



FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA “MINISTRO RALPH BIASI”
Curso Superior De Tecnologia Em Produção Textil

FERNANDO LOPES DA SILVA
TIAGO SANTOS DA SILVA

ESTUDOS AVANÇADOS DA PRODUÇÃO DE TECIDOS DENIM
Casos práticos de beneficiamento e testes físicos

AMERICANA, SP
2025

FERNANDO LOPES DA SILVA

TIAGO SANTOS DA SILVA

ESTUDOS AVANÇADOS DA PRODUÇÃO DE TECIDOS DENIM

Casos práticos de beneficiamento e testes físicos

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

Área de concentração: Beneficiamento de Denim

Orientador: Prof. Dr. Daives Arakem Bergamasco

AMERICANA, SP

2025

DA SILVA, Tiago Santos

ESTUDOS AVANÇADOS DA PRODUÇÃO DE TECIDOS DENIM
Casos práticos de beneficiamento e testes físicos . / Tiago Santos da
Silva, Fernando Lopes da Silva – Americana, 2025.

52f.

Estudo de caso (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. Análise de dados 2. Beneficiamento têxtil 3. Têxtil –
processos industriais. I. DA SILVA, Tiago Santos, II. DA SILVA,
Fernando Lopes III. BERGAMASCO, Daives Arakem IV. Centro
Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de
Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi

CDU: 681516
677027
677.02

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

FERNANDO LOPES DA SILVA

TIAGO SANTOS DA SILVA

ESTUDOS AVANÇADOS DA PRODUÇÃO DE TECIDOS DENIM


Casos práticos de beneficiamento e testes físicos

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: Beneficiamento de Denim.

Americana, 02 de dezembro de 2025

Banca Examinadora:



Daives Arakem Bergamasco (Presidente)
Doutor
Faculdade Americana - Ministro Ralph Biasi



Valdecir José Tralli (Membro)
Mestre
Faculdade Americana - Ministro Ralph Biasi



Miguel Ronaldo Galhane (Membro)
Especialista
Faculdade Americana - Ministro Ralph Biasi

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus, por nos conceder saúde, força e determinação para superar todos os desafios durante a elaboração deste trabalho. Somos gratos às nossas famílias, pelo apoio incondicional, amor e compreensão em todos os momentos desta jornada acadêmica. Aos nossos pais, que sempre acreditaram em nosso potencial e nos incentivaram a buscar nossos sonhos.

Agradecemos ao Professor Dr. Daives Arakem Bergamasco pela orientação atenciosa, estímulo constante e por compartilhar seu vasto conhecimento durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi (FATEC Americana) e ao CEETEPS, pelo ambiente propício ao aperfeiçoamento acadêmico e pela infraestrutura que possibilitou a realização dos experimentos e análises.

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão à empresa Canatiba, cuja parceria foi essencial para a realização deste trabalho. Somos muito gratos pela confiança, pelo apoio e pela disponibilidade em compartilhar conhecimento e materiais que enriqueceram muito a nossa pesquisa.

Agradecemos também a todos os colaboradores da Canatiba, que, de forma generosa, contribuíram com suas experiências e recursos, tornando possível o desenvolvimento deste estudo de maneira mais completa e significativa.

Este agradecimento se estende a toda equipe envolvida, que com profissionalismo e atenção, esteve ao nosso lado durante toda a trajetória deste trabalho. Sentimo-nos privilegiados por termos contado com o suporte de pessoas tão dedicadas e comprometidas.

"O denim não é apenas um tecido, mas o resultado de processos têxteis que combinam resistência, funcionalidade e versatilidade, características que o tornaram um material atemporal e amplamente utilizado na moda e na indústria."

(Autor desconhecido)

RESUMO

O trabalho analisa o desempenho físico e mecânico do tecido denim submetido a diferentes tipos de lavagens e ao acabamento químico integrado à sanforização. O estudo fundamenta-se em normas técnicas como ASTM D3107, ISO 13934-1, ISO 13934-2, ISO 13937-2 e ABNT NBR 9925, garantindo padronização e confiabilidade dos ensaios. Foram aplicados testes de tração, rasgo, alongamento, retorno elástico e esgarçamento de costura, avaliando cinco processos de lavagem: padrão, amaciado, destroyer, clareamento com hipoclorito de sódio e clareamento com permanganato de potássio. Os resultados demonstraram que, embora todos os tratamentos tenham se mantido dentro das tolerâncias normativas, os processos oxidativos causaram redução mais significativa na resistência e na recuperação elástica, devido à degradação parcial das fibras celulósicas. O processo destroyer apresentou melhor equilíbrio entre estética e desempenho, conservando boa resistência e aparência visual. A integração entre acabamento químico e sanforização foi eficiente, resultando em encolhimento residual médio de 1,2%, abaixo do limite industrial de 2%. A fundamentação teórica contempla a composição química e propriedades do algodão, fibras de elastano, origens do denim, características físicas e evolução dos processos da indústria têxtil. O estudo destaca a importância do controle de variáveis industriais como temperatura, tempo e concentração química, pois pequenas variações podem alterar significativamente o comportamento do tecido. A pesquisa conclui que o domínio técnico das etapas de beneficiamento é essencial para conciliar desempenho mecânico, qualidade estética e sustentabilidade, reforçando o papel da inovação tecnológica no setor.

Palavras-chaves: Denim; Beneficiamento têxtil; Lavagens industriais; Propriedades mecânicas; Acabamento químico.

ABSTRACT

The study analyzes the physical and mechanical performance of denim fabric subjected to different washing processes and to chemical finishing integrated with sanforization. The research is based on technical standards such as ASTM D3107, ISO 13934-1, ISO 13934-2, ISO 13937-2, and ABNT NBR 9925, ensuring standardized and reliable testing procedures. Tensile strength, tear strength, elongation, elastic recovery, and seam slippage tests were performed to evaluate five industrial washing processes: standard, softening, destroyer, bleaching with sodium hypochlorite, and bleaching with potassium permanganate. Results showed that although all treatments remained within normative tolerances, oxidative processes caused a more significant reduction in strength and elastic recovery due to partial degradation of cellulosic fibers. The destroyer process demonstrated the best balance between aesthetic effect and structural performance, maintaining good resistance and visual appearance. The integration of chemical finishing and sanforization was effective, resulting in an average residual shrinkage of 1.2%, below the industrial limit of 2%. The theoretical framework addresses the chemical composition and properties of cotton and elastane fibers, the origins and characteristics of denim, and the evolution of industrial textile processes. The study highlights the importance of controlling industrial variables such as temperature, time, and chemical concentration, as small variations can significantly affect fabric behavior. The research concludes that technical mastery of the finishing stages is essential to balance mechanical performance, aesthetic quality, and sustainability, reinforcing the role of technological innovation in the textile sector.

Keywords: Denim; Textile finishing; Industrial washing; Mechanical properties; Chemical finishing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Plantação de algodão	15
Figura 2 — Beneficiamento	24
Figura 3 — Fluxograma beneficiamento denim	25
Figura 4 — Chamuscadeira	26
Figura 5 — Lavadeira	27
Figura 6 — Sanforizadeira	28
Figura 7 — Acabamento químico	30
Figura 8 — Processos do substrato têxtil	32
Figura 9 — Lavagens / Receitas.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Tabela de tolerância.....	42
Tabela 2 — Alongamento e retorno.....	43
Tabela 3 — Resistência à Tração.....	44
Tabela 4 — Esgarçamento de costura padrão	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	14
2.1	ALGODÃO.....	14
2.2	ELASTANO	17
2.2.1	CARACTERÍSTICAS	18
2.2.2	APLICAÇÕES E IMPACTO NA INDÚSTRIA TÊXTIL	19
2.3	INDÚSTRIA TÊXTIL GLOBAL E BRASILEIRA	20
2.4	ORIGENS DO DENIM.....	21
2.4.1	EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE PRODUÇÃO	21
2.4.2	TENDÊNCIAS CONTEMPORÂNEAS.....	21
2.4.3	FIBRAS UTILIZADAS	22
2.4.4	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS.....	22
2.4.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS	23
2.5	BENEFICIAMENTO DE TECIDOS.....	23
2.6	CHAMUSCADEIRA.....	26
2.7	LAVADEIRA	27
2.8	SANFORIZADEIRA.....	28
2.8.1	ACABAMENTO QUÍMICO	29
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	FLUXO DE PROCESSO DE BENEFICIAMENTO	32
3.2	TIPO DE AMOSTRA	33
3.3	ENSAIOS LABORATORIAIS DE LAVAGEM	33
3.3.1	TIPOS DE LAVAGENS APLICADAS	33
3.3.2	PARÂMETROS AVALIADOS.....	39
3.4	NORMAS TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	40
3.4.1	ALONGAMENTO E RETORNO – ASTM D3107.....	40

3.4.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO – ISO 13934-1 (MÉTODO TIRA).....	40
3.4.3	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO – ISO 13934-2 (MÉTODO GRAB)	41
3.4.4	RESISTÊNCIA AO RASGO – ISO 13937-2 (MÉTODO TIRA SIMPLES)	41
3.4.5	ESGARÇAMENTO DE COSTURA – ABNT NBR 9925	41
3.5	FAIXAS DE TOLERÂNCIA E VALORES DE REFERÊNCIA	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	RESULTADOS	43
4.1.1	ENSAIOS DE ALONGAMENTO E RETORNO (ASTM D3107) ...	43
4.1.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	44
4.1.3	ESGARÇAMENTO DE COSTURA	45
4.2	DISCUSSÃO	46
5	CONCLUSÃO	48

1 INTRODUÇÃO

O denim, popularmente conhecido como tecido jeans, consolidou-se como uma das matérias-primas mais relevantes da indústria têxtil contemporânea, destacando-se simultaneamente por sua importância econômica, cultural e tecnológica. Embora seu uso inicial estivesse associado a vestimentas de trabalho devido à elevada resistência e durabilidade, ao longo do tempo o denim tornou-se um ícone global da moda e um dos tecidos mais consumidos no mundo (CORBMAN, 1983). Contudo, por trás de sua aparência característica, existe uma cadeia produtiva complexa, composta por operações integradas que exigem precisão técnica e rigoroso controle industrial.

