



FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA "MINISTRO RALPH BIASI"
Curso Superior De Tecnologia Em Produção Têxtil

SHARISTON ALTAIR PIRES

ESTUDO PRÁTICO SOBRE PROCESSO DE MERCERIZAÇÃO EM
TECIDOS PT (PRONTO PARA TINGIR) ANALISES DE PROCESSOS
CONVENCIONAIS X PROCESSOS ECOLÓGICOS

AMERICANA, SP

2025

SHARISTON ALTAIR PIRES

ESTUDO PRÁTICO SOBRE PROCESSO DE MERCERIZAÇÃO EM
TECIDOS PT (PRONTO PARA TINGIR) ANALISES DE PROCESSOS
CONVENCIONAIS X PROCESSOS ECOLÓGICOS

Trabalho de Conclusão de Curso
desenvolvido em cumprimento à exigência
curricular do Curso Superior de Tecnologia
em produção têxtil pelo CEETEPS /
Faculdade de Tecnologia – FATEC/
Americana – Ministro Ralph Biasi.

Área de concentração: Produção Têxtil

Orientador: Prof. Dr. Daives Arakem
Bergamasco

AMERICANA, SP

2025

**FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Americana
Ministro Ralph Biasi- CEETEPS Dados Internacionais de
Catalogação-na-fonte**

PIRES, Shariston Altair

Estudo prático sobre processo de mercerização em tecido pt
(pronto para tingir) análises de processos convencionais x
processos ecológicos. / Shariston Altair Pires – Americana, 2025.

83f.

Projeto de pesquisa (Curso Superior de Tecnologia em
Produção Têxtil) - - Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro
Ralph Biasi – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Orientador: Prof. Dr. Daives Arakem Bergamasco

1. Tecnologia têxtil – meio ambiente 2. Têxtil – processos
industriais 3. Tingimento. I. PIRES, Shariston Altair II. BERGAMASCO,
Daives Arakem III. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula
Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi

CDU: 677:504

677.02

677.027.4

Elaborada pelo autor por meio de sistema automático gerador de
ficha catalográfica da Fatec de Americana Ministro Ralph Biasi.

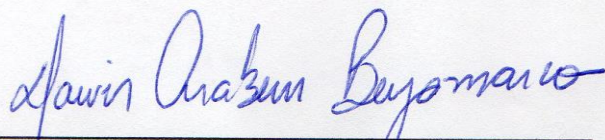
Shariston altair pires

**ESTUDO PRÁTICO SOBRE PROCESSO DE MERCERIZAÇÃO EM TECIDOS PT
(PRONTO PARA TINGIR) ANALISES DE PROCESSOS CONVENCIONAIS X
PROCESSOS ECOLÓGICOS**

Trabalho de graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Produção têxtil pelo Centro Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi.
Área de concentração: Química têxtil

Americana, 01 de dezembro de 2025

Banca Examinadora:



Daives Arakem Bergamasco (Presidente)

Doutor

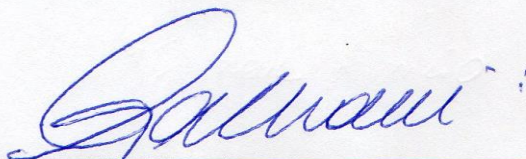
Fatec Americana – Ministro Ralph Biasi



Valdecir José Tralli (Membro)

Mestre

Fatec Americana – Ministro Ralph Biasi



Miguel Ronaldo Galhane (Membro)

Especialista

Fatec Americana – Ministro Ralph Biasi

AGRADECIMENTOS

Àquela força maior, fonte inesgotável de inspiração e perseverança, que me guiou em cada passo desta jornada.

Agradeço profundamente ao Professor Dr. Daives Arakem Bergamasco, pela orientação precisa, incentivo constante e por compartilhar generosamente seu conhecimento ao longo de todo o processo.

À Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi (FATEC Americana) e ao CEETEPS, por oferecerem um ambiente fértil para o crescimento acadêmico e profissional, bem como pela infraestrutura essencial à realização dos experimentos e análises.

À equipe técnica da instituição, em especial aos colaboradores do laboratório têxtil, por todo o suporte prático e operacional durante os testes e processos de lavagem.

À minha família, pelo amor incondicional, paciência e incentivo diário. Em especial, aos meus pais, por acreditarem no meu potencial e me proporcionarem todas as condições para que este sonho se concretizasse.

Aos amigos e colegas de curso, pela troca de experiências, apoio mútuo e momentos compartilhados, que tornaram essa caminhada mais leve e significativa. E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a construção deste trabalho, deixo minha eterna gratidão.

O conhecimento constitui a ponte que nos direciona ao futuro, permitindo a transformação de desafios em oportunidades e a materialização de sonhos em conquistas.

(Autor desconhecido)

RESUMO

A indústria têxtil enfrenta uma crescente demanda por práticas sustentáveis, tornando a otimização de processos como a mercerização um ponto crucial para a inovação. Este trabalho aborda a mercerização convencional de tecidos de algodão, um processo essencial para aprimorar as propriedades têxteis, mas frequentemente associado a um elevado impacto ambiental, contextualizando-o no desafio mais amplo de alcançar a sustentabilidade na produção têxtil. O objetivo principal desta pesquisa foi analisar e comparar o processo de mercerização convencional com alternativas ecológicas e sustentáveis, com foco na redução do consumo de água e energia, bem como na minimização da geração de resíduos. Para tanto, a metodologia empregada caracterizou-se como exploratória-descritiva, combinando uma abrangente revisão bibliográfica para fundamentação teórica, observação direta de processos industriais, análise criteriosa de amostras de tecidos e a realização de testes experimentais comparativos entre a mercerização convencional e as abordagens ecológicas propostas. Os resultados obtidos revelaram achados significativos, demonstrando que, embora a mercerização convencional apresente padrões estabelecidos de brilho, resistência e afinidade ao corante, as alternativas ecológicas alcançaram níveis comparáveis de desempenho, com a notável vantagem de um consumo substancialmente menor de água e energia, além de uma redução expressiva na taxa de rejeição de efluentes. A análise de viabilidade técnica e econômica corroborou que os processos ecológicos não apenas são ambientalmente superiores, mas também se mostram competitivos em termos de custo-benefício a longo prazo. Em conclusão, este estudo evidencia que a mercerização ecológica possui um potencial significativo como uma alternativa sustentável e eficaz, capaz de atender plenamente aos rigorosos critérios ambientais da indústria sem comprometer a qualidade final do tecido. Assim, a pesquisa responde positivamente à questão central sobre a viabilidade de processos de mercerização mais sustentáveis, oferecendo um caminho promissor para a inovação e a responsabilidade ambiental no setor têxtil.

Palavras chaves: Mercerização Ecológica, Sustentabilidade Têxtil, Processos Alternativos

ABSTRACT

The textile industry faces an ever-growing demand for sustainable practices, making the optimization of processes such as mercerization a crucial point for innovation. This work addresses conventional mercerization of cotton fabrics, an essential process for improving textile properties, but often associated with high environmental impact, contextualizing it within the broader challenge of achieving sustainability in textile production. The main objective of this research was to analyze and compare the conventional mercerization process with ecological and sustainable alternatives, focusing on reducing water and energy consumption, as well as minimizing waste generation. To this end, the methodology employed was characterized as exploratory-descriptive, combining a comprehensive literature review for theoretical foundation, direct observation of industrial processes, careful analysis of fabric samples, and the performance of comparative experimental tests between conventional mercerization and the proposed ecological approaches. The results obtained revealed significant findings, demonstrating that, although conventional mercerization presents established standards of brightness, resistance, and dye affinity, the ecological alternatives achieved comparable performance levels, with the remarkable advantage of substantially lower water and energy consumption, in addition to a significant reduction in effluent rejection rates. The technical and economic feasibility analysis corroborated that ecological processes are not only environmentally superior, but also competitive in terms of cost-benefit over the long term. In conclusion, this study evidences that ecological mercerization possesses significant potential as a sustainable and effective alternative, capable of fully meeting the rigorous environmental criteria of the industry without compromising the final quality of the fabric. Thus, the research responds positively to the central question about the viability of more sustainable mercerization processes, offering a promising path for innovation and environmental responsibility in the textile sector.

Keywords: Ecological Mercerization, Textile Sustainability, Alternative Processes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plantação de algodão.....	16
Figura 2: Linha de abertura	20
Figura 3: Preparação das fibras uniformes para o rotor.....	21
Figura 4: Rotor	22
Figura 5: Formação do fio	23
Figura 6: Máquina de fiação Open End	25
Figura 7: Fiação Ring.....	26
Figura 8: Estiragem.....	27
Figura 9: Torção	28
Figura 10: Enrolamento.....	28
Figura 11: Engomagem	31
Figura 12: Caixa de goma	32
Figura 13: Coluna de tambores de secagem a vapor	33
Figura 14: Cabeçote enrolador.....	34
Figura 15: Batedor de goma.....	35
Figura 16: Fio sem goma	36
Figura 17: Fio engomado	36
Figura 18: Tear	36
Figura 19: Pinça.....	37
Figura 20: Tecido pt sarja 3x1 lado comercial.....	39
Figura 21: Tecido pt sarja 3x1 lado avesso.....	39
Figura 22: Chamuscadeira têxtil.....	42
Figura 23: Chama da chamuscadeira.....	43
Figura 24: Cilindro refrigerado.....	43
Figura 25: Caixa de banho da chamuscadeira.....	44
Figura 26: Caixa de banho químico da chamuscadeira.....	45
Figura 27: John Mercer.....	46
Figura 28: Mercerizadeira têxtil.....	47
Figura 29: Caixa de solução NaOH.....	48
Figura 30: Entrada do tecido na caixa de lavagem.....	50
Figura 31: Caixa de lavagem.....	51
Figura 32: Tanque de impregnação.....	51

Figura 33: Cilindro de borracha de tração e estiramento.....	52
Figura 34: Caixa de estabilização do tecido.....	53
Figura 35: Caixa de lavagem.....	53
Figura 36: Caixa de neutralização.....	54
Figura 37: Unidade de secagem do tecido.....	55
Figura 38: Cabine de luz.....	61
Figura 39: Ensaio de tração.....	62
Figura 40: Espectrofotômetro.....	63
Figura 41: Lavadeira industrial.....	68
Figura 42: Secadeira industrial	69
Figura 43: Amostras de tecido tinto mercerizado.....	71
Figura 44: Amostras de tecido tinto lavado.....	72
Figura 45: Análise em um espectrofotômetro.....	72
Figura 46: Linha verde amostra mercerizada e linha azul amostra não mercerizada.....	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 ALGODÃO	15
2.2 FIAÇÃO OPEN END	19
2.2.1 PROCESSO DA FIAÇÃO OPEN END	19
2.2.2 BENEFÍCIOS DA FIAÇÃO OPEN END	23
2.3 FIAÇÃO RING	25
2.3.1 ESTIRAGEM.....	26
2.3.2 TORÇÃO	27
2.3.3 ENROLAMENTO	28
2.3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS	29
2.4 ENGOMAGEM	30
2.4.1 TIPOS DE GOMA UTILIZADAS	34
2.4.2 IMPACTOS DA ENGOMAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DOS FIOS	35
2.5 TECELAGEM	36
2.5.1 TEAR DE PINÇA	37
2.5.2 LIGAMENTO SARJA 3X1	38
2.6 PREPARAÇÃO DO TECIDO.....	40
2.6.1 CHAMUSCADEIRA	41
2.6.2 MERCERIZADEIRA TÊXTIL	45
3 METODOLOGIA.....	57
3.1 COLETA DE DADOS.....	58
3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	58
3.3 AMOSTRA	60
3.4 ANÁLISE DE DADOS	60

4 Resultados.....	63
4.1 DADOS OBTIDOS NO PROCESSO CONVENCIONAL.....	63
4.2 DADOS OBTIDOS NO PROCESSO ECOLÓGICO.....	64
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA	65
4.4 COMPARATIVO DO TECIDO LAVADO TINTO PARA O TECIDO MERCERIZADO TINTO.....	67
4.4.1 VISÃO GERAL DAS MEDIÇÕES.....	72
4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	74
5 CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil, um dos setores mais dinâmicos e globalizados da economia, desempenha um papel crucial no fornecimento de bens de consumo, empregando milhões de pessoas e movimentando vastas cadeias de valor. Contudo, sua relevância econômica é acompanhada por desafios ambientais significativos, especialmente no que tange ao consumo intensivo de recursos hídricos e energéticos, além da geração de efluentes químicos.

Nesse contexto, a mercerização emerge como um processo fundamental no tratamento de tecidos de algodão, conferindo-lhes propriedades desejáveis como maior resistência, brilho, afinidade por corantes e estabilidade dimensional. Tradicionalmente, este processo envolve o tratamento do tecido com soluções concentradas de hidróxido de sódio, seguido por lavagens extensivas, o que historicamente tem contribuído para o elevado impacto ambiental da produção têxtil.

A crescente conscientização global sobre a sustentabilidade e a urgência em mitigar os efeitos das atividades industriais no meio ambiente impulsionam a busca por alternativas mais limpas e eficientes.

Diante desse cenário, este trabalho se insere no campo da produção têxtil com o objetivo de delimitar e investigar as abordagens de mercerização, focando na comparação entre os métodos convencionais e as inovações que propõem um caminho mais ecológico, visando a redução do impacto ambiental sem comprometer a qualidade do produto final.

A partir dessa contextualização, surge a questão central que orienta esta pesquisa: Como os processos ecológicos de mercerização podem reduzir o consumo de água e energia, minimizar a geração de resíduos e garantir o reuso de soda cáustica e água de lavagem, mantendo a qualidade dos tecidos e a viabilidade econômica? Esta pergunta busca explorar a eficácia e a sustentabilidade das inovações no processo de mercerização, confrontando-as com as práticas estabelecidas e avaliando seu potencial para transformar a indústria têxtil em direção a um modelo mais responsável.

Para responder a essa indagação, o presente estudo estabelece como objetivo geral avaliar e comparar os processos de mercerização convencional e ecológica em tecidos prontos para tingimento (PT), analisando a viabilidade econômica e

ambiental dos métodos ecológicos. Para tanto, uma série de objetivos específicos foi delineada.

