e de tingimento em geral (BERLIN, 2014).

Ainda segundo Rodrigues (2006), citado por Berlin (2014), ao se comprar uma camiseta de algodão, tipo *t-shirt*, o indivíduo está consumindo 1,7 kg de combustível fóssil, gerando 450 g de resíduos sólidos originários da fabricação da camiseta, emitindo 4 kg de CO₂ na atmosfera e este gasto multiplica-se quando se leva em consideração a energia necessária para se lavar e passar esta *t-shirt* durante sua vida útil.

2.1.4 Uso de produtos químicos e agrotóxicos

Além do uso de produtos químicos impactantes nas áreas de alvejamento, tinturaria e estamparia, deve-se considerar em especial o uso de pesticidas e de agrotóxicos nas monoculturas tradicionais de algodão, causando doenças nos trabalhadores e poluindo o solo e o lençol freático. O uso de agrotóxicos, nas plantações de algodão tem figurado como uma das ações de maior impacto ambiental e social no Brasil (BERLIN, 2014).

O algodão, que consiste essencialmente em celulose (~94%), é considerado a fibra natural mais importante, corresponde a mais de 82% do total de cultivo e consumo de fibras

naturais no planeta e representa 33% de todas as fibras produzidas e consumidas no mundo (OLIVEIRA et al. 2021).

Segundo Amaral (2018), citado por Appel (2019), o consumo de fibra de algodão é predominante no Brasil, com cerca de 84% do consumo total em relação aos outros tipos de fibras utilizadas em materiais têxteis.

Os produtos químicos mais danosos ao meio ambiente e a saúde humana que podem ser encontrados nos têxteis são os seguintes: formaldeídos, fenóis, metais pesados, retardante a chamas, compostos orgânicos, ftalatos, amins aromáticas cancerígenas e pesticidas (BERLIN, 2014).

O desenvolvimento sustentável pressupõe a necessidade da iteração na resolução de problemas entre as dimensões ambientais, sociais e econômicas. A sinergia entre esses aspectos permeia a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável, tanto em nível governamental como da sociedade civil ou no meio empresarial (ZOGONEL, L. M, 2009).

Ao produzir de maneira ecologicamente correta, os custos ambientais podem ser minimizados, ou até mesmo eliminados. Isto pode ser feito através da utilização de inovações simples no processo de produção que, além de permitir a utilização mais eficiente de uma série de insumos, acabam por trazer novas possibilidades de mercados com os subprodutos obtidos através da reutilização dos resíduos do processo produtivo, é possível perceber que a maior produtividade dos recursos torna as empresas mais competitivas (SANTOS, 1997).

Existem várias iniciativas privadas de gestão ambiental, em que, além das empresas adotarem as regulamentações da gestão ambiental pública, optam por investir em instrumentos que lhes garantam um diferencial com relação ao desempenho ambiental (FARIA, 2011).

A certificação do algodão orgânico serve para garantir que o algodão orgânico foi produzido de acordo com as normas. Tanto as condições de cultivo, quanto as etapas posteriores de beneficiamento, fiação e tecelagem, devem ser certificadas como orgânicas. No Brasil todos os hectares de cultivo, são inspecionados e certificados pelo IBD – Instituto Biodinâmico (SANTOS, 2021).

Segundo Damasceno, Silva e Francisco (2010), citado por Santos (2021) para garantir a qualidade do algodão e evitar propagação de pragas, a escolha do lugar é fator preponderante para um bom cultivo. A densidade de plantio é menor no cultivo orgânico, para reduzir a competição pela luz, água e nutrientes e para promover um maior desenvolvimento dos capulhos. Práticas adequadas de manejo de pragas e doenças dependem também das condições climáticas considerando incidências anteriores.

Faria (2011), diz que as normas ISO série 14000, são o referencial internacional de maior interesse para o setor privado. A certificação com a ISO 14001 indica estar em conformidade com uma série de requisitos legais que garantem o controle dos padrões ambientais.

Berlin (2014) cita o selo Oeko-Tex, que funciona como um teste global e também como um programa de rastreio de substâncias nocivas em produtos têxteis, com os mais rígidos padrões do mundo. O Oeko-tex também é uma certificação, ele credita à empresa que seus produtos estão livres de mais de 300 substâncias nocivas, incluindo toxinas e irritantes. Uma vez certificadas, essas empresas estão licenciadas para usar o registrado “Oeko-Tex ® Standard 100” no rótulo de seus produtos. Não há dados que possam garantir que a indústria têxtil tenha empresas já certificadas 100% com o selo OekoTex, mas é sabido que várias linhas de têxteis produzidas e reconhecidas no país já têm este selo internacional.

Já Santos (2021), fala da ZDHC MRSL, que é uma certificação que faz parte do programa do ZDHC (Descarte Zero de Produtos Químicos Perigosos), essa surgiu em 2011 por meio da iniciativa de diversas marcas que tinham o interesse de substituir produtos químicos nocivos por produtos que trouxessem total segurança aos trabalhadores e consumidores finais. Essa certificação está associada ao gerenciamento de substâncias restritas durante o processo de fabricação, disponibilizando uma lista com todos os produtos restritos, tais como: ftalatos, metais pesados, fenóis, entre outros, considerados tóxicos e prejudiciais ao meio-ambiente.

No entanto, empresas que não podem arcar com os custos de implantação e consultoria para um sistema de grande porte podem contar com outras alternativas que trazem benefícios ambientais e econômicos. Uma dessas alternativas é a adoção da ferramenta Produção Mais Limpa (P+L), que foca a prevenção da poluição com a redução na fonte da geração de resíduos e emissões (FARIA, 2011).

Porém mesmo sabendo disso tudo é preciso cautela ao propor postular uma introdução à discussão do desempenho da indústria têxtil nacional mediante as questões ambientais, pois este segmento industrial, apesar do vulto, ainda apresenta fragilidades (BERLIN, 2014).

Ainda segundo Santos (2021), se faz necessário uma mudança cultural, pois o sistema de produção e consumo atual, ainda está distante do ideal. Para a implantação de sistemas de produção com foco na sustentabilidade, uma alternativa é a implantação da filosofia da Produção mais Limpa, conforme será explicado a seguir.

2.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

O autor Ribeiro (2002), citado por Faria (2011), menciona que segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), P+L é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada para processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência total e de reduzir riscos aos seres humanos e ao meio ambiente. Segue ainda dizendo que no caso de processos produtivos, a aplicação de P+L resulta na conservação de matéria-prima, água e energia, eliminação de materiais tóxicos e perigosos e redução na fonte da quantidade, da toxicidade das emissões e desperdícios gerados durante o processo de produção, já para os produtos, o objetivo é reduzir os impactos negativos gerados desde a extração de matérias-primas, passando pelo processamento e uso, até a disposição final do produto e no caso de serviços, a P+L implica conceitos ambientais incorporados ao projeto e à execução.

Conceitualmente P+L é uma filosofia pró-ativa de antecipação da prevenção, pois permite que a empresa aumente a eficiência do uso de recursos naturais através da minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, propiciando redução de custos, de desperdícios de matéria-prima, energia e na diminuição de riscos ambientais (FONSECA et al., 2013)

De acordo com Maimon (1996), a proteção do meio ambiente e, em particular, a luta contra a poluição exigem adaptação e/ou transformação das técnicas e processos industriais.

As indústrias ao implantarem as práticas de P+L obtêm a redução de desperdícios e custos, bem como minimizam os volumes de resíduo e de emissões gerados e conseqüentemente garantem o atendimento as legislações e normas ambientais (CORREA, 2020).

Para a implementação da metodologia P+L, Kanno et al. (2017), mencionam que uma hierarquia de níveis de aplicação deve ser seguida. Esta hierarquia é demonstrada na Figura 1, o nível 1 (redução na fonte) é tratado como a prioridade no processo, pois é onde a modificação pode ocorrer, tanto no produto ou no processo, seja substituindo, modificando ou empregando boas-práticas. O nível 2 (reciclagem interna), é utilizada quando não é possível evitar a produção de resíduos no primeiro nível, reintegrando-o no processo original de produção, em outro processo ou realizando recuperação parcial. Não existindo a possibilidade de realização da reciclagem interna, parte-se para o nível 3 (reuso de resíduos e emissões), através de reciclagem externa ou de uma reintegração ao ciclo biogênico.

Figura 1 – Hierarquia de níveis para implantação da metodologia da produção mais limpa.

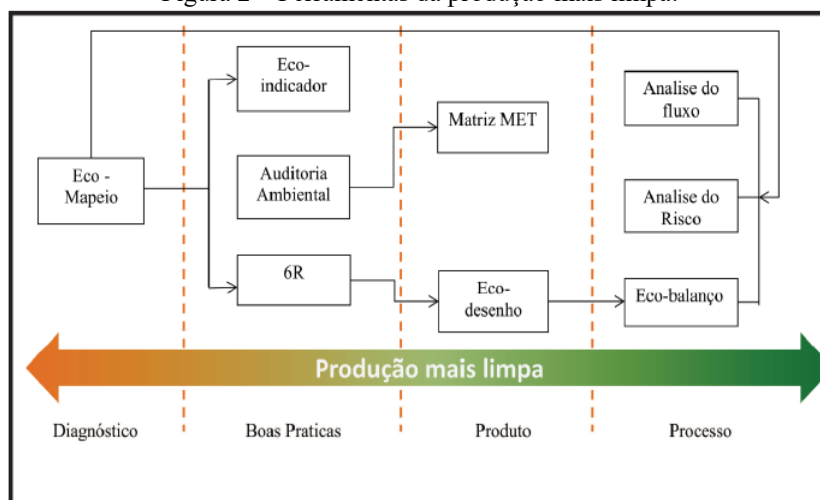


Fonte: Kanno, R. et al., 2017.

As metodologias de implantação P+L podem variar, mas devem contemplar os mesmos aspectos. Durante o processo de implantação vários passos devem ser seguidos, sendo os principais a realização de balanços de massa e de energia a fim de avaliar processos e produtos, com isso, identificam-se oportunidades de melhoria que levam em conta aspectos técnicos, ambientais e econômicos, sendo por fim definidos e implantados indicadores para monitoramento (FARIA, 2011).

E algumas ferramentas podem ser utilizadas para essa implantação, conforme Figura 2 (AGUIAR, 2020)

Figura 2 – Ferramentas da produção mais limpa.



Fonte: Aguiar, 2020.

A competitividade é determinante para sobrevivência no mercado e o meio ambiente tornou-se fator essencial para o alcance desses objetivos. Portanto, as informações sobre os custos ambientais e as oportunidades de ganho no gerenciamento de seus processos e na racionalização do uso de recursos naturais e energia são elementos fundamentais para a gestão estratégica das empresas (ZAGONEL, L. M, 2009).

2.2.1 P+L na indústria têxtil

A indústria têxtil tem entre suas principais preocupações a busca em alcançar meios para sustentabilidade em sua cadeia, para isso, a adoção de práticas P+L em seus processos é uma solução para promover mitigações de seus impactos ambientais, assim como na obtenção de resultados de qualidade ambiental (CORREA, 2020).

Poucas pesquisas abordam sobre práticas de P+L (VAN BERKEL et al., 1997; GUO et al., 2006; YUKSEL, 2008; ZENG et al., 2010; CHANDRAKERA et al., 2013; ALMEIDA et al., 2013, SEVERO et al., 2014) com destaque para o trabalho de Yüksel (2008) que apresentou vinte e cinco práticas, sendo citado por quase todos os demais trabalhos publicados posteriormente em vários segmentos industriais (SILVA, 2016).

Silva (2016) menciona também a ausência de pesquisas científicas realizadas no setor têxtil brasileiro que avaliem o desempenho das empresas nos âmbitos econômico, operacional e ambiental, após a adoção de práticas de P+L. Ele analisou a literatura científica, considerando instrumentos validados e apontou 31 práticas da P+L. Três especialistas de grandes empresas do setor têxtil brasileiro foram convidados a analisar as variáveis associadas ao desempenho em termos ambientais, econômicos e operacionais de P+L, visando elencar quais são realmente utilizados no setor têxtil brasileiro. Ao final somente 20 práticas de P+L foram selecionadas. Observou-se que os especialistas foram unânimes em apontar algumas práticas como de alta relevância para os programas de P+L no setor têxtil e como consequência, entendeu-se que estas práticas devem ter um alto nível de adoção. Essa pesquisa mostrou que a adoção de práticas de P+L pelo setor têxtil brasileiro gera impacto positivo no desempenho econômico tanto das empresas quanto do país. Ressaltou-se também que as práticas de P+L menos relevantes nesse estudo possuem uma relação direta com os benefícios ambientais.

Outro estudo publicado por Oliveira et al. (2020), trouxe resultados de P+L de empresas multinacionais do setor têxtil no Brasil, em seus resultados o estudo mostrou que as pequenas empresas são motivadas a implementar práticas de P+L unicamente para reduzir custos, e algumas pequenas empresas nem mesmo conhecem o conceito de P+L. As médias

empresas recebem pressões para implementar práticas de P+L para desenvolver um sistema de gestão ambiental e participar do competitivo mercado de exportação. Além disso, em última análise, as grandes empresas apresentam níveis de implementação das práticas de P+L significativamente maiores do que as pequenas e médias empresas devido à necessidade de investir continuamente em sua marca para aumentar a participação no mercado. Um importante fator motivador para grandes empresas aplicarem práticas de P+L é a necessidade de obtenção de certificações ambientais internacionais, essas certificações permitem que seus produtos sejam exportados até mesmo para países com as mais rígidas legislações ambientais.

Silva (2016), cita Mehler (2013), e diz que a indústria têxtil é uma indústria complexa caracterizada como um setor fragmentado e heterogêneo dominado por pequenas e médias empresas (PME).

Correa (2020), cita alguns autores em sua pesquisa, a fim de mostrar indícios sobre as dificuldades que pequenas indústrias no geral, possuem em aplicar práticas de P+L devido as suas estruturas organizacionais fracas (DE GUIMARÃES *et al.*, 2017), a falta de recursos financeiros, de funcionários capacitados (VIEIRA; AMARAL, 2016), bem como, pela falta de cultura de gestão de indicadores de desempenho (KHALILI *et al.*, 2015), da necessidade de melhoria nas políticas de incentivos (SHI *et al.*, 2008) e da falta de acompanhamento por parte do governo (VAN BERKEL, 2007). Ressalta-se que as pequenas e médias indústrias (PMEs) possuem dificuldades financeiras para obter empréstimos (GALLUP; MARCOTTE, 2004; LUKEN; NAVRATIL, 2004) visto que implantar tecnologias mais limpas são caras e faltam políticas de incentivo para as PMEs (SHI *et al.*, 2008; MEATH *et al.*, 2016).

Um guia de diretrizes para seleção de práticas de P+L é proposto por Silva (2020), o estudo mostra por meio comparativo as práticas de P+L e seus desempenhos em indústrias têxteis localizadas no Brasil, Turquia, Paquistão e Índia. O estudo analisou a contribuição da implementação destas iniciativas com os respectivos desempenhos ambiental, econômico e operacional de tais empresas do ramo. O guia proposto pode auxiliar um gestor da indústria têxtil global a identificar quais práticas, ou qual o conjunto de práticas, poderiam melhorar o desempenho pretendido por eles. O guia sugere que as indústrias têxteis localizadas no Brasil possam buscar um melhor posicionamento, pois está em estágio inicial de adoção de práticas de P+L.

A implementação da P+L na indústria têxtil vem consolidar o que na teoria já é visível, no Brasil, ainda existe muita resistência para o uso da sustentabilidade na produção industrial (SOUSA, 2020).

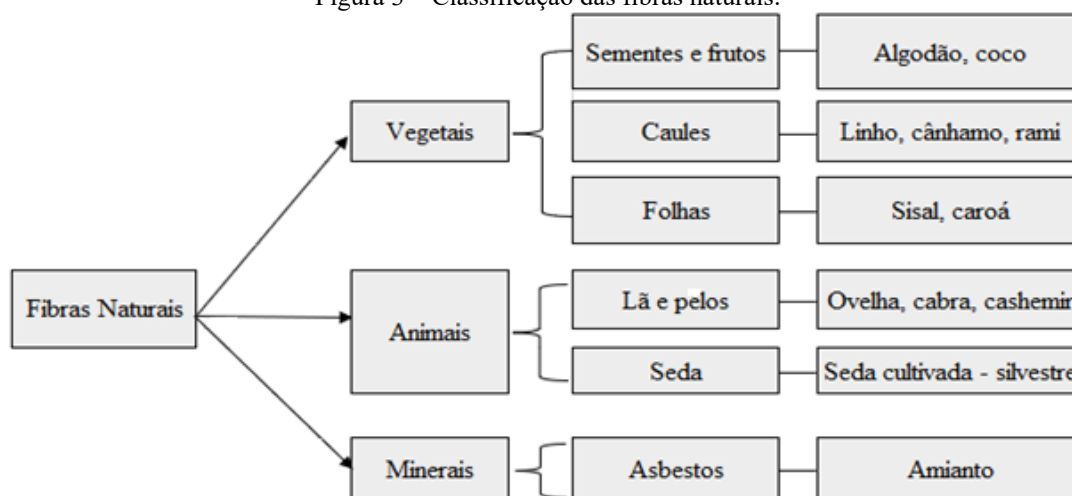
2.3 FIBRAS TEXTEIS

Cada fibra possui características e propriedades diferentes, sejam as dimensões de suas cadeias moleculares, cristalinidade, cores, massa específica, ponto de fusão ou transição vítrea, elasticidade, hidrofiliidade e muitas outras propriedades que irão conferir aos tecidos aplicações diversas. Daí a grande importância de se conhecer de forma profunda as fibras têxteis e seus aspectos técnicos a fim de selecionar a fibra e os processos adequados para se atingir os objetivos desejados (PICOLLI, 2008).

As fibras têxteis também podem ser classificadas em fibras naturais e fibras químicas e estas ainda se subdividem conforme Figura 3 (SALEM, 2010).

Segundo Salem (2010), dentre essas subdivisões das fibras naturais, encontram-se as fibras vegetais, mais especificamente o algodão e desde o início dos tempos, no presente e certamente no futuro, nunca deixará de ter uma participação muito significativa na produção dos mais variados artigos industrializados mundialmente.

Figura 3 – Classificação das fibras naturais.



Fonte: Adaptado de Salem, 2010.

2.3.1 Algodão e sua estrutura

O algodão é uma fibra natural de origem vegetal. Suas fibras derivam da semente da planta do gênero *Gossypium*. Existem diferentes variabilidades de algodão, que dependem da sua origem geográfica e do seu grau de maturidade (GUILLEN, 1987).

Figura 4 – Ciclo do crescimento de uma planta de algodão.



Fonte: Adaptado google imagens, 2021.

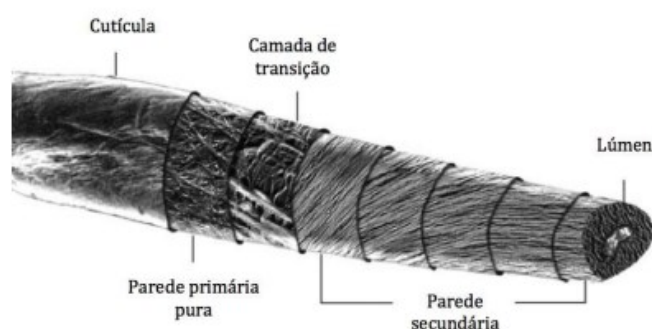
Figura 5 – Capulho de algodão aberto.



Fonte: Adaptado de Lewin, 2007.

Ainda segundo Guillen (1987), as fibras de algodão têm uma estrutura multifibrilar ao longo do comprimento, apresentando diversas camadas consecutivas (Figura 6), a cutícula é uma parede fina exterior, não celulósica, constituída por ceras, gorduras, proteínas e pectinas, já a parede primária é constituída por celulose (>50%), contendo também proteínas, pectinas e ceras. A parede secundária, essencialmente celulósica, é a mais espessa e cristalina de todas e por último a parede do lúmen, este praticamente só se observa em fibras de algodão muito maduras, o lúmen, constitui a parte mais interior das fibras de algodão, é composto por ceras, pectina e restos de protoplasma.

Figura 6 – Representação esquemática da estrutura da fibra do algodão.



Fonte: Adaptado de Lewin, 2007.

O conhecimento da composição química da fibra é de fundamental importância, pois influencia na escolha dos processos de beneficiamento têxtil, nesse caso em particular, no pré alvejamento do tecido de algodão. Pela Tabela 1 observa-se que a celulose é o elemento principal e que define as principais propriedades físicas e químicas da fibra do algodão. (PICOLLI, 2014).

Tabela 1 - Composição da fibra do algodão.