A fabricação do denim envolve etapas fundamentais de beneficiamento, tais como chamuscagem, lavagem, acabamento químico e sanforização, que asseguram ao tecido qualidade visual, estabilidade dimensional e conforto. Conforme afirmam Tortora e Merkel (2014), cada etapa “tem função de aperfeiçoar as propriedades do substrato têxtil, preparando-o para receber os tratamentos subsequentes e atingindo o padrão de desempenho esperado pelo mercado” (p. 276).

O denim é tradicionalmente composto por fibras de algodão; porém, as versões modernas incorporam elastano, conferindo maior flexibilidade e conforto. Segundo Santos e Oliveira (2021), “as fibras de algodão representam a principal matéria-prima de origem vegetal empregada na indústria têxtil mundial, pela combinação entre resistência, maciez e capacidade de absorção” (p. 44). A introdução do elastano revolucionou o jeanswear ao permitir melhor caimento e liberdade de movimento. De acordo com Carver (2015), “as propriedades elásticas do elastano revolucionaram o design de roupas, tornando-as mais ajustáveis e funcionais” (p. 112).

A modernização do beneficiamento têxtil alia eficiência e sustentabilidade, refletindo demandas industriais atuais. Nesse sentido, o SENAI-SP (2023) define o beneficiamento como “um conjunto de operações industriais voltadas à transformação de fibras têxteis em produtos acabados, conferindo cor, textura e propriedades específicas de desempenho” (p. 1). No caso do denim, essas operações influenciam diretamente sua estética e comportamento mecânico, constituindo etapas determinantes para a qualidade do produto final.

A relevância deste estudo reside na necessidade de compreender como cada etapa de beneficiamento afeta o desempenho físico e mecânico do denim. A indústria têxtil atual exige controle rigoroso de variáveis como temperatura, pressão, tempo e concentração química, já que pequenas variações podem comprometer tanto a aparência quanto a durabilidade do tecido. Moreira e França (2023) reforçam que “a integração entre inovação tecnológica e controle de qualidade é indispensável para a produção sustentável e competitiva de tecidos naturais, como o algodão” (p. 112).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral analisar o fluxo de beneficiamento do denim e os efeitos de diferentes processos de lavagem sobre seu desempenho. Foram estudadas as etapas industriais — chamuscagem, lavagem, acabamento químico e sanforização — além da execução de testes laboratoriais utilizando cinco tipos distintos de lavagem: padrão, amaciado, destroyer, clareamento com permanganato de potássio e clareamento com hipoclorito de sódio.

Foram realizados ensaios mecânicos para avaliar como diferentes lavagens afetam a integridade do denim. O estudo busca identificar de que forma os tratamentos químicos e mecânicos do beneficiamento alteram suas propriedades físicas e dimensionais.

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

1. Analisar o comportamento do tecido frente a diferentes tipos de lavagem industrial;
2. Verificar a relação entre o tipo de beneficiamento e as propriedades de tração, rasgo, elasticidade e estabilidade dimensional;
3. Avaliar a eficiência da integração entre acabamento químico e sanforização;
4. Relacionar os resultados obtidos com os limites normativos estabelecidos pelas normas ASTM, ISO e ABNT.

O estudo se justifica pela necessidade de otimizar os processos de beneficiamento, atendendo à demanda por tecidos mais duráveis, com melhor desempenho e menor impacto ambiental. Conforme Tortora e Merkel (2014), o setor têxtil tende a evoluir pela união entre inovação, eficiência e responsabilidade ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

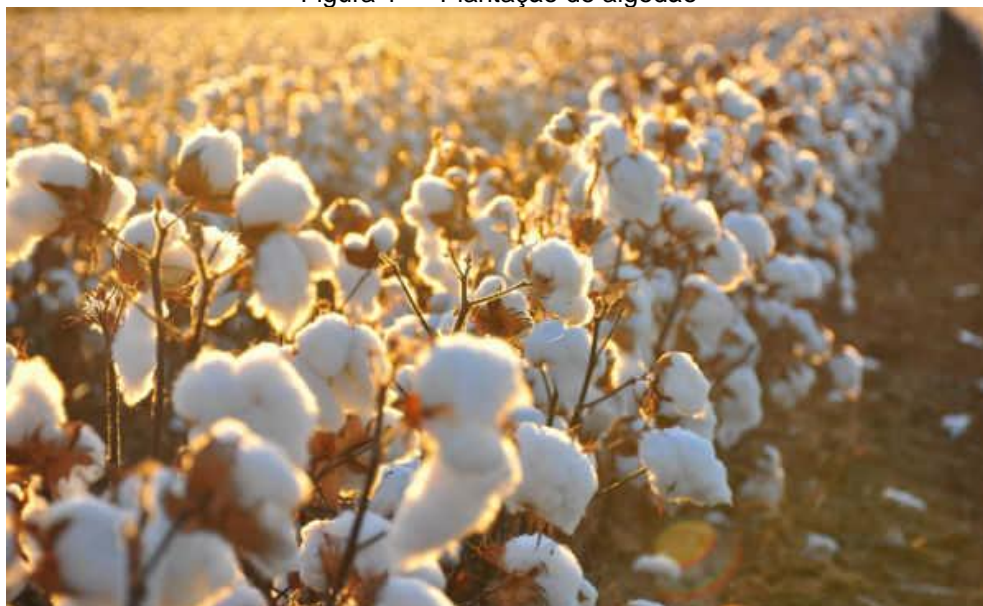
2.1 ALGODÃO

A jornada da fibra de algodão é uma crônica de inovação, comércio e profundas transformações sociais que se estende por mais de sete milênios. Evidências arqueológicas revelam que civilizações antigas no Peru, na Índia e no Egito já dominavam seu cultivo e o transformavam em tecidos. Na Índia, por volta de 3000 a.C., as técnicas de produção e tingimento eram tão avançadas que seus tecidos se tornaram artigos de luxo, cobiçados nas rotas comerciais que conectavam a Ásia ao Ocidente.

Na Europa, o algodão só se popularizou na Idade Média, introduzido por mercadores árabes, mas permaneceu como um produto raro e caro. A grande virada ocorreu com a “Revolução Industrial” na Inglaterra. Invenções como a spinning jenny e o tear mecânico automatizaram a produção de forma exponencial, catapultando o algodão ao posto de principal fibra têxtil do mundo moderno. Essa explosão na demanda industrial gerou uma necessidade insaciável por matéria-prima, o que impulsionou o cultivo em larga escala, principalmente no sul dos Estados Unidos.

A fibra de algodão destaca-se historicamente como uma das principais matérias-primas da indústria têxtil global, com profundos impactos socioeconômicos, culturais e tecnológicos. Seu uso remonta a cerca de 5.000 a.C., quando civilizações do Vale do Indo e do Egito se valeram de suas características para confeccionar vestes e artigos domésticos (Santos; Oliveira, 2021, p. 44). O algodão (figura 1) assumiu papel estratégico tanto mundialmente quanto no Brasil, devido à possibilidade de integração com outros cultivos, ao impacto sobre as cadeias produtivas têxteis e de confecção, e à capacidade de geração de empregos. Atualmente, o Brasil figura entre os cinco maiores produtores e exportadores mundiais, com destaque para estados como Mato Grosso e Bahia, responsáveis por expressivas inovações agroindustriais e intensificação de práticas sustentáveis (Cardoso et al., 2022, p. 17).

Figura 1 — Plantação de algodão



Fonte: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/algodao-organico-o-que-e-e-suas-vantagens>

A inserção de biotecnologias e melhorias genéticas nas últimas duas décadas, especialmente pós-2020, consolidou o algodão brasileiro no cenário internacional, destacando sua relevância não apenas econômica, mas em aspectos tecnológicos e ambientais que dialogam com a crescente demanda por fibras naturais (Moreira; França, 2023, p. 112).

A fibra de algodão é definida tecnicamente como uma célula epidérmica unicelular proveniente da superfície das sementes de espécies do gênero *Gossypium*, representando a principal matéria-prima de origem vegetal utilizada na indústria têxtil (Santos; Oliveira, 2021, p. 47). Do ponto de vista químico, a fibra de algodão é constituída predominantemente de celulose aproximadamente 88 a 96% da sua composição além de pequenas quantidades de ceras, proteínas, pectinas e minerais. Sua estrutura molecular se caracteriza por longas cadeias celulares com ligações β -(1→4)-glicosídicas, conferindo alto grau de polímeros e propriedades mecânicas superiores (Cardoso et al., 2022, p. 18).

A comercialização depende diretamente da qualidade intrínseca da fibra, sendo o comprimento, a resistência e a uniformidade alguns dos principais critérios de valorização no mercado. Segundo Beltrão e Carvalho (2004, p. 32), “a classificação da fibra é indispensável para definir padrões de uso industrial e o preço a ser pago ao produtor, já que fibras longas e resistentes são preferíveis na indústria têxtil”. Além da qualidade, a logística de armazenamento e

transporte exerce papel fundamental na competitividade. Lourenço (2012, p. 58) destaca que um “sistema eficiente de armazenagem e escoamento reduz perdas e amplia o alcance comercial, sobretudo quando voltado para mercados internacionais altamente exigentes”. Nesse sentido, a infraestrutura disponível, como proximidade de portos e rotas comerciais, pode ser determinante para garantir prazos e reduzir custos. Outro fator importante é a padronização e certificação de origem, que confere maior confiabilidade ao produto no cenário internacional. Conforme a ABRAPA (2020, p. 27), práticas de rastreabilidade “têm se tornado requisito indispensável em mercados que valorizam não apenas a qualidade, mas também a sustentabilidade da produção”. O atendimento a padrões como os da International Cotton Association garante maior inserção no comércio global.

