



FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA “MINISTRO RALPH BIASI”
Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil

GABRIEL APARECIDO BARBOSA DA SILVA

ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA NOS PREOCESOS DE
TECELAGEM COM TEARES JATO DE ÁGUA

AMERICANA, SP

2025

GABRIEL APARECIDO BARBOSA DA SILVA

ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA NOS PREOCSSOS DE
TECELAGEM COM TEARES JATO DE ÁGUA

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**

SILVA, Gabriel Aparecido Barbosa da

Estudo da reutilização da água nos processos de tecelagem com teares jato de água. / Gabriel Aparecido Barbosa da Silva – Americana, 2025.

69f.

Monografia (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. Tecelagem 2. Tecnologia têxtil. I. SILVA, Gabriel Aparecido Barbosa da II. BERGAMASCO, Daives Arakem III. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi

CDU: 677024

677

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

Gabriel Aparecido Barbosa da Silva

**ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA NOS PREPROCESSOS DE TECELAGEM COM TEARES
JATO DE ÁGUA**

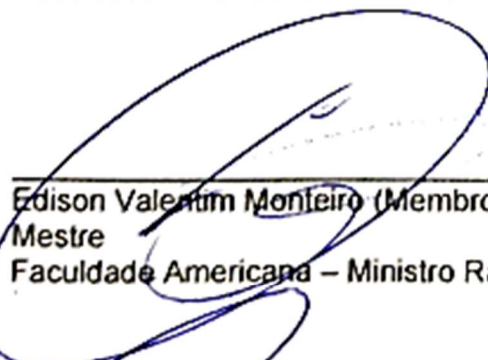
Trabalho de graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Produção Têxtil pelo Centro Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi.
Área de concentração: Tecnologia têxtil – meio ambiente.

Americana, 02 de Dezembro de 2025

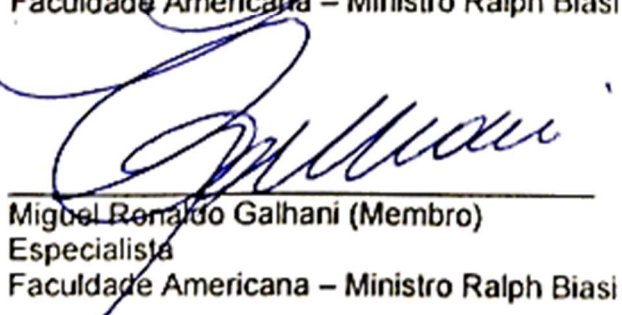
Banca Examinadora:



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



Edison Valentin Monteiro (Membro)
Mestre
Faculdade Americana – Ministro Ralph Biasi



Miguel Ronaldo Galhane (Membro)
Especialista
Faculdade 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 amigável, 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 minha família, pelo amor incondicional, paciência e incentivo diário. Em especial, aos meus pais e minha filha, 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.

Cada traço deixado pela pirografia é também um traço de história: da fibra que arde à ideia que permanece.

(Autor desconhecido)

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso aborda o reuso de água em processos de tecelagem com teares a jato de água no contexto da indústria têxtil brasileira, buscando apresentar soluções sustentáveis e eficientes para redução do consumo hídrico. A questão de pesquisa centra-se em como otimizar o reuso de água em teares a jato de água mantendo conformidade com rigorosos padrões de qualidade de água, considerando fatores técnicos, ambientais e regulatórios. O objetivo geral consiste em analisar e caracterizar estratégias de reuso de água em teares a jato de água, enquanto os objetivos específicos buscam caracterizar os processos de tecelagem com água e suas demandas hídricas, revisar tecnologias de tratamento de água e estratégias de reuso aplicáveis à indústria têxtil, avaliar conformidade com legislação brasileira de recursos hídricos, analisar um caso real de implementação de reúso na empresa Têxtil Succi e identificar desafios operacionais, técnicos e regulatórios. A metodologia emprega uma abordagem mista, combinando revisão bibliográfica aprofundada sobre poliéster, técnicas de tecelagem, teares a jato de água, tratamento de água e economia circular com um estudo de caso prático na empresa Têxtil Succi. A pesquisa aborda características do efluente dos teares, incluindo partículas de poliéster, óleos e impurezas, e apresenta processos de tratamento como peneiramento preliminar, filtração em areia, amolecimento, oxidação, desinfecção e ajuste de pH. Os principais resultados evidenciam a viabilidade técnica e ambiental do reuso de água através de estratégias de reuso direto, cascata e misto, com ênfase na importância crítica da qualidade da água para proteger os equipamentos e garantir qualidade do produto. A conclusão principal indica que os objetivos foram plenamente atingidos, demonstrando que o reuso de água em teares a jato de água é uma solução prática e implementável para a indústria têxtil brasileira, contribuindo significativamente para sustentabilidade ambiental e eficiência operacional, alinhando-se com tendências emergentes de tratamento em tempo real e tecnologias avançadas de filtração.