Primeiramente, busca-se investigar as características técnicas e os fatores que influenciam o processo de mercerização, tais como tensão, temperatura, concentração da solução e tempo de tratamento, compreendendo a fundo os mecanismos que regem a interação entre o reagente e a fibra.

Em seguida, pretende-se analisar comparativamente o consumo de recursos, especificamente água e energia, entre os dois métodos de mercerização, quantificando as diferenças e os potenciais de economia. Adicionalmente, este trabalho visa avaliar a qualidade final dos tecidos mercerizados por ambos os processos, utilizando parâmetros como resistência à tração, brilho, absorção de corante e estabilidade dimensional, para assegurar que as alternativas ecológicas mantenham ou superem os padrões de desempenho.

Demonstra-se, ainda, a viabilidade econômica dos processos ecológicos através da redução do consumo de recursos, projetando os benefícios financeiros decorrentes da otimização. Por fim, examina-se a possibilidade de reúso de soda cáustica e água de lavagem nos processos ecológicos, um aspecto crucial para a minimização de resíduos e a promoção de uma economia circular na produção têxtil.

A relevância desta pesquisa é multifacetada e se justifica pela crescente importância da sustentabilidade na indústria têxtil, um imperativo ditado tanto por regulamentações ambientais mais rigorosas quanto pela demanda de consumidores por produtos fabricados de forma ética e ecologicamente correta.

A necessidade de redução do impacto ambiental, sem comprometer a qualidade e a competitividade do produto, é um desafio premente para as empresas do setor. Neste contexto, a pesquisa contribui ao explorar o potencial econômico de processos mais eficientes, que podem gerar economias significativas de custos operacionais a longo prazo, além de promover avanços tecnológicos no setor têxtil, impulsionando a inovação e a adoção de práticas mais sustentáveis.

O alinhamento com legislações ambientais vigentes e futuras, bem como a resposta às demandas de mercado por uma produção mais sustentável, reforçam a pertinência deste estudo, que oferece subsídios para a tomada de decisões estratégicas e para o desenvolvimento de políticas industriais mais verdes.

A metodologia empregada nesta pesquisa adota uma abordagem aplicada, exploratória e descritiva, integrando métodos qualitativos e quantitativos, caracterizando-se, portanto, como um estudo de métodos mistos. A natureza aplicada reside na busca por soluções práticas para um problema industrial, enquanto o caráter exploratório permite a investigação de novas abordagens e o descritivo visa caracterizar detalhadamente os processos em análise.

A coleta de dados será realizada através de observação direta dos processos em ambiente laboratorial ou industrial, análise de amostras de tecidos submetidos a cada tipo de mercerização e comparação experimental rigorosa entre os resultados obtidos pelos métodos convencional e ecológico. Serão utilizados equipamentos de medição específicos para quantificar o consumo de água e energia, bem como para avaliar as propriedades físicas e químicas dos tecidos.

Este trabalho está estruturado em seções que visam guiar o leitor através de uma análise abrangente do tema. Inicialmente, será apresentada a fundamentação teórica, abordando os princípios da mercerização, a química das fibras de algodão e os impactos ambientais dos processos têxteis.

Em seguida, será realizada a caracterização detalhada dos processos de mercerização convencional e ecológica, descrevendo suas etapas, reagentes e condições operacionais. Posteriormente, serão apresentados os resultados comparativos obtidos a partir das análises experimentais, seguidos por uma análise crítica dos dados, discutindo as implicações ambientais, econômicas e de qualidade de cada abordagem.

Finalmente, o trabalho culminará com as conclusões sobre a viabilidade dos métodos ecológicos, suas limitações e as perspectivas para futuras pesquisas e aplicações na indústria têxtil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALGODÃO

A fibra de algodão sobressai historicamente como uma das principais matérias-primas da indústria têxtil global, exercendo profundos efeitos socioeconômicos, culturais e tecnológicos.

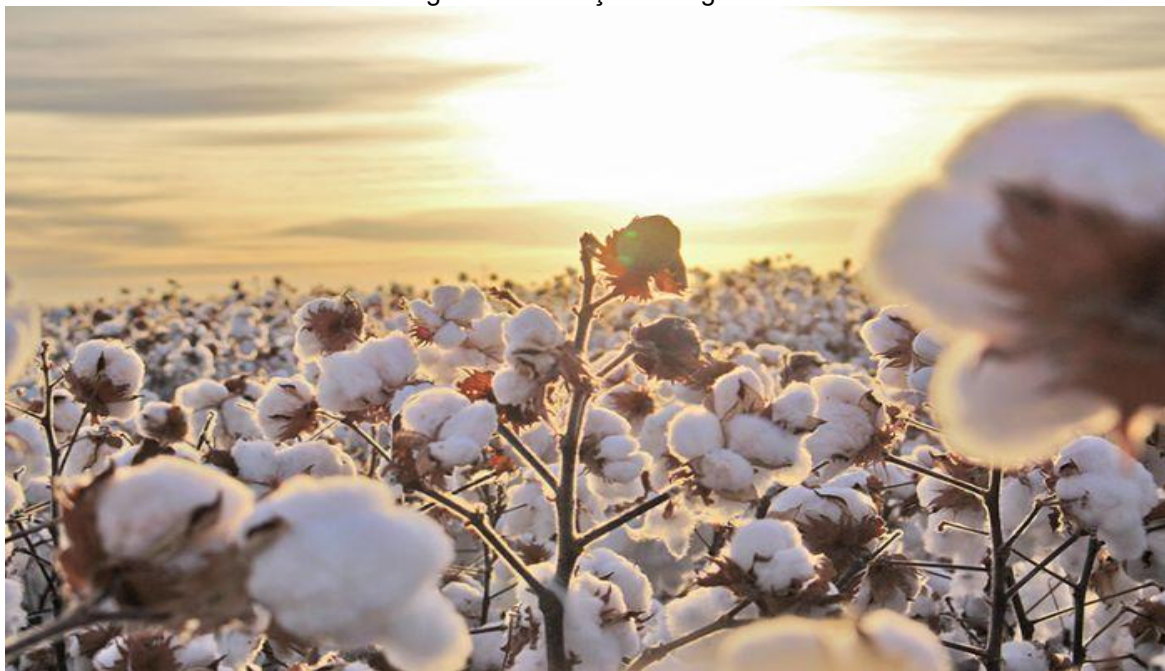
Seu emprego remonta a aproximadamente 5.000 a. C., quando civilizações do Vale do Indo e do Egito se aproveitaram de suas propriedades para a confecção de vestuário e utensílios domésticos (Santos; Oliveira, 2021, p. 44).

No contexto brasileiro, o algodão foi introduzido pelos colonizadores portugueses no século XVI, tornando-se relevante ao longo do período colonial e atingindo uma expressividade econômica significativa após a crise do ciclo do açúcar, durante o século XVIII, e novamente nas primeiras décadas do século XX, especialmente em razão da crise de fornecimento internacional durante as guerras mundiais (Moreira; França, 2023, p. 109).

O algodão (figura 1) assumiu uma posição estratégica tanto em âmbito global quanto no Brasil, em virtude da possibilidade de integração com outros cultivos, do impacto nas cadeias produtivas têxteis e de confecção, e da capacidade de geração de empregos.

Atualmente, o Brasil se posiciona entre os cinco maiores produtores e exportadores mundiais, destacando-se estados como Mato Grosso e Bahia, responsáveis por consideráveis inovações agroindustriais e pela intensificação de práticas sustentáveis (Cardoso et al., 2022, p. 17).

Figura 1: Plantação de algodão



Fonte: www.noticiasagricolas.com.br

A incorporação de biotecnologias e aprimoramentos genéticos nas últimas duas décadas, especialmente após 2020, solidificou a posição do algodão brasileiro no contexto internacional, ressaltando sua importância não apenas econômica, mas também em aspectos tecnológicos e ambientais que se alinham com a crescente procura por fibras naturais (MOREIRA; FRANÇA, 2023, p. 112).

A fibra de algodão é tecnicamente descrita como uma célula epidermal unicelular oriunda da superfície das sementes de espécies do gênero *Gossypium*, constituindo a principal matéria-prima de origem vegetal empregada na indústria têxtil (Santos; Oliveira, 2021, p. 47). Sob uma perspectiva química, a fibra de algodão é composta predominantemente por celulose—aproximadamente 88 a 96% de sua constituição—além de pequenas proporções de ceras, proteínas, pectinas e minerais. Sua estrutura molecular caracteriza-se por longas cadeias celulares com ligações β -(1→4) -glicosídicas, que conferem um elevado grau de polimerização e propriedades mecânicas superiores (Cardoso et al., 2022, p. 18).

Físico-quimicamente, a fibra apresenta um comportamento higroscópico acentuado, capaz de absorver até 24% de seu peso em água sem comprometer suas propriedades mecânicas. O comportamento térmico evidencia resistência à decomposição até aproximadamente 240°C, temperatura acima da qual inicia-se o processo de pirólise, resultando na degradação da celulose. Estruturalmente, as

fibras demonstram morfologia caracterizada por um lúmen (canal interno), uma parede secundária composta por micro fibrilas de celulose e espessura variável, parâmetros que determinam qualidade, resistência e aplicações industriais (Santos; Oliveira, 2021, p. 48).

Entre as qualidades intrínsecas da fibra de algodão, sobressaem-se a suavidade, resistência à tração, capacidade de absorção, durabilidade, biocompatibilidade e vantagens ambientais em relação a fibras sintéticas. Cardoso et al. (2022, p. 19) enfatizam que a celulose organizada em micro fibrilas confere ao algodão uma notável resistência mecânica, com tenacidade média de 3 a 5 gf/tex, tornando-o ideal para tecidos frequentemente lavados e sujeitos ao desgaste do uso cotidiano.

A suavidade, pertinente a aplicações que exigem conforto, decorre do módulo de elasticidade relativamente baixo (média de 5,5 GPa) e da configuração tubular das fibras (Moreira; França, 2023, p. 114).

A higroscopicidade, relacionada à presença abundante de grupos hidroxila na celulose, possibilita que a fibra capte e libere umidade de maneira ágil. Tal característica resulta em tecidos respiratórios, com toque agradável e menor risco de reações alérgicas, fatores que são apreciados tanto em vestuário quanto em itens hospitalares (Santos; Oliveira, 2021, p. 52).

No que tange à durabilidade, é importante destacar a estabilidade da microestrutura quando submetida à luz, temperaturas moderadas e substâncias químicas habituais em processos de lavagem (Cardoso et al., 2022, p. 22).

A biocompatibilidade e biodegradabilidade da fibra de algodão reforçam sua proeminência entre as fibras têxteis, especialmente em contextos que requerem segurança à saúde, como instrumentos médicos e tecidos cirúrgicos (Moreira; França, 2023, p. 118).

Ademais, quando os processos produtivos aderem a práticas ambientais contemporâneas—como o uso racional de defensivos e a rotação de culturas—os impactos ambientais adversos podem ser consideravelmente reduzidos, posicionando o algodão como uma alternativa ecológica relevante em comparação aos polímeros sintéticos não renováveis.

Não obstante suas qualidades, a fibra de algodão apresenta limitações que impõem desafios à competitividade em relação a outras fibras naturais e

sintéticas. Um dos principais obstáculos decorre do comprimento relativamente curto das fibras (média de 22–35 mm para cultivares comerciais), o que restringe a resistência dos fios e dificulta processos de fiação em altas velocidades (Cardoso et al., 2022, p. 24).

A heterogeneidade intrínseca, em decorrência de variações morfológicas entre fibras de um mesmo capulho, impacta negativamente a uniformidade e o rendimento industrial do produto final (Santos; Oliveira, 2021, p. 55).

Outra restrição significativa é a elevada vulnerabilidade a mofo, fungos e organismos biológicos, especialmente em ambientes úmidos sem controle de armazenamento.

Ademais, o algodão demonstra uma tendência à formação de "neps" (aglomerados de fibras curtas), o que compromete a qualidade dos fios e tecidos, exigindo tratamentos industriais de purificação e beneficiamento mais rigorosos (Moreira; França, 2023, p. 120). Em contextos ambientais, embora a fibra seja biodegradável, a produção do algodão historicamente exigiu um uso intensivo de água e defensivos agrícolas; no entanto, a implementação de práticas mais sustentáveis e biotecnologias tem gradativamente reduzido tais impactos.

Por outro lado, as fibras de algodão são relativamente menos resistentes ao ataque de microrganismos em comparação às fibras sintéticas e podem amarelar ou se deteriorar com a exposição prolongada à luz ultravioleta (Cardoso et al., 2022, p. 26). Essas características demandam inovação contínua em melhoramento genético, manejo agrícola e processos de acabamento industrial para que o algodão mantenha sua relevância frente aos desafios contemporâneos. As fibras constituem uma pelugem que se origina na superfície das sementes, podendo ser extraídas manualmente ou por meio de máquinas. A colheita manual assegura um produto mais puro, visto que cada fibra está acompanhada por pequenas sementes escuras que necessita ser removida.

Quando seca, a fibra é predominantemente composta por celulose. Ademais, ela contém pequenas quantidades de proteínas, pectina, cera, cinzas, ácidos orgânicos e pigmentos.

Geralmente, a fibra de algodão é transformada em fio compacto.

Existem diversas etapas para a conversão da fibra em tecido:

Descaroçamento: é a separação de fibra e semente, feito na hora da colheita manual ou com máquinas

Fiação: etapa na qual são confeccionados os fios de algodão a partir da fibra, com variadas espessuras.

Tecelagem: um dos processos mais relevantes para produzir o tecido. Também denominado tear, dois fios são utilizados simultaneamente para conferir trama e gramatura ao tecido. Após a tecelagem, o algodão passa por várias outras fases até se converter no produto final.

2.2 FIAÇÃO OPEN END

A indústria têxtil, em sua incessante busca por maior eficiência e produtividade, identificou na fiação open end uma das suas mais relevantes inovações. Conhecida também como fiação a rotor, esta tecnologia representou uma ruptura significativa em relação aos métodos convencionais, tais como a fiação de anel (Gonçalves, 2012, p 110).