Entre as qualidades intrínsecas da fibra de algodão, destacam-se a maciez, resistência à tração, capacidade de absorção, durabilidade, biocompatibilidade e vantagens ambientais em comparação a fibras sintéticas. (Cardoso et al. 2022, p. 19) ressaltam que a celulose organizada em micro fibrilas confere ao algodão notável resistência mecânica, com tenacidade média de 3 a 5 gf/tex, tornando-o ideal para tecidos submetidos a lavagens frequentes e ao desgaste do uso cotidiano. A maciez, relevante para aplicações que demandam conforto, deriva do módulo de elasticidade relativamente baixo (média de 5,5 GPa) e da estrutura tubular das fibras (Moreira; França, 2023, p. 114). A higroscopicidade, associada à abundância de grupos hidroxila na celulose, permite que a fibra absorva e libere umidade rapidamente. Isso resulta em tecidos respiráveis, com toque agradável e reduzido risco de alergias, aspectos valorizados tanto para vestuário quanto para itens hospitalares (Santos; Oliveira, 2021, p. 52).

Quanto à durabilidade, vale salientar a estabilidade da microestrutura quando exposta à luz, calor moderado e agentes químicos comuns em processos de lavagem (Cardoso et al., 2022, p. 22). A biocompatibilidade e biodegradabilidade da fibra de algodão corroboram sua posição de destaque entre as fibras têxteis, sobretudo em contextos que exigem segurança à saúde, como instrumentos médicos e tecidos cirúrgicos (Moreira; França, 2023, p. 118). Adicionalmente, quando os processos produtivos respeitam práticas ambientais modernas como uso racional de defensivos e rotação de culturas os impactos ambientais negativos podem ser significativamente mitigados, posicionando o

algodão como alternativa ecológica relevante frente a polímeros sintéticos não renováveis.

Apesar de suas qualidades, a fibra de algodão apresenta limitações que impõem desafios à competitividade diante de outras fibras naturais e sintéticas. Um dos principais entraves decorre do comprimento relativamente curto das fibras (média de 22 - 35 mm para cultivares comerciais), o que limita a resistência dos fios e dificulta processos de fiação em altas velocidades (Cardoso et al., 2022, p. 24). A heterogeneidade intrínseca, devido a variações morfológicas entre fibras de um mesmo capulho, impacta negativamente na uniformidade e rendimento industrial do produto final (Santos; Oliveira, 2021, p. 55).

Outra limitação relevante é a alta suscetibilidade a mofos, fungos e agentes biológicos, sobretudo em ambientes úmidos sem controle de armazenagem. Além disso, o algodão apresenta tendência à formação de "neps" (aglomerados de fibras curtas), o que afeta a qualidade dos fios e tecidos, demandando tratamentos industriais de purificação e beneficiamento mais intensos (Moreira; França, 2023, p. 120). Em contextos ambientais, ainda que a fibra seja biodegradável, o cultivo do algodão historicamente demandou uso intensivo de água e defensivos agrícolas; entretanto, a adoção de práticas mais sustentáveis e biotecnologias vem gradativamente atenuando tais impactos.

Por outro lado, as fibras de algodão são relativamente menos resistentes ao ataque de microrganismos do que fibras sintéticas e podem amarelecer ou se degradar sob exposição prolongada à luz ultravioleta (Cardoso et al., 2022, p. 26). Essas características requerem inovação contínua em melhoramento genético, manejo agrícola e processos de acabamento industrial para que o algodão mantenha sua relevância frente aos desafios contemporâneos.

2.2 ELASTANO

O elastano foi inventado por Joseph Clois Shivers Jr., um químico americano nascido em 29 de novembro de 1920 em Marlton, New Jersey. Formado em química orgânica pela Duke University, Shivers ingressou na empresa DuPont em 1946 como pesquisador no desenvolvimento de polímeros (INVENT, 2025, p. 1). De acordo com Cabo Verde Tecidos (2023, p. 1), o desenvolvimento de fibras químicas sintéticas como o elastano foi impulsionado

“pela demanda por tecidos de baixo custo e agilidade no mercado têxtil”. Neste contexto, Joseph Shivers iniciou um projeto na DuPont com o objetivo de criar um “elastômero sintético para substituir a borracha”, que era comumente utilizada em vestimentas da época (WIKIPEDIA, 2025, p. 1).

A grande descoberta ocorreu na década de 1950, quando Shivers tentou modificar o poliéster Dacron, produzindo uma fibra elástica que podia suportar calor, ser fiada em filamentos e esticar até 5 vezes seu comprimento original, mantendo sua elasticidade (KIDS KIDDLE, 2025, p. 1).

Após anos de aperfeiçoamento, a nova fibra foi concluída em 1959 e inicialmente chamada de “Fibre K”, sendo posteriormente renomeada como “Lycra”. Conforme explica Tecidos Tecidos (2023, p. 1), “o elastano foi comercializado na indústria têxtil, desde a sua invenção, com algumas marcas como NUMA®, UNEI®, DORLASTAN® e LYCRA®, entre outras”.

A DuPont patenteou a fibra em 1959 sob o nome comercial LYCRA® e iniciou sua comercialização em 1962 (INVENT, 2025, p. 1). De acordo com Shivers, citado por Wikipedia (2025, p. 1), após a descoberta, ele “junto com outros funcionários, buscou aperfeiçoar o novo poliéster”, resultando em uma fibra com características revolucionárias para a indústria têxtil. A fibra de elastano, conhecida como “spandex” nos Estados Unidos e “elastano” na Europa e na maior parte do mundo, rapidamente se tornou um sucesso comercial. No início da década de 1990, a Lycra já era um dos aspectos mais lucrativos do departamento de fibras sintéticas da DuPont (WIKIPEDIA, 2025, p. 1).

2.2.1 CARACTERÍSTICAS

O elastano é uma fibra sintética conhecida por sua elevada elasticidade e resistência. De acordo com Tecidos Tecidos (2023, p. 1), cientificamente o elastano é "um copolímero de uretano-ureia de 95% por poliuretanos segmentados (spandex), com base em um éter polibutenico (um polímero amorfo), que atua como uma mola entre os grupos funcionais de poliuretano formando cadeias longas". Invent (2025, p. 1) destaca que, diferentemente da borracha, a fibra de Shivers "podia esticar cinco vezes seu comprimento original enquanto mantinha sua elasticidade e recuperava quase suas dimensões

originais". Além disso, o elastano é "leve, macio e suave; mais forte e durável; e podia suportar exposição ao suor, loções e detergentes".

Entre as principais características do elastano, destacam-se:

- Alta elasticidade (pode esticar até 5 vezes seu tamanho original)
- Leveza e suavidade
- Resistência a temperaturas elevadas
- Durabilidade superior à borracha
- Resistência a suor, loções e detergentes
- Facilidade de tingimento
- Capacidade de recuperar sua forma original após estiramento

Segundo *The Science of Clothing Comfort* de A. J. K. Ko "as propriedades elásticas do elastano permitem um ajuste confortável e a liberdade de movimento, tornando-o essencial em vestuário moderno" (Ko, 2017, p. 85).

2.2.2 APLICAÇÕES E IMPACTO NA INDÚSTRIA TÊXTIL

O elastano revolucionou diversos segmentos da indústria têxtil, sendo utilizado principalmente em peças que exigem flexibilidade, conforto e ajuste ao corpo. Conforme destaca Kids Kiddle (2025, p. 1), o elastano é amplamente utilizado em "roupas esportivas, trajes de banho, meias e roupas íntimas". Segundo Zanotti (2024, p. 4), "o tingimento dos fios de elastano com corantes ácidos, no processo Vaporizado, conserva suas características de força e elasticidade", o que ampliou suas possibilidades de aplicação na indústria da moda. "O elastano transformou a maneira como as roupas se ajustam ao corpo, proporcionando conforto e liberdade de movimento" (Carver, 2015, p. 112). A versatilidade do elastano permitiu o desenvolvimento de tecidos técnicos para esportes de alto desempenho, trajes de banho mais confortáveis e duráveis, além de revolucionar a indústria de lingerie e moda íntima. Sua aplicação se estendeu também para o setor médico, com o desenvolvimento de meias de compressão e outros dispositivos terapêuticos.

O trabalho de Joseph Shivers no desenvolvimento do elastano foi amplamente reconhecido pela comunidade científica e pela indústria têxtil. Em 1995, Shivers recebeu a Medalha Lavoisier da DuPont, a mais alta honraria da

empresa. Em 1998, foi agraciado com a prestigiosa Medalha Olney por Conquistas em Química Têxtil pela Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis (WIKIPEDIA, 2025, p. 1). Em 2018, Joseph Shivers foi postumamente introduzido no National Inventors Hall of Fame (Hall da Fama dos Inventores Nacionais) pelo desenvolvimento da fibra LYCRA® (spandex), reconhecido como "uma das principais inovações em vestuário do século XX" (INVENT, 2025, p. 1). Joseph Shivers faleceu em 1º de setembro de 2014, em Venice, Flórida, aos 93 anos, deixando um legado inestimável para a indústria têxtil mundial.

2.3 INDÚSTRIA TÊXTEL GLOBAL E BRASILEIRA

A indústria têxtil é um dos setores mais importantes da economia mundial, integrando competências em fiação, tecelagem, acabamento e moda. Segundo dados de mercado, o mercado global de tecidos denim (cotton denim) atingiu cerca de US\$ 18,99 bilhões em 2024 com previsão de crescimento até 2034, refletindo tanto a demanda por roupas jeans quanto pela reutilização de materiais.

No Brasil, o segmento de denim também tem se expandido significativamente. De acordo com a Texbrasil, o país figura entre os cinco maiores produtores e consumidores de denim no mundo. Entre 2020 e 2021, a produção de tecidos índigo cresceu 212%, enquanto a produção de denim aumentou 96% no mesmo período.