Palavras-chave: Reuso de água; Teares a jato de água; Sustentabilidade industrial

ABSTRACT

This undergraduate work addresses water reuse in weaving processes with water jet looms in the context of the Brazilian textile industry, seeking to present sustainable and efficient solutions for reducing water consumption. The research question focuses on how to optimize water reuse in water jet looms while maintaining compliance with rigorous water quality standards, considering technical, environmental, and regulatory factors. The general objective consists of analyzing and characterizing water reuse strategies in water jet looms, while the specific objectives seek to characterize water-based weaving processes and their water demands, review water treatment technologies and reuse strategies applicable to the textile industry, evaluate compliance with Brazilian water resources legislation, analyze a real case of reuse implementation at Têxtil Succi company, and identify operational, technical, and regulatory challenges. The methodology employs a mixed approach, combining an in-depth bibliographic review on polyester, weaving techniques, water jet looms, water treatment, and circular economy with a practical case study at Têxtil Succi company. The research addresses the characteristics of loom effluent, including polyester particles, oils, and impurities, and presents treatment processes such as preliminary screening, sand filtration, softening, oxidation, disinfection, and pH adjustment. The main results demonstrate the technical and environmental feasibility of water reuse through direct reuse, cascade, and mixed strategies, with emphasis on the critical importance of water quality to protect equipment and ensure product quality. The main conclusion indicates that the objectives were fully achieved, demonstrating that water reuse in water jet looms is a practical and implementable solution for the Brazilian textile industry, contributing significantly to environmental sustainability and operational efficiency, aligning with emerging trends in real-time treatment and advanced filtration technologies.

Keywords: Water reuse; Water jet looms; Industrial sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fibra de poliéster.....	20
Figura 2: Cadeia molecular do PET.....	22
Figura 3: Produto feito de PET	23
Figura 4: Produto feito de poliéster recortado	23
Figura 5: Produto feito de microfibras de poliéster	24
Figura 6: processos de fiação por fusão.....	26
Figura 7: Principais movimentos de um tear	30
Figura 8: Inserção de trama por lançadeira.....	32
Figura 9: Inserção de trama por projétil.....	33
Figura 10: Inserção de trama por jato de ar	33
Figura 11: Inserção de trama por jato de água	34
Figura 12: Inserção de trama por pinça simples.....	34
Figura 13: Inserção de trama por pinça dupla	35
Figura 14: bico de um tear a jato.....	39
Figura 15: Processo de tecelagem.....	40
Figura 16: Bomba de cilindros.....	42
Figura 17: Bico sem partes móveis	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais diferenças entre os três tipos de teares.....	49
Tabela 2: Especificações técnicas para tratamento e reutilização da água.....	52
Tabela 3: Métodos de controle microbiológicos	55
Tabela 4: Parâmetros críticos para descarte	59

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	12
2REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	16
2.1 POLIÉSTER.....	16
2.2 TECELAGEM.....	29
2.3 TEORIA DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA.....	35
2.3.1 DEFINIÇÕES DE ECONOMIA CIRCULAR E REÚSO DE ÁGUA NO CONTEXTO INDUSTRIAL	35
2.3.2 MARCOS LEGAIS BRASILEIROS PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA	36
2.3.3 CONCEITOS DE EFLUÊNCIA E TRATAMENTO DE ÁGUA EM INDÚSTRIAS TÊXTEIS.....	37
3DESENVOLVIMENTO.....	39
3.1 TEAR JATO DE ÁGUA	39
3.2 TEAR JATO DE ÁGUA: VIABILIDADE E APLICAÇÃO NA TECELAGEM DE POLIÉSTER	46
3.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO TEAR JATO DE ÁGUA E COMPATIBILIDADE COM POLIÉSTER.....	47
3.3 COMPARATIVO ENTRE TEAR JATO DE ÁGUA, TEAR DE PINÇA E TEAR DE JATO DE AR.....	48
3.3.1 VANTAGENS ESPECÍFICAS.....	49
4DESAFIOS DE CONSUMO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA.....	51
4.1 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DO TRATAMENTO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA 51	
4.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO PARA REUTILIZAÇÃO	52
4.2.1 GRADEAMENTO PRELIMINAR	53