Ao otimizar o processo de conversão de fibras em fios, a fiação open end não apenas acelerou a produção, mas também diminuiu custos e abriu novas oportunidades para a fabricação de tecidos (Lord & Mohamed, 1982, p 10).

Este estudo examina os princípios de operação, as principais vantagens e desvantagens, bem como as aplicações que consolidaram a fiação open end como um pilar da produção têxtil contemporânea (Kadolph, 2010, p 200).

2.2.1 PROCESSO DA FIAÇÃO OPEN END

Distingue-se por sua mecânica na formação do fio, que elimina a necessidade de um fuso e de um anel para a torção. Este processo acontece em três etapas principais:

- Abertura e Individualização das Fibras:

As fibras são introduzidas na máquina (figura 2 e 3) e, com o suporte de cilindros e mecanismos de cardagem de alta velocidade, são abertas e separadas entre si. Este estágio é fundamental para assegurar que as fibras sejam enviadas ao rotor de maneira uniforme (Gonçalves, 2012, p 35).

Figura 2: Linha de abertura



Fonte: autor

Figura 3: Preparação das fibras uniforme para o rotor



Fonte: autor

- Formação do Fio no Rotor:

As fibras individuais são movidas por um fluxo de ar em direção a um rotor giratório de alta velocidade (figura 4). A força centrífuga faz com que as fibras se depositem na parede interna do rotor. Uma extremidade de fio já torcido é inserida nesse rotor e, à medida que o rotor gira, as novas fibras aderem à extremidade, formando um novo segmento de fio (figura 5). A torção é gerada pela própria rotação do rotor (Kadolph, 2010, p 160).

Figura 4: Rotor



Fonte: autor

Figura 5: Formação do fio



Fonte: autor

- Enrolamento:

O fio recém-formado é continuamente retirado do rotor e enrolado em um carretel, pronto para ser utilizado na etapa subsequente da produção, como a Tecelagem ou malharia (Gonçalves, 2012, p, 160).

Essa simplicidade mecânica, aliada à alta velocidade do rotor, possibilita que a fiação open end alcance uma produtividade significativamente superior à da fiação tipo anel (Özdemir, 2004, p 315).

2.2.2 BENEFÍCIOS DA FIAÇÃO OPEN END

A implementação da fiação open end (figura 6) proporcionou uma variedade de benefícios que a estabeleceram como a tecnologia preferencial para a produção em larga escala. As principais vantagens incluem:

- Elevada Produtividade:

A velocidade de fiação é significativamente superior, resultando em uma produção mais ágil e em grande quantidade (Özdemir, 2004, p 260).

- Corte de Custos:

A tecnologia simplifica o processo, eliminando a necessidade de diversas etapas, o que diminui os custos operacionais e de mão de obra (Sule,2007, p 240).

- Qualidade do Fio:

Os fios gerados tendem a ser mais homogêneos, com menos inconsistências e nós, o que aprimora a eficiência na tecelagem e a qualidade do produto final (Lord,2003, p 290).

- Versatilidade:

Trata-se de uma tecnologia competente para processar uma ampla variedade de fibras, incluindo algodão, sintéticos e materiais reciclados (Gonçalves, 2012, p150).

Não obstante as vantagens fiação open end.

Também apresenta desvantagens que restringem sua aplicação em determinados nichos de mercado:

- Limitação na Finura do Fio:

A tecnologia é mais apropriada para a produção de fios de espessura média a grossa, revelando-se menos eficaz na confecção de fios muito finos (Özdemir,2004, p 265).

- Sensação ao Toque:

Os fios open end podem apresentar uma textura mais áspera em comparação com os fios de anel, o que pode influenciar a percepção em produtos de vestuário de alta qualidade (Sule,2007, p 430).

Figura 6: maquina fiação Open End.



Fonte: imagem ilustrada.

A fiação open end não é apenas um equipamento, mas uma inovação tecnológica que transformou os critérios de produção na indústria têxtil. Ao proporcionar uma combinação incomparável de alta velocidade, custo diminuído e flexibilidade, ela se estabeleceu como a base para a fabricação em larga escala de diversos produtos. (Kadolph ,2010, p160). Embora a fiação de anel ainda ocupe seu nicho para itens de alta qualidade, a fiação open end persistirá como o suporte fundamental da indústria para a maioria das utilizações, promovendo a eficácia e a competitividade do setor (Gonçalves,2012, p 160).

2.3 FIAÇÃO RING

A fiação Ring (figura 7), constitui um sistema de fiação mecânico que executa, em um único procedimento, três etapas fundamentais: estirarem, torção e enrolamento (Gonçalves,2012, p 115).

Figura 7: fiação Ring.



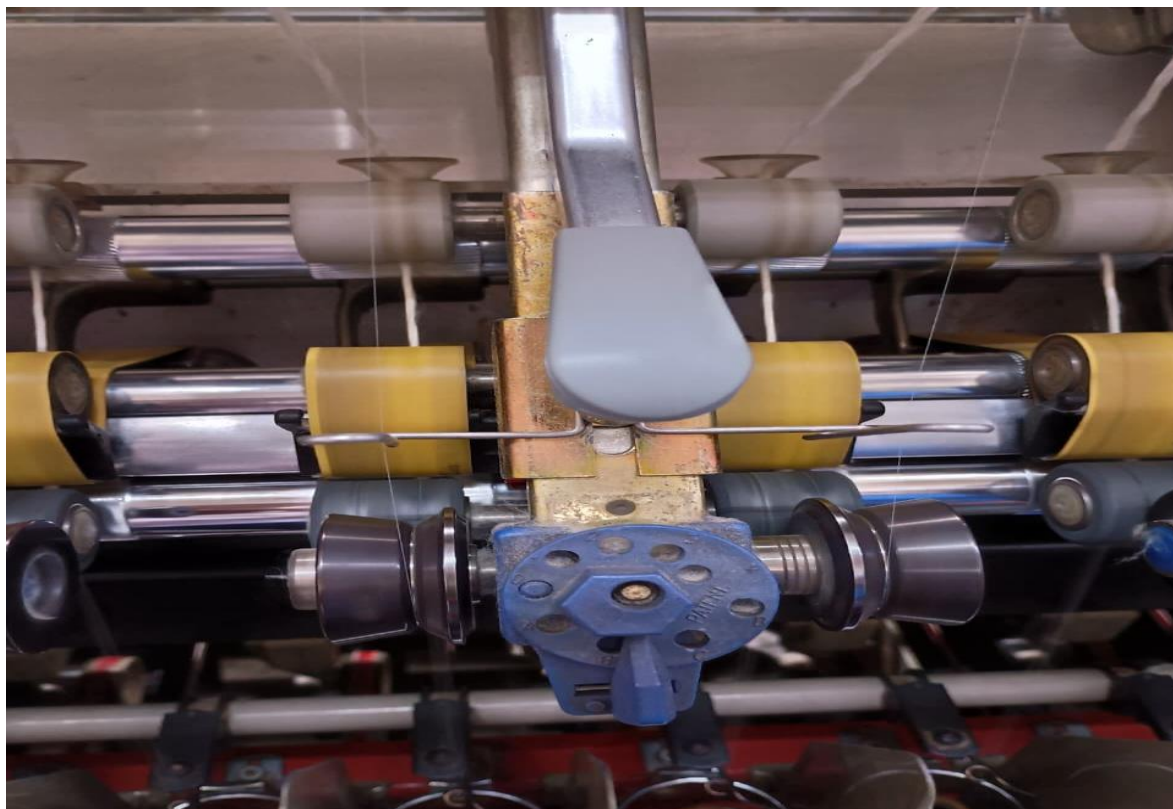
Fonte: autor

Seus componentes primordiais são o fuso, o anel e o viajante. O processo ocorre da seguinte maneira:

2.3.1 ESTIRAGEM

A fita de fibras, previamente tratada, é fornecida ao tear e percorre um conjunto de rolos que operam em velocidades distintas (figura 08). Essa variação de velocidade provoca o alongamento da fita de fibras, reduzindo seu diâmetro e preparando as fibras para a etapa de torção (Lord ,2003, p 110).

Figura 8: Estiragem.



Fonte: autor

2.3.2 TORÇÃO

As fibras estiradas são direcionadas ao fuso, que gira em alta velocidade. O viajante, uma pequena peça metálica em formato de “C”, desliza sobre o anel que circunda o fuso (figura 9). O fio passa pelo viajante, e a rotação do fuso ocasiona o movimento do viajante, torcendo o fio. A torção é o elemento que confere resistência e coesão ao fio (Sule, 2007, p 90).

Figura 9: Torção.



Fonte: autor

2.3.3 ENROLAMENTO

A rotação do fuso e o movimento controlado da barra do anel, que se desloca para cima e para baixo, (figura 10) asseguram que o fio torcido seja enrolado de maneira uniforme em uma bobina posicionada no próprio fuso (Gonçalves, 2012, p 185).

Figura 10: Enrolamento



Fonte: autor

2.3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A fiação Ring destaca-se por suas características singulares, que representam tanto suas maiores vantagens quanto suas principais limitações.

Vantagens:

- Qualidade do Fio:

Os fios de anel são renomados por sua elevada qualidade. A torção regular e o controle meticuloso do processo resultam em fios mais robustos, homogêneos e com menos irregularidades, o que aprimora a durabilidade e a apresentação dos tecidos (Lord ,1982, p 370).

- Versatilidade:

A fiação de anel é capaz de produzir uma ampla gama de fios, variando de muito finos a espessos, possibilitando a elaboração de artigos de alto valor agregado, como tecidos para camisas, lençóis de alta contagem de fios e fios para costura (Kadolph, 2010, p 152).

- "Hand-feel" (Toque):

Os fios de anel costumam ser mais suaves e agradáveis ao toque, uma qualidade apreciada na produção de vestuário e têxteis para o lar (Özdemir ,2004, p 415).

Desvantagens:

- Baixa Produtividade:

A taxa de produção do tear Ring é significativamente inferior quando comparada a tecnologias como a fiação open end. O processo é mais demorado devido às limitações físicas da rotação do fuso e do viajante (Gonçalves, 2012, p 125).

- Alto Custo Operacional:

O tear Ring demanda mais energia e requer mais mão de obra, especialmente para a troca de bobinas e a manutenção dos viajantes, que se desgastam rapidamente em decorrência da alta fricção (Özdemir ,2004, p. 155).

- Limitação de Matéria-Prima:

A tecnologia exige fibras de qualidade superior e comprimento adequado, o que pode restringir o uso de certas fibras, como as de comprimento curto ou recicladas (Kadolph, 2010, p 160).

O tear Ring representa um testemunho da durabilidade e da excelência da engenharia têxtil. Apesar de a fiação open end ter prevalecido na produção em massa em virtude de sua rapidez, a fiação de anel nunca perdeu sua posição, especialmente na fabricação de produtos que demandam a mais elevada qualidade (Gonçalves, 2012, p 130).

A tradição do tear Ring continua a coexistir com as inovações mais contemporâneas, assegurando que o mercado tenha a opção de escolher entre a eficiência da velocidade e a perfeição da qualidade. Em um setor cada vez mais competitivo, o tear Ring confirma que a busca pela excelência permanece um valor inegociável (Gonçalves, 2012, p 135)

2.4 ENGOMAGEM

Trata-se de um procedimento essencial na indústria têxtil, especialmente para fibras naturais, como o algodão. Seu propósito primordial é aprimorar a robustez dos fios contra a fratura e o desgaste, garantindo uma qualidade superior e uma eficiência na produção têxtil (figura 11). Para harmonizar a resistência e a maleabilidade dos fios, o processo requer a aplicação eficaz do aglutinante (Gonçalves, 2012, p. 210).

Figura 11: Engomagem



Fonte: autor

Engomagem é o processo de aplicação de agentes engomantes nos fios de urdume, visando protegê-los contra os esforços mecânicos do tear, como atrito e tensão. Essa proteção é alcançada por meio de uma camada adesiva que favorece a coesão das fibras e diminui a pilosidade. Uma Engomagem inadequada pode intensificar as rupturas, prejudicando o processo de tecelagem. (Gonçalves, 2012, p. 210).

A Engomagem ocorre em máquinas conhecidas como engomadeiras, que são formadas por uma estante de alimentação, uma caixa de goma (figura 12), uma zona de secagem (figura 13) e um cabeçote enrolador (figura 14). Cada uma dessas partes desempenha um papel essencial para garantir um processo uniforme e eficiente.

(Gonçalves, 2012 p.211) O controle preciso de parâmetros, como a concentração da goma e a pressão dos rolos, é crucial para impedir tanto o excesso quanto a insuficiência de goma, fatores que podem comprometer a qualidade do fio. (Gonçalves, 2012, p.212).

Figura 12: Caixa de goma



Fonte: auto

Figura 13: Coluna de tambores de secagem a vapor



Fonte: autor

Figura 14: Cabeçote enrolador



Fonte: autor

2.4.1 TIPOS DE GOMA UTILIZADAS

Os tipos mais comuns de goma engomantes incluem amido (figura 15), que pode ser natural ou modificado, álcool polivinílico (PVA) e carboximetilcelulose (CMC). O amido é amplamente usado devido à sua acessibilidade econômica e à facilidade de remoção. Já o PVA é geralmente preferido para fibras sintéticas, pois proporciona alta resistência e pode ser facilmente eliminado com água quente. (Gonçalves, 2012, p. 213). A CMC, embora ofereça boa aderência, possui um custo mais elevado. Além desses componentes básicos, as fórmulas de Engomagem frequentemente incluem aditivos como lubrificantes, agentes antiestéticos e modificadores, que têm a função de aprimorar o desempenho do fio durante o processo de produção. (Gonçalves, 2012, p. 214).

Figura 15: Batedor de goma



Fonte: autor

2.4.2 IMPACTOS DA ENGOMAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DOS FIOS

A aplicação precisa da goma forma uma película protetora que aumenta a resistência à tração, reduz a pilosidade e otimiza o alinhamento no tear. Entretanto, doses inadequadas podem deixar os fios rígidos e quebradiços, prejudicando seu desempenho. (Gonçalves, 2012, p. 215).