A indústria brasileira de jeanswear também tem peso relevante: são cerca de 4.800 unidades produtivas, e em 2021 o setor gerou receita de R\$ 14,2 bilhões, com 304 milhões de peças produzidas, das quais 799 mil foram destinadas à exportação.

Entre os grandes players nacionais, empresas como a Canatiba, com capacidade para produzir mais de 100 milhões de metros lineares de denim por ano, ilustram a força têxtil nacional. Já a Santana Textiles, outra referência, fabrica milhões de metros de denim mensalmente, consolidando-se como uma das maiores da América Latina.

Esses dados mostram que o mercado global e brasileiro de denim se bifurca entre o forte consumo interno, exportação e inovação têxtil, apontando para dinâmicas de crescimento, sustentabilidade e competitividade internacional.

2.4 ORIGENS DO DENIM

A origem do denim remonta ao tecido conhecido como “serge de Nîmes” (da cidade de Nîmes, na França), que deu nome ao termo “denim” (“de Nîmes”). Inicialmente, esse tecido era usado para vestimentas de trabalho, devido à sua resistência e durabilidade.

No século XIX, Levi Strauss e Jacob Davis deram novo uso a esse tecido, confeccionando calças para mineradores durante a corrida do ouro na Califórnia (EUA), estabelecendo assim a gênese do jeans moderno.

2.4.1 EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE PRODUÇÃO

Com a Revolução Industrial, houve grande avanço nas máquinas de fiação e tecelagem, o que impactou diretamente a produção de tecidos como o denim. Por exemplo, o uso de máquinas como a “fiação Jenny” e teares mecanizados permitiu escalar a produção de fios de algodão.

Com o tempo, a produção de denim evoluiu para incluir fios elásticos (“core-spun” com elastano) e misturas de fibras, além do desenvolvimento de diferentes lavagens, acabamentos e tratamentos estéticos que conferem ao jeans variadas aparências (stone wash, enzyme wash, entre outros).

2.4.2 TENDÊNCIAS CONTEMPORÂNEAS

Atualmente, as tendências na produção de denim são fortemente influenciadas pela sustentabilidade, conforto e inovação funcional. Por exemplo, há um crescente uso de fibras recicladas ou blends que reduzem o impacto ambiental, bem como processos de lavagens mais “limpos” e tecnologias para economia de água. Além disso, iniciativas para circularidade do denim têm recebido atenção, transformando o desperdício de jeans pós-consumo em novos

materiais de uso técnico ou de acabamento, como placas não-tecidas ou painéis para construção.

No âmbito da performance, a incorporação de elastano permite maior elasticidade, recuperação de forma e conforto para o usuário, o que é especialmente valorizado em modelos ajustados (“stretch denim”).

2.4.3 FIBRAS UTILIZADAS

O denim clássico é tradicionalmente feito de algodão, por sua alta durabilidade, resistência à tração e bom comportamento frente ao tingimento (especialmente com índigo). Estudos comparativos mostram que o denim 100% algodão tem propriedades mecânicas distintas das misturas com outras fibras, especialmente após lavagens industriais.

Além disso, muitos denims modernos incorporam elastano (spandex/lycra) para proporcionar elasticidade. A presença de elastano em yarns (fios) pode alterar significativamente o comportamento mecânico do tecido: por exemplo, conforme estudo de Yusuf Daşan e Babaarslan, tecidos denim com diferentes proporções de elastano apresentaram variações em crescimento longitudinal, encolhimento e resistência ao rasgo.

Também há pesquisas com outras combinações, como poliéster + algodão + elastano, visando melhorar a estabilidade dimensional, resistência e rigidez dos tecidos.

2.4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS

Do ponto de vista físico, o denim se caracteriza por sua trama “twill” (sarja), que confere densidade, durabilidade e uma textura diagonal. A resistência à tração e ao rasgo varia conforme a composição do fio e da tecelagem. Um estudo publicado no Textile Science Engineering Journal demonstrou que, conforme aumenta a porcentagem de elastano, a resistência à tração diminui (devido à menor tenacidade do spandex em comparação com o algodão), enquanto a elongação de ruptura aumenta, indicando maior “alongamento” do tecido.

Quimicamente, o tingimento do denim tradicional envolve corantes índigo, que se ligam de forma parcial às fibras, criando aquele efeito característico de desgaste ao longo do tempo. Processos de acabamento (lavagens, enzimas, pedras) também podem alterar a estrutura química superficial do tecido, influenciando a fastness de cor, a abrasão e a aparência envelhecida.

2.4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas (resistência à tração, rasgo, alongamento) do denim dependem fortemente da sua composição e construção. No estudo comparativo de Basak, Paul e Rahman, o denim 100% algodão apresentou mudanças significativas de ruptura e força de rasgo após lavagens industriais, comparado com denims mistos.

Além disso, conforme mencionado anteriormente, com a adição de elastano, a força de tração tende a diminuir, mas a elongação (extensão antes da ruptura) e a recuperação elástica aumentam. Esse comportamento é especialmente relevante em aplicações de jeans “stretch”, onde o conforto e a liberdade de movimento são desejados.

2.5 BENEFICIAMENTO DE TECIDOS

O beneficiamento de tecidos compreende um conjunto de processos industriais dividido em etapas primária, secundária e terciária (figura 2), cada uma responsável por transformar fibras naturais ou sintéticas em produtos acabados com características estéticas, de funcionalidade e qualidade apropriadas para uso final (Silva, 2019, p.14-15) (SENAI-SP, 2023, p.1-2). Essas etapas incluem ações como limpeza, desengomagem, purga, alveamento, tingimento, estamparia e diversos tipos de acabamento, consolidando padrões técnicos e normativos fundamentais para o setor (Silva, 2019, p.15-16) (SENAI-SP, 2023, p.2-3).

Figura 2 — Beneficiamento



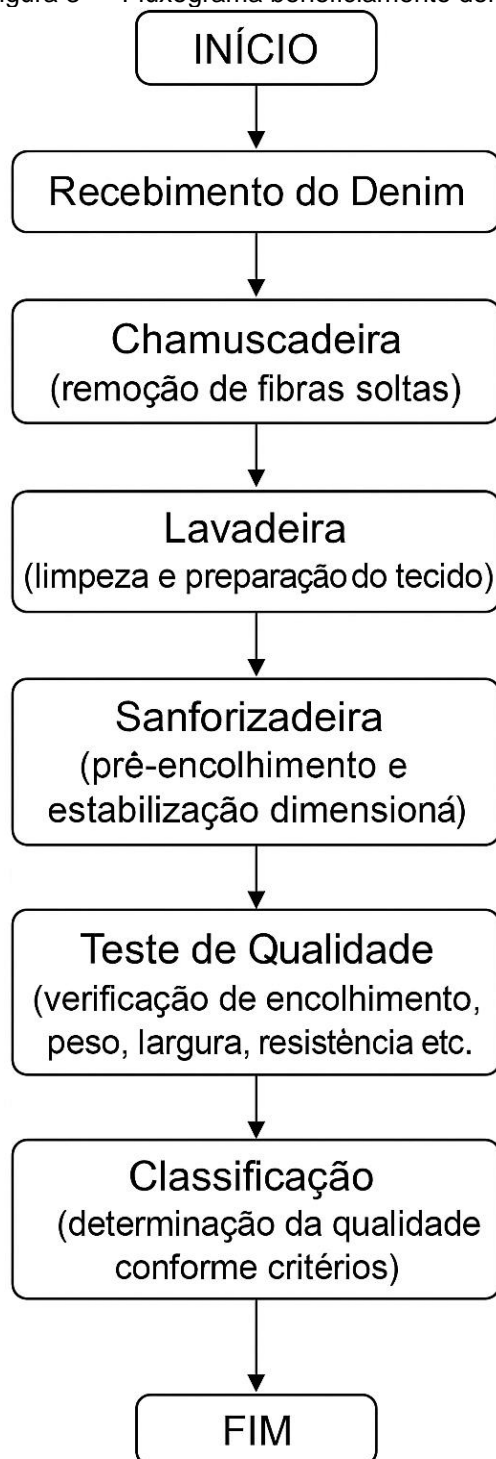
Fonte: Autores (2025)

Historicamente, o beneficiamento nasce da necessidade de melhorar propriedades de tecidos após a tecelagem, tornando o produto apto a receber corantes, estampas e acabamentos (Silva, 2019, p.11). Segundo Sandoz (1975), "o beneficiamento têxtil tem por objetivo melhorar as características do substrato têxtil a fim de que o mesmo receba coloração, ou seja, tingimento ou estampa" (Silva, 2019, p.15). As técnicas evoluíram com o desenvolvimento dos equipamentos e a introdução de procedimentos bioquímicos e químicos, como desengomagem enzimática, purga alcalina e alvejamento com agentes oxidantes (Silva, 2019, p.16-23).

Processos como tingimento, estamparia e acabamento passaram a incluir também sustentabilidade e controle rigoroso de qualidade, refletindo demandas atuais do mercado e regulamentações ambientais (SENAI-SP, 2023, p.1-3). "O processo de beneficiamento têxtil é um conjunto de operações que visa transformar fibras têxteis em produtos acabados, prontos para uso ou consumo. Este processo (figura 3) é fundamental dentro da cadeia produtiva da indústria têxtil, pois é responsável por garantir a qualidade, a funcionalidade e a estética dos tecidos, refletindo diretamente no seu valor agregado" (SENAI-SP, 2023, p.1). O beneficiamento é, assim, um elo crucial para aportar textura, cor, resistência e durabilidade, além de atender padrões normativos e ambientais.

"O beneficiamento têxtil tem por objetivo melhorar as características do substrato têxtil a fim de que o mesmo receba coloração, ou seja, tingimento ou estampa" (Sandoz, 1975 apud Silva, 2019, p.15).