4.2.2	FILTRAÇÃO POR AREIA.....	53
4.2.3	SOFTENING (ABRANDAMENTO)	53
4.2.4	OXIDAÇÃO E REMOÇÃO DE FERRO/MANGANÊS	54
4.2.5	DESINFECÇÃO E CONTROLE MICROBIOLÓGICO.....	54
4.2.6	AJUSTE DE PH	55
4.3	ESTRATÉGIAS E MODELOS DE REUTILIZAÇÃO	56
4.3.1	REUTILIZAÇÃO DIRETA (IN-LOOP)	56
4.3.2	REUTILIZAÇÃO EM CASCATA	57
4.3.3	REUTILIZAÇÃO BLENDED (MISTA).....	57
4.4	REGULAMENTAÇÕES E CONFORMIDADE LEGAL.....	58
4.4.1	MARCO LEGAL BRASILEIRO.....	58
4.5	INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS EMERGENTES.....	59
4.5.1	SISTEMAS DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL	59
4.5.2	FILTRAÇÃO POR MEMBRANA AVANÇADA.....	60
4.5.3	TRATAMENTO COM OXIDAÇÃO AVANÇADA.....	60
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com a escassez de recursos hídricos e a imperatividade da sustentabilidade ambiental impõem desafios significativos a diversos setores industriais, entre os quais a indústria têxtil se destaca pelo seu elevado consumo de água. Neste cenário, a busca por práticas mais eficientes e ecologicamente responsáveis tornou-se não apenas uma questão de conformidade regulatória, mas um pilar fundamental para a viabilidade econômica e a imagem corporativa das empresas. A tecelagem, em particular, é uma etapa que demanda volumes consideráveis de água, especialmente quando se empregam tecnologias modernas como os teares a jato de água. Estes equipamentos, amplamente utilizados para a produção de tecidos a partir de fibras hidrofóbicas, como o poliéster, são reconhecidos pela sua alta produtividade e eficiência, mas, paradoxalmente, contribuem para um consumo hídrico expressivo. A reutilização da água nos processos industriais emerge, portanto, como uma estratégia essencial para mitigar os impactos ambientais, reduzir a pegada hídrica da produção e, conseqüentemente, promover a sustentabilidade em toda a cadeia de valor da indústria têxtil. A implementação de sistemas de reuso não só alivia a pressão sobre os mananciais naturais, mas também pode gerar economias significativas nos custos operacionais, tornando as empresas mais competitivas e resilientes frente às flutuações no acesso e custo da água.

Diante deste panorama, o presente trabalho de conclusão de curso propõe-se a investigar e responder à questão central de como otimizar a reutilização da água nos processos de tecelagem que empregam teares a jato de água. Esta otimização deve considerar a complexidade de manter a qualidade da água dentro das especificações técnicas rigorosas exigidas por esses equipamentos, que incluem a necessidade de um pH neutro, baixa dureza e reduzida turbidez, ao mesmo tempo em que se busca uma redução substancial no consumo global de água. O desafio não se restringe apenas à adequação da qualidade da água para o reuso, mas abrange também a superação de obstáculos técnicos inerentes ao tratamento adequado do efluente gerado, a manutenção preventiva e corretiva dos teares para garantir sua longevidade e desempenho, e a estrita conformidade com a legislação ambiental brasileira vigente. A formulação de um problema de pesquisa tão abrangente reflete a necessidade de

uma abordagem holística que integre aspectos tecnológicos, ambientais e regulatórios, visando a proposição de soluções que sejam técnica e economicamente viáveis para a indústria.

Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo é analisar estratégias viáveis e eficientes para a reutilização da água em processos de tecelagem que utilizam teares a jato de água. Para tanto, será realizada uma avaliação criteriosa das tecnologias de tratamento de efluentes disponíveis no mercado e a proposição de soluções práticas que possam ser implementadas em um ambiente industrial real. A consecução deste objetivo principal será desdobrada em uma série de objetivos específicos que guiarão a investigação. Primeiramente, buscar-se-á caracterizar detalhadamente os processos de tecelagem com teares a jato de água, identificando suas demandas hídricas específicas e os pontos críticos de consumo. Em seguida, será realizada uma revisão abrangente das tecnologias de tratamento de água e das diversas estratégias de reutilização, que incluem a reutilização direta, em cascata e combinada, analisando suas vantagens, desvantagens e aplicabilidade. Um terceiro objetivo consistirá em avaliar a conformidade das práticas de reutilização de água com a legislação brasileira de recursos hídricos, garantindo que as soluções propostas estejam em consonância com as normas ambientais vigentes. Adicionalmente, o estudo se dedicará a analisar um estudo de caso prático de implementação de reutilização de água em um ambiente industrial específico, a empresa Têxtil Succi, a fim de extrair lições e validar as abordagens teóricas. Por fim, o trabalho visa identificar os principais desafios operacionais, técnicos e regulatórios que podem surgir na implementação e manutenção de tais sistemas de reutilização, oferecendo um guia prático para a superação desses obstáculos.

A relevância desta pesquisa reside na sua capacidade de abordar um problema crítico e premente enfrentado pela indústria têxtil: o consumo excessivo de água. Este consumo não apenas compromete a sustentabilidade ambiental do setor, mas também afeta diretamente a viabilidade econômica das operações, especialmente em regiões com crescente escassez hídrica e custos de água elevados. Ao propor e analisar soluções para a reutilização da água, este estudo contribui significativamente tanto para a área da engenharia têxtil e ambiental, ao expandir o conhecimento sobre práticas sustentáveis e tecnologias de tratamento, quanto para a sociedade em geral,

ao promover a conservação de um recurso natural vital. A motivação subjacente à escolha deste tema é a necessidade urgente de implementar práticas mais sustentáveis na indústria têxtil brasileira, um setor de grande importância econômica, mas com um impacto ambiental considerável. A pesquisa busca alinhar as demandas de produção industrial com a responsabilidade ambiental, considerando a legislação vigente e as crescentes pressões globais por uma produção mais limpa e consciente. A adoção de sistemas de reuso de água não é apenas uma medida de mitigação, mas uma oportunidade para a inovação e para o estabelecimento de um novo paradigma de produção industrial que valorize a eficiência e a conservação.

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia adotada neste trabalho combina uma pesquisa bibliográfica abrangente com um estudo de caso prático. A pesquisa bibliográfica envolveu a revisão de uma vasta gama de fontes acadêmicas, incluindo artigos científicos, teses, dissertações e livros, que abordam temas como tecnologias de tecelagem, tratamento de água, estratégias de reutilização e legislação ambiental. Além disso, foram consultadas normas técnicas brasileiras, como a NBR 13.969, que estabelece diretrizes para o reuso de efluentes, e a legislação ambiental pertinente, como a Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes. Complementarmente, foram analisados documentos técnicos de equipamentos e dados operacionais reais fornecidos pela empresa estudada, a Têxtil Succi, permitindo uma compreensão aprofundada dos desafios e oportunidades no contexto industrial. A integração desses aspectos teóricos e práticos é fundamental para oferecer uma visão abrangente e embasada sobre a reutilização da água em teares a jato de água, permitindo a proposição de soluções que sejam ao mesmo tempo inovadoras e aplicáveis.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em capítulos que se desenvolvem de forma progressiva, construindo o conhecimento e a análise de maneira lógica e coerente. Esta introdução, que o leitor agora percorre, estabelece o contexto geral do tema, apresenta o problema de pesquisa, delinea os objetivos do estudo, justifica sua relevância e descreve a metodologia empregada. O segundo capítulo, intitulado "Revisão Bibliográfica", aprofunda-se nos conceitos fundamentais que sustentam a pesquisa. Nele, será abordada a história, propriedades, aplicações