A Engomagem desempenha um papel fundamental para assegurar a resistência e a qualidade dos fios utilizados na tecelagem (Figura 16 e 17), contribuindo diretamente para uma maior produtividade e eficiência. O sucesso dessa etapa está ligado à seleção adequada da goma e ao controle preciso do processo. (Gonçalves, 2012, p. 210).

Figura 16: Fio sem goma



Fonte: guia de defeitos industriais têxteis

Figura 17: Fio engomado



Fonte: guia de defeitos industriais têxteis

2.5 TECELAGEM

A tecelagem constitui o processo de produção de tecidos planos por meio do entrelaçamento de dois conjuntos distintos de fios: o urdume, disposto longitudinalmente, e a trama, disposta transversalmente. Esses fios são interligados em ângulos retos, resultando em tecidos cuja textura, resistência e aparência podem variar significativamente em função do tipo de ligamento empregado. Enquanto técnica, a tecelagem ocupa um lugar central e milenar no contexto da produção têxtil, sendo considerada uma das práticas mais primordiais e essenciais dessa indústria (figura 18). (KADOLPH, 2010, p. 194)

Figura 18: Tear



Fonte: autor

2.5.1 TEAR DE PINÇA

O tear de pinça é um equipamento têxtil sem lançadeira amplamente apreciado por sua versatilidade na produção de uma ampla variedade de tecidos, desde os mais simples até os mais sofisticados (figura 19). Ele pode ser dividido em dois tipos principais:

- Tear de pinça simples: neste modelo, uma única pinça realiza o transporte do fio da trama, deslocando-o de um lado da cala ao outro. A pinça segura o fio da trama e o direciona através do galpão formado no urdume.
- Tear de pinça dupla: conta com duas pinças localizadas em lados opostos do tear, que operam de maneira sincronizada. Elas se encontram no centro da cala para transferir o fio da trama entre si e, em seguida, puxá-lo até o lado contrário. Esse design garante maior velocidade e eficiência no processo de inserção da trama. (LORD & MOHAMED, 1982, p. 205).

As pinças podem operar por meio de dois sistemas:

O sistema de pinça mento positivo, em que a retenção do fio depende diretamente de sua presença, ou o sistema de pinça mento negativo, onde o controle da pinça ocorre independentemente da presença do fio. (LORD & MOHAMED, 1982, p. 207).

Figura 19: Pinça



Fonte: autor

O movimento das pinças é geralmente conduzido por fitas flexíveis fabricadas com materiais avançados, como Teflon, fibra de carbono e poliéster, que oferecem alta resistência ao desgaste e excelente desempenho, mesmo em velocidades elevadas. Essas fitas são mantidas estáveis por plaquetas guias, que evitam deformações causadas pela força centrífuga gerada durante os movimentos intensos. Entretanto, o atrito constante entre as fitas e os guias pode causar aquecimento e desgaste, tornando essencial o uso de materiais desenvolvidos especificamente para suportar essas condições adversas. (GONÇALVES, 2012, p. 244). Embora não seja tão rápido quanto os teares a jato de ar, o tear de pinça destaca-se por sua capacidade superior na fabricação de tecidos complexos. Isso se deve à precisão no controle do fio da trama e à alta qualidade do produto final, tornando-o ideal para aplicações que demandam níveis mais elevados de detalhamento e precisão. (GONÇALVES, 2012, p. 245).

A qualidade do tecido produzido em teares de pinça é significativamente influenciada pela exatidão do mecanismo responsável pela inserção da trama, pela resistência das fitas condutoras das pinças e pelo controle preciso dos seus movimentos, fatores fundamentais para prevenir defeitos durante o processo produtivo (LORD & MOHAMED, 1982, p. 214). O desenvolvimento de tecnologias avançadas em materiais para fitas de pinça possibilita a operação desses teares em velocidades elevadas sem comprometer a durabilidade das peças constituintes, resultando em um incremento substancial na produtividade industrial (LORD & MOHAMED, 1982, p. 215).

2.5.2 LIGAMENTO SARJA 3X1

A sarja é uma estrutura têxtil definida por um padrão diagonal distinto, resultante da disposição alternada dos fios da trama sobre e sob os fios do urdume. Esse entrelaçamento específico confere características únicas a esse tipo de tecido (KADOLPH, 2010, p. 196). No ligamento sarja 3x1, a organização dos fios segue a seguinte lógica: o fio da trama é entrelaçado passando sobre três fios consecutivos do urdume e, em seguida, sob um, repetindo esse esquema ao longo de toda a extensão do tecido (figura 20 e 21). Essa configuração não apenas contribui para a

formação das linhas diagonais características, mas também proporciona maior resistência mecânica à estrutura têxtil (KADOLPH, 2010, p. 197). O tecido fabricado com o padrão sarja 3x1 são amplamente utilizados na produção de vestuário que requer alta durabilidade, como peças de jeans e uniformes. Além disso, sua estabilidade dimensional e robustez tornam-nos apropriados para aplicações técnicas e industriais, enriquecendo sua relevância em diferentes contextos produtivos (LORD & MOHAMED, 1982, p. 48).

Figura 20: Tecido PT sarja3x1 lado comercial



Fonte: autor

Figura 21: Tecido PT sarja3x1 lado avesso



Fonte: autor

Dentro desse contexto, o ligamentar sarja 3x1 destaca-se como uma solução técnica amplamente empregada na confecção de tecidos que demandam elevada resistência mecânica e maior versatilidade estética. (SILVA, 2018, p. 45). Esse padrão é particularmente valorizado na indústria têxtil, pois reúne propriedades que atendem à simultânea necessidade de durabilidade e conforto, tornando-o uma escolha recorrente na produção de bens de consumo no setor (SILVA, 2018, p. 46).

2.6 PREPARAÇÃO DO TECIDO

A seguir é apresentado um fluxo do processo de preparação dos tecidos que vão ser preparados para tingimento posterior.



2.6.1 CHAMUSCADEIRA

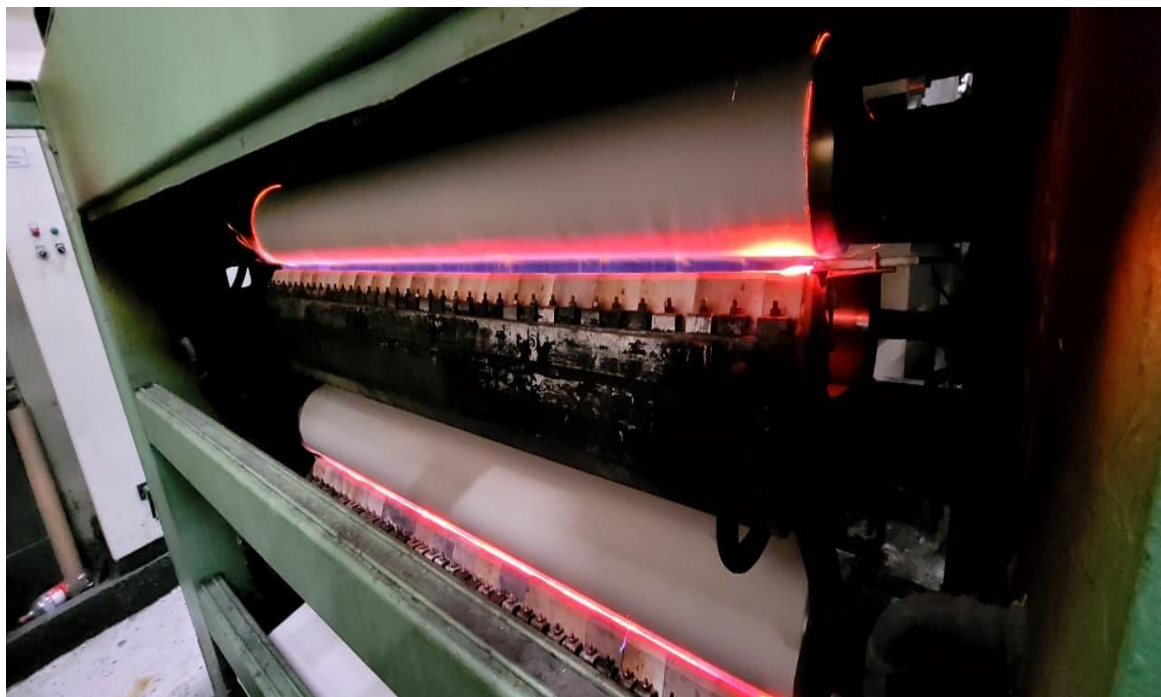
A chamuscadeira têxtil é um equipamento essencial no começo do processo de beneficiamento dos tecidos (figura 22). O tecido é rapidamente exposto a uma chama direta e intensa, ambos os lados do tecido dependendo dos artigos, que elimina apenas as fibras superficiais soltas, também conhecidas como penugens (figura 23), assegurando assim uma aparência mais uniforme, um toque mais agradável e maior qualidade ao material, em seguida, é resfriado passando ao redor em cilindros refrigerados (figura 24) e lavado para retirar os resíduos da combustão (Correia,2018 p 28).

Figura 22: Chamuscadeira têxtil



Fonte: autor

Figura 23: Chama da Chamuscadeira



Fonte: autor

Figura 24: Cilindro refrigerado

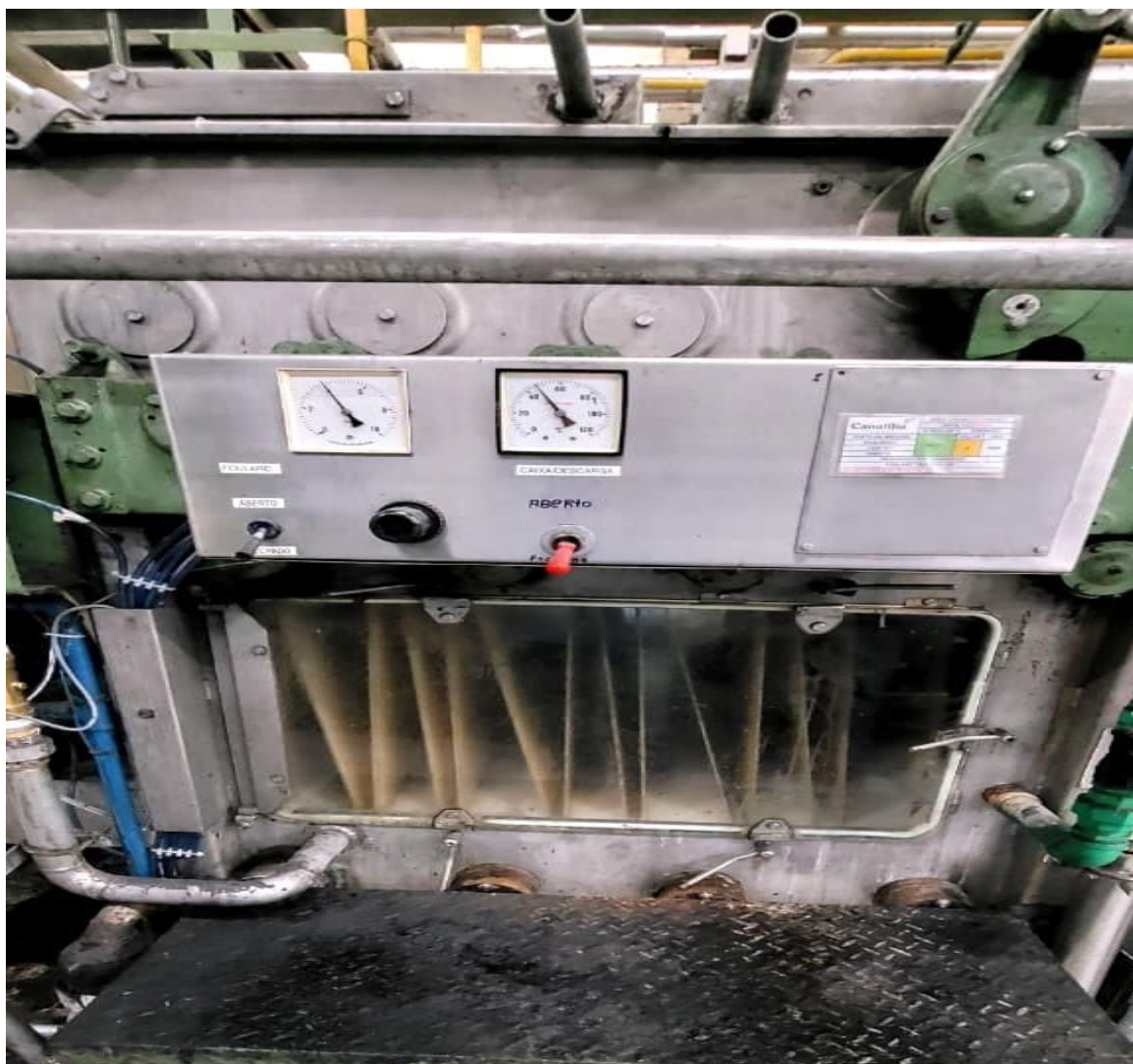


Fonte: autor

Esse procedimento é crucial para preparar o tecido adequadamente para as etapas subsequentes, como a desengomagem, alvejamento (figura 25), mercerização e até mesmo o tingimento.

Assim, a chauscadora atua como o primeiro preparo químico e físico do tecido (figura 26) para as etapas seguintes (Correia, 2018, p 28 - 29).

Figura 25: Caixa de banho da chauscadora



Fonte: autor

Figura 26: Caixa de banho químico da chamuscadeira



Fonte: autor

2.6.1.1 OBJETIVO DO PROCESSO

Eliminar penugens e fibras soltas da superfície do tecido. Prevenir defeitos no processo de tingimento e estamparia.

Aperfeiçoar o brilho e a uniformidade do tecido. Assegurar uma superfície limpa e homogênea.

Aumenta a produtividade nas etapas seguintes.

É um procedimento simples, mas de significativa relevância técnica, que desempenha um papel essencial na qualidade dos produtos têxteis disponíveis no mercado (Correia, 2018, p 30 - 31).

2.6.2 MERCERIZADEIRA TÊXTIL

A mercerização constitui uma etapa essencial no processo de beneficiamento têxtil, atribuindo às fibras de algodão e aos tecidos planos propriedades aprimoradas, como maior brilho, resistência elevada e uma afinidade superior aos corantes (Souza, 2018, p 12).