Figura 3 — Fluxograma beneficiamento denim



Fonte: Autores (2025)

2.6 CHAMUSCADEIRA

A chamuscadeira é um equipamento fundamental no acabamento de tecidos, segundo Tortora e Merkel (2014, p. 277), “a máquina chamuscadeira (figura 4) utiliza um sistema de queimadores dispostos estrategicamente para que o tecido, ao passar pela máquina, seja exposto brevemente à chama, removendo uniformemente as fibras superficiais sem danificar a estrutura do tecido”. Além disso, a regulação precisa da velocidade do transporte do tecido e da intensidade da chama é essencial para adaptação a diferentes tipos e gramaturas de denim. De acordo com Corbman (1983, p. 247), “a configuração da máquina, incluindo o posicionamento dos queimadores e os parâmetros operacionais, impacta diretamente na qualidade do acabamento, conferindo ao denim um aspecto liso e uniforme, fundamental para etapas posteriores”.

Figura 4 — Chamuscadeira



Fonte: Autores (2025)

A modernização tecnológica dessas máquinas tem possibilitado a redução do consumo energético e aumento da produtividade. Conforme Gohl e Vilensky (1983, p. 193), “as chamuscadeiras modernas contam com sistemas automáticos de controle de chama e velocidade, o que garante máxima eficiência e menor desperdício de material, além de melhorar a consistência do produto final”. De acordo com Tortora e Merkel (2014, p. 276), “a chamuscagem é

geralmente aplicada em tecidos de algodão, incluindo o denim, para melhorar o brilho, a lisura e a qualidade da superfície”.

No caso específico do denim, essa etapa é considerada essencial, pois evita o aspecto esbranquiçado em etapas posteriores, como no tingimento ou no beneficiamento. Segundo Corbman (1983, p. 245), “a presença de fibras salientes compromete o aspecto estético do tecido, prejudicando seu desempenho e uniformidade no acabamento”.

2.7 LAVADEIRA

A lavadeira (figura 5) é um equipamento importante no processo de beneficiamento de tecidos, atuando principalmente na remoção de impurezas, óleo, sujidades e resíduos químicos após as etapas iniciais de produção. Conforme Kadolph (2010, p. 322), “a eficiência da lavadeira industrial está na capacidade de promover uma lavagem uniforme, ajustando parâmetros como temperatura, velocidade e tempo de ação para diferentes tipos de tecidos, garantindo a qualidade do acabamento têxtil”. Além da limpeza, a máquina contribui para a preparação dos tecidos para processos subsequentes como tingimento, estamparia ou acabamento, pois tecidos mal lavados podem apresentar falhas que prejudicam o resultado final. Segundo Chaudhury (2001, p. 200), “uma lavagem adequada remove as impurezas que poderiam impedir a fixação dos corantes e químicos, aumentando a durabilidade e a uniformidade dos produtos têxteis”.

Figura 5 — Lavadeira



Fonte: Autores (2025)

As lavadeiras modernas se destacam pela automação e pelo controle preciso dos processos, que proporcionam economia de água, energia e químicos, além de garantir maior repetibilidade e desempenho industrial. Hearle et al. (2008, p. 254) ressaltam que “a integração de sensores e softwares avançados possibilita o monitoramento contínuo, ajustando automaticamente o ciclo de lavagem para diferentes lotes, o que otimiza a produção e minimiza desperdícios”. Outra característica importante das lavadeiras é a versatilidade, permitindo o tratamento de diferentes materiais têxteis, sejam naturais, sintéticos ou mistos. Adaptando-se às especificações de cada tecido, o equipamento se torna essencial para o aumento da qualidade e competitividade dos produtos manufaturados.

2.8 SANFORIZADEIRA

Desenvolvida para realizar o processo de sanforização, que consiste no pré-encolhimento controlado de tecidos para garantir estabilidade dimensional. Segundo Tortora e Merkel (2014, p. 289), "a sanforizadeira (figura 6) foi criada para solucionar o problema do encolhimento excessivo dos tecidos após a primeira lavagem, proporcionando maior confiabilidade e qualidade aos produtos têxteis acabados".

Figura 6 — Sanforizadeira



Fonte: Autores (2025)

O princípio de funcionamento da sanforizadeira baseia-se na aplicação simultânea de calor, umidade e pressão mecânica sobre o tecido. De acordo com Kadolph (2010, p. 335), "o processo ocorre quando o tecido passa por cilindros aquecidos onde recebe vapor d'água controlado, seguido de compressão através de uma correia de borracha que força o relaxamento das fibras, simulando o encolhimento que ocorreria naturalmente". A eficácia da sanforizadeira está diretamente relacionada ao controle preciso dos parâmetros operacionais, incluindo temperatura, velocidade de passagem do tecido e pressão aplicada. Conforme Gohl e Vilensky (1983, p. 283), "a temperatura ideal varia entre 160°C e 180°C, enquanto a pressão deve ser ajustada conforme o tipo de fibra e construção do tecido, garantindo que o encolhimento residual seja inferior a 2%". Além da função primária de controle dimensional, a sanforizadeira também melhora outras propriedades do tecido, como toque e caimento. Segundo Corbman (1983, p. 308), "o processo de sanforização proporciona maior maciez ao tecido, melhora o drapeado e confere melhor estabilidade estrutural, características especialmente valorizadas em tecidos de algodão e suas misturas".

As sanforizadeiras modernas incorporam sistemas de controle automatizado que permitem ajustes precisos para diferentes tipos de tecidos e especificações de qualidade. Conforme Chaudhury (2001, p. 278), "a automação dos equipamentos permite maior repetibilidade do processo, redução de desperdícios e otimização do consumo energético, fatores essenciais para a competitividade industrial".

2.8.1 ACABAMENTO QUÍMICO

A sanforizadeira integrada ao acabamento químico (figura 7) representa uma evolução tecnológica no beneficiamento de tecidos denim, combinando o processo de pré-encolhimento controlado com a aplicação simultânea de produtos químicos de acabamento. Segundo Tortora e Merkel (2014, p. 296), "a integração da sanforização com tratamentos químicos permite a aplicação de amaciantes, antirruga e outros acabamentos funcionais durante o processo de estabilização dimensional, otimizando tempo e recursos produtivos". O sistema integrado funciona através da aplicação controlada de produtos químicos por

meio de sistemas de foulardagem ou pulverização, imediatamente antes ou durante o processo de sanforização. De acordo com Kadolph (2010, p. 341), "a combinação de calor, pressão e umidade na sanforizadeira cria condições ideais para a fixação dos produtos químicos de acabamento, garantindo maior uniformidade na distribuição e melhor performance do tratamento aplicado".

Figura 7 — Acabamento químico



Fonte: Autores (2025)

A vantagem competitiva deste equipamento integrado está na redução significativa do número de passadas do tecido e no controle preciso dos parâmetros de aplicação. Conforme Chaudhury (2001, p. 285), "o processamento integrado sanforizadeira-acabamento químico permite maior eficiência energética e redução de custos operacionais, além de proporcionar melhor qualidade final ao denim através do controle simultâneo de múltiplas variáveis". Além disso, a versatilidade do sistema permite a aplicação de diferentes tipos de acabamentos químicos conforme as especificações do produto final. Segundo Gohl e Vilensky (1983, p. 295), "a flexibilidade da máquina sanforizadeira integrada possibilita desde acabamentos básicos como amaciamento até tratamentos especiais como antimicrobiano ou repelente à água, adaptando-se às demandas do mercado de denim".

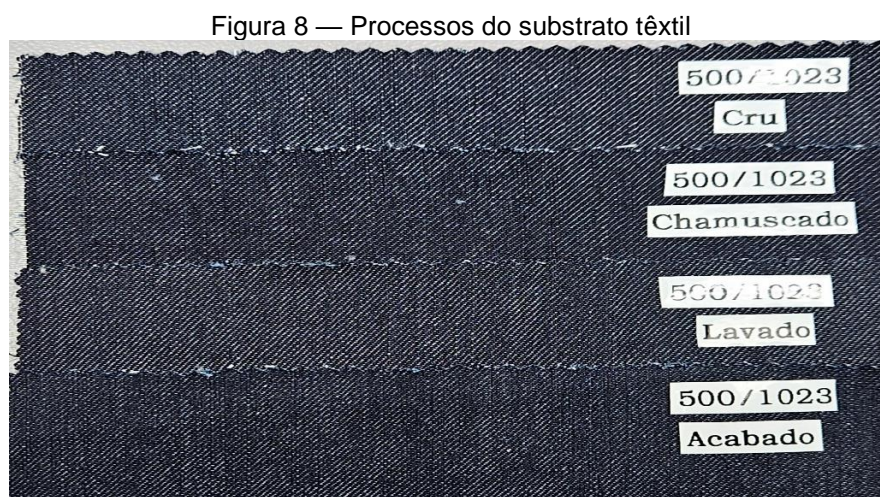
3 METODOLOGIA

3.1 FLUXO DE PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

O estudo foi desenvolvido a partir da observação prática do fluxo de beneficiamento do tecido denim em ambiente industrial e de ensaios realizados em laboratório para análise dos efeitos das etapas de processamento.

O processo produtivo inicia-se na chamuscadeira, onde o tecido cru passa rapidamente pela chama de queimadores para eliminar fibras superficiais. Essa etapa é essencial para conferir lisura e brilho à superfície do denim, preparando-o para os estágios seguintes. Em seguida, o material segue para a lavanderia industrial, onde é submetido à remoção de impureza, óleos e ceras provenientes das fases anteriores de tecelagem. O processo de lavagem é conduzido de forma controlada, com monitoramento de temperatura, tempo e rotação, garantindo a uniformidade do tratamento. Após essa etapa, o tecido passa pelo acabamento químico, no qual são aplicados produtos específicos para melhorar o toque, reduzir o encolhimento e conferir características estéticas ou funcionais. Finalmente, o tecido é direcionado para a sanforizadeira, onde ocorre o pré-encolhimento controlado. Nessa etapa, o tecido recebe calor, umidade e pressão mecânica, estabilizando suas dimensões e garantindo estabilidade dimensional no produto final.