Constituinte	Composição (% massa seca)	
	Quantidade típica (%)	Faixa (%)
Celulose	95	88 - 96
Proteína(% N. 6,25)*	1,3	1,1 - 1,9
Substâncias Pécicas	0,9	0,7 a 1,2
Cinzas	1,2	0,7 a 1,6
Cera	0,6	0,4 a 1,0
Açúcares Totais	0,3	0,1 a 1,0
Ácidos Orgânicos	0,8	0,5 a 1,0
Pigmentos	Traços	-
Outros	1,4	-

* Método padrão de estimativa da percentagem de proteína pelo teor de nitrogênio (%N)

Fonte: Adaptado de Lewin, 2007.

Conforme Lewin (2007), a composição química da fibra de algodão depende de sua maturidade, variedade da planta condições ambientais, tais como solo, quantidade de chuva etc. Durante o crescimento a planta absorve potássio e outros metais como nutrientes. Os metais ficam incorporados na fibra. Além disso, partes do solo e da planta podem ficar retidos na fibra, especialmente durante a colheita. Cálcio, fósforo, enxofre, potássio e ferro são elementos que fazem parte da planta e magnésio, alumínio, silício, ferro, cromo, selênio, mercúrio, níquel, cobre, potássio e cálcio são elementos provenientes do solo.

Tabela 2 - Quantidade de metais típicos presentes no algodão.

Metal	ppm
Potássio	2000 - 6500
Magnésio	400 - 1200
Cálcio	400 - 1200
Sódio	100 - 300
Ferro	30 - 90
Manganês	1,0 - 10
Cobre	1,0 - 10
Zinco	1,0 - 10
Chumbo	Não detectado
Cádmio	Não detectado
Arsênio	Traços

Fonte: Adaptado de Lewin, 2007.

2.3.2 Mercado brasileiro de algodão

Dentre as fibras celulósicas naturais o algodão é a fibra de maior destaque e volume na indústria têxtil. Comparativamente às fibras artificiais e sintéticas, sua principal vantagem é o conforto obtido nos itens confeccionados. Além da aplicação na linha completa de vestuário, o algodão é utilizado em produtos de cama, mesa, banho, revestimentos e isolamentos acústicos, entre outros (PICOLLI, 2014).

Como principal matéria prima do setor industrial têxtil, o algodão, tem destaque no uso mundial de fibras naturais, pois ocupa aproximadamente 90% do total consumido, seguido pela lã lavada. No Brasil a participação das fibras naturais na produção têxtil chega a alcançar 71%, enquanto as sintéticas representam cerca de 24% e as artificiais atingem somente 5% do consumo. No conjunto das fibras naturais o algodão representa 85% do total manufaturado pela indústria têxtil brasileira (SANTOS, 1997).

Nos últimos anos, o Brasil tem se mantido entre os cinco maiores produtores mundiais de algodão, ao lado de países como China, Índia, EUA e Paquistão. O Brasil tem se mostrado também entre os maiores exportadores mundiais, mesmo sabendo que o cenário interno é muito promissor, visto que o Brasil está entre os maiores consumidores mundiais de algodão em pluma (ABRAPA, 2021).

Tabela 3 - Produção de algodão no Brasil.

Ano Safra	Área (mil hectares)	Produção de Pluma (mil toneladas)
2016/17	939,1	1.529,50
2017/18	1.174,70	2.005,80
2018/19	1.618,20	2.725,90
2019/20	1.665,60	3.001,60
2020/21	1.366,80	2.342,00

Fonte: Abrapa, 2021.

Apesar das dificuldades impostas pela pandemia, o Brasil alcançou volume recorde de exportação de pluma no ano de 2020, quando embarcou 2,12 milhões de toneladas de pluma, superando em 31,7% o desempenho de 2019. Já no primeiro mês de 2021, o Brasil exportou 273,9 mil toneladas de pluma, isso é 118,5% superior que a média do mês de janeiro dos últimos 5 anos (NOGUEIRA, 2021).

Com base nas informações de Nogueira (2021), a maior dificuldade do mercado interno, foi de se encontrar uma fibra de alto padrão, para recomposição de estoques no Brasil, porém com o dólar valorizado e os elevados preços da pluma no mercado internacional, encontrou-se então a escassez e elevação dos preços no mercado interno, sendo assim, além de caro o produto têxtil também tendeu a ter qualidade inferior.

2.4 PROCESSOS TEXTÉIS

A indústria têxtil tem como principal base as fibras, sejam elas de origem natural ou química. É o ramo industrial que faz parte da cadeia produtiva e de distribuição têxtil e compreende os processos de fiação, tecelagem, malharia e beneficiamentos (BEZERRA, 2014). Em outras palavras, é a indústria que produz e beneficia em sequência de fibras à fios, destes malhas, tecidos ou não-tecidos. (FERREIRA, 2019).

A obtenção de um fio de algodão acontece pelo processo de fiação, partindo da fibra disposta em fardos. De forma simples, fiar consiste em paralelizar essas fibras e torcê-las de forma tensionada proporcionando coesão e obtendo um material contínuo de título conhecido. Para fios de algodão existem três possibilidades de construção, as quais resultam em produtos com características e usos diferentes: fio cardado, fio penteado e fio open-end (ARAÚJO E CASTRO, 1987), citado por (PICOLLI, 2014).

A indústria têxtil possui duas principais tecnologias de tecimento: tecelagem e malharia. A tecelagem produzirá os tecidos: plano, felpudos ou jacquard. A característica principal do tecido plano é o entrelaçamento formado por dois conjuntos de fios com ângulo de 90º entre si. O tecido felpudo possui a base formada como num tecido plano em conjunto com fios de urdume que formarão a felpa. E, o tecido jacquard, é aquele que possui desenhos formados pelo entrelaçamento livre entre fios de trama e fios de urdume (PEZZOLO, 2009).

Para dar sequência ao processo, a indústria do tecido de malha deve beneficiar o tecido cru. Os processos químicos têxteis ou beneficiamentos químicos têxteis têm por objetivo melhorar a aparência dos artigos e substratos têxteis, a fim de torná-los mais atrativos, bonitos e úteis aos consumidores. As principais propriedades envolvidas nesses processos são o toque, a cor, o brilho, caimento, resistência, estabilidade dimensional, durabilidade. E há a possibilidade de propiciar outras propriedades específicas para determinados usos que sejam desejáveis, como exemplos é possível citar a hidrofobicidade, características anti-microbianas, anti UV, retardante de chamas, dentre outras. Há fatores que influem diretamente nos parâmetros de cada processo a ser executado, como o tipo de matéria prima a ser beneficiada e suas propriedades, a sensibilidade que esta apresenta à ação de produtos químicos e a susceptibilidade da fibra às modificações químicas (LADCHUMANANANDASIVAM, 2011).

Para a realização dos processos químicos têxteis há a obrigatoriedade de alguns elementos fundamentais, são eles: o substrato têxtil, maquinário, químicos auxiliares, insumos e energia térmica. Segundo Juliano (2008), os beneficiamentos da cadeia têxtil podem ser divididos em três classes (beneficiamentos primários, secundários e terciários).

Beneficiamentos primários são os processos iniciais que preparam os substratos para os processos químicos posteriores, eles têm como objetivo limpar, retirar óleos, ceras e impurezas provenientes dos materiais naturais crus que não foram eliminados nos processos mecânicos nos setores anteriores. Dentre os principais beneficiamentos primários pode-se citar, escovagem, chamuscagem, navalhagem, mercerização, caustificação, desengomagem, purga e pré alvejamento (JULIANO, 2008).

Os beneficiamentos secundários são os processos responsáveis por aplicar “cor” ou “imagens” aos substratos sendo, portanto, o tingimento e a estamparia (JULIANO, 2008).

Já os beneficiamentos terciários são os processos que visam dar uma propriedade específica ao têxtil além das propriedades convencionais do material. Nessa classe de processo encontramos os amaciantes, os efeitos crômicos (fotocrômicos ou termocrômicos), os

retardante á chamas, proteção ultravioleta (UVA e UVB), os antimicrobianos, os super hidrofóbicos/hidrofílicos, dentre outros (JULIANO, 2008).

2.5 PRÉ ALVEJAMENTO CONVENCIONAL

Os materiais têxteis possuem muitas impurezas em seu estado original ou até mesmo imediatamente após a sua fabricação, principalmente quando se trata de fibras naturais. Todas essas impurezas ou matérias estranhas devem ser removidas dos materiais têxteis para melhor coloração e absorção de corantes no processo subsequente de tingimento (KUHN, 2019).

Para a fibra de algodão existe uma série de procedimentos que podem ser realizados a fim de extrair o conteúdo não celulósico e preparar o fio ou tecido para receber corantes, dentre estes, pode-se citar o pré-alvejamento. Esse processo é dividido em três etapas principais, onde a primeira separa as impurezas da fibra, a segunda parte ocorre a dispersão das impurezas e pôr fim, a estabilização das impurezas dispersadas (CEGARRA, 1966).

O pré alvejamento é um processo que, além de remover os contaminantes, como óleo, gorduras ou graxas, pode utilizar oxidantes ou redutores para alvejar o tecido. O pré alvejamento resultará em nível de alvura maior do tecido, quando comparado a processos de purga, obtendo uma cor de fundo adequada ao tingimento de cores claras e/ou limpas (KARMAKAR, 1999).

Karmakar (1999), ainda cita que o pré-alvejamento resultará em um nível de alvura do substrato, em torno de 50 a 55 WI CIE [D65/100], já o alvejamento resultará em uma alvura maior, cerca de 60 WI CIE [D65/100], com a cor de fundo adequada para tingir branco.

Para a realização dos processos de pré-alvejamento são empregados diferentes insumos e auxiliares químicos ou enzimáticos.

2.5.1 Insumos e auxiliares químicos

Para se obter êxito durante um pré-alvejamento é muito importante se avaliar alguns pontos, os auxiliares químicos utilizados durante a reação, a tensão superficial existente, entre outros. A tensão superficial nada mais é que a união das forças de atração exercidas pelas moléculas de um líquido, umas sobre as outras e que são de considerável grandeza. Uma molécula no interior do líquido sofre atrações iguais em todos os sentidos e a força resultante é nula. As moléculas que estão na superfície do líquido ou na sua interface, devido às forças não balanceadas de moléculas que estão abaixo delas, sofrem uma atração resultante para o interior do líquido. A força resultante dá origem á tensão superficial. Devido à tensão superficial, os

líquidos comportam-se como se tivessem a sua superfície revestida por uma membrana invisível causando uma resistência à penetração. A tensão superficial justifica a forma esférica das gotas dos líquidos, como também explica o fenômeno chamado capilaridade (JULIANO, 2008).

Dentre os químicos auxiliares, Montibeller (2016), fala que podem ser citados primeiramente os detergentes, que atuam diretamente na limpeza do substrato têxtil, emulsionando óleos e gorduras e os dispersando. Diretamente ligado ao detergente, existem agentes tensoativos que possibilitam a redução da tensão superficial, para que ocorra o processo de limpeza. A indústria têxtil utiliza uma série de tensoativos, seja para melhorar o desempenho das diversas operações, para fornecer certas propriedades aos produtos acabados. Possuindo a característica de umectar os substratos têxteis, pela quebra da tensão superficial é possível a remoção das sujeiras do material, sendo que os detergentes, por exemplo, mantem em suspensão as partículas removidas, não permitindo que se aglomerem e se depositem na superfície do substrato. Além disso, emulsionam os óleos e gorduras presentes. Os tensoativos, também conhecidos como surfactantes, são classificados conforme seu caráter iônico, podendo ser, aniônico, catiônico, não iônico e anfótero, é importante salientar o caráter iônico dos produtos químicos visto que, misturar-se aleatoriamente produtos de caráter iônico diferente, geram reações adversas que podem interferir diretamente na ação desejada durante o processo. Deve-se atentar as compatibilidades conforme abaixo:

Produto catiônico + produto aniônico = incompatível

Produto catiônico + produto não iônico = compatível

Produto aniônico + produto não iônico = compatível

Os sequestrantes são adicionados a fim de complexar os íons de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e ferro (Fe). A presença desses íons prejudica tanto a etapa de alveijamento quanto a etapa seguinte de tingimento. Íons de cálcio e magnésio são bons estabilizadores de peróxido de hidrogênio, porém os mesmos podem formar sais insolúveis que precipitam provocando o aparecimento de manchas esbranquiçadas na superfície do substrato. Os íons de metais pesados como o ferro são responsáveis pela catálise de decomposição do peróxido de hidrogênio, podendo destruir algumas fibras, como a de algodão. Com alto poder de saponificação, o hidróxido de sódio (NaOH) atua diretamente hidrolisando as ceras, gorduras e óleos quando aquecidos, transformando-os em glicerol e sais de ácido graxo. Esses sais são solúveis em água e denominados sabões. Popularmente conhecido como Soda cáustica, o hidróxido de sódio

desempenha também o papel de regulador do pH do banho, para faixa ideal alcalina de 9 a 12, auxiliando a prevenir a redeposição das impurezas sobre o material (MONTIBELLER, 2016).

Existe também a possibilidade de utilização de enzimas no processo de pré alveamento. A substituição dos processos convencionais por processos enzimáticos, vem permitindo o desenvolvimento de tecnologias diferentes no processamento das fibras. (REIS, 2016).

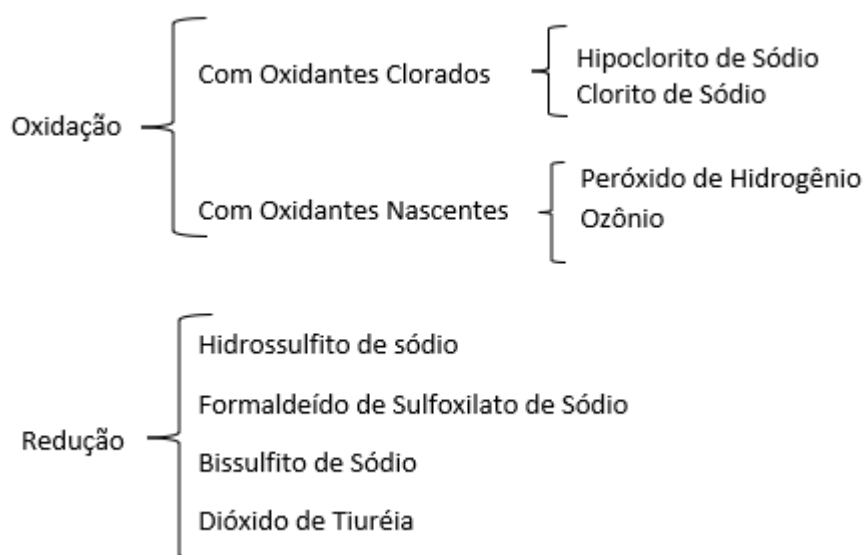
Ainda segundo Reis (2016), a substituição e/ou complemento de processos têxteis convencionais pelos enzimáticos, utilizando enzimas como celulases, amilases, proteases, catalases, pectinases, peroxidases, cutinases e lacases têm sido o âmbito de vários estudos (Tzanov; Calafell; Guebitz; Cavaco-Paulo, 2001; Hebeish et al. 2009; Davulcu; Eren, 2008; Eren; Anis; Davulcu, 2009; Ali; Z. Khatri; A. Khatri; Tanwari, 2014; Buschle-Diller; Yang; Yamamoto, 2001), no entanto, a difusão da enzima no interior do tecido é possivelmente a maior limitação operacional para os tratamentos enzimáticos.

2.5.2 Tipos de alveamento

O alveamento pode ser realizado por meio de oxidação ou redução química.

Na oxidação ocorre incorporação (ganho) de elétrons e na redução ocorre a perda de elétrons.

Figura 7 – Processos de alveamento.



Fonte: Adaptado de Montibeller, 2016.

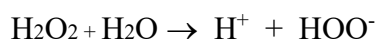
Dentre os processos de pré-alveamento, os mais utilizados nas indústrias têxteis são os oxidativos, conforme (BOOS, 2009) e citado por Montibeller (2016). Os insumos mais

empregados no alvejamento por oxidação são o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o hipoclorito de sódio (NaClO) e o clorito de sódio (NaClO_2).

2.5.3 Alvejamento com peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio foi usado pela primeira vez para branquear o algodão na década de 1920. Em 1940, 65% de todos os tecidos de algodão foram alvejados com peróxido de hidrogênio, em grande parte causado pela invenção da J-box que leva ao processamento contínuo (TOMASINO, 1992).

Segundo Tomasino (1992), o peróxido de hidrogênio é um ácido fraco e ioniza-se na água para formar um íon hidrogênio e um íon peridroxila. O íon peridroxila é o agente clareador ativo.



Embora o peróxido de hidrogênio seja estável em meio ácido, o alvejamento ocorre pela adição de álcali ou pelo aumento da temperatura. O peróxido de hidrogênio libera o íon peridroxila (HO_2^-) em meio aquoso e quimicamente se comporta como um ácido dibásico fraco. O hidróxido de sódio (NaOH) ativa o peróxido porque o íon H^+ é neutralizado pelo álcali que é favorável a liberação do HO_2^- (KARMAKAR, 1999).

Para a aplicação do peróxido de hidrogênio em ambiente alcalino existem três possibilidades:

- a) $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ (permanece estável)
- b) $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ (decompõe-se liberando O_2)
- c) $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HO}_2 + \text{H}_2$ (decompõe-se liberando íon Peridroxila)

Um dos fatores importantes para a obtenção de um bom alvejamento com peróxido de hidrogênio é encontrar a estabilidade ideal, pois se o insumo for pouco estável, o oxigênio é desprendido muito rapidamente para a atmosfera não permanecendo o tempo suficiente para alvejar o substrato, se o insumo for demasiadamente estável não haverá liberação de oxigênio e, portanto, também neste caso não haverá alvejamento (KARMAKAR, 1999).

Vários são os fatores que influenciam o alvejamento com peróxido de hidrogênio, sendo alguns deles:

Resíduos de ferro: deve-se ter cautela com resíduos cobre e de ferro no banho de alvejamento, este íon exerce efeito catalítico de oxidação da celulose em presença de peróxido, chegando a destruí-la (TOMASINO, 1992).

Resíduos de cálcio e magnésio: presença de íons de cálcio e/ou magnésio no banho de alvejamento exercem ação reguladora nos peróxidos, é recomendável manter na água do banho de alvejamento pequenas quantidades desses sais que contenham os mencionados metais (KARMAKAR, 1999).

pH: segundo Karmakar (1999), um pH seguro e ideal para o alvejamento do algodão está entre 10,5 e 10,8, onde a taxa de evolução do íon peridroxila é igual a taxa de consumo para o alvejamento.

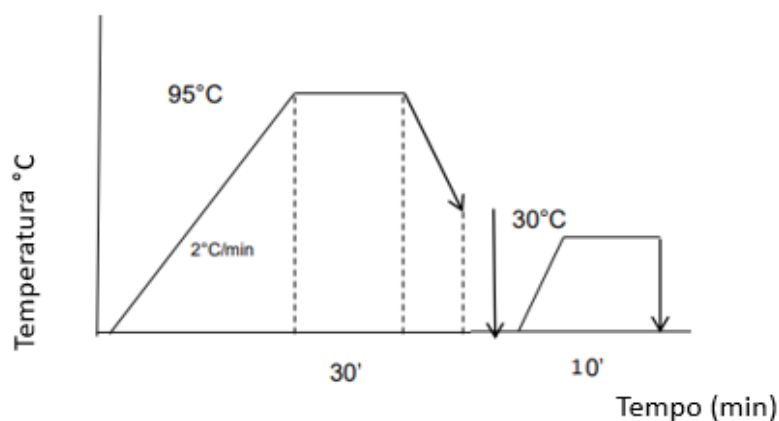
Ainda segundo Karmakar (1999), o processo de controle do desprendimento do íon peridroxila, para evitar a rápida decomposição do alvejante e assim minimizar a degradação das fibras é chamado de estabilização. Estabilizadores são necessários para controlar o desprendimento da substância ativa, principalmente devido à utilização de temperatura próxima a de ebulição, no caso de banho de esgotamento. São eles: silicato de sódio, metassilicato de sódio ou estabilizador orgânico formulado e vendido sob nome comercial.

Alcali: a seleção do álcali a ser usado no alvejamento com peróxido de hidrogênio depende das fibras, no caso de fibras celulósicas usa-se geralmente o hidróxido de sódio e o carbonato de sódio (KARMAKAR, 1999).

Temperatura e tempo: o peróxido de hidrogênio estabilizado não se decompõe em alta temperatura, seu melhor rendimento é obtido quando se utiliza temperatura próxima de ebulição 95°C a 100°C. O tempo de duração do alvejamento é variável, em média é da ordem de 45 a 90 minutos (TOMASINO, 1992).

O alvejamento com peróxido de hidrogênio é empregado em substratos compostos de matéria prima de origem natural celulósica, natural animal, artificial e para as misturas entre fibras sintéticas e naturais celulósica (KARMAKAR, 1999).