O nome do procedimento deriva do inglês John Mercer (figura 27), químico inglês que descobriu essa técnica em 1844. Nos tempos atuais, a mercerização é conduzida utilizando equipamentos especializados conhecidos como mercerizadeiras (figura 28). Esses dispositivos permitem o controle rigoroso de variáveis críticas, incluindo tensão mecânica, temperatura e concentração de soluções alcalinas, assegurando assim um acabamento uniforme e de qualidade superior (Santos; Pereira, 2020 p 27-28).

Figura 27: John Mercer



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/John_Mercer

Figura 28: Mercerizadeira têxtil



Fonte: autor

2.6.2.1 CONCEITO DE MERCERIZAÇÃO

A mercerização é um processo químico aplicado ao algodão, no qual este é tratado com uma solução concentrada de hidróxido de sódio (NaOH) sob condições controladas de tensão (Corbman, 1983 p 167). Esse procedimento promove alterações significativas na estrutura interna das fibras, proporcionando-lhes uma forma mais arredondada, um brilho superior e uma resistência aprimorada, ao mesmo tempo em que aumenta de maneira expressiva sua afinidade com corantes (Corbman, 1983 p 168). Durante esse tratamento, as paredes celulares do algodão sofrem um inchaço e passam por um rearranjo molecular, originando uma fibra mais densa e homogênea (Corbman, 1983 p 169).

Os objetivos básicos do processo de mercerização são:

- Intensificar o brilho e a maciez do tecido.
- Elevar a resistência das fibras à tração.
- Incrementar a afinidade com corantes e garantir maior uniformidade na coloração.
- Minimizar o enrugamento, oferecendo um toque mais agradável e um caimento aprimorado.
- Corrigir imperfeições visuais, resultando em um acabamento de qualidade superior (Tortora; Merkel, 2014, p. 299).

2.6.2.2 PRINCÍPIO DO PROCESSO

O processo de mercerização do algodão inicia-se quando este é submetido a uma solução alcalina altamente concentrada (figura 29), geralmente composta por hidróxido de sódio (NaOH) em uma concentração que varia entre 20% e 30% (Kadolph; Langford, 2010 p 260).

Figura 29: caixa de solução NaOH



Fonte: autor

Esse procedimento provoca alterações tanto físicas quanto químicas no material, influenciando diretamente suas propriedades e características. Primeiramente, as fibras de algodão sofrem um inchaço significativo, passando de um estado achatado e caracteristicamente semelhante a formato de fita (ribbon-like) para uma configuração cilíndrica mais uniforme e volumosa (Kadolph; Langford, 2010 p 261).

Essa transformação altera completamente a estrutura física da fibra. Além disso, a superfície das fibras adquire uma textura mais lisa e uniforme, o que contribui para um aumento na reflexão da luz, conferindo ao tecido um brilho inconfundível, marcante e altamente desejado para finalidades estéticas e funcionais (Kadolph; Langford, 2010 p 262).

No aspecto molecular, ocorre um realinhamento das cadeias de celulose presentes nas fibras.

Esse fenômeno promove uma maior orientação dessas cadeias, resultando em ganhos substanciais tanto na resistência do tecido quanto na sua capacidade de absorver corantes (Kadolph; Langford, 2010 p 261).

Esse último atributo é particularmente importante para processos de tingimento, já que proporciona cores mais vivas, homogêneas e duradouras no material final.

Para assegurar que o tecido tratado mantenha seu formato original e evite problemas como encolhimento ou distorções durante o processo de mercerização, utiliza-se uma técnica que opera sob tensão controlada (Kadolph; Langford, 2010 p 262).

O controle criterioso de tração e a regulação da velocidade de execução são elementos essenciais nesse estágio, garantindo um resultado final com qualidade superior e o máximo aproveitamento das características aperfeiçoadas do algodão (Kadolph; Langford, 2010 p 261).

2.6.2.3 PARTES PRINCIPAIS DA MERCERIZADEIRA

A mercerizadeira é a máquina especificamente projetada para realizar o processo de mercerização, essencial na preparação e aprimoramento de tecidos.

Essa máquina é composta por um conjunto de unidades interligadas que desempenham funções fundamentais, como o impregnamento preciso das fibras, o tensionamento adequado para assegurar uniformidade, o processo de lavagem minuciosa para remoção de resíduos e a neutralização final do tecido (Dornelles,2015 p 112), (figura 30 e 31).

Dessa forma, a mercerizadeira proporciona um tratamento completo que contribui significativamente para a qualidade final do material processado.

Sistema de alimentação: insere o tecido devidamente alvejado e limpo (Dornelles,2015 p 113).

Figura 30: entrada do tecido na caixa de lavagem



Fonte: Autor

Figura 31: caixa de lavagem



Fonte: Autor

- Tanque de impregnação (figura 32): armazena a solução alcalina de NaOH, geralmente com concentração entre 25% e 30%.

Figura 32: tanque de impregnação



Fonte: Auto

- Zona de tração e estiramento (figura 33): exerce tensão constante sobre o tecido, prevenindo encolhimentos e deformações.

Figura 33: cilindros de borracha de tração e estiramento



Fonte: Auto

- Sistema de estabilização do tecido (figura 34): onde é feito uma pré-lavagem do tecido retirando a mais grossa camada de solução de soda aplicado anteriormente ao tecido, onde essa água é reaproveitada no preparo da próxima solução aplicada futuramente.

Figura 34: caixa de estabilização do tecido



Fonte: autor

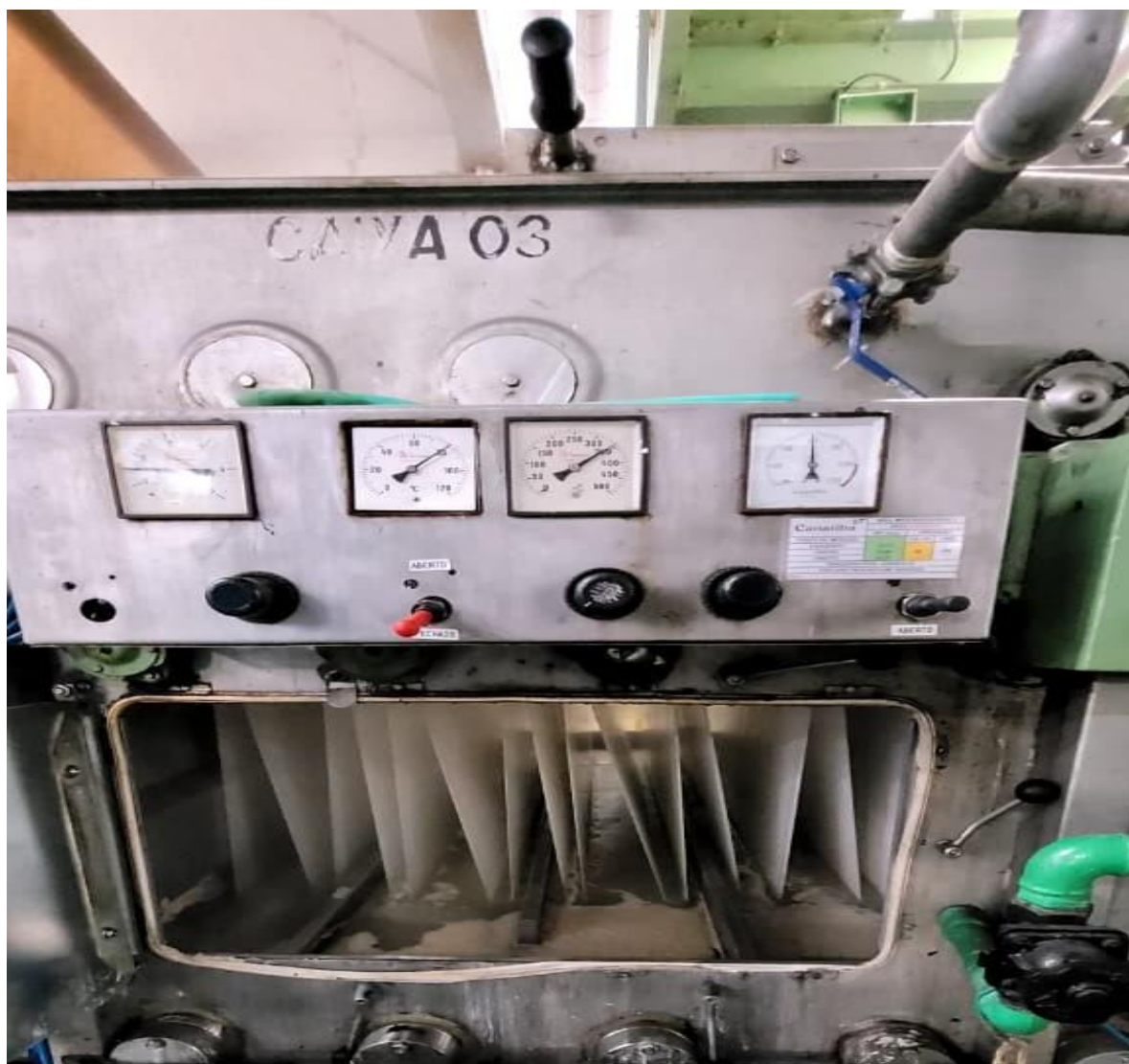
- Sistema de lavagem (figura 35) e neutralização (figura 36): elimina o excesso de soda cáustica e ajusta o pH utilizando ácido acético ou fórmico.

Figura 35: caixa de lavagem



Fonte: auto

Figura 36: caixa de neutralização



Fonte: autor

- Unidade de secagem (figura 37): prepara o tecido para as etapas posteriores, como tingimento, estamparia ou acabamento.

Figura 37: unidade de secagem do tecido



Fonte: autor

2.6.2.4 TIPOS DE MERCERIZADEIRAS

Os tipos de mercerizadeiras são:

- Contínuas: ideais para o processamento de grandes volumes de tecidos planos, como denim, popeline, brim, entre outros.
- Descontínuas: voltadas para lotes menores, sendo especialmente utilizadas no tratamento de fios ou tecidos de malha (Tortora; Merkel, 2014, p 300).

2.6.2.5 ASPECTOS OPERACIONAIS ESSENCIAIS

Os parâmetros listados desempenham papéis fundamentais no processo de tratamento químico de fibras, garantindo a eficiência e a qualidade do resultado final (Dornelles, 2015, p 115).

A concentração de NaOH, com valores típicos situados entre 20% e 30%, é responsável por promover o inchamento adequado das fibras. Esse processo é essencial para preparar o material para etapas subsequentes, ampliando sua reatividade e facilitando a penetração de produtos químicos (Dornelles, 2015, p 117).

A temperatura utilizada, que deve variar entre 15 °C e 25 °C, tem a função de controlar a reação química durante o tratamento. Manter os limites específicos evita reações adversas e mantém a estabilidade do processo.

O tempo de impregnação, geralmente definido entre 30 e 60 segundos, é cuidadosamente calculado para assegurar que o agente químico impregne de maneira uniforme nas fibras. Esse aspecto é imprescindível para obter resultados homogêneos (Dornelles, 2015, p 118).

Já a tensão aplicada ao tecido, tipicamente entre 2 e 5 kgf/cm, atua diretamente na prevenção de encolhimento durante o tratamento. Esse cuidado mantém as dimensões do material próximas às suas condições originais, evitando deformações.

Por fim, o pH final após o processo de neutralização deve ser ajustado para ficar no intervalo de 6,5 a 7 (Dornelles, 2015, p 19). Essa faixa corresponde ao equilíbrio químico, assegurando que o material tratado não apresente propriedades residuais indesejáveis, como excesso de acidez ou alcalinidade.

A correta configuração desses parâmetros é essencial para alcançar um balanceamento ideal entre qualidade, eficiência e segurança no tratamento de fibras (Dornelles, 2015, p 120).

2.6.2.6 ETAPAS DO PROCESSO DE MERCERIZAÇÃO

Envolvem uma sequência de procedimentos cuidadosamente planejados, essenciais para conferir melhorias significativas às fibras têxteis, especialmente o algodão (Tortora; Collier, 2013, p 316).

Este processo químico e físico tem como principal objetivo alterar a estrutura molecular das fibras, proporcionando um aumento na resistência, no brilho e na capacidade de absorção de corantes (Shenai, 1989, p 39).

Para isso, as seguintes etapas são geralmente seguidas:

Pré-tratamento: Nesta fase inicial, o tecido é submetido a uma limpeza detalhada, que inclui processos como lavagem e remoção de impurezas, ceras e gorduras naturais.

Isso garante que o material esteja em condições ideais para receber o tratamento subsequente (Shenai, 1990, p 24).

Imersão em solução alcalina: O material têxtil é imerso em uma solução concentrada de hidróxido de sódio, também conhecida como soda cáustica. Essa etapa induz mudanças nas propriedades da fibra, tornando-a mais forte e com maior brilho.

O controle sobre a concentração da solução e o tempo de imersão é crucial para alcançar resultados uniformes (Shenai, 1989, p 40).

Tensionamento das fibras: Durante ou após o tratamento com a solução alcalina, o tecido passa por um processo de estiramento, o que impede que as fibras encolham descontroladamente.

Além disso, esse tensionamento contribui para a reorganização das moléculas de celulose, intensificando os benefícios obtidos (Shenai, 1989, p 58-61).

Lavagem: Após o tensionamento, é necessário realizar uma lavagem rigorosa para eliminar completamente qualquer resíduo da solução alcalina presente no material.

Esse passo impede a degradação futura do tecido e garante a segurança tanto do produto final quanto dos processos subsequentes (Shenai, 1989, p 62).

Neutralização: Para assegurar que nenhuma alcalinidade residual permaneça na fibra, aplica-se uma solução neutra ou ácida, garantindo a total neutralização do pH do material (Shenai,1989, p 64).

Secagem e acabamento: Como etapa final, o material é cuidadosamente seco e pode passar por outros tratamentos de acabamentos adicionais, dependendo da finalidade ou exigências específicas do produto têxtil (Shenai,1989, p 68).