A (figura 8) apresenta os padrões visuais do tecido cru, chamuscado, lavado e sanforizado citados anteriormente.



Fonte: Autores (2025)

3.2 TIPO DE AMOSTRA

Os testes realizados foram feitos sobre amostras de tecido denim com as seguintes características:

Nomenclatura 500/1023.724

Composição 98% Algodão, 2% Elastano

Ligamento sarja 3x1

Gramatura 0,339 Kg/m²

3.3 ENSAIOS LABORATORIAIS DE LAVAGEM

Para a avaliação do comportamento do tecido denim sob diferentes condições de processamento, foram realizados ensaios laboratoriais com cinco tipos distintos de lavagens:

3.3.1 TIPOS DE LAVAGENS APLICADAS

Padrão (Emphasis)

- Umedecer (2 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
- Stonagem (70 minutos -60 °C - pH 6,5 - R/B 1:10)
 - 0,25 g/L Enzima (Microlase NB-D)
 - 0,5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)
- Inativação da enzima (3 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
 - 0,5 g/L Barrilha leve
 - 1º enxágue com barrilha - 3 minutos
 - 2º enxágue apenas água - 3 minutos
- Limpeza (10 minutos - 60° C - R/B 1:10)
 - 0,5 g/L. Antimigrante (Disperdente VKP)
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos

- Amaciamento (5 minutos - Temperatura Ambiente - pH 5,5 R/B 1:5)
 - 2 g/L Amaciante (Nikko Resina Smooth PL Zetta)
- Centrifugar (5 minutos)
- Secar (Temperatura 65 °C)
- Secagem em tambor rotativo
- Tempo de secagem ajustado conforme o substrato têxtil.

Parâmetros de lavagem:

- Tempo aproximado de lavagem 2h00min.
- Velocidade (máquina de lavar) 33 rpm.
- Tempo ligado 27 segundos
- Tempo desligado 4 segundos
- Relação de banho 1:5 e 1:10.

Amaciamento

- Umedecer (2 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
- Amaciamento (5 minutos - Temperatura Ambiente - pH 5,5- R/B 1:5)
 - 3 g/L Amaciante (Nikko Resina Smooth PL Zetta)
- Centrifugar (5 minutos)
- Secar (Temperatura 65 °C)
- Secagem em tambor rotativo
- Tempo de secagem ajustado conforme o substrato têxtil.

Parâmetros de lavagem:

- Tempo aproximado de lavagem 7min.
- Velocidade (máquina de lavar) 33 rpm.
- Tempo ligado 27 segundos
- Tempo desligado 4 segundos
- Relação de banho 1:5 e 1:10.

Destroyer

- Umedecer (2 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
- Stonagem (40 minutos - Temperatura Ambiente - pH 6,5 - R/B 1:10)
 - 0,5 g/L Enzima (Microlase NB-D)
 - 0,5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)
- Inativação da enzima (3 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
 - 0,5 g/L Barrilha leve
 - 1º enxágue com barrilha - 3 minutos
 - 2º enxágue apenas água - 3 minutos
- Alvejamento (15 minutos - 60° C - R/B 1:10)
 - 2 g/L Alvejante (Ricowhite AC Conc.)
 - 0,5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)
 - 3 g/L Peróxido de Hidrogênio 200 volumes
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos
- Amaciamento (5 minutos - Temperatura ambiente - pH 5,5 - R/B 1:5)
 - 3 g/L Amaciante (Nikko Resina Smooth PL Zetta)
- Centrifugar (5 minutos)
- Secar (Temperatura 65 °C)
- Secagem em tambor rotativo
- Tempo de secagem ajustado conforme o substrato têxtil.

Parâmetros de lavagem:

- Tempo aproximado de lavagem 1h15min.
- Velocidade (máquina de lavar) 33 rpm.
- Tempo ligado 27 segundos
- Tempo desligado 4 segundos
- Relação de banho 1:5 e 1:10.

Clareamento com Permanganato de Potássio (KMnO_4)

- Umedecer (2 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
- Stonagem (20 minutos - Temperatura ambiente - pH 6,5 - R/B 1:10)
 - 0,5 g/L Enzima (Microlase NB-D)
 - 0,5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)
- Inativação da enzima (3 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
 - 0,5 g/L Barrilha leve
 - 1º enxágue com barrilha - 3 minutos
 - 2º enxágue apenas água - 3 minutos
- Clareamento (15 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
 - 4,5 g/L Permanganato de Potássio (KMnO_4)
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos
- 1º Neutralização (10 minutos - 50° C - R/B 1:10)
 - 5 g/L Metabissulfito
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos
- 2º Neutralização (10 minutos - 50° C - R/B 1:10)
 - 5 g/L Metabissulfito
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos
- Alvejamento (15 minutos - 60° C - R/B 1:10)
 - 2 g/L Alvejante (Ricowhite AC Conc.)
 - 0,5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)
 - 3 g/L Peróxido de Hidrogênio 200 volumes
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos
- Ensaboamento (10 minutos - 60° C - R/B 1:10)
 - 2 g/L Detergente (Wash Nature ECO)
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos

- Amaciamento (5 minutos - Temperatura ambiente - pH 5,5 - R/B 1:5)
 - 3 g/L Amaciante (Nikko Resina Smooth PL Zetta)

- Centrifugar (5 minutos)
- Secar (Temperatura 65 °C)
- Secagem em tambor rotativo
- Tempo de secagem ajustado conforme o substrato têxtil.

Parâmetros de lavagem:

- Tempo aproximado de lavagem 1h55min.
- Velocidade (máquina de lavar) 33 rpm.
- Tempo ligado 30 segundos
- Tempo desligado 4 segundos
- Relação de banho 1:5 e 1:10.

Clareamento com Hipoclorito de Sódio (NaClO)

- Umedecer (2 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
- Stonagem (30 minutos - Temperatura Ambiente - pH 6,5 - R/B 1:10)
 - 0.5 g/L Enzima (Microlase NB-D)
 - 0.5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)

- Inativação da enzima (3 minutos - Temperatura ambiente - R/B 1:10)
 - 0,5 g/L Barrilha leve
 - 1º enxágue com barrilha - 3 minutos
 - 2º enxágue apenas água - 3 minutos

- Clareamento (15 minutos - Temperatura ambiente pH 7,5-R/B 1:10)
 - 50 g/L Hipoclorito de Sódio (NaClO)
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos

- 1º Neutralização (10 minutos - 50° C - R/B 1:10)
 - 5 g/L Metabissulfito
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos

- 2º Neutralização (10 minutos - 50° C - R/B 1:10)
 - 5 g/L Metabissulfito
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos

- Alvejamento (15 minutos - 60° C - R/B 1:10)
 - 2 g/L Alvejante (Ricowhite AC Conc.)
 - 0,5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)
 - 3 g/L Peróxido de Hidrogênio 200 volumes
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos

- Biopolimento (10 minutos - Temperatura ambiente pH 6,5 - R/B 1:5)
 - 1 g/L Enzima (Hidros TED)
 - 0,5 g/L Antimigrante (Disperdente VKP)
 - 2 enxágues apenas água 3 minutos

- Amaciamento (5 minutos - Temperatura ambiente - pH 5,5 - R/B 1:5)
 - 3 g/L Amaciante (Nikko Resina Smooth PL Zetta)

- Centrifugar (5 minutos)
- Secar (Temperatura 65 °C)
- Secagem em tambor rotativo
- Tempo de secagem ajustado conforme o substrato têxtil.

Parâmetros de lavagem:

- Tempo aproximado de lavagem 2h05min.
- Velocidade (máquina de lavar) 33 rpm.
- Tempo ligado 27 segundos

- Tempo desligado 4 segundos
- Relação de banho 1:5 e 1:10.

A (figura 9) apresenta os padrões visuais das lavagens / receitas “Padrão (Emphasis)”, “Amaciamento”, “Destroyer”, “Clareamento com Hipoclorito de Sódio (NaClO)” e “Clareamento com Permanganato de Potássio (KMnO_4)” citadas anteriormente.

Figura 9 — Lavagens / Receitas



Fonte: Autores (2025)

3.3.2 PARÂMETROS AVALIADOS

Para cada tipo de lavagem, foram avaliados os seguintes parâmetros:

- Resistência à tração;
- Esgarçamento de costura padrão;
- Alongamento e retorno de trama.

3.4 NORMAS TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

O estudo foi conduzido seguindo normas técnicas nacionais e internacionais reconhecidas pela indústria têxtil, garantindo a padronização, confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos. Cada norma define um método específico para a medição das propriedades físicas do tecido denim, considerando as condições de ensaio, dimensões das amostras e critérios de avaliação.

Esses métodos são amplamente empregados em laboratórios têxteis para avaliação de tecidos denim, principalmente em processos de controle de qualidade e desenvolvimento de beneficiamento (SENAI-SP, 2023).

Dessa forma, o presente estudo garante rigor técnico e permite o desempenho do tecido dentro das tolerâncias normativas, correlacionando os resultados obtidos com a performance esperada de um tecido de gramatura média (aproximadamente 339 g/m²), conforme as especificações de resistência e alongamento das normas citadas.

3.4.1 ALONGAMENTO E RETORNO – ASTM D3107

O método ASTM D3107, foi aplicado para determinar o alongamento e o retorno elástico do tecido na direção da trama. A norma avalia o comportamento do tecido elástico sob carga controlada, medindo o percentual de formação quando o tecido é tracionado (alongamento) e o quanto retorna à sua forma original após o alívio da carga (retorno). A finalidade é verificar a elasticidade e a recuperação do tecido após o beneficiamento e as diferentes lavagens.

3.4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO – ISO 13934-1 (MÉTODO TIRA)

A norma ISO 13934-1, descreve o método de tração TIRA, onde no procedimento, uma tira retangular do tecido é cortada nas direções do urdume e da trama e submetida a uma carga de tração até ruptura. A força máxima registrada indica a resistência do tecido à tração. A finalidade é determinar a resistência média à tração em condições uniformes.