Figura 8 – Gráfico de pré-alvejamento para algodão com peróxido de hidrogênio.



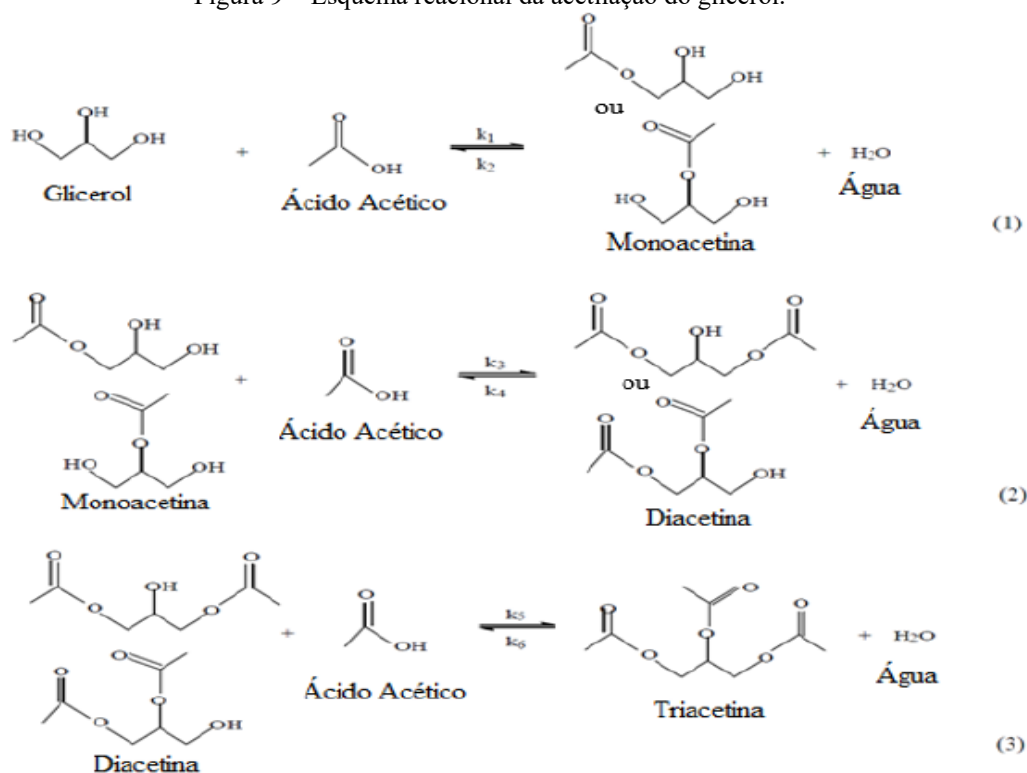
Fonte: A autora, 2021.

2.5.4 Ativadores de peróxido de hidrogênio

2.5.4.1 Triacetina

A triacetina é produzida a partir da reação de acetilação do glicerol, esse processo é realizado sob forte catálise ácida homogênea, sendo o ácido acético e o ácido sulfúrico os mais utilizados. A reação de acetilação do glicerol pode ser representada por três reações acontecendo concomitantemente (PEREIRA, 2018).

Figura 9 – Esquema reacional da acetilação do glicerol.

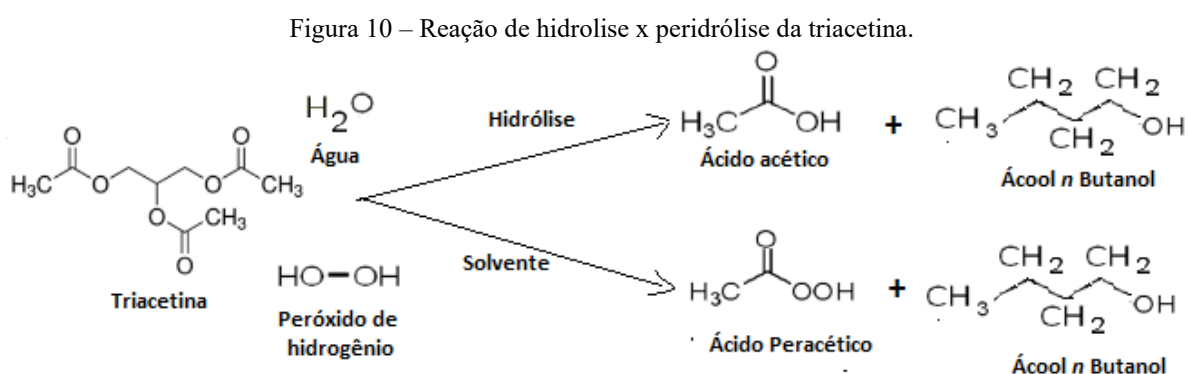


Fonte: Adaptado de Pereira, 2018.

Pereira (2018), cita que algumas poucas pesquisas industriais estão sendo realizadas a fim de encontrar elementos que gerem ácido peracético como produto de sua reação com peróxido de hidrogênio.

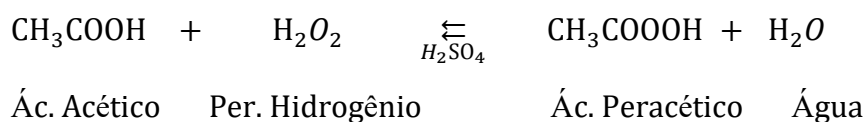
O ácido peracético em pequenas concentrações tem influência positiva no grau de alvura, sua presença possibilita a redução do uso de peróxido de hidrogênio no tratamento de substratos de algodão (RIBEIRO, 2020).

Reação da triacetina com peróxido de hidrogênio é mostrada na Figura 10:



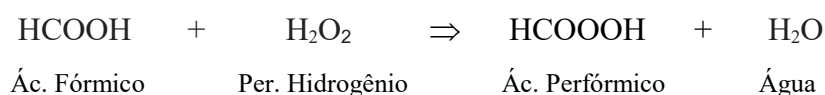
2.5.4.2 Ácido Peracético

O ácido peracético é produzido pela reação de ácido acético e peróxido de hidrogênio, na presença de um catalisador, geralmente o ácido sulfúrico. O ácido acético é oxidado pelo peróxido de hidrogênio resultando como produtos ácido peracético e água (SILVA, S.M, 2010). É um líquido incolor levemente amarelado e de odor semelhante ao vinagre.



2.5.4.3 Ácido Perfórmico

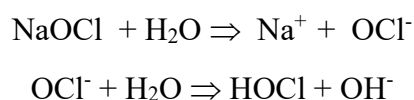
O ácido perfórmico (ácido metanoperóxido -IUPAC) é obtido a partir da reação direta entre o peróxido de hidrogênio e o ácido fórmico. Por esse motivo é um ácido fortemente oxidante com tendência de liberação de oxigênio (SWERN,1949).



2.5.5 Alvejamento com hipoclorito de sódio

O hipoclorito de sódio é um agente oxidante forte. É usualmente vendido na forma líquida, possuindo coloração esverdeada e pálida, odor desagradável e enjoativo, apresentando toxicidade por inalação e ingestão.

Reação de desenvolvimento da substância ativa é demonstrada por Tomasino (1992):



Obs: Ácido hipocloroso (HOCl) é o agente alvejante ativo.

O pH tem um efeito profundo no alvejamento com hipoclorito de sódio. Este produto é usado em condições de pH variando de 9 a 10. O hipoclorito de sódio pela presença de álcali em sua composição, quando colocado em solução aquosa apresenta pH alcalino (TOMASINO, 1992).

O processo de alvejamento com uso de hipoclorito de sódio sofre a ação de dois fatores muito importantes, que são pH e temperatura. A falta de cuidado em algum desses parâmetros pode danificar muito o substrato, impossibilitando seu uso (KARMAKAR, 1999).

pH: faixa de pH mais danosa ao substrato encontra-se na zona neutra, pH 7, pois é quando o ácido hipocloroso e os íons hipoclorito estão presentes nas mesmas concentrações, a taxa de ataque a celulose é bastante aumentada. Por tanto, em nível de aplicação, condições de pH inferiores a 9 são totalmente evitados (KARMAKAR, 1999).

Daí surge a necessidade de controlar rigorosamente este parâmetro durante o processo. O método mais seguro para o controle do pH é trabalhar com agentes tampão (compostos que impedem as variações de pH). Segundo Karmakar (1999), obtém-se melhores resultados de alvejamento na faixa de pH 9 a 11, pois, além de se obter um bom grau de alvura neste valor de pH o risco de o substrato ser danificado é muito pequeno.

Em caso de necessidade de correção de pH para maior estabilização dos banhos de longa permanência, o mais usual é a adição de carbonato de sódio (Na_2CO_3) (KARMAKAR, 1999).

Karmakar (1999), salienta que condições de pH inferiores a 9 propiciam a formação do ácido hipocloroso (HOCl) e em valores de pH inferiores a 5, há liberação do gás cloro e abaixo de 1,5, há total desprendimento desse gás.

Temperatura: normalmente utiliza-se temperatura ambiente. Sendo assim, ao dizermos temperatura ambiente, 40°C . Quanto menor a temperatura do banho de alvejamento, maior deverá ser o tempo de alvejamento. Karmakar (1999) e Tomasino (1992) trazem indicações de uso com os seguintes parâmetros:

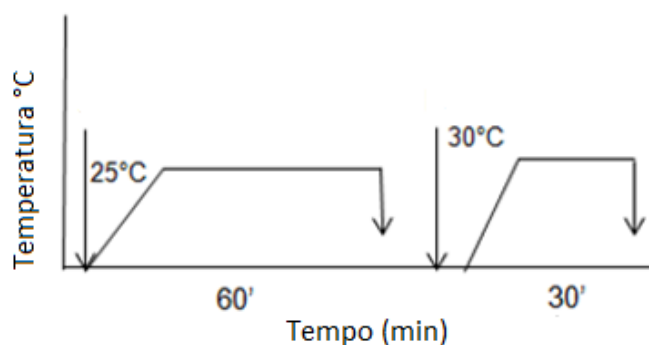
- a) 40°C processo deve durar 60 minutos.

Karmakar (1999), salienta que temperaturas mais altas aumentam a taxa de alvejamento, mas ao mesmo tempo aumentam a degradação da fibra. Ele também menciona que banhos tamponados com pH 11, tem a taxa de alvejamento aumentada em 2 ou 3 vezes, para cada 10°C aumentados. Portanto, é possível alvejar a 60°C por 7 minutos, porém é difícil controlar a degradação da fibra nesse período. Dependendo da máquina empregada, das condições do substrato e da concentração do banho de alvejamento, o tempo e temperatura podem ser alterados conforme necessidade.

Estabilização do Cloro: após o alvejamento com hipoclorito de sódio deve-se proceder a eliminação do cloro residual do substrato, pois, sua presença em período muito longo pode deteriorar ou amarelar a fibra. O estabilizador mais usado é o bissulfito de sódio e ácido acético (TOMASINO, 1992).

O hipoclorito de sódio pode ser empregado no alvejamento de substrato compostos de fibras de origem natural celulósica, fibras artificiais também com base celulósica e em misturas entre fibras sintéticas e as fibras citadas anteriormente. O alvejamento com hipoclorito de sódio não deve ser empregado em fibras de origem proteica (lã e seda) (TOMASINO, 1992).

Figura 11 – Gráfico de alvejamento com hipoclorito de sódio seguido de anticloro.



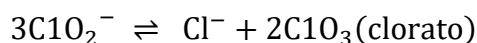
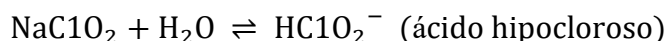
Fonte: A autora, 2021.

2.5.6 Alvejamento com clorito de sódio

O alvejamento com clorito de sódio é realizado sob condições ácidas que libera dióxido de cloro, um gás marrom-amarelado tóxico e corrosivo (TOMASINO, 1992).

Ainda segundo Tomasino (1992), quando uma solução de clorito de sódio é acidificada, o dióxido de cloro (ClO_2), ácido hipocloroso (HClO_2), clorato de sódio (NaClO_3) e cloreto de sódio (NaCl) são formados, dióxido de cloro (ClO_2) e ácido hipocloroso (HClO_2) são compostos de alvejamento, já o cloreto de sódio (NaCl) e o clorato de sódio (NaClO_3) não.

A reação de desenvolvimento da substância ativa é demonstrada por Tomasino (1992):



As soluções neutras e alcalinas de clorito de sódio são bastante estáveis e não exercem ação alvejante. As soluções ácidas, todavia, são instáveis e se decompõem onde o clorito de sódio tem sua ação oxidante por liberação de ClO_2 (dióxido de cloro) (TOMASINO, 1992).

O dióxido de cloro gerado em pH baixo, entre 1 a 2,5 proporciona um alvejamento mais ativo e acelerado, já em pH 4 a 5 o ácido hipocloroso é gerado, esse tem ação alvejante, porém mais lenta (TOMASINO, 1992).

O dióxido de cloro quando gerado rapidamente, se desprende do banho de alvejamento, atingindo a atmosfera, podendo trazer explosões e perigo para saúde humana. Por este motivo o alvejamento com clorito de sódio é evitado (TOMASINO, 1992).

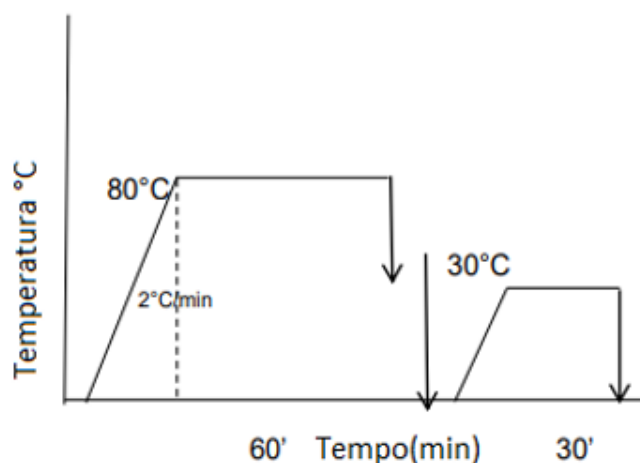
Como os outros insumos alvejantes o clorito de sódio também sofre a ação de alguns fatores: Temperatura, tempo e pH:

Temperatura: No processo contínuo e semicontínuo, a temperatura de impregnação comumente é de 50 a 90°C. Pouco ou nenhum alveijamento ocorre em temperaturas abaixo de 50°C, no entanto a taxa de alveijamento aumenta consideravelmente até 90°C, a fervura não é recomendada porque leva á perda excessiva de dióxido de cloro com o vapor (TOMASINO, 1992).

A decomposição do clorito pode ser mantida dentro dos limites toleráveis se a elevação da temperatura for gradativa e lenta. A elevação rápida da temperatura provoca o desenvolvimento do dióxido de cloro. As fibras celulósicas podem ser tratadas à uma temperatura entre 70°C e 80°C, durante 60 a 90 minutos com elevação de temperatura até este ponto em aproximadamente 30 minutos (BEZERRA, 2004).

pH: A influência branqueadora do clorito depende do ácido cloroso livre (HClO_2), cuja máxima concentração se verifica em um pH 3 aproximadamente. O alveijamento do algodão com clorito se processa na prática com valores de pH entre 3,8 à 4,5. A ativação dos banhos de clorito é feito com produtos que fornecem o pH necessário, assim sendo, são utilizados para esta finalidade, diversos ácidos, de preferência o ácido fórmico ou ácido acético, fosfórico e nítrico, em menor escala o sulfúrico e o clorídrico. Também são utilizados para ativação produtos à base de ésteres orgânicos, como o lactato de etilo e tartárico de etilo. Estes ativadores liberam o ácido após certas temperaturas, geralmente depois do 70° C (BEZERRA, 2004).

Figura 12 – Gráfico de alveijamento para algodão com clorito de sódio.



Fonte: A autora, 2021.

2.5.7 Fatores a serem controlados em um processo de pré alvejamento

Vários são os fatores que podem influenciar na qualidade um pré alvejamento, dentre eles pode-se citar:

2.5.8 Dureza

A presença de íons de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no banho de pré-alvejamento exerce ação reguladora nos peróxidos, importantes para permitir a desintegração lenta e controlada do agente alvejante, evitando, assim, perdas de estabilidade no material. A presença de dureza pode não trazer alvura suficiente para a preparação bem como apresentar manchas (MONTIBELLER, 2016).

2.5.9 Umectação e hidrofiliidade

Os fenômenos relativos à tensão superficial, conforme citado no item 2.5.1 já são conhecidos e por tanto são de extrema importância. Uma boa umectação está diretamente ligada ao sucesso em uma preparação, visto que esse processo ajuda a garantir a uniformidade de impregnação/igualização durante o processo posterior, que é o tingimento (JULIANO, 2008).

Existe um método de visualização rápida, adaptado da norma NBR 13.000 (ABNT/NBR 13.000), ele é constituído por fixação do tecido em um bastidor de bordado, seguido com a adição de uma gota de água destilada ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$) sob a amostra de tecido, a 40 mm da superfície. O acionamento de um cronômetro é realizado no momento em que a gota toca o tecido, o mesmo é parado, quando a água sobre a superfície do tecido é completamente absorvida. O resultado deve ter sua mensuração feita após 5 ensaios consecutivos, tanto nas laterais como no centro do tecido (PIMENTEL, 2010).

2.5.10 Perda de massa

O processo de preparação tem uma enorme influência com relação a perda de massa do substrato. Questões como temperatura, tempo, tipo e quantidade de químicos utilizados torna essa perda bastante variável. A perda de massa pode ser calculada através das massas dos corpos de prova antes e depois dos tratamentos.

A Equação (1) foi utilizada para o cálculo da perda de massa percentual (ALY et al., 2004, citada por FURLAN, F. 2012):

$$\text{Perda de Massa} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

m_1 = massa do corpo de prova antes do tratamento (g) e

m_2 = massa do corpo de prova após o tratamento (g).

2.6 PRE ALVEJAMENTO A BAIXA TEMPERATURA

A inovação dos processos de beneficiamento de substratos têxteis é cada vez mais importante para possibilitar a competitividade da indústria têxtil. Os processos sustentáveis se tornam cada vez mais essenciais para a indústria têxtil. Pesquisadores vêm desenvolvendo novos métodos tornando os tratamentos mais eficientes e viáveis, substituindo os produtos químicos mais agressivos nos processos de pré alvejamento e purga das fibras celulósicas (PICOLLI, 2014).

Ainda segundo Picolli (2014), novos processos de alvejamento estão sendo desenvolvidos como, por exemplo, ozônio como agente oxidante, branqueamento de fibras com enzimas, plasma, microondas, ultrassom entre outros.

A fim de superar as desvantagens do método convencional de pré alvejamento com peróxido de hidrogênio, sistemas de com ativadores de peróxido estão sendo desenvolvidos principalmente para diminuir a temperatura do processo para reduzir o consumo de energia durante o processo (ZUOQIANG, 2018).

O grau de alvura, a decomposição do agente branqueador e a resistência do material têxtil são os principais pontos de avaliação da eficiência do processo de branqueamento (ARAUJO, 2019).

Long et al. (2013), estudaram um processo de alvejamento a baixa temperatura (70°C) e pH quase neutro, com uso de TAED (tetraacetililenodiamina), H₂O₂ e NaHCO₃ (bicarbonato de sódio). A TAED reage com H₂O₂, formando consecutivamente triacetililenodiamina (TriAED), diacetililenodiamina (DAED) e liberando duas moléculas de ácido peracético (PAA). O PAA é uma espécie cineticamente mais ativa do que H₂O₂. O emprego do NaHCO₃ mostrou-se excelente, pois ele é um álcali que mantém o pH quase neutro e conseqüentemente permite o alvejamento a baixa temperatura. Ao fim desse estudo, os autores observaram a

obtenção de um bom grau de alvura, uma capacidade de tingimento aceitável e uma vantagem bastante competitiva com relação à degradação do algodão.

Em 2015, outro estudo com ativador de peróxido de hidrogênio foi elaborado, este, com uso do cloreto de N-[4-(trietilamonometil)benzoil] butirolactama (TBBC). Os resultados mostraram que o sistema usado apresentava um melhor desempenho num intervalo de pH entre 6 e 8. Este intervalo pode ser obtido através da adição de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) à solução. Este sistema permitiu proceder o alvejamento a uma temperatura inferior aos demais, em torno de 50°C . Em comparação com o sistema convencional, o sistema usado neste estudo, forneceu um grau de branco equivalente, um maior grau de polimerização e uma absorção de água ligeiramente inferior ao tecido de algodão tratado (XU, 2015).