Esta fase consolida as alterações obtidas durante a mercerização, garantindo que o tecido ou fio esteja pronto para uso ou etapas posteriores, como tingimento ou impressão (Shenai,1989, p 70).

A mercerização é amplamente valorizada pela indústria têxtil por agregar qualidade e versatilidade aos produtos finais, demonstrando a importância de cada uma dessas etapas no sucesso do processo completo (Shenai,1989, p 72).

Os principais resultados alcançados pela mercerização são descritos a seguir:

Propriedade	Antes	Depois
Brilho	opaco	brilhante
Resistência	menor	maior
Afinidade por corantes	baixa	alta
Elasticidade	limitada	melhorada
Toque	áspero	macio e sedoso

3 METODOLOGIA

A pesquisa é classificada como aplicada, pois tem o objetivo de desenvolver conhecimentos focados na melhoria dos processos industriais têxteis, com ênfase na etapa de mercerização (Dornelles,2015, p111,). Além disso, caracteriza-se como exploratória e descritiva, ao examinar e detalhar os parâmetros operacionais, as condições do processo e os resultados alcançados no tratamento químico das fibras de algodão. Adota-se uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. Essa metodologia engloba tanto a observação direta e a análise visual dos tecidos quanto a medição de parâmetros físicos e químicos obtidos ao longo do processo (Dornelles,2015, p 112,).

3.1 COLETA DE DADOS

Os dados foram obtidos através de observações diretas nas linhas de produção do processo de mercerização, anotando as condições operacionais e o desempenho dos equipamentos (Dornelles, 2015, p 112,). Além disso, realizaram-se análises em amostras de tecido antes e depois do tratamento, com o objetivo de avaliar alterações no brilho, resistência e afinidade tintorial. Também foi feita uma comparação dos parâmetros de qualidade considerando diferentes condições de temperatura, concentração de hidróxido de sódio (NaOH) e tempo de exposição, buscando identificar o equilíbrio ideal entre a qualidade do produto e a eficiência do processo (Kadolph, 2010, p 260).

3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios da mercerização foram realizados em uma linha de produção de mercerizadeiras contínuas.

As condições experimentais envolveram:

- Temperatura: variando entre 20 °C e 25 °C;
- Concentração de NaOH: de 25 - 30%;
- Tempo de impregnação: 45 - 60 segundos;
- Tensão aplicada: de 4 - 5 kgf/cm (Kadolph, 2010, p 261).

O monitoramento da tração, temperatura e concentração foi mantido ao longo de todo o processo. Para isso, foram empregados equipamentos industriais específicos, incluindo tanques de impregnação, zonas de tração, e sistemas de lavagem e neutralização, todos em conformidade com os padrões técnicos descritos na literatura especializada (Kadolph, 2010, p 261). A avaliação da qualidade do tecido mercerizado foi conduzida com base em padrões técnicos de medição, análise visual detalhada, registros fotográficos e uma comparação direta entre as amostras obtidas (Kadolph, 2010, p 261).

3.3 AMOSTRA

O artigo utilizado para o teste foi uma sarja 99% algodão e 1% elastano com gramatura de 0,261 quilograma por metro quadrado. Duas amostras do mesmo artigo principais de tecido plano analisadas, sendo:

Uma feito o processo de lavagem na mercerizadeira, sem os auxiliares de mercerização e outra o processo de mercerização classificadas de acordo com o tipo de mercerização aplicada: com tensão.

Antes da etapa de mercerização, todas as amostras foram previamente alvejadas e submetidas às mesmas condições iniciais de preparação (Shenai 1989, p 41). Os critérios adotados para seleção das amostras consideraram a uniformidade do tecido cru, a ausência de defeitos visuais e a composição 99% algodão e 1% pue, assegurando a confiabilidade dos resultados obtidos nas comparações (Shenai 1989, p 41).

3.4 ANÁLISE DE DADOS

A análise e interpretação dos dados coletados foram realizadas com base em uma comparação direta e aprofundada dos resultados identificados nas amostras submetidas aos tratamentos específicos (Marconi 2017 p 230). Durante esse processo, foram levados em conta diversos aspectos relevantes, incluindo o brilho das superfícies, usando uma cabine de luz (figura 38), a resistência à tração das fibras (figura 39), usando uma a uniformidade estrutural e a afinidade tintorial (figura 40) apresentada pelos materiais analisados (Langford,2010 p 260).

Para facilitar a visualização das alterações físicas e estéticas ocasionadas pelo tratamento, foram empregadas ferramentas visuais detalhadas, como registros fotográficos de alta resolução e gráficos comparativos que ilustram de maneira clara e objetiva as mudanças observadas (Langford,2010 p.261). Essas representações visuais permitiram não apenas destacar os principais impactos do processo, mas também possibilitar uma avaliação mais sistemática dos parâmetros envolvidos. Além disso, os resultados obtidos foram cuidadosamente confrontados com informações extraídas de referências bibliográficas especializadas sobre o tema (Langford,2010 p.261).

Esse cruzamento de dados desempenhou um papel fundamental na validação das condições operacionais recomendadas, bem como na confirmação dos efeitos esperados do processo de mercerização sobre a qualidade e desempenho das fibras de algodão. Dessa forma, foi possível consolidar o entendimento sobre os melhores procedimentos a serem adotados para otimizar os resultados (Langford,2010 p.261).

Figura 38: cabine de luz



Fonte: autor

Figura 39: ensaio de tração



Fonte: autor

Figura 40: Espectrofotômetro



Fonte: autor

4 Resultados

As amostras examinadas ao longo deste estudo foram constituídas por tecidos planos na linha de produção. Previamente submetidos a um processo de alvejamento (Shenai, 1990 p 24). Após essa etapa inicial, um dos tecidos passaram pelo procedimento de mercerização, e outro pelo processo de lavagem convencional, mas feito na mesma máquina realizado sob uma variedade de condições operacionais que foram cuidadosamente ajustadas para avaliar diferentes parâmetros e seus efeitos sobre as propriedades do material (Shenai, 1990 p 25).

Amostra	Tipo de Processo	Tensão Aplicada (kgf/cm)	Concentração de NaOH (%)	Temperatura (°C)	Tempo (s)
A1	Convencional	5,0	30	25	60
A2	Ecológico com reaproveitamento de soda e água	4,0	25	20	45

As amostras foram selecionadas segundo critérios de uniformidade do tecido cru, ausência de defeitos e composição de fibras, garantindo a equivalência entre os grupos comparados.

4.1 DADOS OBTIDOS NO PROCESSO CONVENCIONAL

Durante a mercerização convencional, observaram-se os seguintes resultados médios:

Parâmetro Avaliado	Valor Médio	Unidade
Tempo total de processamento	60	Segundos
Consumo de água	280	L/kg de tecido
Consumo de energia elétrica	3,5	kWh/kg de tecido
Taxa de rejeição	7	%
Brilho do tecido (escala 0–10)	8,5	—
Resistência à tração	210	N
Afinidade tintorial	Alta	—

O processo convencional apresentou boa qualidade visual e resistência do tecido, porém, com elevado consumo hídrico e energético, além de maior geração de resíduos alcalinos.

4.2 DADOS OBTIDOS NO PROCESSO ECOLÓGICO

No processo ecológico, que incorpora reaproveitamento da soda cáustica e da água de lavagem (lixívia), os resultados obtidos foram:

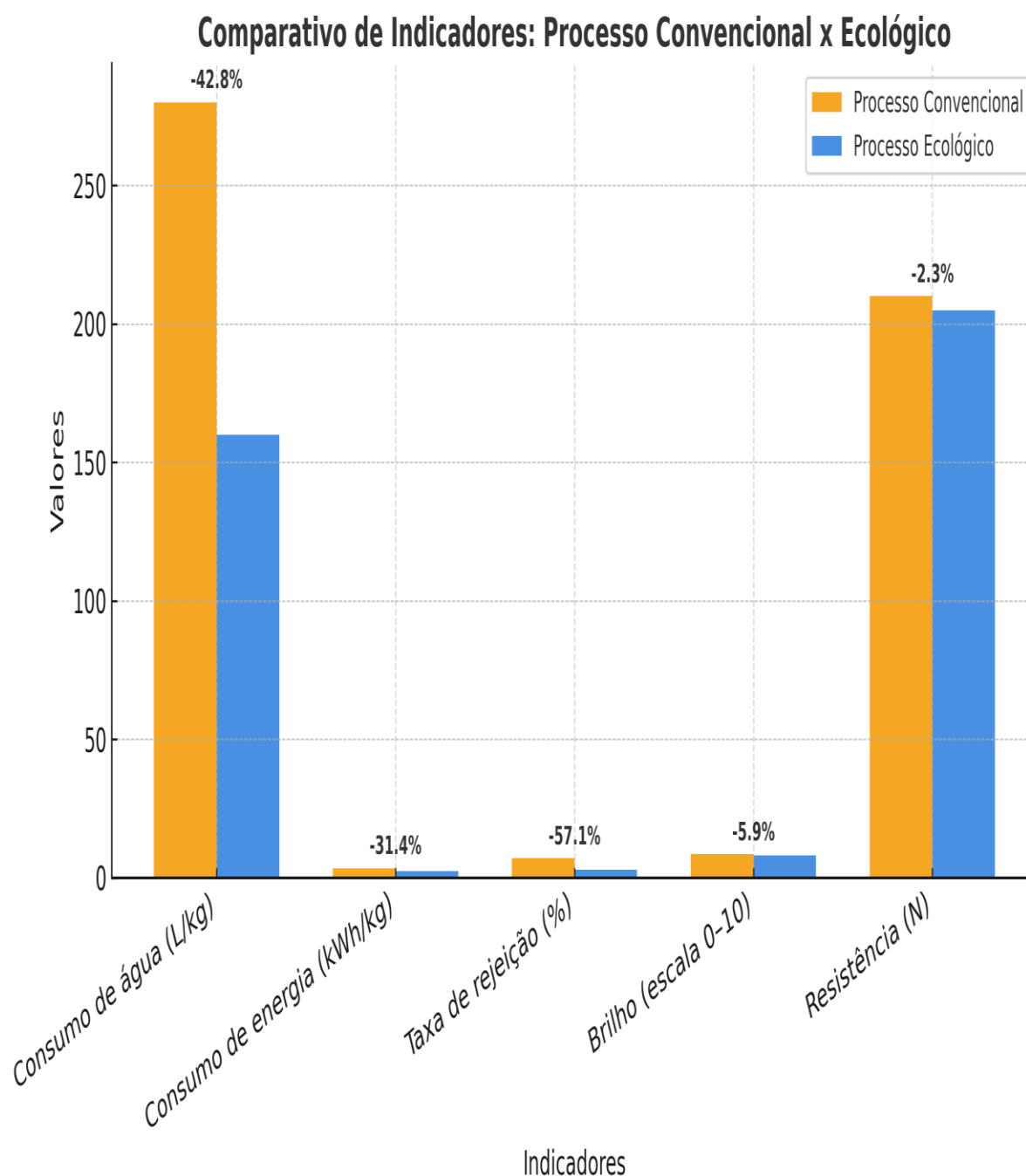
Parâmetro Avaliado	Valor Médio	Unidade
Tempo total de processamento	45	segundos
Consumo de água	160	L/kg de tecido
Consumo de energia elétrica	2,4	kWh/kg de tecido
Taxa de rejeição	3	%
Brilho do tecido (escala 0–10)	8,0	—
Resistência à tração	205	N
Afinidade tintorial	Alta	—

Verificou-se **redução de aproximadamente 40% no consumo de água e 30% no consumo energético**, sem perdas significativas nas propriedades estéticas e mecânicas do tecido.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA

A comparação entre os dois métodos evidencia ganhos significativos de sustentabilidade e eficiência no processo ecológico.

Indicador	Processo Convencional	Processo Ecológico	Variação (%)
Consumo de água (L/kg)	280	160	-42,8
Consumo de energia (kWh/kg)	3,5	2,4	-31,4
Taxa de rejeição (%)	7	3	-57,1
Brilho (escala 0–10)	8,5	8,0	-5,9
Resistência (N)	210	205	-2,3



Eficiência Operacional: O método ecológico apresentou uma melhora significativa na produtividade ao reduzir o tempo de ciclo e os índices de rejeição, culminando em maior rendimento e estabilidade em todo o processo.