3.4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO – ISO 13934-2 (MÉTODO GRAB)

O método ISO 13934-2 é uma variação que utiliza o ensaio GRAB, em que apenas parte da largura da amostra é fixada nas garras do equipamento. Esse método simula o esforço localizado que o tecido sofre durante o uso (como na confecção ou tração pontual), sendo mais sensível a falhas estruturais ou degradações químicas localizadas. A finalidade é avaliar a resistência localizada à tração e identificar pontos de fraqueza provocados por tratamentos mecânicos ou químicos.

3.4.4 RESISTÊNCIA AO RASGO – ISO 13937-2 (MÉTODO TIRA SIMPLES)

A norma ISO 13937-2, padroniza o ensaio de resgo simples (tira simples). Nesse teste, o tecido é cortado em formato específico (“tipo calça”) e submetido à tração até a propagação do rasgo. Mede-se a força necessária para continuar o rasgamento após iniciado. A finalidade é avaliar a resistência do tecido à propagação de rasgos após danos localizados.

3.4.5 ESGARÇAMENTO DE COSTURA – ABNT NBR 9925

A norma ABNT NBR 9925, define o método para avaliar a abertura entre os fios do tecido ao redor da costura quando submetido a tensão. Esse ensaio é fundamental para tecidos destinados à confecção, pois avalia o desempenho do material costurado sob carga de uso. O limite de tolerância adotado é de 6 mm para tecido de gramatura média. A finalidade é medir a estabilidade dimensional da costura e a integridade estrutural do tecido após beneficiamentos.

3.5 FAIXAS DE TOLERÂNCIA E VALORES DE REFERÊNCIA

Os resultados obtidos foram analisados de acordo com os limites estabelecidos pelas normas técnicas listadas na (Tabela 1), que define os valores de referência para tecidos de gramatura média. Essa comparação

permitiu verificar se os parâmetros físicos e mecânicos do tecido atendem às exigências estabelecidas para o controle de qualidade.

Tabela 1 — Tabela de tolerância

Tolerâncias para resistência a Tração Método TIRA - ABNT NBR 14634			
Tolerâncias Conforme - ABNT NBR 14634			
Tipo de Tecido	Gramatura g/M2	Resistência (URDUME)	Resistência (TRAMA)
Leve	Abaixo de 240	500	200
Médio	241 a 410	650	300
Pesado	Acima de 410	1200	800
Tolerâncias para resistência a Tração Método GRAB - ASTM D 6554			
Tolerâncias Conforme - ASTM D 6554			
Tipo de Tecido	Gramatura g/M2	Resistência (URDUME)	Resistência (TRAMA)
Leve	Abaixo de 271	356	178
Médio	272 a 465	578	244
Pesado	Acima de 466	801	312
Esgarçamento de Costura Padrão (ABNT NBR 9925)			
Considerar tolerância de 6 mm para Urdume e Trama.			
% de Alongamento e Retorno (ASTM D3107)			
Tolerâncias - 500/1023.724			
Critério		Tolerância	
Alongamento de Trama		28 a 38	
Retorno de Trama		93 a 100	

Fonte: Autores (2025)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização mecânica e dimensional do tecido 500/1023.724 permitiu de forma criteriosa o impacto dos diferentes processos de beneficiamento e lavagens sobre suas propriedades físicas. Todos os ensaios foram conduzidos conforme os métodos padronizados: ASMT D3107, ISO 13934-1, ISO 13934-2, ISO 13937-1 e ABNT NBR 992, garantindo rigor e reprodutibilidade dos resultados.

4.1 RESULTADOS

4.1.1 ENSAIOS DE ALONGAMENTO E RETORNO (ASTM D3107)

O ensaio de alongamento (tabela 2) e recuperação elástica avaliou a estabilidade dimensional do tecido após as diferentes etapas de lavagem. Segundo o limite de tolerância (28 a 38% para alongamento e 93% a 100% para retorno), observa-se que a maioria dos resultados se manteve dentro do padrão aceitável, com exceção de alguns tratamentos que apresentam leve redução.

Tabela 2 — Alongamento e retorno

% de Alongamento e Retorno (ASTM D3107)			
Artigo	Lote / Material	Alongamento (ASTM D3107)	Retorno (ASTM D3107)
500/1023.724	CRU - LAVADO	34,00	96,00
	CHAMUSCADO - LAVADO	33,00	95,20
	LAVADEIRA - LAVADO	30,00	95,80
	LAVAGEM PADRÃO	26,60	91,90
	AMACIADO	33,20	90,50
	HIPOCLORITO	34,20	89,60
	DESTROYER	32,20	91,70
	PERMANGANATO	28,20	95,00

Fonte: Autores (2025)

A lavagem padrão, o amaciado e o tratamento com cloro apresentaram valores de alongamento e retorno abaixo dos limites de tolerância, indicando perda de elasticidade e redução de recuperação dimensional. Isso sugere que o uso de agentes químicos mais agressivos compromete parcialmente a integridade das fibras, possivelmente devido à oxidação da celulose e à alteração das ligações interfibrilares, conforme apontado por Mendes e Costa (2020).

Os melhores desempenhos foram observados nos tecidos “Cru lavado” e “Chamuscado lavado”, que se mantiveram estáveis, indicando que o controle térmico e químico nessas etapas não comprometeu a estrutura do fio.

4.1.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A resistência à tração, avaliada pelos métodos TIRA e GRAB, indicou a capacidade do tecido de suportar esforços lineares antes da ruptura. De acordo com os parâmetros da ABNT NBR 14634, tecido de gramatura média (241 a 410 g/m²) devem apresentar resistência mínima de 650 N (urdume) e 300 N (trama). Todos os tratamentos atenderam a essa exigência, confirmando bom desempenho estrutural, mesmo após processos químicos e mecânicos intensos (tabela 3).

Tabela 3 — Resistência à Tração

Resistência à Tração (TIRA / GRAB)				
Média-Resistência TIRA (NBR ISO 13934-1) *em Newton		Média-Resistência GRAB (NBR ISO 13934- 2) *em Newton		Tipo de Lavagem
Urdume	Trama	Urdume	Trama	
1.110,65	613,75	673,32	386,14	CRU
1.146,69	436,29	646,03	268,49	CRU - LAVADO
1.198,01	599,38	734,17	378,75	CHAMUSCADO
1.184,28	444,66	690,08	304,20	CHAMUSCADO - LAVADO
1.156,13	575,94	790,89	331,26	LAVADEIRA
1.258,55	467,08	631,57	313,58	LAVADEIRA - LAVADO
1.037,76	608,08	604,22	330,39	SEM LAVAR
1.188,72	430,43	707,61	316,14	LAVAGEM PADRÃO
1.152,68	580,75	704,88	262,89	AMACIADO
1.107,47	449,00	673,07	232,81	HIPOCLORITO
1.226,64	524,69	432,93	260,66	DESTROYER
1.016,70	437,93	583,33	214,87	PERMANGANATO

Fonte: Autores (2025)

Entretanto, nota-se que o tratamento com permanganato apresentou redução significativa da resistência, especialmente na trama (437,93 N no método TIRA e 214,87 N no método GRAB), aproximando-se do limite inferior. Essa diminuição é coerente com o potencial oxidante do permanganato, que degrada parcialmente as cadeias de celulose, tornando o fio mais quebradiço (Souza et al., 2021).

O tratamento amaciado, por sua vez, apresentou equilíbrio entre resistência e elasticidade, indicando que a aplicação de amaciantes promove maior maleabilidade sem comprometer a integridade do fio. Já o destroyer teve desempenho satisfatório no urdume, porém menos na trama, sugerindo que o ataque químico foi mais pronunciado na direção transversal do tecido.

4.1.3 ESGARÇAMENTO DE COSTURA

Os resultados (tabela 4) de esgarçamento de costura permaneceram dentro da tolerância de 6 mm para urdume e trama, com médias de 4,0 mm e 1,5 mm, respectivamente. Isso indica boa resistência na costura, essencial para produtos que exigem alta durabilidade em costuras, como jeans ou sarjas pesadas. Segundo Rodrigues e Lima (2019), o controle de esgarçamento é um dos parâmetros críticos para a performance em vestuário industrial.

Tabela 4 — Esgarçamento de costura padrão

Esgarçamento de uma Costura Padrão		
Esgarçamento de Costura Padrão (NBR 9925) *em milímetro		Tipo de Lavagem
Urdume	Trama	
3.6 mm	2.0 mm	CRU
3.0 mm	1.0 mm	CRU - LAVADO
4.0 mm	1.0 mm	CHAMUSCADO
4.0 mm	1.0 mm	CHAMUSCADO - LAVADO
4.0 mm	1.0 mm	LAVADEIRA
4.6 mm	1.0 mm	LAVADEIRA - LAVADO
4.0 mm	2.0 mm	SEM LAVAR
4.0 mm	2.0 mm	LAVAGEM PADRÃO
5.0 mm	2.0 mm	AMACIADO
4.2 mm	2.0 mm	HIPOCLORITO
4.0 mm	2.0 mm	DESTROYER
4.2 mm	1.0 mm	PERMANGANATO

Fonte: Autores (2025)

4.2 DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos permite compreender, com clareza, o impacto dos diferentes processos de lavagem sobre as propriedades físicas e estéticas do tecido denim 500/1023.724. O comportamento observado reafirma a natureza sensível desse material às variáveis de beneficiamento: pequenas variações de temperatura, tempo de exposição e concentração química são capazes de modificar profundamente seu desempenho mecânico e visual.

Nos ensaios de alongamento e retorno elástico (ASTM D3107), as amostras mantiveram-se majoritariamente dentro dos limites de tolerância. As lavagens padrão, com amaciado e com cloro apresentaram leve redução no retorno elástico, atingindo valores próximos de 90%, o que sugere perda parcial de elasticidade. Essa redução está associada à oxidação parcial das fibras de algodão, causada pelos agentes químicos empregados. De acordo com Tortora e Merkel (2014), a degradação oxidativa das cadeias celulósicas compromete a recuperação elástica do fio, tornando o tecido mais suscetível à deformação permanente.