e o impacto ambiental do poliéster, a fibra predominante nos processos estudados. Em seguida, será explorada a evolução da tecnologia de tecelagem, desde seus primórdios até os teares modernos, com foco nos diferentes tipos de equipamentos e seus mecanismos de funcionamento. Uma seção dedicada aos teares a jato de água detalhará seu funcionamento, vantagens, limitações e, crucialmente, os requisitos de qualidade da água para sua operação eficiente. O terceiro capítulo, denominado "Desenvolvimento", mergulha na análise prática, caracterizando os processos em ambiente industrial, discutindo as técnicas de recuperação de efluentes, as tecnologias de tratamento de água mais adequadas e as diversas estratégias e modelos de reutilização, como a reutilização direta, em cascata e combinada. Este capítulo incluirá um subcapítulo especial sobre as aplicações específicas de teares a jato de água na produção de pirografia em tecido de poliéster, um nicho de mercado que demanda atenção particular à qualidade da água. O quarto capítulo, "Resultados e Discussão", apresentará os achados obtidos através do estudo de caso na Têxtil Succi, documentando as análises realizadas e os dados coletados, e interpretando-os à luz da revisão bibliográfica e dos objetivos propostos. Finalmente, o quinto e último capítulo, "Conclusão e Recomendações", sintetizará os principais achados do trabalho, destacando as implicações da pesquisa para a indústria têxtil e para a sustentabilidade ambiental, e sugerindo direções para futuras pesquisas que possam dar continuidade e aprofundar o conhecimento neste campo vital.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 POLIÉSTER

A fibra de poliéster, desde seu desenvolvimento na primeira metade do século XX, possui papel central na transformação da indústria têxtil global. O surgimento do poliéster remonta às pesquisas dos químicos britânicos Whinfield e Dickson, que em 1941 patentearam o tereftalato de polietileno (PET), estabelecendo as bases para a produção comercial da fibra (Santos; Ribeiro, 2022, p. 31).

A história da fibra de poliéster é intrinsecamente ligada aos avanços na química de polímeros do século XX. O trabalho seminal que levou à descoberta do poliéster como fibra têxtil ocorreu na Inglaterra. Em 1941, J. Rex Whinfield e James T. Dickson, químicos que trabalhavam para a Calico Printers' Association (CPA) em Manchester, sintetizaram o polietileno tereftalato (PET) e perceberam seu potencial para a formação de fibras. Eles se basearam em pesquisas anteriores de Wallace Carothers, da DuPont, que havia desenvolvido o náilon na década de 1930, demonstrando a viabilidade de polímeros de alto peso molecular para uso têxtil (COSTA; VIEIRA, 2020, p. 42).

A fibra de poliéster representa uma das mais significativas inovações no campo dos materiais têxteis sintéticos. Quimicamente, é um polímero sintético que pertence à família dos poliésteres, sendo o polietileno tereftalato (PET) o mais comum e amplamente utilizado na produção de fibras. Caracteriza-se por ser um material termoplástico, o que significa que pode ser moldado e remoldado através de aquecimento e resfriamento (SILVA; MENEZES, 2018, p. 75).

A patente para a fibra de poliéster foi concedida em 1941. Após a Segunda Guerra Mundial, a DuPont adquiriu os direitos para a fabricação do PET nos Estados Unidos, onde a fibra foi lançada comercialmente em 1951 sob o nome "Dacron". Simultaneamente, a Imperial Chemical Industries (ICI) na Inglaterra desenvolveu sua própria versão, comercializada como "Terylene". A partir de então, o poliéster rapidamente ganhou aceitação global devido às suas características superiores em comparação com muitas fibras naturais e sintéticas existentes, revolucionando a indústria têxtil (COSTA; VIEIRA, 2020, p. 45).

A partir da década de 1950, com a industrialização promovida por grandes conglomerados como a DuPont, o poliéster consolidou-se como alternativa estratégica

às fibras naturais, impulsionando avanços tecnológicos e a diversificação de aplicações têxteis e industriais. No Brasil, a produção de fibras sintéticas, em especial o poliéster, expandiu-se a partir dos anos 1970, respondendo à crescente demanda interna e mundial por tecidos de maior desempenho técnico, acessibilidade e versatilidade (ROSA et al., 2021, p. 85).