Liu et al. (2017), utilizaram o PAG (glicose pentaacetilada) como ativador do peróxido de hidrogênio. A adição de PAG provocou um aumento significativo do grau de alvura e da decomposição do H_2O_2 , enquanto que a resistência do material têxtil foi pouco modificada a uma temperatura de 70°C . Os autores concluíram com este estudo, que a concentração de PAG estava diretamente relacionada com o grau de alvura obtido e conseguiram comprovar isso através do uso de uma sonda fluorescente de ácido benzenopentacarboxílico.

Em outro estudo, Liu e colaboradores (2018), utilizaram a tetraacetilidrazina (TH) como ativador de peróxido de hidrogênio. A tetraacetilidrazina apresenta uma melhor solubilidade quando comparada a TAED. Além disso, os autores citam Janicot, Bouchu, Descotes e Wong (1996), que relatam que a solubilidade pode afetar a reatividade no alvejamento. Sendo assim, os ativadores de alvejamento com boa solubilidade em água, podem melhorar ainda mais a eficiência do processo para tecidos de algodão. Por adição da TH ao peróxido de hidrogênio, o grau de alvura e a taxa de decomposição do H_2O_2 , aumentaram significativamente a uma temperatura de 70°C . Portanto o processo H_2O_2 /TH quando comparado ao TAED, se mostrou eficiente, pois pode trazer um grau de alvura satisfatório, com tempo de processo menor, com poucas diferenças com relação à força de ruptura do tecido e pode ser facilmente implantado na indústria.

Já Yu et al. (2018), estudaram um processo de alvejamento do algodão com o H_2O_2 , NaHCO_3 e Cu^{2+} (Cobre II). O estudo avaliou a influência da temperatura e das concentrações iniciais dos componentes (H_2O_2 , NaHCO_3 e Cu^{2+}), este estudo tomou como base a abordagem para tratamentos de poluentes orgânicos, considerando semelhanças estruturais químicas entre coloração do algodão e corantes orgânicos. Os autores propuseram que os sistemas usados na descoloração/degradação oxidativa para corantes orgânicos também pudessem ser alternativas

eficazes e adequadas para o alvejamento do algodão. Os resultados experimentais mostraram que o H_2O_2 foi facilmente decomposto a 60°C com ajuda do sistema $\text{Cu}^{2+}/\text{NaHCO}_3$. Este estudo indicou que o sistema proposto tem menor custo operacional e maior eficiência quando comparado aos alvejamentos ativados por TAED, mostraram também uma alternativa para reuso do banho do alvejamento, onde este poderia ser reutilizado por 6 vezes, havendo apenas adição do H_2O_2 , reforçando mais a sua viabilidade para as aplicações industriais.

Considerando o contexto ambiental e o grande emprego do peróxido de hidrogênio em processos convencionais de pré alvejamento, aplicando álcalis, altas temperaturas nos processos necessitando assim de energia, bem como maior tempo de reação, o estudo com ativadores de peróxido é justificável e de grande relevância (RIBEIRO, 2020).

2.7 COLORIMETRIA

A investigação científica das cores foi intensificada nos últimos 70 anos, sendo Newton, Goethe, Hong, Maxwell, Helmholtz alguns dos célebres pioneiros desta área (SOUSA, 2016).

A colorimetria consiste na técnica de medição de cor. Da mesma forma como é possível medir grandezas como dimensões de objetos, velocidade de um corpo ou a energia de uma turbina, se pode quantificar a impressão sensorial da cor (SALEM, 2010).

O órgão mundial responsável pela emissão de normas de padronização de procedimentos nessa área é a Comissão Internacional de Iluminação e Cor, conhecida como CIE, do francês Commission Internationale de l'Éclairage (SILVA, 2004).

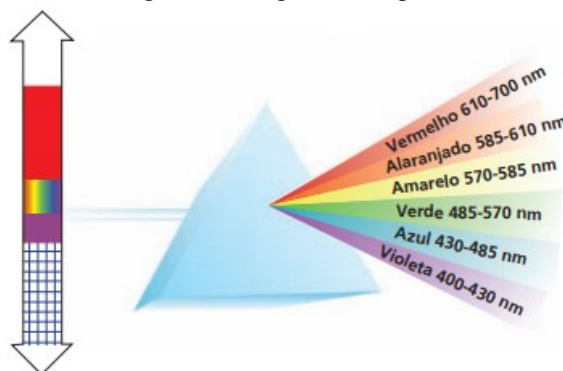
Segundo Puebla (2004), o olho humano possui três receptores de cor, chamados de cones, conectados à visão do verde, vermelho e azul. E, possui mais um receptor, mais sensível à luz, chamado haste. Fisicamente, a descrição da cor é baseada na interação entre a fonte de luz que ilumina o objeto e o observador. Assim, a descrição da cor pode ser dada por:

- Luminosidade: intensidade relativa de luz vindo do objeto. Esse valor é conectado ao conceito de branco (valor alto) ou preto (valor baixo);
- Cromatidade: quantidade de cor percebida pelo olho (saturação da cor). Cores monocromáticas possuem valores altos;
- Tonalidade: relacionada à cor percebida. Vai do vermelho, amarelo para o verde e azul.

Dessa forma, cada cor assume valores de luminosidade, croma e tonalidade única (PUEBLA, 2004).

Denomina-se luz a faixa de radiação eletromagnética entre 400 e 700nm, a qual constitui a radiação visível para seres humanos. As radiações que limitam o espectro de luz visível são os raios ultravioleta (<400nm) e os infravermelhos (>700nm) (SALEM, 2010).

Figura 13 – Espectro de energia eletromagnética e espectro da luz visível.



Fonte: Salem, 2010.

Ainda segundo Salem (2010), em colorimetria fazem-se medições de cor sob iluminantes padronizados, sendo eles D65 (luz do dia), a (luz incandescente) e TL84 (luz fluorescente).

Equipamentos e softwares foram desenvolvidos ao longo dos anos. Pelo uso de iluminantes específicos e sensores, as medições das cores são realizadas e transformadas em números utilizando equações matemáticas. Além da padronização do iluminante, é importante conhecer a construção do instrumento de medição, pode-se distinguir dois tipos de instrumentos de acordo com o tipo de detecção da luz: o colorímetro e o espectrofotômetro (PICOLLI, 2014).

Picolli salienta que no colorímetro, a luz refletida da amostra é examinada por três filtros simulando a função tri-estímulo para um dado iluminante que faz parte desses filtros. Todos os resultados colorimétricos são gerados a partir dessa leitura e dessa forma, a menos que seja substituído o filtro, o resultado não pode ser obtido para outro iluminante.

Segundo Rossi (2008), historicamente, as principais vantagens dos colorímetros triestímulos eram seu reduzido tempo de medição, sua facilidade de utilização e seu custo relativamente baixo.

Já para o espectrofotômetro, as amostras são medidas em espectros de reflectância. Uma vez que o espectro de reflectância é uma propriedade física da amostra, o cálculo dos

dados colorimétricos para diferentes iluminantes e observadores pode ser facilmente realizada por meio de software (PICOLLI, 2014).

Outro componente importante na quantificação da cor é o software. São vários os modelos matemáticos envolvidos (PUEBLA, 2004).

Nessa revisão bibliográfica, são apresentados apenas os modelos para medição da cor utilizados nesse trabalho. Para amostras pré alvejadas utilizou-se o modelo Berger onde foram feitas medidas do grau de alvura, já para as amostras tintas, utilizou-se o modelo CIE CMC 2:1 onde se mediu a diferença da cor da amostra em comparação ao seu padrão.

2.7.1 Grau de Alvura

Os modelos utilizados para medir o grau de alvura podem ser unidimensionais, representados por uma função linear $W = f(X, Y, Z)$ ou bidimensionais onde além do grau de alvura pode também ser medido desvio tintorial, esse, por sua vez é bastante útil para avaliação da cor branca. Os principais são: Berger, Alvura CIE, Alvura ASTM, Stensby, Taube, unidimensionais Ganz e Griesser, bidimensionais (PUEBLA, 2004).

2.7.2 Modelo WI Berger

Esta fórmula (2) foi desenvolvida por A. Berger e apresentada em 1959. Os valores de alvura calculados após a fórmula de Berger foram muito populares até início dos anos 80, principalmente para as indústrias papeleiras e têxteis. Alvura Berger é definida para o iluminante C (luz média do dia) e para observadores de 2 graus. No entanto é largamente utilizado para outras condições de observador e iluminante.

$$WI_{Berger} = 0.333Y + 125 \frac{Z}{z_0} - 125 \frac{x}{x_0} \quad (2)$$

X, Y e Z : são o valor do triestímulo para a amostra e

x_0 e z_0 : são os valores de três estímulos do observador iluminante.

Para índices abaixo de 33.33 mostram-se substratos amarelados e acima desse valor azulados (X-RITE, 2012).

2.7.3 Medida de cor

Ao longo dos tempos foram formuladas várias equações matemáticas com a finalidade de criar novos sistemas de coordenadas que permitissem determinar o ponto exato da tonalidade desejada. Atualmente, os que mais se destacam são os sistemas CIElab e CMC, que apresentam como elemento em comum o valor de ΔE , que indica a diferença total de cor de um determinado artigo têxtil em relação a uma tonalidade padrão, sendo que o padrão tem como desvio dele próprio um valor de $\Delta E = 0$ (SOUSA, 2016).

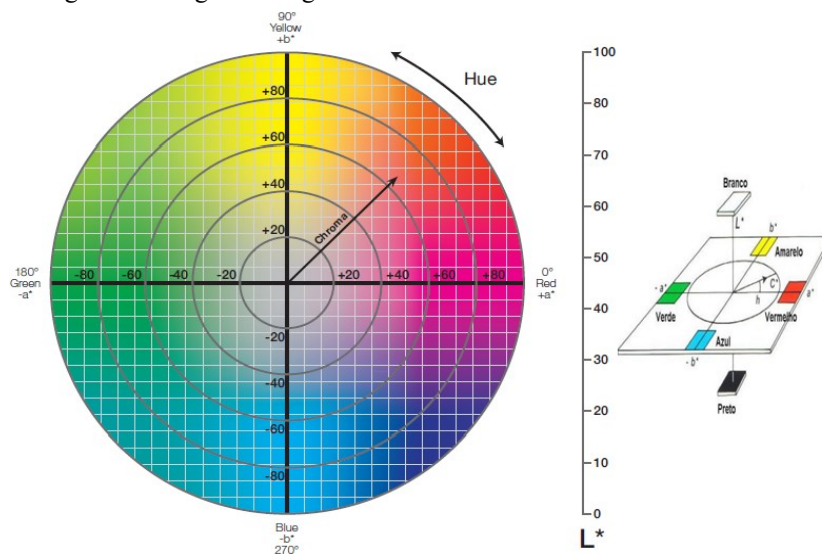
2.7.4 Sistemas CIELab e CIEL*C*h°

Em 1976, a CIE concordou em adotar um sistema que pudesse ser calculado com fórmulas simples. As três coordenadas foram denominadas com as letras L^* , a^* , b^* , denominados como CIELab. Nele encontra-se o método de identificação tridimensional, sendo branco-preto (L^*); vermelho-verde (a^*); amarelo-azul (b^*) (ROSSI, 2008).

As coordenadas colorimétricas a^* e b^* podem também ser representadas e é definido como CIEL*C*h°. Apesar do sistema $L^*C^*h^\circ$ usar o mesmo diagrama de espaço de cor $L^*a^*b^*$, ele se difere ao usar coordenadas polares ao invés de coordenadas cartesianas. O espaço de cor $L^*C^*h^\circ$ é semelhante ao CIELab, porém é preferido por alguns profissionais da indústria porque seu sistema se correlaciona melhor com a forma como o olho humano percebe a cor (X-RITE, 2021).

Ainda segundo X-rite (2021), o eixo L^* representa a luminosidade, onde 0 indica preto e 100 indica branco, o eixo C^* representa croma ou “saturação”, esse varia de 0 no centro do círculo que significa completamente insaturado (ou seja, um cinza neutro) a 100 ou mais para borda do círculo com alta saturação ou “pureza de cor”, já o h° descreve o ângulo de matiz e varia de 0 a 360°.

Figura 14 – Significado geométrico das coordenadas $L^*a^*b^*$ e $L^*C^*h^\circ$.



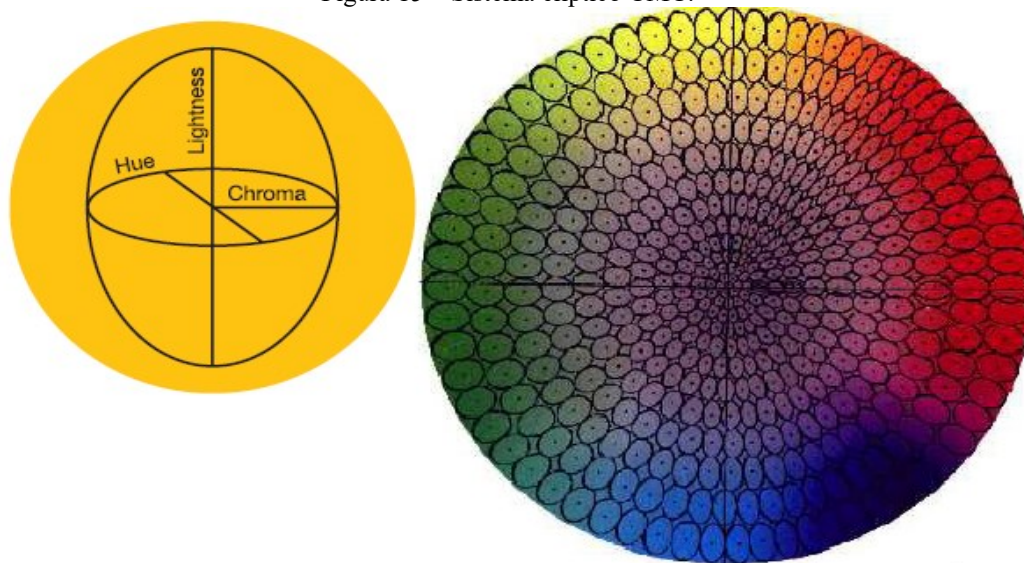
Fonte: X-Rite, 2021.

Mediante as necessidades industriais inerentes ao maior controle de qualidade exigido e a lacunas existentes para certas regiões do espaço visual do sistema CIElab, surgiu a definição e o desenvolvimento de fatores psicométricos (coeficientes de ponderação) de cada um dos critérios de classificação que foram integrados nas fórmulas matemáticas referentes ao valor da diferença total de cor, ΔE (SOUSA, 2016).

Ainda segundo Sousa (2016), em 1984 o Comitê de Medição de Cor (CMC) da Sociedade de Tingidores e Coloristas de Inglaterra determinou um conjunto de equações de diferenças de cor que utilizam as coordenadas $L^*C^*h^\circ$ de uma cor padrão.

O desenvolvimento do CMC se baseia em um amplo estudo da aceitabilidade visual das diferenças de cor em todas as regiões do espaço da cor. A chave para a utilização do CMC são as elipses de aceitabilidade, que variam em tamanho e forma dependendo da área do espaço da cor no qual cai o padrão. As elipses de aceitabilidade contêm três semi-eixos que são definidos nas três direções L^* , C^* e h° (SL, SC e SH, respectivamente) (ROSSI, 2008).

Figura 15 – Sistema elíptico CMC.



Fonte: X-Rite, 2021.

Quando o cálculo de diferença de cor CMC (ΔE_{cmc}) é utilizado, é necessário decidir previamente se a razão entre a luminosidade e a saturação é aceitável para cada aplicação em particular. Tal razão (l:c) pode ser alterada; a razão 1:1 entre luminosidade e saturação é recomendada para a validação de percepção da diferença de cor; a razão 2:1 é recomendada para a validação da aceitação de cor, uma vez que são mais toleráveis maiores diferenças em luminosidade que em saturação e cor (SOUSA, 2016).

O modelo CMC (2:1) foi selecionado para esse trabalho e é tradicionalmente adotado na indústria têxtil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo descreve os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento desse estudo. Os ensaios experimentais foram desenvolvidos no Laboratório de Engenharia Têxtil da empresa Brandili Têxtil na cidade de Apiúna e Laboratório de Beneficiamento (LABENE) do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau no estado de Santa Catarina.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados foram apresentados seguindo a ordem: reagentes e produtos químicos auxiliares, substrato, equipamentos e acessórios.

3.1.1 Reagentes e produtos químicos auxiliares

Os corantes reativos e os produtos químicos auxiliares utilizados nos ensaios desse estudo, com exceção do ácido peracético e do ácido perfórmico, já são utilizados atualmente na empresa Brandili Têxtil para fins de pré alvejamento em cores medias e escuras, a água utilizada em todos os métodos e procedimentos foi água industrial do beneficiamento da empresa.

Para os ensaios de pré alvejamento e tingimento foram utilizados os produtos químicos conforme mencionados nos Quadros 1 e 2. Já para os experimentos de hidrofiliidade e dureza do material têxtil seguem no Quadro 3.

Quadro 1 - Produtos químicos auxiliares utilizados no pré alveamento.

Produto Químico	Função	Fórmula Molecular	Informações Adicionais
Detergente/ Umectante	Detergente/ Umectante (Não Iônico)	Não Especificado	Poliglicoléter de álcool graxo -CAS 68551-12-2 < 44% Etanol - CAS 64-17-5 < 8% Ácido orgânico - CAS 2809-21-4 < 22%
Dispersante de Ca e Mg	Dispersante de Ca e Mg (Aniônico)	Não Especificado	Derivado de Ácido Fosfônico Ácido orgânico - CAS 2809-21-4 < 70%
Hidróxido de Sódio (50%)	Álcali	NaOH	CAS 1310-73-2
Peróxido de Hidrogênio (50%)	Oxidante	H ₂ O ₂	CAS 7722-84-1
Triacetina	Ativador Peróxido 1	C ₉ H ₁₄ O ₆	Composto orgânico derivado de triglicerídeos CAS 102-76-1
Ácido Peracético	Ativador Peróxido 2	C ₂ H ₄ O ₃	CAS 79-21-0
Ácido Perfórmico	Ativador Peróxido 3	CH ₂ O ₃	CAS 107-32-4
Ácido Cítrico (50%)	Neutralizante	C ₆ H ₈ O ₇	CAS 77-92-9

Fonte: A autora, 2021.

Quadro 2 - Produtos químicos auxiliares utilizados no tingimento.

Produto Químico	Função	Fórmula Molecular	Informações Adicionais
Dispersante/Igualizante	Dispersante/Igualizante (Aniônico)	Não Especificado	Óleo vegetal modificado - CAS 8002-33-3 Faixa Concentração 15 - 40 %
Cloreto de Sódio	Eletrólito (Aux. montagem corante)	NaCl	CAS 7647-14-5
Carbonato de Sódio	Álcali (Aux. fixação corante)	Na ₂ CO ₃	CAS 497-19-8
Corante reativo amarelo	Corante temperatura de trabalho de 60°C	C ₂₈ H ₂₀ ClN ₉ Na ₄ O ₁₆ S ₅	Amarelo Reativo CI - 145
Corante vermelho reativo	Corante temperatura de trabalho de 60°C	Não Especificado	Vermelho Reativo CI - 195.1/241/239

Fonte: A autora, 2021.

Quadro 3 - Reagentes químicos utilizados para experimentos de dureza e hidrofiliidade/capilaridade do material têxtil.

Produto Químico	Informações Adicionais
Solução de Ácido Acético	4,0 g/L
Solução Tampão Amoniacal	pH 12
Solução de Eriocromo Negro T	1%
Solução de EDTA	0,001M
Solução Corante Reativo Turquesa 200%;	Azul Reativo CI - 21 Conc. 1:10

Fonte: A autora, 2021.

3.1.2 Substrato

O substrato foi produzido a partir de fios construídos com 100% de fibras de algodão penteado, no título 30/1 Ne, na malharia da empresa localizada em Rodeio Santa Catarina e possui a especificação de “meia malha penteada”, com gramatura 175g/m².

3.1.3 Equipamentos e acessórios

No preparo dos ensaios de pré alvejamento e tingimento realizados no laboratório de Engenharia Têxtil da empresa Brandili, foram utilizados diversos equipamentos mostrados a seguir:

Na Figura 16, pipeta semi automática da marca Eppendorf e balança analítica Bel.

Figura 16 – Pipeta semi automática e balança analítica.



Fonte: Eppendorf e Bel, 2021.

Na execução dos ensaios de pré alvejamento utilizou-se máquina de tingir com infravermelho modelo AT1-SW (Figura 17). Para o tingimento posterior utilizou-se máquina de tingir banho-maria modelo AT-HT 2 (Figura 18), todas contendo controladores eletrônicos digitais, da marca Kimak.

A máquina de tingir AT1-SW (Figura 17), possui 12 canecas de capacidade 300mL cada, elas ficam acopladas em uma base circular que gira conforme programa gravado/selecionado para controle do processo.