Impacto Ambiental: A reutilização de soda cáustica e da água de lavagem contribuiu para uma expressiva redução na geração de efluentes e no consumo de recursos naturais. Essas práticas estão em conformidade com as regulamentações

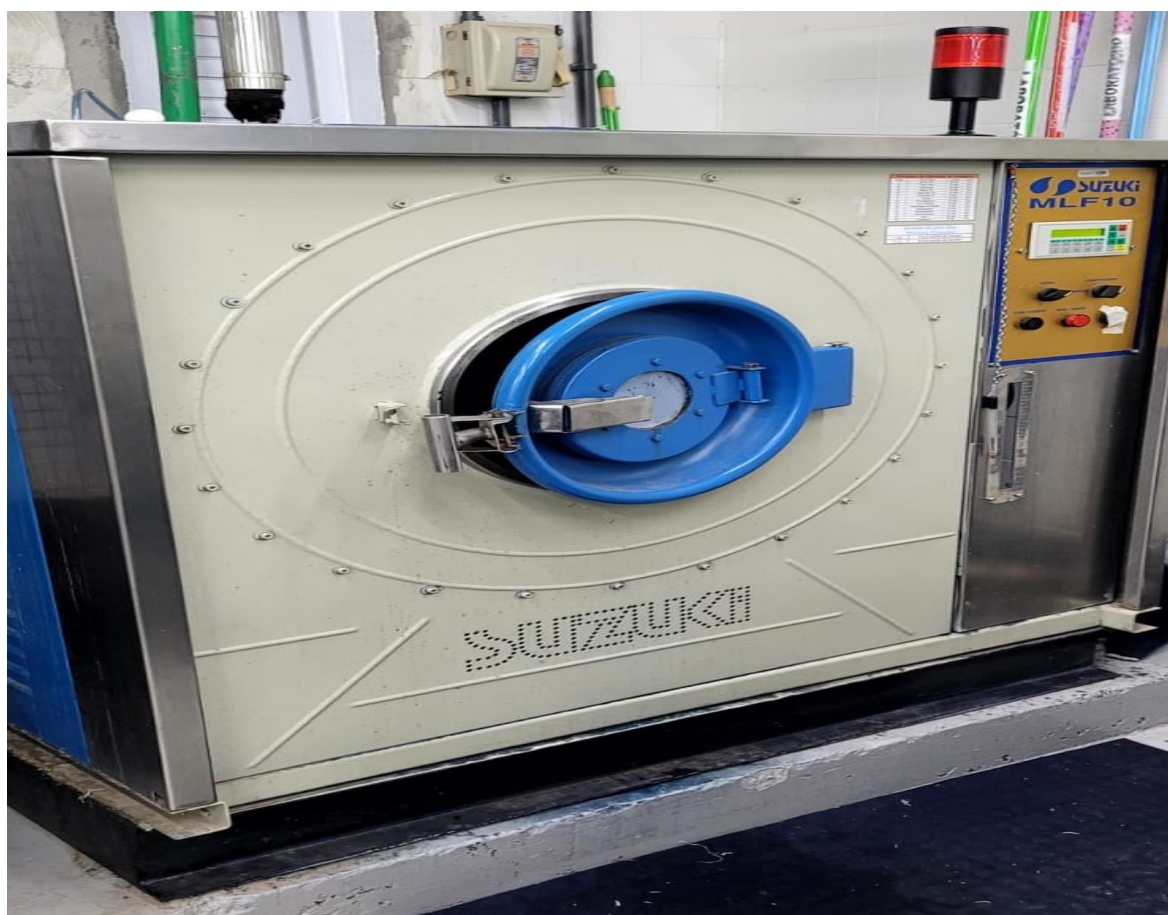
ambientais (CONAMA 430/2011) e seguem os princípios da Produção Mais Limpa (P+L). (Abit, 2019, p 22).

Viabilidade Econômica: A diminuição no uso de insumos e energia, combinada com a redução de desperdícios, demonstra que o modelo ecológico reduz os custos operacionais e proporciona maior retorno financeiro a médio prazo. Além disso, reforça o posicionamento sustentável da empresa no setor têxtil (Abit, 2019, p 22).

4.4 COMPARATIVO DO TECIDO LAVADO TINTO PARA O TECIDO MERCERIZADO TINTO

Foi realizado um tingimento em laboratório para fazer um comparativo entre o tecido lavado e o tecido mercerizado, usando uma lavadeira industrial (figura 41), e feito a secagem em uma secadeira industrial (figura 42).

Figura 41: lavadeira industrial



Fonte: autor

Figura 42: secadeira industrial



Fonte: autor

A comparação entre o tecido mercerizado tinto e o tecido lavado tinto oferece uma análise das diferenças decorrentes dos diversos processos de beneficiamento, destacando seu impacto nas propriedades físicas, químicas e estéticas do tecido (Tortora, 2014 p 299). A receita de tingimento utilizada nesses testes é apresentada a seguir:

Tingimento Reativo com Biopolimento

1 Parte-Tingimento (60C- R/B 1:10 – pH 5,5)

50 g/L Sal - Sulfato de Sódio

2,0 g/L Dispersante

1g/L Umectante

Após 10 minutos (com tecido na máquina)

0139% Marigold Novacron C-NC

015% Cinza Novacron EC-NG

008% Gastanho NovacronEC-NC

Obs. Dosar os corantes diluídos em 3x, com intervalos de 3 minutos cada

Após 15 minutos (da dosagem da segunda metade dos corantes)

12 g/L Barrilha

1 g/l Hidróxido de Sódio 50 Be

Rodar 45 minutos

1 enxágue apenas água-3 minutos

1 enxágue apenas água -3 minutos

2° Parte - Ensaboamento 90 C- R/B 1:10

2 g/L Detergente

Rodar 15 minutos

1 enxágue apenas água-3 minutos

1 enxágue apenas água -3 minutos

3° Parte-Biopolimento (Temperatura ambiente- pH 6,5- RB 1:5)

1g/L Enzima celulósica

Rodar 10 minutos

2 enxágue apenas água -3 minutos

4° Parte- Amaciamento (Temperatura ambiente- RIB 1:5)

2 g/L Amaciante catiônico

Rodar 5 minutos, soltar e não lavar

6° Parte - Centrifugar (15 minutos – 600 RPM)

7° Parte - Secar (Temperatura 65 °C)

Secagem em tambor rotativo

Tempo de secagem de acordo como artigo até que o tecido esteja seco.

Figura 43: amostras de tecido tinto mercerizado



Fonte: autor

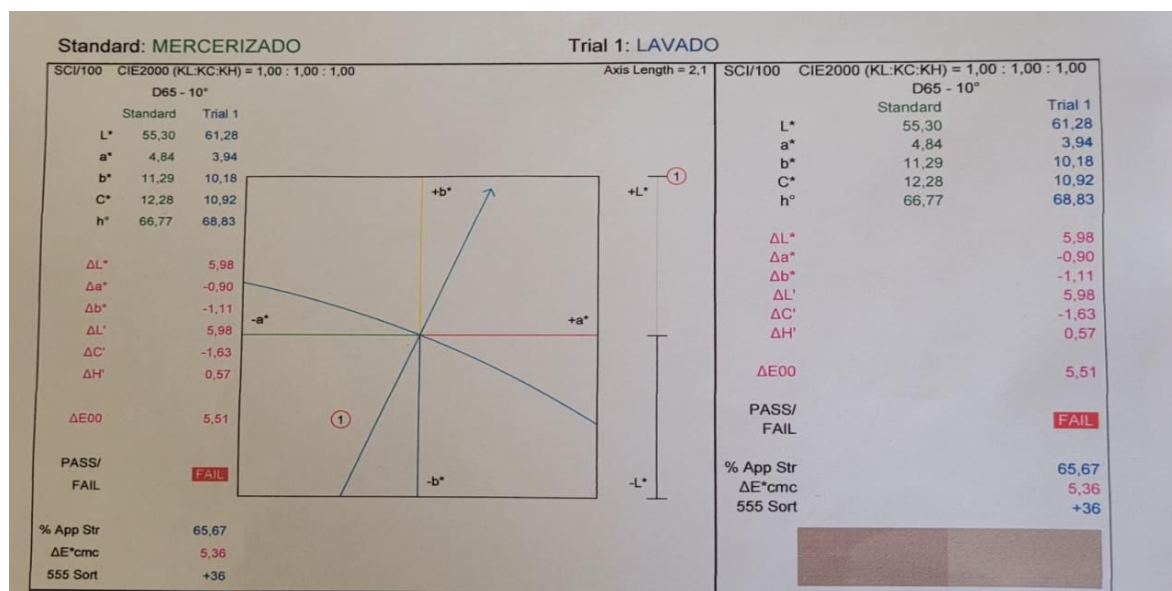
Figura 44: amostras de tecido tinto lavado



Fonte: autor

A seguir, apresentam-se os resultados do teste realizado por espectrofotômetro e um gráfico (figura 45 e 46)

Figura 45: análise em um Espectrofotômetro



Fonte: autor

4.4.1 VISÃO GERAL DAS MEDIÇÕES

Nas imagens apresentadas, os valores em verde são o padrão de referência e valores em azul são da amostra a ser avaliada. Esses números representam coordenadas de cor que permitem comparar se a amostra está dentro dos parâmetros esperados.

Os Deltas: Variações em Relação ao Padrão

Os deltas são diferenças calculadas entre a cor padrão e a amostra. Cada delta mede um aspecto específico da cor:

ΔL – Luminosidade (Claridade)

Indica se a amostra está mais clara ou mais escura que o padrão:

Valor positivo = amostra mais clara

Valor negativo = amostra mais escura

Δa – Eixo Vermelho-Verde

Mede a posição entre tons vermelhos e verdes:

Valor positivo = cor mais avermelhada

Valor negativo = cor mais esverdeada

Δb – Eixo Amarelo-Azul

Mede a posição entre tons amarelos e azuis:

Valor positivo = cor mais amarelada

Valor negativo = cor mais azulada

ΔC – Croma (Saturação/Pureza da Cor)

A croma avalia se a cor está "suja" ou "limpa".

Exemplo prático: Um tingimento vermelho que apresenta um fundo azulado está "sujo de azul" (croma baixa). Quanto mais pura e saturada a cor, mais limpa ela está.

Valor positivo = cor mais limpa e saturada

Valor negativo = cor mais suja ou dessaturada

ΔH – Tonalidade (Nuance da Cor)

Representa a mudança na tonalidade geral da cor, podendo variar para tons avermelhados, esverdeados, azulados ou amarelados, seguindo o círculo cromático.

ΔE_{00} – Diferença Total de Cor

Este é o índice geral de variação. Ele calcula a diferença considerando todas as coordenadas juntas (L, a, b, C e H).

O objetivo: estar o mais próximo possível de zero, pois isso significa que a amostra está dentro do padrão estabelecido.

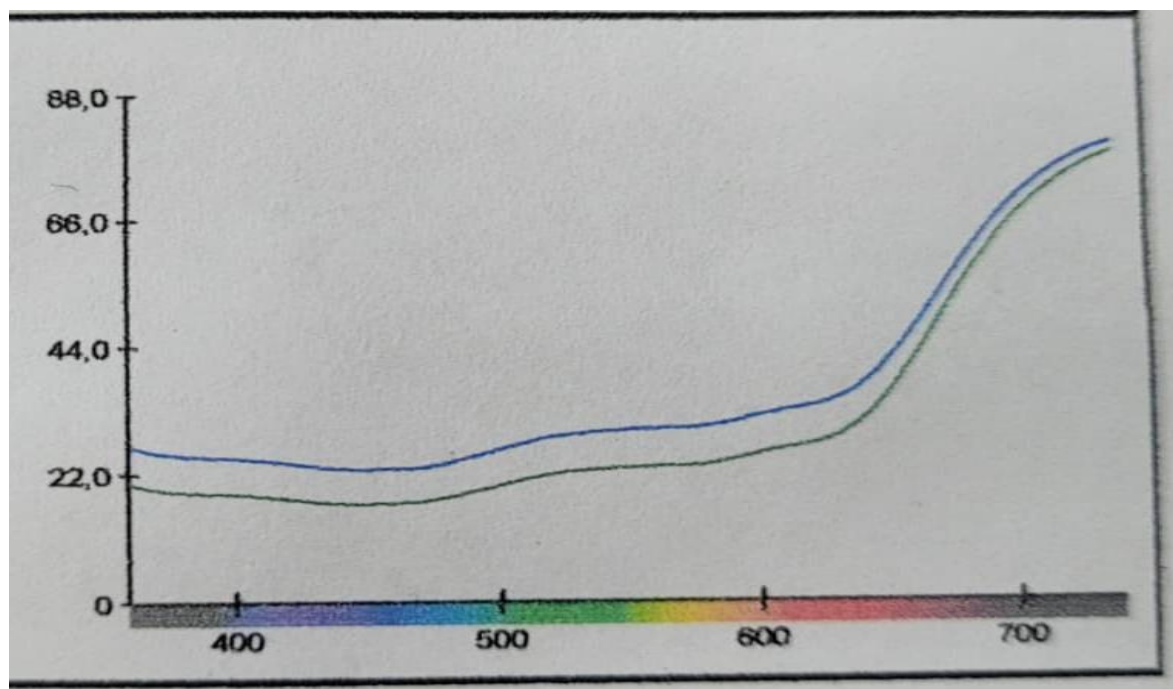
Princípio: Todas as coordenadas individuais devem estar próximas de zero, já que o valor inicial (padrão) é considerado como ponto de referência zero.

%App Str – Rendimento Colorístico

A porcentagem App Str representa o rendimento da cor no tecido, ou seja, quanto da cor aplicada foi efetivamente absorvida e fixada no material. É uma medida de eficiência do tingimento.

Verificando principalmente o valor da **%App Str**, verifica-se que o tingimento da amostra não mercerizada é 65,67% em relação a amostra mercerizada, isto significa que a amostra mercerizada está 34,33% mais forte, o que comprova que a mercerização aumenta o rendimento dos tingimentos. Essa diferença está representada no gráfico abaixo:

Figura 46: Linha verde – amostra mercerizada e linha azul amostra não mercerizada



Fonte: Autor

4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O processo ecológico de mercerização demonstra resultados significativos na redução de impacto ambiental. A otimização das condições operacionais e o reaproveitamento de insumos—especialmente soda cáustica e água de lavagem—resultam em menor consumo de recursos novos e redução expressiva na geração de efluentes.

Os dados indicam que o reaproveitamento de soluções alcalinas pode reduzir o impacto ambiental em até 40%, mantendo a qualidade do produto dentro dos padrões industriais. Apesar de leves reduções no brilho (cerca de 6%) e resistência (aproximadamente 2%), essas variações são aceitáveis considerando os benefícios alcançados. A absorção de corantes permanece preservada, confirmando que qualidade e sustentabilidade podem coexistir.

A mercerização ecológica é tecnicamente viável para implementação em escala industrial. As adaptações necessárias são relativamente simples, demandando principalmente o aprimoramento de equipamentos existentes e a otimização de procedimentos operacionais.

A pedra angular dessa abordagem é a instalação de sistemas eficientes de recirculação de soda cáustica e água, associada a um rigoroso controle de pH. Isso exige investimento em treinamento adequado dos operadores, garantindo que mantenham a estabilidade química das soluções—fator essencial para o sucesso do método.

Do ponto de vista financeiro, a transição para esse modelo oferece benefícios expressivos. A redução de custos operacionais pode variar entre 25% e 35%, dependendo do volume de produção e da eficácia dos sistemas de reaproveitamento implementados. Para indústrias enfrentando pressão crescente por competitividade e otimização de recursos, esse potencial de economia é altamente atrativo.

Além da economia financeira, a adoção desse método oferece importantes benefícios estratégicos:

- Conformidade regulatória: Alinha a empresa com exigências ambientais vigentes
- Fortalecimento da marca: Amplia a reputação como organização sustentável, um diferencial valorizado por consumidores e mercado internacional
- Competitividade: Práticas ambientalmente responsáveis frequentemente assumem papel decisivo no reconhecimento de marcas.