Por outro lado, as amostras cruas lavado e chamuscado lavado exibiram resultados mais estáveis, preservam tanto o alongamento quanto o retorno, o que indica que tratamentos térmicos e mecânicos bem controlados não prejudicam a estrutura do fio. Esse equilíbrio evidencia a importância de ajustes sutis no processo, já que intervenções químicas excessivas podem reduzir o desempenho do tecido sem agregar valor proporcional ao efeito estético.

A resistência à tração confirmou a robustez estrutural do denim. Todos os resultados permaneceram acima dos limites mínimos exigidos pelas normas – 650 N no urdume e 300 N na trama -, demonstrando que o tecido manteve resistência satisfatória mesmo após lavagens químicas intensas. Entretanto, observou-se uma tendência de declínio progressivo na resistência conforme aumentou a agressividade dos tratamentos. O permanganato de potássio, por exemplo, apresentou os menores valores de resistência (1016,7 N no urdume e 437,9 N na trama), indicando que o processo oxidativo afetou diretamente a integridade das fibras. Em contrapartida, o processo destroyer apresentou equilíbrio entre efeito visual e desempenho físico, com boa estabilidade nas forças de ruptura e aparência superficial atraente – um indicativo de que, quando

controlado, estamento pode oferecer um ótimo custo-benefício técnico e estético.

O esgarçamento de costura, apresentou resultados positivos, com valores médios de 4,0 mm no urdume e 1,5mm na trama, ambos abaixo do limite máximo de 6mm estabelecido pela norma. Esses dados demonstram que, mesmo após sucessivos processos de lavagem, o tecido manteve excelente resistência costurado, assegurando boa performance em costuras e resistência ao uso.

Assim, os resultados encontrados neste estudo reforçam que o controle preciso de cada etapa do beneficiamento é essencial para alinhar qualidade técnica, estética e sustentável. A integração de tecnologia, automação e boas práticas químicas permite que o denim alcance padrões de desempenho superiores, com menor impacto ambiental e maior valor agregado.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que o desempenho físico, mecânico e estético do denim está diretamente relacionado aos parâmetros de beneficiamento aplicados. Observou-se que processos com maior ação oxidativa, como o clareamento com permanganato de potássio e hipoclorito, promoveram redução perceptível na elasticidade e na resistência do tecido, corroborando o que afirma Chaudhury (2001, p. 278), ao destacar que operações intensas podem comprometer propriedades estruturais ao aumentar o desgaste fibroso. Da mesma forma, Gohl e Vilensky (1983, p. 193) ressaltam que a estabilidade do material depende do controle preciso das etapas térmicas e mecânicas, refletindo diretamente na performance final.

O processo *destroyer*, por sua vez, apresentou equilíbrio entre efeito visual e preservação estrutural, mantendo desempenho físico satisfatório e aparência uniforme, alinhando-se à compreensão de Tortora e Merkel (2014, p. 276) de que ajustes adequados permitem atingir resultados estéticos sem comprometer a integridade do tecido. Paralelamente, os ensaios demonstraram que, mesmo após lavagens sucessivas, o denim manteve valores dentro das faixas normativas de resistência, o que reforça a robustez natural da fibra de algodão, já descrita por Cardoso et al. (2022, p. 19) como uma estrutura dotada de alta tenacidade e estabilidade mecânica.

A etapa de acabamento químico integrado à sanforização apresentou resultados expressivos, proporcionando encolhimento residual médio de 1,2%, inferior ao limite industrial, confirmando o que Kadolph (2010, p. 341) descreve como vantagem da interação entre calor, umidade e pressão, que melhora a fixação dos agentes químicos e otimiza a estabilidade dimensional. Essa integração também dialoga com a perspectiva de Chaudhury (2001, p. 285), que argumenta que sistemas combinados reduzem custos, aumentam a eficiência energética e potencializam a qualidade do produto acabado.

Assim, conclui-se que o controle rigoroso das variáveis operacionais — especialmente aquelas relacionadas às lavagens químicas e ao acabamento — é determinante para a produção de um denim que atenda simultaneamente aos requisitos de moda, durabilidade e sustentabilidade. Conforme Silva (2019, p. 14–16) e SENAI-SP (2023, p. 1–3), o beneficiamento têxtil moderno deve

harmonizar desempenho técnico e responsabilidade ambiental, pois tais fatores definem o valor agregado e a competitividade no setor.

Recomenda-se, portanto, que pesquisas futuras explorem novos agentes químicos de menor impacto ambiental, tecnologias de economia hídrica e sistemas automatizados de controle de processo, a fim de acompanhar a crescente demanda global por sustentabilidade e inovação na indústria do denim.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Informação e documentação – Apresentação de citações em documentos. NBR 10520:2023. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Informação e Documentação – Referências – Elaboração. NBR 6023:2018. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABRAPA – Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. Relatório Anual da Produção de Algodão. Brasília: Abrapa, 2020.

Advfn advanced financial network. Algodão. Disponível em: <https://br.advfn.com/investimentos/commodities/algodao/historia>. Acesso em: 2 ago. 2025.

AMPA - Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão. História do algodão. Disponível em: <https://ampa.com.br/historia-do-algodao/>. Acesso em: 2 ago. 2025.

Basak, A.; Paul, S. C.; Rahman, W. A comparative study on physical and mechanical properties of 100% cotton denim and blended cotton denim after industrial washing. *International Journal of Science and Research Archive*, v. 10, n. 1, p. 194–212, 2023.

BELTRÃO, Napoleão Eugênio de Almeida; CARVALHO, Luiz Paulo de. Algodão: tecnologia de produção e usos. Brasília: Embrapa Algodão, 2004.

CABO VERDE TECIDOS. Poliéster, Poliamida e Viscose: História das Fibras químicas. 2023. Disponível em: <https://cabovertedecidos.com.br/historia-textil/poliester-poliamida-e-viscose-historia-das-fibras-quimicas/>. Acesso em: 14 set 2025.

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.

Carver, P. J. M. *Textiles for Sportswear*. Woodhead Publishing, 2015.

CHAUDHURY, H. *Chemical finishing of textiles*. London: Woodhead Publishing, 2001.

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

Daşan, Y.; Babaarslan, O. Stretch and Physical Properties of Weft Stretch Denim Fabrics Containing Elastane and Filament Yarn. *Journal of Textile Science & Fashion Technology*, Iris Publishers, 2020.

GOHL, E. P. G.; VILENSKY, L. D. *Têxtil science: an explanation of fibre properties*. 4. ed. Melbourne: Longman Cheshire, 1983.

HEARLE, J. W. S. et al. *Structural textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008.

INVENT.ORG. Joseph Shivers – The National Inventors Hall of Fame®. 2025. Disponível em: <https://www.invent.org/inductees/joseph-c-shivers-jr>. Acesso em: 13 set. 2025.

KADOLPH, S. J. *Textiles*. 10. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2010.

KIDS KIDDLE. Joseph Shivers Facts for Kids. 2025. Disponível em: https://kids.kiddle.co/Joseph_Shivers. Acesso em: 14 set 2025.

Ko, A. J. K. *The Science of Clothing Comfort*. Woodhead Publishing, 2017.
LOURENÇO, Sérgio Alves. *O Complexo algodoeiro brasileiro: produção, mercado e competitividade*. São Paulo: Editora UNESP, 2012.

Md Abul Shahid; Neslihan Okyay; Osman Babaarslan. A Comparative Analysis of Denim Fabric Performances from Cotton/Polyester Blended Rigid and Stretched Yarns. *Fibers*, v. 12, n. 10, 86, 2024.

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

Nguyen, S.; Nguyen, H.; Tran, N. D. Research on physical and chemical properties of viscose with spandex composition, application for the production of elastic denim fabric. *VNUHCM Journal of Engineering and Technology*, v. 8, n. 4, p. 2655–2662, 2025.

Park, T. Y.; Kim, M.-O. Manufacture and physical properties of the denim fabrics using Hanji paper yarn as weft yarn. *Fashion and Textiles*, v. 5, n. 26, 2018.

Portalsaofrancisco. História do Jeans. Disponível em: <https://Portalsaofrancisco.com.br>. Acesso em: 10 out. 2025.

SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, R. A. *Fibras têxteis de origem vegetal: abordagem contemporânea em estrutura, propriedades e aplicações*. São Paulo: Blucher, 2021.

SENAI-SP. *Beneficiamento Têxtil*. São Paulo: SENAI-SP, 2023.

SILVA, Fabiana Quental Simão da. *Estudo das propriedades físicas durante os processos de beneficiamento têxteis*. Americana: Faculdade de Tecnologia de Americana, 2019.

TEXBRASIL. Brazilian Denim – An expanding industry, 31 mar. 2023.

Disponível em: <https://Texbrasil.com.br>. Acesso em: 10 out. 2025.

TECIDOS TECIDOS. Elastano. 2023. Disponível em:

<http://tecidostecidos.blogspot.com/p/elastano.html>. Acesso em: 20 set 2025.

TORTORA, P. G.; MERKEL, R. S. *Dicionário ilustrado de tecidos*. São Paulo: Blucher, 2014.

UNIVASF. Algodão orgânico: o que é e suas vantagens. Disponível em:

<https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/algodao-organico-o-que-e-e-suas-vantagens>. Acesso em: 2 ago. 2025.

WIKIPEDIA. Joseph Shivers. 2025. Disponível em:

https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Shivers. Acesso em: 20 set. 2025.

ZANOTTI. Poliamida e Poliéster: origem e características desses fios. 2024.

Disponível em: <https://zanotti.com.br/blog/poliamida-e-poliester-origem-e-caracteristicas-desses-fios/>. Acesso em: 21 set. 2025.