Figura 17 – Máquinas de tingir Kimak, modelo AT1-SW.



Fonte: Kimak, 2021.

A máquina de tingir AT-HT 2 (Figura 18), possui um sistema “banho-maria” para aquecimento indireto das 21 canecas, todas com capacidade 300 mL cada, seu eixo é fixo possuindo sistema giratório.

Figura 18 – Máquinas de tingir Kimak, modelos AT-HT 2.





Fonte: Kimak, 2021.

Essas máquinas de tingir possuem um controlador eletrônico digital que possibilita a programação dos passos dos processos, promovendo a confiabilidade e reprodutibilidade das condições tanto do pré alvejamento quanto do tingimento. O controle eletrônico e automático possibilita imputar as variáveis tempo, temperatura, velocidade de aquecimento e velocidade de rotação.

A Figura 19, mostra o foulard utilizado, sendo da marca Mathis, modelo vfl-B-350.

Figura 19 – Foulard vertical Mathis modelo vfl-B-350.



Fonte: Mathis, 2021.

As secagens das amostras tratadas foram feitas em secadora de varal modelo super ciclo, da marca Fischer (Figura 20).

Figura 20 – Secadora de varal Fischer modelo super ciclo 8kg.



Fonte: Fisher, 2021.

O espectrofotômetro modelo Color i5 (Figura 21), da marca X-rite, opera acoplado a um computador, o mesmo utiliza o software Color IQC Imatch, V9.8.20 para compilação dos registros e cálculo dos valores de alvura de grau Berger adotado nesse estudo.

O espectrofotômetro Color i5 possui iluminação pulsada e ângulo de observador de 10°. A área de abertura utilizada foi de 25mm e o espectrofotômetro foi calibrado em cada início de seção de leitura.

O mesmo espectrofotômetro foi utilizado para leituras comparativas entre padrão e amostras tintas em uma cor clara/limpa utilizando o pré alvejamento alvo desse estudo, a fim de verificar a aplicação neste range de cores. Porém nesse caso utilizou-se o sistema CIEL*L*a*b* e o ΔE_{cmc} para fins validação.

Figura 21 – Espectrofotômetro modelo color i5.



Fonte: X-Rite, 2021.

3.2 MÉTODOS

Nesse item estão descritos os métodos e procedimentos laboratoriais utilizados nesse estudo.

Todos os ensaios e testes foram realizados em duplicata e em ambiente de laboratório climatizado com temperatura de 23°C.

A metodologia aplicada de preparo das soluções foi realizada a fim de simular as condições reais de uma tinturaria por esgotamento.

3.2.1 Plano de ensaios para os parâmetros de processo e seleção de variáveis

A Tabela 4 mostra os processos de pré alvejamento já empregados na produção na empresa Brandili Têxtil, sendo que para cores claras/limpas o pré alvejamento a baixa temperatura (75°C) não é aplicado, visto que a alvura alcançada impossibilita que esse processo seja empregado. Para tal situação ainda se usa o pré alvejamento convencional a alta temperatura (100°C).

Baseando-se nesses dois processos, buscou-se encontrar alternativas, porém tendo como priori o processo à baixa temperatura, onde por meio das alterações como, tempo de processo, químicos auxiliares e suas concentrações, foi possível se obter um pré alvejamento satisfatório para o processo de tingimento nessa gama de cores.

Tabela 4 - Processos de pré alvejamento empregados.

Fatores	Processo Cores Claras/Limpas Pré 100°C	Processo Cores Médias/Escuras Pré 75°C
Detergente/Umectante (%)	1,2	1
Dispersante Ca e Mg (%)	0,27	0,38
Hidróxido de Sódio (%)	2,5	3,3
Peróxido Hidrogênio (%)	2,8	3
Triacetina (g/l)	0	0,9
pH	11	11
Tempo Processo (min)	15	15

Fonte: A autora, 2021.

Para a determinação dos parâmetros de processo de pré alvejamento, foi realizado um plano de ensaios, partindo da atual formulação e da baixa temperatura, já utilizada para cores médias e escuras na empresa.

Inicialmente os experimentos foram separados em dois blocos, a fim de isolar a variável tempo. No primeiro bloco, os ensaios foram executados em um tempo de 15 minutos e no segundo bloco em um tempo de 30 minutos, ambos a 75°C. Foram utilizadas para cada bloco as formulações relacionadas nas Tabelas 5 e 6. A Tabela 5 mostra os produtos químicos e suas respectivas quantidades, esses, foram mantidos fixos durante os ensaios, já a Tabela 6 mostra os ativadores de peróxido de hidrogênio e suas quantidades, onde por sua vez, foram variadas. As seleções desses ativadores de peróxido e das respectivas faixas de dosagens foram baseadas na revisão bibliográfica, no conhecimento prático de produção dos processos e nos

resultados obtidos nos experimentos iniciais, cujas informações são relatadas com maior detalhe posteriormente, no Capítulo de Resultados e Discussões desse estudo.

Tabela 5 – Produtos químicos com quantidades fixas nas formulações 1 a 28.

Produtos	(%)
Detergente/Umectante	1
Dispersante Ca e Mg	0,38
Hidróxido de Sódio (50%)	3,3
Peróxido Hidrogênio (50%)	3

Fonte: A autora, 2021.

Tabela 6 – Produtos variáveis utilizados nas formulações 1 a 17 a 75°C.

Nº Formulação	Triacetina (%)	Ácido Peracético (%)	Ácido Perfórmico (%)
1	1,12	0	0
2	1,8	0	0
3	0,9	1	0
4	0,9	0,5	0
5	0,45	1	0
6	0,45	0,5	0
7	0,9	0	1
8	0,9	0	0,5
9	0,45	0	1
10	0,45	0	0,5
11	0	1	0
12	0	0,5	0
13	0	0	1
14	0	0	0,5
15	0	1	0,5
16	0	0,5	0,5
17	0	0,5	1

Fonte: A autora, 2021.

Partindo dos resultados encontrados com os primeiros ensaios (1 a 17), novos experimentos foram realizados.

Os produtos químicos e quantidades da Tabela 5 foram mantidos fixos e novas formulações com variação nas quantidades dos ativadores de peróxido de hidrogênio, alvo desse estudo, foram realizadas e essas novas quantidades estão relacionadas na Tabela 7.

A temperatura foi aumentada para 80°C e dois blocos de testes foram realizados com os tempos de 15 e 30 minutos. Optou-se pelo aumento na temperatura, pois as concentrações utilizadas dos produtos, estavam próximos aos limites máximos de uso, conforme orientação do fornecedor.

Tabela 7 – Produtos variáveis utilizados nas formulações 18 a 28 a 80°C.

Nº Formulação	Triacetina (%)	Ácido Peracético (%)	Ácido Perfórmico (%)
18	0,9	0	1
19	1,12	0	0
20	0,9	1	0
21	0,45	0	1
22	0	1	0
23	0	1	0,5
24	0	0,5	0
25	0,45	0	0
26	0,45	0,5	0
27	0,45	0	0,5
28	0,45	0,5	0,5

Fonte: A autora, 2022.

3.2.2 Seleção do substrato para pré alvejamento

Todos os ensaios para determinação dos parâmetros de pré alvejamento foram realizados com o mesmo lote de meia malha. Esse cuidado foi tomado para reduzir a interferência que variações na origem da fibra de algodão e/ou no fio de algodão possam trazer para o resultado do pré alvejamento. No dia a dia da indústria, busca-se esse controle de lote e origem, mas em muitos casos há muita dificuldade em se manter, isso porque a própria fiação pode utilizar lotes de algodão diferentes com mesmo título de fio que está produzindo.

Segundo Picoli (2014), não há um critério de tolerância normatizado por algum instituto oficial, o que ocorre no dia a dia das indústrias é que uma variação de até 5 pontos na escala de grau de alvura CIE [D65/10⁰], é aceitável, para que, após o beneficiamento final, não seja percebida nenhuma diferença significativa na cor tinta. Nesse estudo usou-se o mesmo critério, porém usando grau de alvura WI Berger [D65/10⁰], pois é o método já implantado na empresa Brandili.

Todos os ensaios foram realizados com a quantidade de meia malha de 10,00 g para cada ensaio.

3.2.3 Preparo das soluções de químicos auxiliares

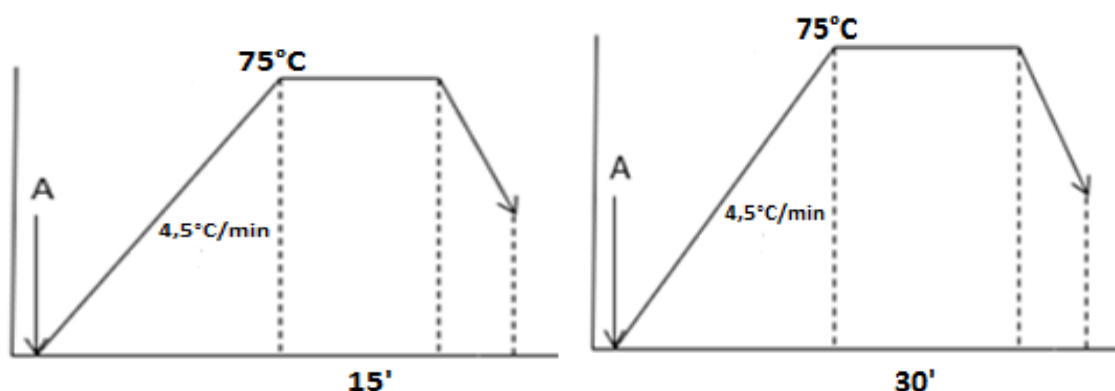
Os químicos auxiliares detergente/umectante, dispersante de Ca e Mg, hidróxido de sódio (50%), peróxido hidrogênio (50%), triacetina, ácido peracético e ácido perfórmico foram pesados e diluídos individualmente, com a relação de 1:10 (químico:banho). Foram pesados 10,0 g de cada químico e avolumados com água industrial em balão volumétrico de 100 mL. Separadamente cada solução foi homogeneizada, tampada e deixada em repouso para uso posterior.

3.2.4 Pré alvejamento das amostras

Os substratos de meia malha foram pré alvejados em processo de esgotamento, em equipamento de tingimento de canecos da marca Kimak modelo AT1-SW (Figura 17), com aquecimento por infravermelho (IR).

Inicialmente foram preparadas as 17 formulações mencionadas na Tabela 6, todos os químicos foram adicionados individualmente e em seguida avolumados considerando a relação de banho de 1:10. As curvas do pré alvejamento são apresentadas na Figura 22, onde o ponto A, mostra momento da dosagem de todos os químicos utilizados.

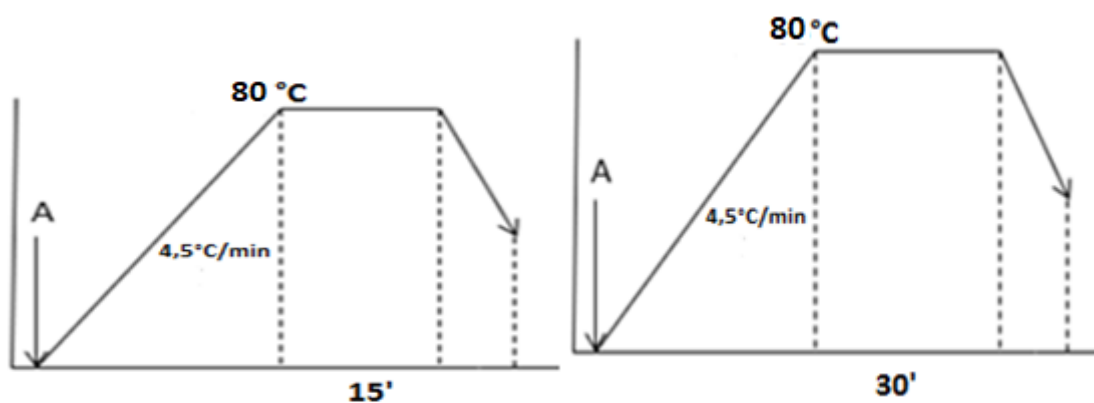
Figura 22 – Curvas de pré alvejamento a 75°C.



Fonte: A autora, 2022.

Em seguida, baseados nos resultados encontrados nas formulações 1 a 17, novas formulações foram realizadas, conforme mencionadas na Tabela 7 e com variação na temperatura do processo conforme Figura 23. O ponto A, mostra momento da dosagem de todos os químicos utilizados.

Figura 23 – Curva de pré alvejamento a 80°C.



Fonte: A autora, 2022.

3.2.5 Determinação do grau de alvura e da diferença de cor

As medições do grau de alvura dos tecidos de malha pré alvejados e a medida de diferença de cor dos tecidos tintos foram realizadas conforme orientações das normas técnicas: ABNT NBR ISO 105-J01:2008 Têxteis — Ensaio de solidez da cor. Parte J01: Princípios gerais para a medição da cor de superfície e ABNT NBR ISO 105-J02:2011 Têxteis — Ensaio de solidez da cor. Parte J02: Avaliação instrumental do grau de branco relativo.

Nesses ensaios alguns cuidados foram importantes, tais como: deixar as amostras abertas para evitar vincos em ambiente controlado a 23°C por 24 horas para climatização antes da leitura.

As amostras foram dobradas formando quatro camadas de tecido a fim de evitar a passagem de luz. Utilizou-se abertura com área de 25mm e iluminante D65/100 tanto para amostras pré alvejadas quanto para amostras tintas. As leituras foram realizadas em 3 pontos diferentes de cada amostra.

3.2.6 Determinação da perda de massa

As 3 amostras que apresentaram maior grau de alvura Berger (WI_{Berger}), tiveram a perda de massa calculada. Ela se deu através das massas dos respectivos corpos de prova antes e depois dos pré alvejamentos a 75°C, seguidos da secagem em secadora de varal Fischer conforme item 3.2.7 deste trabalho.

A Equação (3), foi utilizada para o cálculo dessa perda de massa percentual (ALY et al., 2004, citada por FURLAN, F. 2012):

$$\text{Perda de Massa} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

m_1 = massa do corpo de prova antes do tratamento (g);

m_2 = massa do corpo de prova após o tratamento (g).

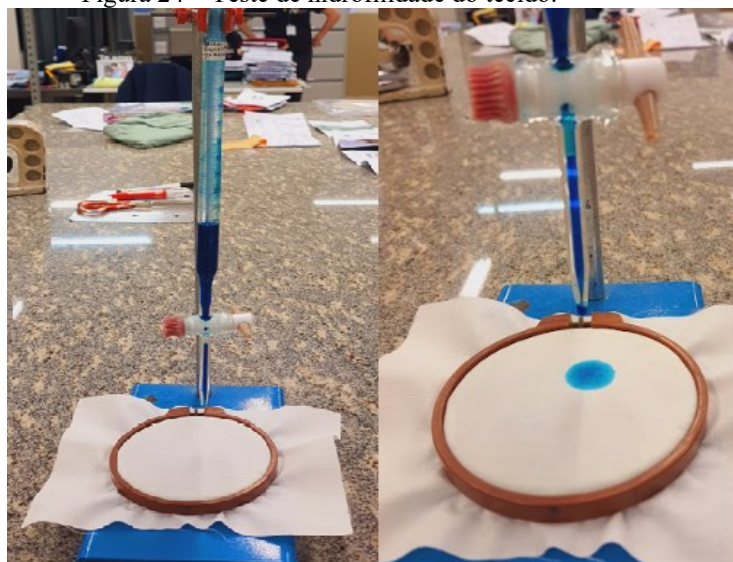
3.2.7 Hidrofilidade do tecido

A hidrofilidade foi estudada com o intuito de entender se o tecido sofre ou não alterações em suas propriedades de absorção após sujeito ao sistema de pré alvejamento a baixa temperatura com diferentes ativadores de peróxido. Esta análise é importante por conta do processo posterior que o material estará sujeito, o tingimento. Garantir um tingimento uniforme é um parâmetro muito importante a ser analisado.

Conforme já mencionado, existe um método de visualização rápida, adaptado da norma NBR 13.000 (ABNT/NBR 13.000), ao qual as amostras serão submetidas.

É possível determinar a hidrofiliidade de amostras analisando-se o tempo médio que uma gota leva para ser absorvida pelo tecido. Essa análise serve como método comparativo de forma que quanto menor for o tempo para completa absorção, maior é a hidrofiliidade do tecido (SCHREIBER, 2019).

Figura 24 – Teste de hidrofiliidade do tecido.



Fonte: A autora, 2022.

3.2.8 Capilaridade do tecido

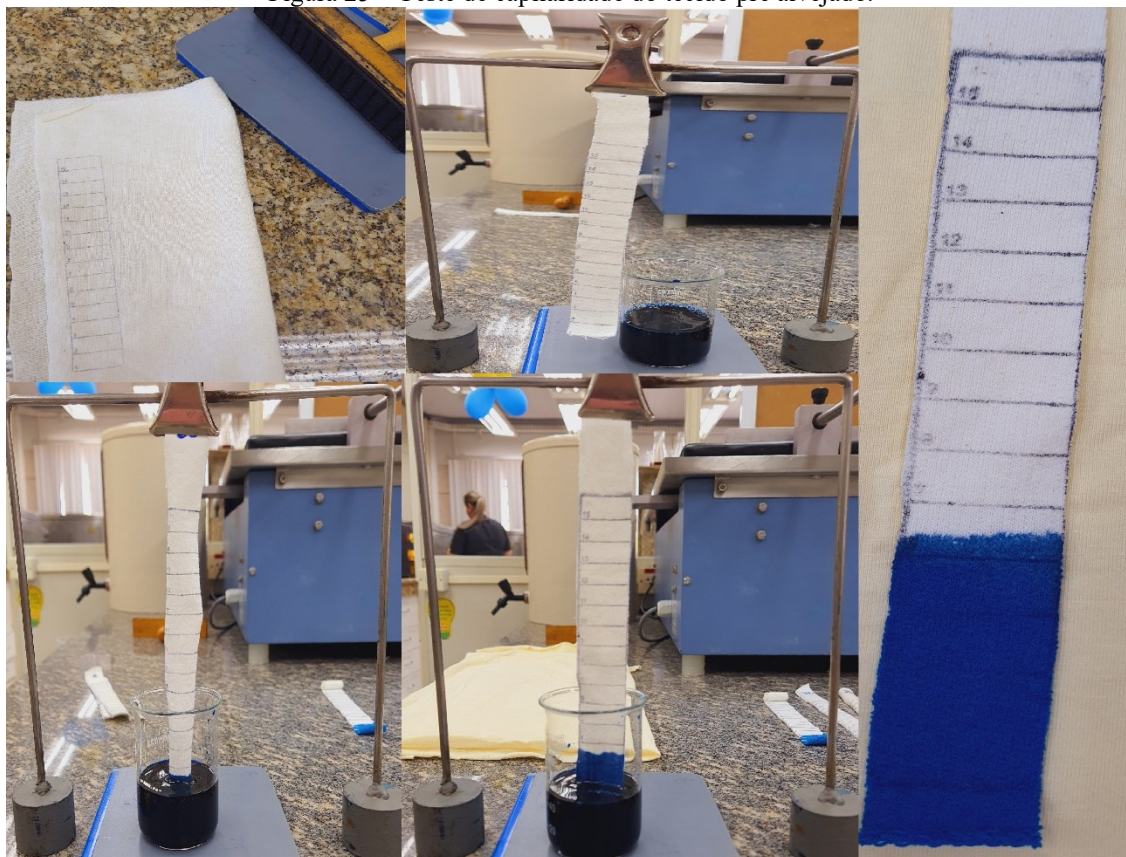
O laboratório têxtil da Brandili, tem como procedimento interno o teste de hidrofiliidade pelo método de ascensão capilar, conhecido internamente como teste de capilaridade, estes testes são realizados diariamente em alguns dos lotes pré alvejados.

Este consiste em se marcar amostras secas de tecido pré alvejado com auxílio de um carimbo, em seguida colocar essas amostras no sentido vertical com auxílio de um suporte, mergulhando 1,0 cm da extremidade do tecido em uma solução de corante (1:10 (m/v)) durante de 120 segundos. Ao final observa-se a altura em cm e a uniformidade da coluna da solução absorvida pela amostra,

Os testes de capilaridade são realizados com o objetivo de verificar a rapidez e uniformidade de umectação do pré alvejamento das amostras tratadas.

Na Brandili, o padrão alcançado para amostras tratadas a 75°C é de 3 cm de altura e para amostras tratadas a 100°C é de 7 cm de altura, a coluna de corante deve ser sempre uniforme e constante.

Figura 25 – Teste de capilaridade do tecido pré alvejado.



Fonte: A autora, 2022.