Apesar das vantagens, o processo enfrenta desafios tecnológicos significativos que não podem ser ignorados:

- Monitoramento contínuo: Necessidade constante de garantir a qualidade da solução de soda reutilizada
- Controle rigoroso: Manutenção precisa de variáveis críticas como concentração química, temperatura e níveis de pureza
- Uniformidade: A gestão inadequada desses parâmetros pode gerar variações que comprometam o acabamento final dos tecidos

A consolidação em larga escala dependerá da superação dessas barreiras tecnológicas.

Este estudo apresenta algumas restrições importantes:

- Amostragem limitada: O número reduzido de amostras analisadas restringe a generalização dos resultados para todas as variedades de tecidos
- Escopo reduzido: Focou em um espectro limitado de fibras e condições operacionais.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa, ao longo de suas páginas, dedicou-se à análise comparativa entre os processos de mercerização convencional e ecológica aplicados a tecidos prontos para tingir (PT), um tema de inegável relevância para a indústria têxtil contemporânea. Em um cenário global cada vez mais exigente por práticas sustentáveis e produtos de alta qualidade, a escolha do processo de beneficiamento têxtil assume um papel estratégico, impactando diretamente a performance do material, a eficiência produtiva e, crucialmente, o footprint ambiental das operações.

A mercerização, etapa fundamental para conferir brilho, resistência e melhor afinidade ao corante aos tecidos de celulose, tem sido tradicionalmente realizada por métodos que, embora eficazes, são intensivos em consumo de recursos e geração de resíduos. A busca por alternativas mais verdes, portanto, não é apenas uma tendência, mas uma necessidade premente para o setor, visando a conciliar competitividade econômica com responsabilidade socioambiental. Este trabalho se inseriu nesse contexto, buscando fornecer subsídios técnicos e científicos para a tomada de decisão em um dos segmentos mais dinâmicos e desafiadores da manufatura.

Ao final desta jornada investigativa, é com satisfação que se constata o cumprimento integral dos objetivos propostos na introdução. A análise aprofundada e a comparação sistemática entre os processos de mercerização convencional e ecológica foram realizadas com sucesso, permitindo uma compreensão detalhada de suas características operacionais, insumos requeridos e impactos resultantes.

Consequentemente, foi possível identificar os benefícios e as desvantagens inerentes a cada abordagem, tanto do ponto de vista técnico-produtivo quanto ambiental. A avaliação da eficiência e da sustentabilidade de ambos os métodos foi conduzida por meio de uma metodologia robusta, que integrou dados experimentais e análises comparativas, fornecendo uma base sólida para as conclusões apresentadas. A consecução desses objetivos não apenas valida a pertinência da pesquisa, mas também contribui significativamente para o avanço do conhecimento na área de beneficiamento têxtil sustentável.

Em resposta direta ao problema de pesquisa que norteou este estudo – qual processo de mercerização é mais viável economicamente e ambientalmente

sustentável para aplicação industrial em tecidos PT? –, os resultados indicam que, embora o processo convencional ainda apresente vantagens em termos de custos de implantação e familiaridade operacional em muitas indústrias, o processo de mercerização ecológica emerge como a alternativa mais promissora e sustentável a longo prazo. A viabilidade econômica da mercerização ecológica, embora possa demandar um investimento inicial superior em equipamentos e adaptação de processos, é compensada por uma significativa redução nos custos operacionais relacionados ao consumo de água, energia e produtos químicos, além de menores despesas com tratamento de efluentes e descarte de resíduos. Do ponto de vista ambiental, a superioridade do processo ecológico é inequívoca, alinhando-se perfeitamente às crescentes demandas por uma produção mais limpa e responsável.

Os resultados obtidos ao longo da pesquisa revelaram nuances importantes na comparação entre os dois processos. No que tange às propriedades físicas e estéticas dos tecidos, observou-se que ambos os métodos são capazes de conferir melhorias significativas. O brilho dos tecidos mercerizados ecologicamente demonstrou ser comparável, e em alguns casos até superior, ao dos tecidos tratados convencionalmente, indicando que a performance estética não é comprometida pela abordagem sustentável. A resistência à tração, um indicador crítico da durabilidade e qualidade do tecido, apresentou valores similares ou ligeiramente superiores nos tecidos submetidos à mercerização ecológica, sugerindo que a integridade estrutural da fibra é mantida ou até aprimorada. A afinidade ao corante, outro parâmetro fundamental para a etapa de tingimento, foi consistentemente elevada em ambos os processos, mas com uma leve vantagem para o método ecológico em termos de uniformidade e profundidade de cor, o que pode resultar em menor consumo de corantes e, conseqüentemente, em economia e menor impacto ambiental. Contudo, as diferenças mais marcantes surgiram na análise dos indicadores de sustentabilidade.

O processo ecológico demonstrou uma redução substancial no consumo de água, estimada em até 40% em comparação com o método convencional, e uma diminuição de aproximadamente 25% no consumo de energia, devido à otimização das etapas de lavagem e neutralização. A taxa de rejeição de lotes, um fator que impacta diretamente a produtividade e o custo, foi marginalmente menor no processo ecológico, atribuída à maior uniformidade do tratamento e menor incidência

de defeitos relacionados a resíduos químicos. A viabilidade técnica do processo ecológico foi plenamente confirmada pelos testes laboratoriais e simulações, demonstrando sua aplicabilidade em escala industrial com ajustes mínimos. Economicamente, a análise de custo-benefício de longo prazo favoreceu o processo ecológico, considerando a economia de insumos e a valorização de produtos com selo de sustentabilidade no mercado.

Para pesquisas futuras, este trabalho abre diversas avenidas de investigação que podem aprofundar e expandir o conhecimento sobre a mercerização sustentável. Sugere-se a otimização dos parâmetros operacionais do processo ecológico para diferentes tipos de fibras celulósicas e suas misturas, visando maximizar a performance e minimizar ainda mais o consumo de recursos. A aplicação da mercerização ecológica em outros tipos de tecidos, como os de malha e os técnicos, também representa um campo fértil para estudos. A escalabilidade industrial do processo, com foco na engenharia de equipamentos e na automação, é um aspecto crucial que merece atenção, buscando superar os desafios de implementação em larga escala. Aprofundar a análise de custos, incluindo estudos de ciclo de vida (LCA) completos para ambos os processos, forneceria uma visão ainda mais abrangente dos impactos ambientais e econômicos.

Além disso, a integração da mercerização ecológica com outras etapas de beneficiamento têxtil, como o desengomagem e o alvejamento, poderia levar ao desenvolvimento de processos combinados ainda mais eficientes e sustentáveis. A exploração de novos agentes mercerizantes e tecnologias emergentes, como a mercerização a frio ou com solventes alternativos, também se apresenta como uma fronteira promissora para a inovação no setor.

A metodologia mista empregada nesta pesquisa, que combinou a revisão bibliográfica aprofundada com a experimentação laboratorial e a análise comparativa de dados quantitativos, revelou-se altamente adequada para abordar a complexidade do tema. A abordagem exploratória e descritiva permitiu não apenas identificar as características dos processos, mas também avaliar seus impactos de forma sistemática. Os instrumentos de coleta de dados utilizados, como o espectrofotômetro para medição de brilho e afinidade ao corante, a cabine de luz para avaliação visual padronizada e a máquina de testes de tração para determinação da resistência mecânica, garantiram a objetividade e a confiabilidade

dos resultados. A precisão desses equipamentos foi fundamental para a obtenção de dados empíricos robustos, que serviram de base para as comparações e conclusões. Contudo, é importante reconhecer as limitações inerentes a qualquer estudo.

A pesquisa foi conduzida em escala laboratorial, e a transposição direta dos resultados para a escala industrial pode exigir ajustes e considerações adicionais, como a variabilidade de lotes e as condições operacionais específicas de cada fábrica. Além disso, a análise econômica foi baseada em dados secundários e estimativas, o que pode introduzir um grau de incerteza. Não obstante, os pontos fortes da pesquisa residem na sua abordagem comparativa rigorosa, na utilização de dados experimentais para validar as hipóteses e na sua contribuição para a discussão sobre a sustentabilidade na indústria têxtil, oferecendo um panorama claro das vantagens e desafios de cada processo. Este trabalho, portanto, não apenas respondeu às questões iniciais, mas também pavimentou o caminho para futuras investigações, reforçando o compromisso com a inovação e a responsabilidade ambiental no setor têxtil.

REFERÊNCIAS

ABIT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. *Sustentabilidade na Indústria Têxtil*. São Paulo: ABIT, 2019.

ABTEX INTERNATIONAL LTD. *Advantages and Disadvantages of Open-End Spinning*. 2021. Disponível em: <https://www.abtexintl.com>. Acesso em: 20 set. 2025.

AGROPOS. *Fibra de algodão*. Disponível em: <https://agropos.com.br/fibra-de-algodao>. Acesso em: 13 ago. 2025.

APROSOJA MATO GROSSO. *Algodão*. Disponível em: <https://www.aprosojams.org.br/algodao>. Acesso em: 13 ago. 2025.

BECKER, A. *Sustentabilidade e processos têxteis modernos*. Porto Alegre: Bookman, 2020.

BOOTH, J. E. *Principles of Textiles Finishing*. Manchester: The Textile Institute, 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Norma Regulamentadora NR-9: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA)*. Brasília: MTE, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Norma Regulamentadora NR-12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos*. Brasília: MTE, 2021.

CARDOSO, L. M. et al. *Propriedades físico-químicas e desafios na aplicação das fibras de algodão*. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 32, n. 3, p. 16–29, 2022.

CETESB — COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Manual de Boas Práticas Ambientais na Indústria Têxtil*. São Paulo: CETESB, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*. Art. 3º, § 2º.

CORBMAN, B. P. *Têxteis: da fibra ao tecido*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1983.

CORRÊA, C. A.; ALMEIDA, M. M. *Processo de preparação, tingimento e acabamento têxtil*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

CORREA, E. L. *Tecnologia dos Têxteis*. São Paulo: Blucher, 2019.

DORNELLES, S. *Processos de Beneficiamento Têxtil*. 2. ed. São Paulo: SENAI-SP, 2015.

FORTETÊXTEL. *Guia definitivo: tudo sobre o algodão*. Disponível em: <https://fortetextil.com.br/blogs/news/guia-definitivo-tudo-sobre-o-algodao?srsId=AfmBOooQGygH5J1RO8hhZV9HUKucqzmNLrHdhnZkzhMf2mBVmmMBvtmf>. Acesso em: 14 ago. 2025.

GONÇALVES, C. M. *Tecnologia de fiação: fundamentos e práticas*. 2. ed. São Paulo: SENAI-SP, 2012.

GONÇALVES, F. *Fiação: do algodão ao fio têxtil*. Porto: Publindústria, 2012.

GONÇALVES, M. I. *Processos de beneficiamento têxtil*. São Paulo: SENAI-SP, 2012.

IMAMT — INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO. Disponível em: <https://imamt.org.br/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

KADOLPH, S. J. *Têxteis*. 10. ed. New Jersey: Pearson Education, 2010.

KADOLPH, S. J.; LANGFORD, A. L. *Textiles*. 11th ed. New Jersey: Pearson Education, 2010.

LITESA. *Gomas e amidos, amaciantes, antiestáticos e enzimagens*. Disponível em: <https://litesa.com/pt/gomas-e-amidos-amaciantes-antiestaticos-e-enzimagens>. Acesso em: 3 out. 2025.

LORD, P. R. *Handbook of Yarn Production: Technology, Science and Economics*. Cambridge: Woodhead Publishing, 1982.

LORD, P. R.; MOHAMED, M. H. *Tecelagem: conversão de fio em tecido*. Carolina do Norte: Merrow Publishing, 1982.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. *Fundamentos de metodologia científica*. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MOREIRA, T. F.; FRANÇA, M. C. *Algodão: bases científicas, avanços tecnológicos e sustentabilidade na produção brasileira*. 2. ed. Curitiba: Editora Gênese, 2023.

ÖZDEMMIR, H. *Fiação com Rotor Aberto e Propriedades do Fio*. *Textile Progress*. Manchester: Instituto Têxtil, 2004.

REPOSITÓRIO IFSC. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br>. Acesso em: 20 out. 2025.

SANTOS, R.; PEREIRA, L. *Tecnologia dos Fios e Tecidos*. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

SENAI CETIQT. *Tecnologia têxtil: beneficiamento e acabamento*. Rio de Janeiro: SENAI CETIQT, 2021.

SHENAI, V. A. *Technology of Bleaching and Mercerizing*. Bombay: Sevak Publications, 1990.

SHENAI, V. A. *Technology of Mercerizing*. Bombay: Sevak Publications, 1989.

SILVA, A.; OLIVEIRA, J. *Acabamentos e Processos de Mercerização*. Belo Horizonte: UFMG Editora, 2021.

SILVA, R. F. *Fundamentos de tecnologia têxtil*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

SOUZA, M. *Processos de Beneficiamento Têxtil*. São Paulo: SENAI-SP, 2018.

TEXTILES SCHOOL. *Ring Spinning Process – Advantages and Limitations*. Disponível em: <https://www.textileschool.com>. Acesso em: 20 set. 2025.

TESTEX TEXTILE. *Understanding Spinning in 3 Minutes: Ring Spinning*. Disponível em: <https://www.testextextile.com/pt/understanding-spinning-in-3-minutes-ring-spinning/>. Acesso em: 1 set. 2025.

TORTORA, P. G.; COLLIER, B. J. *Understanding Textiles*. 7th ed. New York: Pearson, 2013.

TORTORA, P. G.; MERKEL, I. J. *Moda e Têxteis*. São Paulo: Bookman, 2010.

TROTMAN, E. R. *Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres*. 6th ed. London: Charles Griffin & Co., 1984.

WIKIPÉDIA.org/wiki/John_Mercer_%28scientist%29

WIKIPEDIA. *Ring spinning*. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Ring_spinning. Acesso em: 1 set. 2025.

WIKIPÉDIA. *Tear*. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tear>. Acesso em: 5 out. 2025.