3.2.9 Dureza total do material têxtil

A Brandili também avalia a dureza total do material têxtil dos lotes pré alvejados diariamente a fim de garantir que o substrato esteja ideal para o início do tingimento. O procedimento tem início retirando-se uma amostra de 10g do tecido tratado, em seguida cortando-a em pequenas partes e colocando-as em um erlenmeyer com 300 mL da solução de 4g/L de ácido acético. O Erlenmeyer então é submetido ao aquecimento até alcançar temperatura de 100°C, ao chegar em ebulição um vidro relógio é utilizado para tampar sua boca durante 20 minutos. Em seguida a solução resultante é diluída ainda quente, para aproximadamente 900 ml em balão volumétrico utilizando-se água destilada. Após a solução esfriar, se completa para 1000 ml. Para titulação retira-se 25ml da solução fria para um erlenmeyer de 250ml, adiciona-se 3ml de solução tampão amoniacal pH 12, 3 gotas de Eriocromo Black T e titula-se com solução de EDTA 0,001M até coloração azul claro.

A Equação (4) foi utilizada para o cálculo da dureza total do material têxtil:

$$\frac{(V_1 - V_2) \times Fc \times 100 \times 100 \times 100}{25} = \text{p.p.m. dureza total CaCO}_3 \quad (4)$$

Onde:

V_1 = volume de EDTA gasto na titulação com amostra tratada (ml);

V_2 = volume de EDTA gasto na titulação sem amostra (branco) (ml);

M = molaridade da solução de EDTA e

Fc = fator de correção da solução de EDTA.

O padrão para amostras pré alvejadas independentemente da temperatura é de 800 p.p.m. de CaCO_3 , esse valor foi determinando mediante análises de processos e tecidos de malha antigos e convencionais. Atualmente os valores obtidos nas análises de dureza do material têxtil, não tem alcançado o valor estipulado como padrão. Para os alvejamentos a 100°C encontra-se em média 600 p.p.m. de CaCO_3 enquanto para os tratamentos a 75°C ficam em torno de 1200 p.p.m. de CaCO_3 . Entende-se que quanto menor o resultado em p.p.m. de CaCO_3 , melhor resultado alcançado e o valor de 1200 p. p. m. não tem trazido problemas.

3.2.10 Preparo das soluções de corantes

Foram pesados 2,00 g de cada corante e transferidos individualmente para um elenmeyer de 200 mL, em seguida dissolvidos em 200 mL de água industrial com a relação de 1:100 (corante:banho), cada solução foi aquecida a 40°C por 5 minutos e deixada em repouso para esfriar.

3.2.11 Tingimento das amostras

A formulação escolhida para o tingimento das amostras pré alvejadas foi da cor com código interno de 686, nomeada de rosa claro, considerada como uma cor clara/limpa com necessidade de alto grau de alvura. Essa formulação tem a concentração de 0,001% do corante reativo amarelo (CI 145) e 0,016% do corante reativo vermelho (CI 195.1/241/239), 30 g/L de NaCl, 10 g/L de Na_2CO_3 , 1,5g/L de dispersante, 1g/L igualizante. As soluções para os tingimentos foram preparadas nos canecos com a relação entre o substrato e o banho de tingimento de 1:10 (m/v) com água industrial.

O tingimento e a lavagem foram realizados na máquina de tingir modelo AT-HT 2 “banho-maria”, conforme Figura 18.

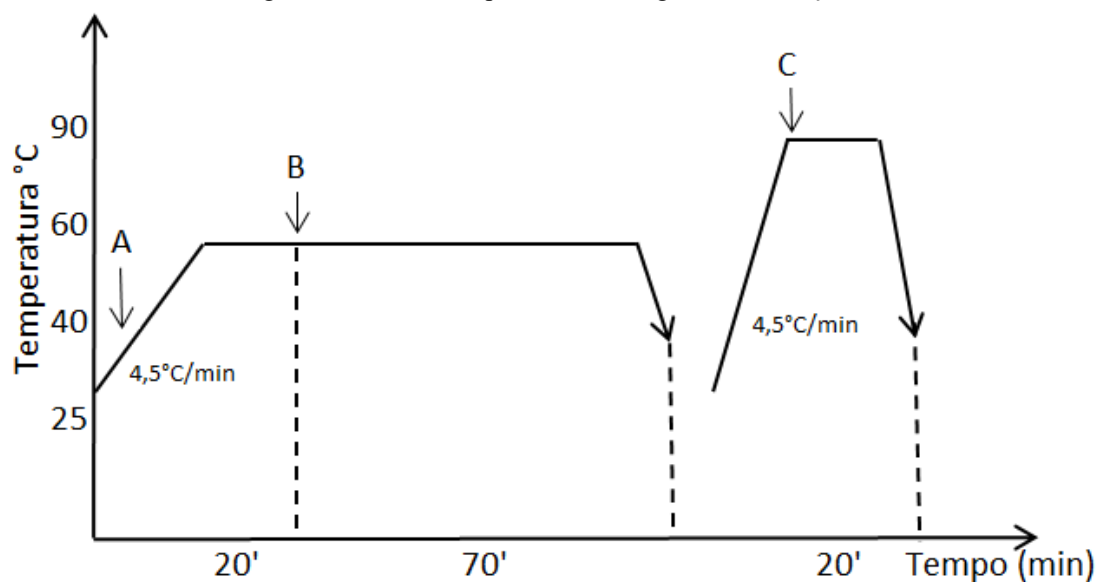
As amostras foram preparadas em duplicata e foram tintas conforme gráfico descrito na Figura 26, sob agitação partindo de 30°C, aquecendo à uma taxa de 4,5°C/min até 60°C, assim permaneceram por 20 minutos, em seguida o carbonato de sódio foi dosado e o processo foi mantido por mais 70 minutos. Após esse período o equipamento foi resfriado até 40°C, as amostras tintas seguiram para o processo de neutralização, lavagem, secagem e posterior avaliação da cor via espectrofotômetro.

Os processos de neutralização e lavagem tem objetivo remover o eletrólito remanescente e o corante hidrolisado que permaneceram no banho.

A neutralização foi feita com a imersão das amostras tintas em uma solução com pH 6,0 -7,0, contendo ácido cítrico e água industrial.

Já no processo de lavagem, as amostras tintas e neutralizadas, foram submetidas um agente de lavagem na proporção de 1,2 g/L na relação de 1:10 (m/v) e um aquecimento a 90°C por um período de 20 minutos. Posteriormente, as amostras seguiram para a secagem.

Figura 26 – Curva dos processos de tingimento e lavagem.



Fonte: A autora, 2022.

Onde:

A = Substrato, água industrial, corantes reativos, dispersante, igualizante, cloreto de sódio;

B = Carbonato de sódio e

C = Agente de lavagem.

3.2.12 Secagem das amostras

A secagem das amostras consistiu primeiramente na retirada do excesso de água de lavagem no equipamento de Foulard com índice de *pick-up* 18% e posteriormente submetidas à secadora de varal Fischer a 65°C durante 15 minutos. Após 24h de climatização a temperatura de 23°C realizou-se as leituras no espectrômetro modelo Color i5, tomando o cuidado para que as mesmas estivessem dobradas em 4 partes e lidas em 3 pontos distintos.

3.2.13 Cálculo do tempo e consumo de vapor do processo

O cálculo do tempo e do consumo de vapor por metro cúbico de água, dos processos de alveijamento para as respectivas temperaturas também foram calculados.

Para cálculo dos tempos dos processos, foram usadas as equações 5, 6, 7 e 8 respectivamente.

$$\text{Tempo de aquecimento} = \frac{G_a}{A_q} \quad (5)$$

$$G_a = T_p - T_i \quad (6)$$

Onde:

G_a = Graus de aquecimento (°C);

A_q = Gradiente de aquecimento (°C/min);

T_p = Temperatura do patamar do processo (°C) e

T_i = Temperatura inicial do processo (°C).

$$\text{Tempo de resfriamento} = \frac{G_r}{A_q} \quad (7)$$

$$G_r = T_p - T_f \quad (8)$$

Onde:

G_r = Graus de aquecimento (°C);

A_q = Gradiente de aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$);

T_p = Temperatura do patamar do processo ($^{\circ}\text{C}$) e

T_f = Temperatura inicial do processo ($^{\circ}\text{C}$).

Para a realização do cálculo do consumo de vapor, foram empregados os dados apresentados por Salem (2010), mencionados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Gasto de vapor saturado a 5 atm. para aquecimento de água em kg/m^3 .

Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$)						
	40	60	80	100	120	130	135
20	34	70	108	148	190	213	224
30	18	54	92	131	174	196	208
40	X	37	75	114	157	179	191
50	X	20	57	97	140	162	174
60	X	X	40	80	122	144	156
70	X	X	22	62	104	127	139
80	X	X	X	44	86	100	120

Fonte: SALEM, 2010.

Tabela 9 – Consumo de vapor saturado a 5 atm. para manter 1 m^3 de água à temperatura constante por hora.

Temperatura final constante ($^{\circ}\text{C}$)	40	60	80	100	120	130	135
Consumo de vapor ($\text{kg}/\text{m}^3.\text{h}$)	7	14	21	29	35	38	40

Fonte: SALEM, 2010.

Com auxílio da Tabela 8 e Equação 9 foi possível calcular o consumo de vapor saturado para aquecer água a determinada temperatura.

$$\text{Massa de vapor}_A = X \times V_{psi} \quad (9)$$

Onde:

X = Total de água necessária para o pré alvejamento (m^3) e

V_{psi} = Total de vapor saturado necessário para dada temperatura (kg/m^3).

Para calcular quanto se consome de vapor saturado para manter água aquecida por determinado tempo foi utilizada a Tabela 9, dada pela Equação 10.

$$\text{Massa de vapor}_M = X \times Hi \times Vpsf \quad (10)$$

Onde:

X = Total de água necessária para o pré alvejamento (m^3);

Hi = Tempo do processo (h) e

$Vpsf$ = Total de vapor saturado necessário para manter temperatura (kg/m^3).

O cálculo de consumo total de vapor saturado então é dado na Equação 11:

$$\text{Total Vapor} = (\text{Massa de vapor}_A + \text{Massa de vapor}_M) \times T \quad (11)$$

Onde:

Massa de vapor_A = Massa necessária de vapor para aquecer até temperatura máxima do processo;

Massa de vapor_M = Massa necessária de vapor para manter a temperatura máxima do processo;

T = Tempo total do processo (h).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos nas caracterizações dos tecidos de malha por meio de ensaios de grau de alvura, perda de massa, hidrofiliidade, capilaridade, dureza do material têxtil, avaliação de cor e consumo de vapor. Em seguida são realizadas avaliações e discussões acerca dos processos realizados observando-se as diferenças entre os ativadores de peróxido empregados, bem como dos resultados alcançados, com intuito de determinar condições ideais para um processo sustentável a baixa temperatura para o emprego da filosofia da P+L, e, por fim, se avalia qual o melhor processo obtido por meio dos experimentos, frente ao processo convencional atual, realizado na presença de H_2O_2 .

4.1 AVALIAÇÃO DO GRAU DE ALVURA

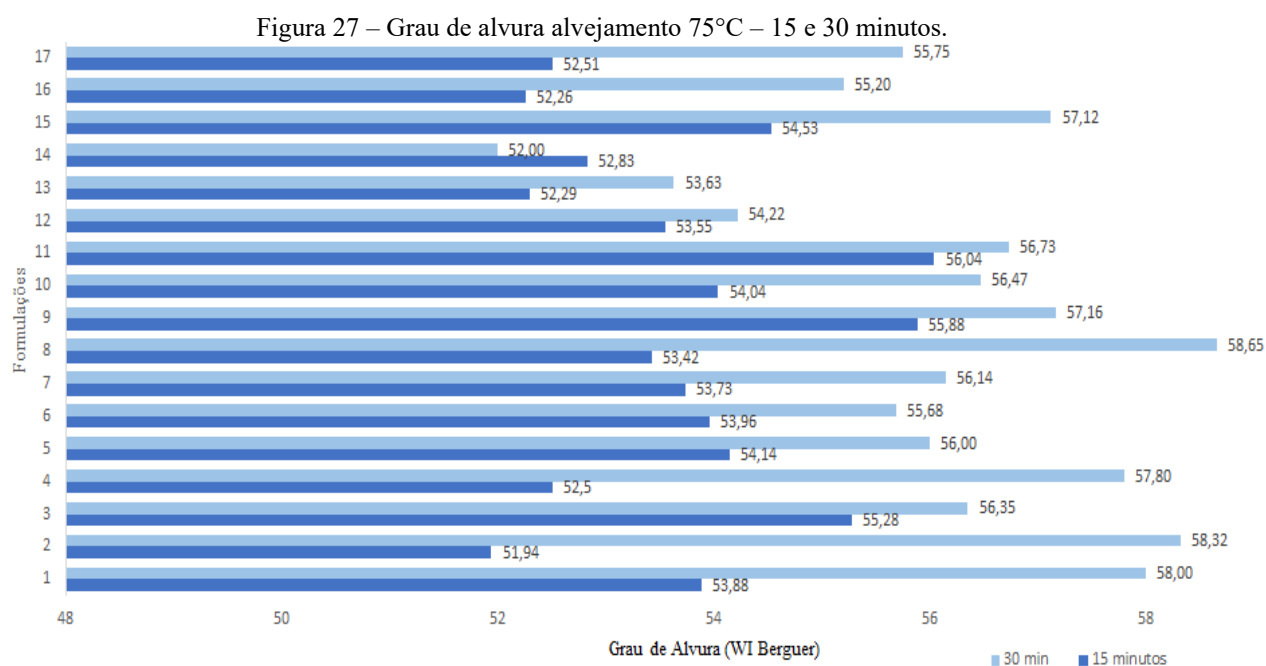
Por meio da análise em espectrofotômetro, se obteve o grau de branco em graus Berger das amostras tratadas. Segundo Ribeiro et al. (2020), graus Berger, pode ser conceituado como uma medida que mede a limpeza que o tecido recebeu durante o processo de alveamento e quantifica a alvura numericamente, em seu estudo considerou o valor de 68,1 graus Berger como sendo o valor padrão de alvura a 95°C.

Atualmente o grau de alvura utilizado como padrão na empresa Brandili para a gama de cores consideradas limpas/claras é de 62,94 graus Berger, porém para alcançar esse valor é necessário uso do processo convencional de alveamento a 100°C por 15 minutos, enquanto que para cores médias e escuras o alveamento é realizado a 75°C por 15 minutos e o valor da alvura baixa para 51,29 graus Berger. Com intuito de se alcançar alvura de 62,94 graus Berger, porém com temperaturas menores, partiu-se da atual formulação usada a 75°C, porém alternando e incrementando os ativadores triacetina, ácido peracético e ácido perfórmico.

Os dados obtidos com as formulações 1 a 17 do alveamento a 75°C, tanto para 15 quanto para 30 minutos são apresentados na Figura 27.

É interessante comparar os resultados encontrados para as formulações 1 e 2 da Figura 27, nelas a triacetina foi aumentada em 33% e 100%, respectivamente, em relação a quantidade padrão, mencionada na Tabela 4, nota-se que apesar de existir essa diferença significativa nas quantidades usadas, os resultados de alvura não foram proporcionais, demonstrando a provável saturação desse ativador de peróxido.

Na formulação 8 onde se mantém a quantidade padrão de triacetina, porém combinada com ácido perfórmico e com 30 minutos de processo, é possível encontrar um incremento de 7 graus Berger na alvura.

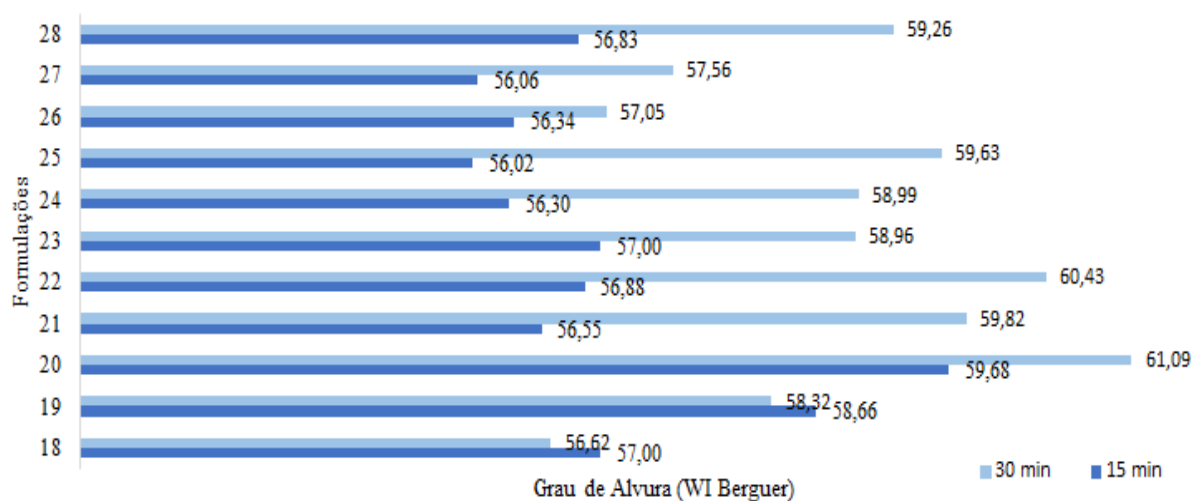


Fonte: A autora, 2023.

Sendo o valor almejado para a alvura de 62,94 graus Berger, a partir das formulações 1 e 8, que estavam entre os melhores resultados de alvura encontrados até então, novas formulações e temperatura foram testados.

De acordo com a temperatura e formulações apresentadas na Tabela 7, novos resultados são apresentados na Figura 28, onde o processo passou para 80°C por 15 e 30 minutos e se mostraram mais eficazes em relação ao processo a 75°C.

Figura 28 – Grau de alvura alvejamento 80°C – 15 e 30 minutos.



Fonte: A autora, 2023.

Nessa nova simulação, com a temperatura de 80°C por 30 minutos, as formulações que apresentaram melhores resultados foram a 20 e 22, respectivamente. Na formulação 20 a triacetina foi combinada com ácido peracético, sabendo que a reação química durante o processo é de geração de ácido peracético, percebeu-se que o incremento do ativador “puro” ajudou no aumento da alvura, alcançando assim ao melhor resultado de alvura, 61,09 graus Berger. Já na formulação 22 onde o ácido peracético foi usado isoladamente, também foi possível observar um bom resultado, sendo 60,43 graus Berger. Em ambas as situações, um incremento próximo a 10 graus Berger pode ser observado, sendo assim, alcançou-se 97% de proximidade do valor de alvura do pré alvejamento a 100°C.

Nas formulações 18 e 19, a triacetina foi novamente aumentada em 33% e 100%, porém com aumento de tempo e temperatura. Os valores de alvura encontrados se diferem em apenas 3%, por esse motivo considerou-se a saturação desse elemento e o seu aumento nas formulações seria desperdício.

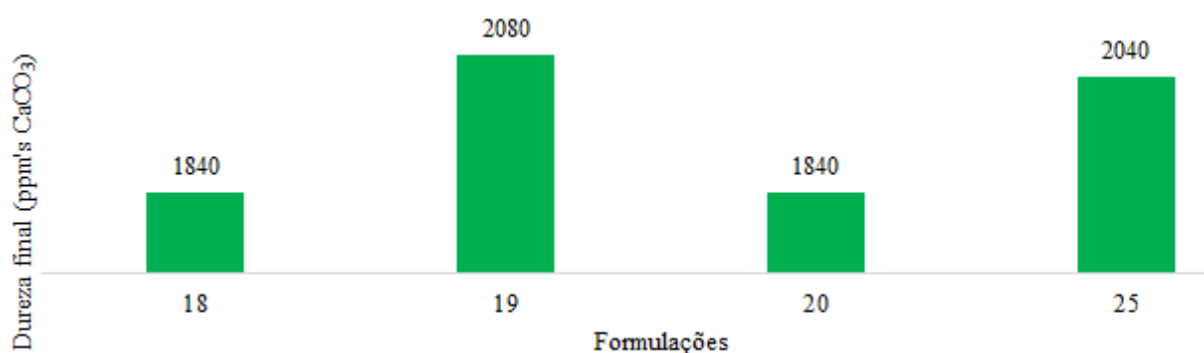
Vale ressaltar o bom resultado de alvura da formulação 20 no processo a 80°C por 15 minutos, sendo de 59,68 graus Berger, este com 95% de proximidade do valor de alvura do pré alvejamento a 100°C.

Para a temperatura de 75°C, tanto para 15 quanto para 30 minutos, os piores resultados foram obtidos, estes em média com 54,94 graus Berger e com 87% de proximidade do valor de alvura do pré alvejamento a 100°C.

4.2 DUREZA DO MATERIAL TÊXTIL

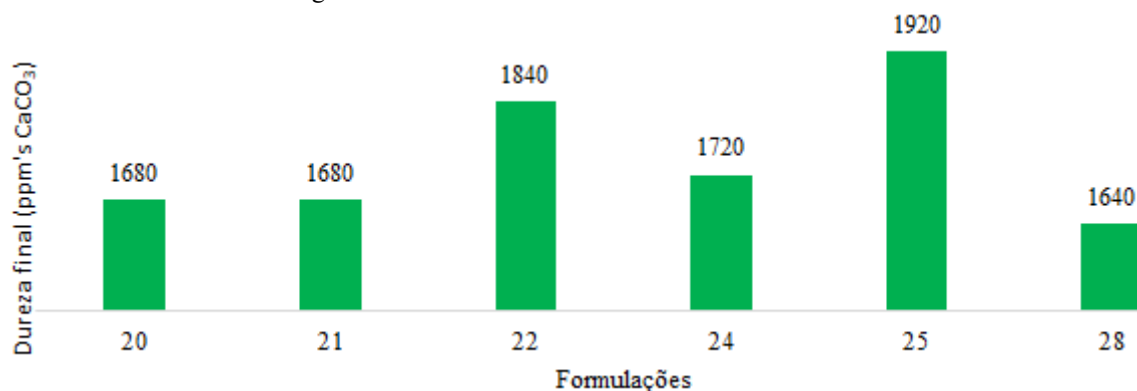
Dados encontrados nos ensaios realizados conforme marcha analítica de dureza de para CaCO_3 do material têxtil, citados no item 3.2.9 deste estudo, são mostrados nas Figuras 29 e 30, respectivamente. As amostras com os melhores resultados no quesito grau de alvura, foram selecionadas para análises de dureza de CaCO_3 do material têxtil.

Figura 29 – Dureza material têxtil 80°C - 15 minutos.



Fonte: A autora, 2023.

Figura 30 – Dureza material têxtil 80°C - 30 minutos.



Fonte: A autora, 2023.

Os melhores resultados obtidos foram encontrados no processo a 80°C por 30 minutos. Conforme mencionado do item 3.2.9, atualmente a empresa Brandili trabalha com 1200 p.p.m. de dureza no alvejamento a 75°C, nos resultados da Figura 30 é possível observar que os valores encontrados não se aproximam dessa referência.

Sabendo que a presença de dureza pode não trazer alvura suficiente para a preparação bem como apresentar manchas (MONTIBELLER, 2016), optou-se em identificar a interferência do dispersante de Ca e Mg e um novo teste, idêntico a formulação 20 foi realizado,

alterando-se apenas a quantidade do auxiliar dispersante de Ca e Mg de 0,38 g/L para 1,0 g/L e o resultado de 1200 p.p.m. de dureza foi obtido e a alvura não foi alterada.

4.3 CAPILARIDADE E HIDROFILIDADE DAS AMOSTRAS APÓS PROCESSO PRÉ DE ALVEJAMENTO

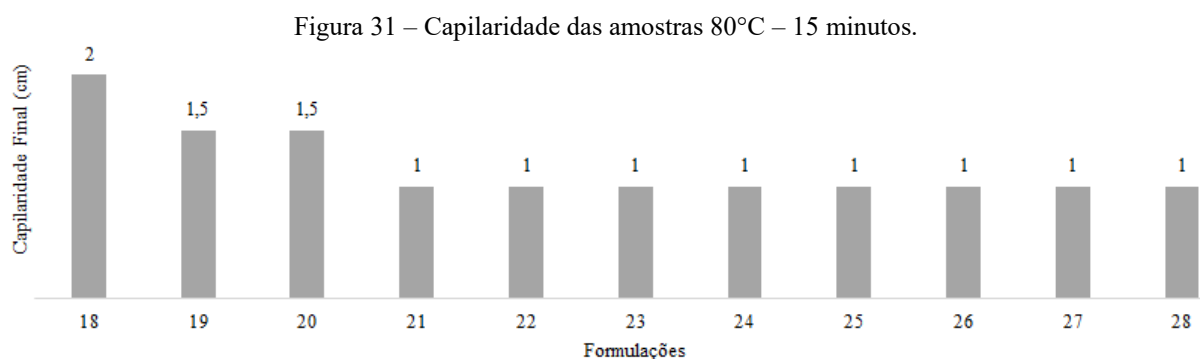
Segundo Araújo e Castro (1984), Daltin (2011) e Myers (1999), citados por Montibeller (2016), dois excelentes critérios de avaliação de qualidade de alvejamento se dão através das medidas de hidrofiliidade realizada pelo método de absorção de uma gota, conforme descrito no item 3.2.7, devendo ser instantânea e completa e com a medida da capilaridade conforme descrito no item 3.2.8, que mede a interferência das tensões superficiais do tecido de malha. Juntos esses métodos garantem a uniformidade de umectação e absorção de água que o tecido de malha passou a ter depois do processo de alvejamento, a boa performance nesses quesitos, garantem o sucesso do processo seguinte.

Porém, Halim (2012), cita que o alvejamento a baixa temperatura, confere algumas desvantagens aos tecidos como, cor escura e hidrofobicidade, uma vez que a remoção parcial de materiais não celulósicos do tecido é necessária para melhorar sua absorção de água.

Baseados nessas citações, considerou-se importante obter dados nesses quesitos e essas medidas foram realizadas.

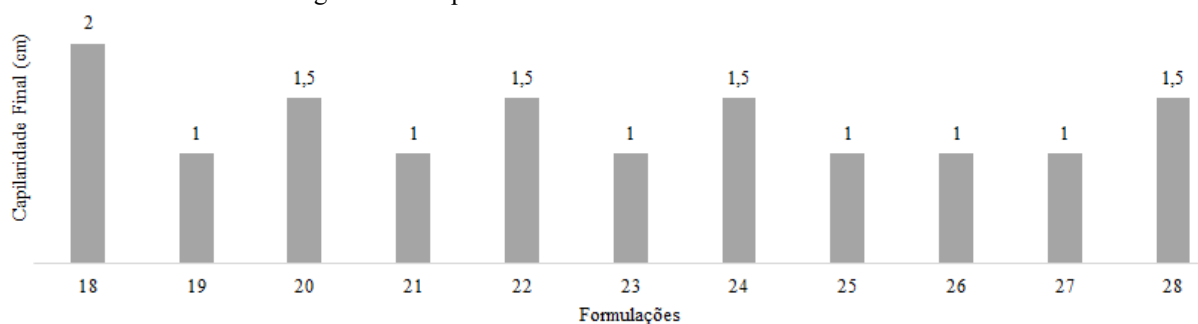
A hidrofiliidade para amostras tratadas a 75°C foram de 2,3 minutos, enquanto para as amostras tratadas a 80°C por 15 e 30 minutos foram de 40 e 26 segundos respectivamente.

Os valores de capilaridade alcançados para as amostras tratadas a 75°C, tanto para 15 quanto para 30 minutos foram de 1 cm de altura e nas Figuras 33 e 34 são mostrados resultados obtidos nos processos a 80°C:



Fonte: A autora, 2023.

Figura 32 – Capilaridade das amostras 80°C – 30 minutos.



Fonte: A autora, 2023.

Montibeller (2016) em seus resultados, cita hidrofiliidade instantânea da gota e capilaridades de 4,5 e 4,0 cm, em seu estudo de alvejamento a 75°C e 95°C.

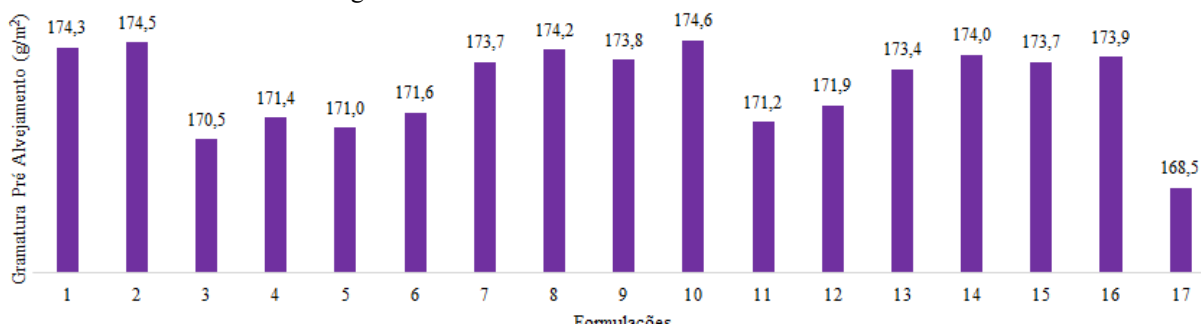
Nesse estudo, nenhuma das formulações atenderam os valores normalmente encontrados para processos convencionais, para tanto de hidrofiliidade quanto de capilaridade e os melhores resultados obtidos foram da formulação 18 do processo a 80°C por 30 minutos, onde a umectação se deu com 26 segundos e a capilaridade foi de 2 cm de altura.

4.4 PERDA DE MASSA

Conforme norma ABNT NBR 10591:2008, a tolerância admitida entre os resultados obtidos no ensaio de gramatura é de +/- 5% ou esse valor pode ser acordado entre as partes. Nesse estudo se considerou aceitável o valor de +/- 7%, conforme tolerância adotada na Brandili Têxtil.

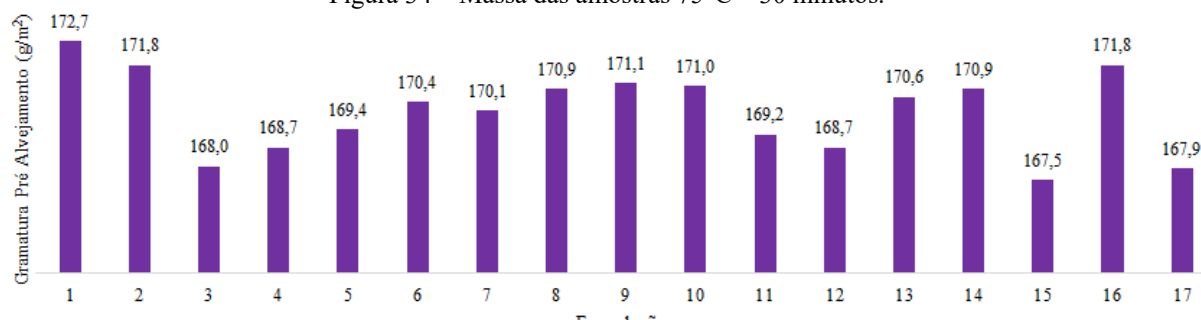
Sabendo que o padrão de gramatura do tecido de malha em estudo é de 175 g/m² e que os valores aceitáveis de variação vão de 163 g/m² a 187 g/m², pode-se observar nas Figuras 33 a 36, os valores encontrados nas diferentes formulações testadas. Destaque para o processo a 80°C, onde várias formulações tanto da Figura 35 quanto da Figura 36, se mostram fora dos limites mínimos aceitáveis de 163 g/m².

Figura 33 – Massa das amostras 75°C – 15 minutos.



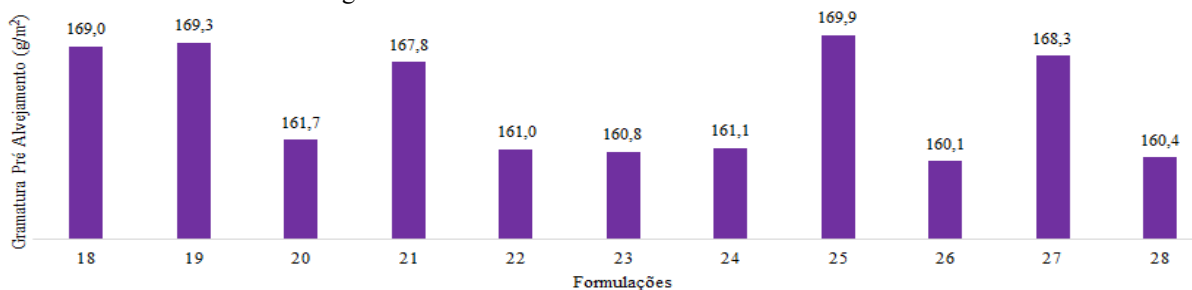
Fonte: A autora, 2023.

Figura 34 – Massa das amostras 75°C – 30 minutos.



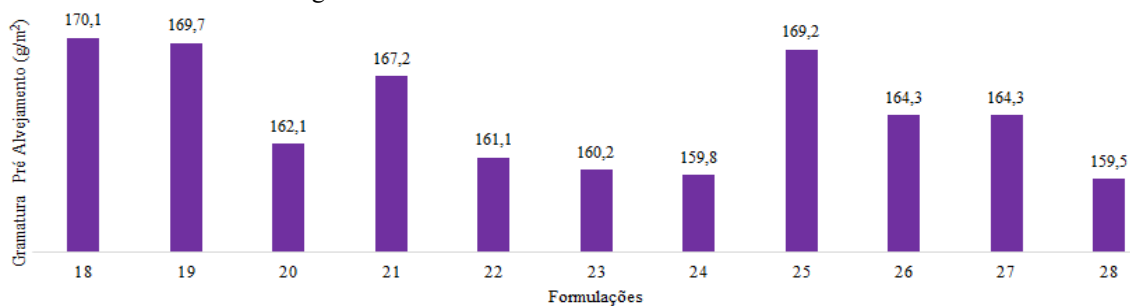
Fonte: A autora, 2023.

Figura 35 – Massa das amostras 80°C – 15 minutos.



Fonte: A autora, 2023.

Figura 36 – Massa das amostras 80°C – 30 minutos.



Fonte: A autora, 2023.

A Tabela 10, mostra de forma geral que, quanto maior o tempo e temperatura do processo de pré alvejamento, maior a perda de massa.

Tabela 10 – Perda de massa média das formulações.

Processos	Massa Média (g/m²)	Perda de Massa Média (%)
Malha Crua	175,0	0%
75°C – 15 min	172,7	1,30%
75°C – 30 min	170,0	2,83%
80°C – 15 min	164,5	6,01%
80°C – 30 min	164,3	6,10%

Fonte: A autora, 2023.

Picoli (2014), menciona a relação de gramatura x alvura em um estudo de pré alvejamento com uso de ozônio, onde a gramatura do tecido de malha é mais baixa, o grau de alvura atingido é mais alto e igualmente quando a gramatura do tecido de malha é mais alta, o grau de alvura alcançado é menor, esse resultado demonstrou que a massa de fibra de algodão envolvida influenciou no resultado do grau de alvura.

Em um outro estudo de alvejamento a baixa temperatura com uso de clorito de sódio e hexametilenotetramina, Halim (2012), também cita o efeito da temperatura do pré alvejamento nas propriedades físico-químicas dos tecidos, onde o percentual da perda de massa do tecido vem acompanhado do aumento da temperatura, bem como a maior alvura.

Baseados nos dados da Tabela 10, mostra-se que o processo a 80°C por 30 minutos é o menos viável, pois teve maior perda de massa e consequentemente menor gramatura, ficando em média 6,1% mais leve, com gramatura média de 164,3 g/m², porém esse resultado encontrado não traz prejuízos inesperados para empresa, visto que fica dentro do nível tolerável.

4.5 AVALIAÇÃO DA COR

Depois do pré alvejamento finalizado, as amostras com maior grau de alvura para cada temperatura e tempo foram submetidas ao processo de tingimento da cor 0686 – Rosa Claro, essa cor foi selecionada por se tratar de uma cor considerada “clara/limpa”, sua boa reprodutibilidade, possibilita a verificação da qualidade do pré alvejamento a baixa temperatura. Atualmente essa cor é produzida com o pré alvejamento a 100°C convencional.

A Tabela 11 mostra os resultados de delta E cmc e força colorística encontrados:

Tabela 11 – Dados colorísticos dos tingimentos das amostras pré alveizadas.

Temperatura (°C)	Tempo (min)	Formulação	Delta E cmc	Força Colorística (%)
75	15	2	1,14	125,41
		4	1,80	125,43
		10	0,96	127,67
		12	1,32	127,38
		16	1,22	124,40
75	30	2	2,48	96,23
		3	0,96	118,08
		5	1,26	113,46
		9	0,54	114,90
		16	0,56	121,19
80	15	18	0,98	112,74
		19	1,10	104,47
		20	0,76	112,41
		23	0,74	118,71
		25	0,87	111,67
80	30	20	0,53	103,23
		21	0,81	106,80
		22	0,62	105,05
		24	0,64	107,20
		25	0,71	117,73
		28	0,90	101,77

Fonte: A autora, 2023.

Considerou-se necessária a avaliação combinada de delta E cmc e força colorística para aprovação final da cor. Na Brandili, para avaliação de cor, se adotou o valor máximo aceitável para o parâmetro delta E cmc de 1,2 e força colorística com variações entre 95% a 105%.

A Tabela 12 mostra as formulações que melhor atenderam os padrões requeridos. Nos tingimentos realizados, se destacam alguns resultados do processo a 80°C por 30 minutos.

Tabela 12 – Melhores resultados em termos de força colorística e delta E cmc das amostras tintas.

	Formulações		
	20	22	28
Delta E cmc	0,53	0,62	0,90
Força Colorística %	103,23	105,05	101,77

Fonte: A autora, 2023.

Segundo Sousa (2016), quanto maior proximidade de zero o valor de delta E cmc for, bem como mais próxima a 100% a força colorística estiver, maior semelhança, a amostra tinta tem ao padrão, portanto pela Tabela 12 é possível observar que o melhor resultado é o do pré alvejamento da combinação dos ativadores de peróxido de hidrogênio, triacetina e ácido peracético, para concentrações da formulação 20, onde o valor de delta E cmc foi de 0,53 e a força colorística 103,23%. A formulação 28, onde há combinação dos 3 ativadores de peróxido estudados, triacetina, ácido peracético e ácido perbórmico, foi a segunda colocada, com resultado de delta E cmc de 0,62 e força colorística de 105,05% enquanto que a formulação 22 onde há somente o uso do ácido peracético, foi a terceira colocada com resultado de delta E cmc de 0,90 e força colorística de 101,77%. Nos 3 resultados mencionados há aprovação da cor pois os valores obtidos estão dentro dos parâmetros de delta E cmc e força colorística aceitáveis.

4.6 CÁLCULO DO CONSUMO DE VAPOR

Como consequência do emprego do conceito de “P+L”, onde o intuito foi de conseguir o máximo aproveitamento do processo estudado, pode-se mensurar o consumo de vapor saturado, tempos de processo e produtividade

Com auxílio das Tabelas 9 e 10 e das equações mencionadas no item 3.2.13, foi possível calcular o tempo total e consumo de vapor saturado para os processos de pré alvejamento convencional a 100°C e a 80°C. Para a simulação desse tempo e consumo de vapor saturado, definiu-se o lote padrão de produção de 200 kg, com o emprego de 2 m³ de banho, partindo-se sempre da temperatura inicial de 30°C com gradiente de aquecimento de 4,5°C/min. Os valores calculados são demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Consumo vapor saturado e tempo dos processos.

	Processo Convencional 100°C (15 min)	Processo 80°C (30 min)	Processo 80°C (15 min)
	Tempo		
Aquecer (min)	16	11	11
Resfriar (min)	4	0	0
Patamar (min)	15	30	15
Tempo Total (min)	35	41	26
	Vapor Saturado		
Aquecer (kg)	131	92	92
Manter (kg)	7,25	10,5	5,25
	Total Final		
Consumo Vapor Saturado (kg/h)	276,5	205	194,5

Fonte: A autora, 2023.

A quantidade de vapor saturado necessário para aquecer e manter o processo de pré alvejamento convencional a 100°C é de 276,5 kg/h, já para o processo a 80°C (30 minutos), o valor diminui para 205kg/h vapor saturado. Isso representa redução de 26% de energia térmica, porém um aumento de 17% no tempo, saindo de 35 para 41 minutos.

Sendo o tempo maior um ponto negativo do processo, podendo possivelmente inviabiliza-lo, optou-se em se calcular os mesmos dados para o segundo melhor resultado (processo a 80°C – 15 minutos) e o consumo de vapor saturado cai para 194,5 kg/h bem como o tempo total, onde 26 minutos são necessários. Nesse novo contexto considerou-se utilizar o processo a baixa temperatura por 15 minutos, visto que este, também trouxe um bom resultado de alvura para a formulação 20, se obteve 95% de proximidade ao padrão.

A alteração no tempo traz maior vantagem, a redução de energia térmica passa para 30% e há ganho de 25% no tempo. Desta maneira estima-se um aumento na produção da tinturaria, caso houver demanda, esse aumento produtivo pode variar de acordo com o tempo dos processos empregados. Para simulação, definiu-se uma empresa com 30 máquinas de 200kg, com tempo médio de 7h para cada partida e com 30% de produção de cores limpas/claras, nesse caso, o aumento de produção seria de 2,0% ao ano.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Conclui-se que o processo de pré alveamento pode se tornar sustentável e usual para todas as gamas de cores, a partir da incorporação de concentrações combinadas entre triacetina e ácido peracético, estes têm influência positiva na obtenção do grau de alvura para tecidos de algodão com uso do processo por esgotamento, podendo ser considerado viável e promissor para ser aplicado industrialmente.

Foram selecionadas e testadas diferentes formulações e condições de trabalho, porém o processo de pré alveamento a 80°C por 30 minutos, trouxe os melhores resultados, foi possível se obter aumento em até 10 graus Berger de alvura, partindo-se de 51,29 e chegando a 61,09 WI Berger na formulação 20, o que representou 97% de proximidade ao processo convencional, possibilitando a ampliação da gama de cores para os tingimentos posteriores. Os ensaios de tingimento foram realizados nas amostras que apresentaram maior grau de alvura e as formulações 20, 22 e 28 mostraram variações de delta E cmc menores que 1,2 e força colorística variando de 95% a 105%, para o iluminante D65, demonstrando boa reprodutibilidade de cor.

Já o processo de pré alveamento a 80°C por 15 minutos foi o segundo colocado no quesito alvura, tendo também a formulação 20 o melhor resultado e 58,64 WI Berger foi encontrado, chegando a 95% de proximidade ao padrão. Com relação ao tingimento dessa amostra, o delta E cmc encontrado foi de 0,76 enquanto que a força colorística foi de 112,41%, esta última, acima do padrão aceitável de 105%, porém acredita-se que o uso desse processo para cores claras/limpas pode ser usual, dependendo apenas do ajuste de força na cor durante seu desenvolvimento, já que o delta E cmc encontrado foi menor que 1,2.

Esse estudo também verificou a perda de massa do tecido alveado e levantou-se o valor de 6% de perda no processo a 80°C por 30 minutos, imaginava-se que pela baixa temperatura usada no processo, a degradação do tecido poderia ser menor, porém os resultados mostraram o contrário. As aplicações com maiores tempo, temperatura e concentrações de químicos, demonstraram ter sofrido maior ataque, diminuindo assim a gramatura de algumas amostras, dentre elas algumas inferiores ao padrão de 163g/m², porém os resultados não foram considerados ruins, pois em média, atendem os padrões requeridos e estão dentro das perdas esperadas.

Os resultados de dureza do material têxtil demonstram a necessidade de uso elevado ou de auxiliares concentrados, para garantia de qualidade nesse quesito, isso por sua vez deve encarecer a receita, porém não inviabiliza tecnicamente o processo.

Já a capilaridade e a hidrofiliidade foram consideradas ruins em comparação aos padrões obtidos no processo convencional. Mas por se tratar de um processo novo e sem precedentes, deveria-se avaliar a possibilidade da criação/implantação de padrões exclusivos para esse processo em específico, assim comprovando que os valores encontrados para esse novo processo, não causam uma influência negativa e conseqüentemente não trazem problemas produtivos.

Conceitualmente P+L é uma filosofia pró-ativa de antecipação, que permite que empresas aumentem a eficiência, que produzam mais, com menos insumo, propiciando redução de desperdícios de matéria-prima, energia e diminuição de riscos ambientais, o processo estudado buscou algumas alternativas para atender esses requisitos, estes ao final, não puderam ser totalmente atendidos. Ao se analisar o processo de 80°C por 30 minutos uma redução de 26% de consumo de energia térmica foi encontrada, porém com aumento de 17% no tempo de processo.

Estando 17% maior o tempo do processo, considerou-se utilizar o processo a 80°C por 15 minutos, visto que este estudo também mostrou bom resultado de alvura e aceitável reprodutibilidade de cor para a formulação 20. A alteração no tempo traz maior vantagem, a redução de energia térmica passa para 30% e há ganho de 25% no tempo. Desta maneira estima-se um aumento na produção da tinturaria, caso houver demanda, esse aumento produtivo pode variar de acordo com o tempo dos processos empregados. Para simulação, definiu-se uma empresa com 30 máquinas de 200kg, com tempo médio de 7h para cada partida e com 30% de produção de cores limpas/claras, nesse caso, o aumento de produção seria de 2,0% ao ano.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o desenvolvimento dos estudos apresentados, surgiram novos questionamentos a serem respondidos para garantir a robustez e a confiabilidade do processo proposto. Os pontos mais relevantes são:

- a) Variar as contrações de químicos fixos nesse estudo como o peróxido de hidrogênio e soda cáustica, a fim de verificar a influência dessas alterações no processo;
- b) Considerar menor variação de tempo. Ex: Testar processo a 80°C por 22 minutos de patamar;
- c) O uso de variação de composições de fibras é bastante comum, assim, sugere-se estudar a aplicação do processo proposto em tecidos de malha com outras composições e verificar os resultados e
- d) Realizar aplicação do processo em tecido de malha 100% CO, com gramaturas diferentes de 175 g/m², buscando principalmente gramaturas maiores, visto que alguns autores mencionam que com o aumento da gramatura a alvura fica mais difícil de ser obtida.

REFERÊNCIAS

AFONSO, C.M. Sustentabilidade, caminho ou utopia? – São Paulo – Annablume, 2006.

ABRAPA - Associação brasileira dos produtores de algodão - Algodão no Brasil – Disponível em: < www.abrapa.com.br/Paginas/dados/area-producao-productividade-brasil.aspx >. Acesso em 13 de julho 2021.

ABIT - Associação brasileira da indústria têxtil e de confecção. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/quemsomos>> e <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setorA>>. Acesso em: 01/10/2021

ARAUJO, S. P.C. Avaliação da eficácia de diferentes estabilizadores do peróxido de hidrogénio no branqueamento de fibras celulósicas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Têxtil - Universidade do Minho - 2019.

AGUIAR, C.R.L. Produção mais limpa. Apostila da disciplina de produção mais limpa na indústria têxtil. Pós graduação em Engenharia Têxtil – UFSC – SC, 2020.

APPEL, M. Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de uma Malha Têxtil de Algodão. TCC Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC – SC, 2019.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. Dyes and Pigments. Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Turkey. V.78, p. 117-130, 2008.

BERLIN, L. G. - A Indústria têxtil brasileira e suas adequações na implementação do desenvolvimento sustentável. Moda Palavra e-periódico, 2014. Vol. 7, núm. 13, pp. 15-45, UFSC – Florianópolis - Brasil, 2014.

BELTRAME, T. F. et al. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 283-294, 2016.

BEZERRA, C. Alvejamento - Apostila disciplina de processos químicos têxteis I. Engenharia Têxtil – UFRN – 2004 – Disponível em <clovisbezerra.tripod.com/materiais-didaticos/proqui-i/alvejamento.pdf>. Acesso em 01 de outubro de 2021.

BEZERRA, F. D. Análise retrospectiva e prospectiva do setor têxtil. Informe macroeconomia, indústria e serviços. Escritório técnico de estudos econômicos do nordeste – ETENE. Banco do Nordeste. V. 2, 2014.

BOFF, L. Sustentabilidade - O que é, o que não é. Editora Vozes Ltda – Petrópolis – RJ – 2016.

CEGARRA, J. Introducción al blanqueo de materias textile. Universitat Politècnica de Catalunya, 1966.

CORREA, J.M.F. Transição das práticas de produção mais limpa para economia circular: survey por porte em indústrias têxteis localizadas no Brasil – Tese de Doutorado Curso de Engenharia de Produção – UNINOVE – SP - 2020.

FARIA, F. P.; PACHECO, E. B. A. V. Experiências com produção mais limpa no setor têxtil – *Revista de Designer, Inovação e Gestão Estratégica – REDIGE* - v. 2, n. 1, 2011.

FERREIRA, I. L. S. Tingimento de tecido de algodão com corantes reativos utilizando água do mar. Dissertação de mestrado curso de Engenharia Têxtil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

FISCHER. Secadora Fischer super ciclo 8kg – Manual de instruções. Disponível em: <<https://www.fischer.com.br/produtos/secadora-de-roupas-fischer-super-ciclo-8kg-branca>> Acesso em 02 de novembro de 2021.

FURLAN, F. R. Caracterização e aplicação de enzimas de forma combinada na biopreparação de tecidos felpudos de algodão. Departamento de Engenharia Química – UFSC – SC, 2012.

GIACOMETTI, K., DOMINSCHKE, D. L. Ações antrópicas e impactos ambientais: industrialização e globalização. Centro Universitário Internacional UNINTER. Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso - Caderno Intersaberes, v. 7, n. 10, 2018.

GUIA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável - Rio de Janeiro/RJ – Disponível em: < <https://cebds.org/wp-content/uploads/2016/09/Guia-Pra%CC%81tico-de-PmaisL.pdf>>. Acesso em 13/09/2022.

GUILLEN, J.G., GARRIDO, J.M. Algodon y celulosa, estructura y propiedades. Terrassa, Universidade Politècnica de Barcelona, 1987.

GUIMARÃES, L. F.; BENVENUTI, Eduardo W.; et al. Novas alternativas de tecnologia têxtil para tingimento sem água. Revista Química Têxtil, n. 140, p. 6 - 20. Programa de Pós Graduação UFSC - Blumenau, 2021.

HALIM, E.S. Abdel, Simple and economic bleaching process for cotton fabric. Carbohydrate Polymers, Volume 88, pp. 1233-1238, 2012.

KARMAKAR, Samir R. Chemical technology in the pre-treatment processes of textiles. Textile Science and Technology, v. 12, p. 1- 498, 1999.

KANNO, R., PITTOL, L.C., AVANCINI, T.G. et al. Produção mais limpa: conceito, panorama atual no Brasil e análise de casos de sucesso. VIII Seminário Tecnologias Limpas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS, 2017.

KUHN, D. Tingimento de algodão com corante reativo sem uso de sal por meio de cationização e aplicação de óleo de soja. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Têxtil - UFSC - Blumenau, 2019.

JULIANO, L. N.; PACHECO, S. M. V. Apostila estamparia e beneficiamento têxtil. 1ª edição. Disponível em: <http://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/3/30/Apostila_Estamparia_edicao_1_revisada.pdf> SC, 2008. Acesso em: 20/04/2022.

LADCHUMANANANDASIVAM, R. Processos químicos têxteis. Acabamento Têxtil – Volume V. v. V, p. 117, 2011.

LEWIN, M. Handbook of Fiber Chemistry. 3. ed. New York: Crc Press, 1052 p. 2007.

LIU, K., ZHANG, X.; YAN, K. Low-temperature bleaching of cotton knitting fabric with H₂O₂/PAG system. Springer Science Business Media Dordrecht. Volume 188, pp. 221-227, 2017.

LIU, K., ZHANG, X.; YAN, K. Bleaching of cotton fabric with tetraacetyhydrazine as bleach activator for H₂O₂. Carbohydrate Polymers, Volume 11, pp. 2784-2796, 2018.

LONG, X., XU, C., DU, J.; FU, S. The TAED/H₂O₂/NAHCO₃ system as an approach to low-temperature and near-neutral pH bleaching of cotton. Carbohydrate Polymers, Volume 95, pp. 107-113.

MAIMON, D. Passaporte verde: gestão ambiental e competitividade. Qualitymark, Rio de Janeiro, 1996.

MONTIBELLER, L.; MONN, B. E., LOPO, N. W. et al. Utilização de ativador de peróxido de hidrogênio para processo de pré alvejamento a 75°C em comparação ao processo convencional a 95°C para substrato de algodão. Revista Química Têxtil, p. 46 – 55, setembro, 2016.

NOGUEIRA, B. Conjunturas da agropecuária. Algodão 01/01/2021 a 05/02/2021 - CONAB, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20/04/2021.

OEKO TEX. About us. Disponível em: <<https://www.oeko-tex.com/en/about-us>>. Acesso em 10/10/2021.

OLIVEIRA, C.R.S., SILVA. A.H.J, MULINARI, J. et al. Textile Re-Engineering: Eco-responsible solutions for a more sustainable industry. Journal Elsevier - Vol 28 – 2021.

OLIVEIRA, G. C.; TUCCI, H.N.P.; CORREIA, J.M.F.; et al. Assessing the implementation of cleaner production and company sizes: Survey in textile companies. Programa de Pós

Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho (UNINOVE). *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Volume 15: 1–16, São Paulo, 2020.

PEREIRA, V. M.S. Estudo de processos para a obtenção de triacetina a partir de glicerol. Dissertação de Mestrado Engenharia Química. Centro Universitário FEI. São Bernardo do Campo, SP, 2018.

PEZZOLO, D. B. Tecidos: história, tramas, tipos e usos. 2ª edição. Revista São Paulo: Editora Senac. São Paulo, 2009.

PICOLLI, H. H. Determinação do comportamento tintorial de corantes naturais em substrato de algodão. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. UFSC. Florianópolis, 2008.

PICOLLI, H. H. Processo de alvejamento de tecido de malha de algodão utilizando ozônio com baixo consumo de água. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. UFSC. Florianópolis, 2014.

PIMENTEL, A. Caracterização de uma pectinase comercial e sua utilização no processo de purga da indústria têxtil. Dissertação de Mestrado Curso Engenharia Química. UFSC, Florianópolis, 2010.

PORTOGENTE. Os impactos ambientais decorrentes da cadeia produtiva têxtil.

Disponível em: <<https://portogente.com.br/noticias/meio-ambiente/82179-os-impactos-ambientais-decorrentes-da-cadeia-produtiva-textil> - 2014>. Acesso em: 13/05/2022.

PUEBLA, C. Whiteness Assessment: A primer. Concepts, determination and control of perceived whiteness. Edição revisada, Axiphos GmbH, Alemanha, 2004.

REIS, C.Z. Bioalvejamento enzimático de tecidos de malha de algodão. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. UFSC. Florianópolis, 2016.

RIBEIRO, G. C. S. H.; KUSTER, L.; GRANATO, M. A.; AGUIAR, C. R. L. Processos de alvejamento de algodão com peróxido de hidrogênio e ativadores tiouréia e ácido peracético.

Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Curso de Engenharia Têxtil. UFSC, Blumenau, 2020.

ROSSI, F. L. Luz, cor e colorimetria. Apostila Curso Colorimetria – SENAI. São Paulo - SP, 2008.

SALEM, V. Tingimento têxtil, fibras, conceitos e tecnologias. Golden Química do Brasil, 2010.

SANTOS, S. Impacto ambiental causado pela indústria têxtil. Biblioteca da Associação Brasileira de Engenharia de Produção. UFSC, Florianópolis, 1997. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T6410.PDF>.

SANTOS, M. E. K. N. A inserção de um beneficiamento têxtil sustentável e seus impactos. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Química, UFRN, RN, 2021.

SCHREIBER, C. Alvejamento de fibras de algodão por meio de técnicas de eletrogeração de oxidantes. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Têxtil. UFSC, Florianópolis, 2019.

SILVA, G. B. Colorimetria - propagação de erros e cálculo da incerteza de medição nos resultados espectrofotométricos. Dissertação Mestrado do Programa de Pós Graduação em Metrologia. PUC, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, T. L.; MELLO, R. V. Alternativas de aplicação das práticas de produção mais limpa (P+L) em fiações têxteis. CESUMAR e GPMAGRO - UEM- Paraná, 2010.

SILVA, P.C.DA – Avaliação de práticas de produção mais limpa e sua relação com o desempenho organizacional: survey no setor têxtil brasileiro. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – UNINOVE, São Paulo, 2016.

SILVA, P.C. Guia de diretrizes para seleção de práticas de produção mais limpa para melhorar o desempenho ambiental, econômico e operacional: avaliação entre indústrias têxteis localizadas no Brasil, Turquia, Paquistão e Índia. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. UNINOVE, São Paulo, 2020.

SOUSA, L.C.S. Proposta de implementação da produção mais limpa em uma indústria de fiação têxtil. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção. UNIFAMETRO, Maracanaú, CE, 2020.

SOUSA, M.J.G. Estudo da reprodutibilidade laboratorial no processo de tingimento têxtil. Tese de Mestrado do Curso Engenharia Química. FEUP, Portugal, 2016.

SWERN, D. Organic Peracids. Chemical Reviews. Vol. 45, 1-68, 1949.

TOMASINO, C. Chemistry and technology of fabric preparation and finishing. Departamento de Engenharia Têxtil, Química e Colegiado de Ciência Têxtil. Universidade da Carolina do Norte, USA, 1992.

VELASCO, R. F. A produção mais limpa e seu impacto econômico na sociedade. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFSC, Florianópolis, 2012.

ZAGONEL, L. M.; SCHULTZ, G. Produção mais limpa na indústria têxtil: alternativa para minimização da utilização de água no processo de tingimento e acabamento. Revista Destaques Acadêmicos, ano 1, n. 1. UNIVATES, Lajeado, RS. 2009.

ZDHC, ROADMAP TO ZERO. Zero discharge of hazardous chemicals. Disponível em: <<https://www.roadmaptozero.com/input>>. Acesso em: 10/10/2021.

ZUOQIANG, W.; LINBO, Z.; WEIMING, W. Application of TAED/H₂O₂ system for low temperature bleaching of crude cellulose extracted from jute fiber. College of Textile & Garment, Shaoxing University, Shaoxing, China, 2018.

YU, D.; WU, M.; LIN, J.; ZHU, J. Economical low-temperature bleaching of cotton fabric using an acticated peroxide system coupling cupric ions with bicarbonate. Fibers and Polymers, Volume 19, pp. 1898-1907. University, Hangzhou, P.R., China, 2018

X-RITE, Pantone. A guide to understanding color. Disponível em:<https://www.xrite.com/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/110001_a_guide_to_understanding_color_communication/110-001_understand_color_en.pdf>. Acesso em: 24/10/21.

X-RITE, Pantone. Color iQC and color iMatch, color calculations guide. Version 8.0, pag. 10, 2012. Disponível em:< <https://www.xrite.com/pt-pt/learning-color-education>>. Acesso em: 24 de outubro de 2021.

XU, C.; HINKS, D.; SUN, C.; WEI, Q. Establishment of an activated peroxide system for low-temperature cotton bleaching using N-[4-(triethylammoniomethyl) benzoyl]butyrolactam chloride. Carbohydrate Polymers, Volume 6, pp. 8599-8603, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu, China.2015.

APÊNDICE A – COMPARATIVOS PRE ALVEJAMENTO 100°C e 80°C.

Relatório de Custo - PRÉ 100C					Relatório de Custo - PRÉ 80C						
Data: 04/2023		Responsável: Letícia			Data: 04/2023		Responsável: Letícia				
Custo químico para 1,0 kg de malha		Processo: Pré alvejamento 100°C			Custo químico para 1,0 kg de malha		Processo: Pré alvejamento 80°C				
Padrão					Formulação 20						
Produtos	Conc. (%)	Custo			Produtos	Conc Usada (%)	Custo				
Detergente/Umectante	1,20%	R\$ 14,00	R\$ 0,1680		Detergente/Umectante	1,00%	R\$ 10,8045	R\$ 0,1080			
Dispersante Ca e Mg	0,27%	R\$ 15,63	R\$ 0,0422		Dispersante Ca e Mg	0,38%	R\$ 14,6078	R\$ 0,0555			
Soda Cáustica (50%)	2,50%	R\$ 2,79	R\$ 0,0698		Triacetina	0,90%	R\$ 11,9543	R\$ 0,1076			
Peróxido de hidrogênio (50%)	2,80%	R\$ 2,44	R\$ 0,0683		Acido Peracetico	1,00%	R\$ 1,6616	R\$ 0,0166			
					Soda Cáustica (50%)	3,30%	R\$ 12,2220	R\$ 0,4033			
					Peróxido de hidrogênio (50%)	3,00%	R\$ 1,6142	R\$ 0,0484			
Total Receita Pre Alvejamento		R\$ 0,3483			Total Receita Pre Alvejamento		R\$ 0,7395				
Máq	Tempo Processo	Min	Tempo (h)	Custo min Ting	Ting Medio(kg)	Tempo Processo	Min	Tempo (h)	Custo min Ting	Ting Medio(kg)	
		35	0,58	R\$ 0,6700	200		26	0,44	R\$ 0,6700	200	
				R\$ 0,1173					R\$ 0,0875		
Total Geral					R\$ 0,5188	Total Geral					R\$ 0,8802
Comentários	% Químicos = Padrão					Comentários	% Químicos =		112%		
	% Vapor = Padrão						% Vapor =		-30%		
	%Tempo = Padrão						%Tempo =		-25%		
	%Total = Padrão						%Total =		19%		

Cálculo Anual Aumento de Produção	
HORAS DISPONÍVEIS	2.566,67
TEMPO MÉDIO DE PROCESSO DE TINGIMENTO (H)	7,00
PARTIDAS DE TINGIMENTO	366,67
PRODUÇÃO ADICIONAL ANUAL (KG)	73.333,33
PRODUÇÃO ADICIONAL ANUAL (%)	2