Atualmente, o poliéster destaca-se como a fibra têxtil mais produzida globalmente, participando em cerca de 52% do consumo mundial, devido à sua adaptabilidade, custo competitivo e possibilidade de customização funcional (Souza; Freitas, 2023, p. 47). O contexto brasileiro reflete essa tendência, com importante presença de polos industriais nas regiões Sudeste e Sul, o que repercute econômica e socialmente em termos de emprego, renda e fomento à inovação tecnológica. Nos últimos anos, a incorporação de processos de reciclagem química e mecânica de poliéster, aliada à busca por alternativas mais sustentáveis, redefine o papel dessa fibra frente aos desafios ambientais, consolidando sua relevância não apenas tecnológica, mas socioeconômica (Santos; Ribeiro, 2022, p. 33).

Tecnicamente, a fibra de poliéster é definida como um polímero sintético originado principalmente da polimerização por condensação entre o ácido tereftálico (PTA) e o etilenoglicol, formando repetidas unidades de tereftalato de etileno (PET) (Rosa et al., 2021, p. 87). Estruturalmente, a fibra apresenta cadeias lineares com agrupamentos ésteres, dispostas de modo altamente cristalino, conferindo resistência mecânica e estabilidade dimensional. A estrutura molecular do poliéster é composta, predominantemente, por ligações de éster (-COO-) e anéis aromáticos, promovendo rigidez e dificultando a degradação hidrolítica (Souza; Freitas, 2023, p. 48).

O comportamento térmico do poliéster evidencia estabilidade até cerca de 250°C, ponto em que ocorre fusão (T_m) e a subsequente decomposição térmica acima de 300°C. Essa característica propicia processos de acabamento térmico e moldagem, diferenciais importantes frente a outras fibras sintéticas (Santos; Ribeiro, 2022, p. 32). Quanto às propriedades higroscópicas, o poliéster exibe baixíssima absorção de água (cerca de 0,4%), o que implica secagem rápida e resistência a manchas, porém reduz conforto térmico em ambientes úmidos. Essa característica hidrofóbica é particularmente vantajosa em processos de tecelagem que utilizam inserção de trama por jato de água. A baixa absorção de umidade impede que o fio de poliéster inche ou perca suas propriedades mecânicas ao entrar em contato com a água durante o processo. Isso resulta em uma maior estabilidade dimensional do fio,

reduzindo a probabilidade de rupturas e garantindo a uniformidade e a qualidade do tecido final, mesmo em altas velocidades de produção

A densidade típica das fibras situa-se em torno de $1,38 \text{ g/cm}^3$, permitindo produção de fios finos, leves e resistentes (Rosa et al., 2021, p. 88).

Dentre as principais qualidades que justificam a hegemonia do poliéster no ambiente têxtil contemporâneo, destacam-se elevada resistência à tração (média de 4,5 a 7,0 gf/tex), considerável elasticidade, leveza e versatilidade na aplicação tanto em têxteis de consumo quanto industriais. Segundo Rosa et al. (2021, p. 90), a maciez dos filamentos pode ser ajustada a partir da modulação dos processos de fiação e do acréscimo de aditivos, proporcionando tecidos com toque suave e acabamentos sofisticados.

A capacidade de absorção do poliéster, embora limitada, é compensada por sua rapidez de secagem e performance em regimes de lavagem intensivos, não sofrendo deformações significativas (Souza; Freitas, 2023, p. 49). A durabilidade e resistência química também são superiores: a fibra resiste à maioria dos agentes oxidantes, álcalis e microrganismos, mantendo integridade estrutural prolongada mesmo em condições ambientais adversas (Santos; Ribeiro, 2022, p. 34).

Outro ponto relevante é a biocompatibilidade, especialmente em aplicações técnicas, como dispositivos médicos e materiais de proteção, devido ao baixo potencial alergênico, quando adequadamente processada e isenta de contaminantes (Rosa et al., 2021, p. 91). Em termos ambientais, o advento do poliéster reciclado (rPET) representa avanço substancial: estima-se que a reciclagem, sobretudo a partir de garrafas PET, permite economia de até 60% na emissão de CO_2 e reduz a dependência de recursos fósseis (Souza; Freitas, 2023, p. 50). Atualmente, grandes empresas internacionais e brasileiras investem em cadeias circulares de produção, demonstrando o potencial de adaptação do poliéster às diretrizes da economia sustentável.

Apesar das vantagens, a fibra de poliéster apresenta limitações relevantes, as quais remetem tanto à sua origem sintética quanto à maneira como interage com fatores ambientais e industriais. A baixa absorção hídrica, enquanto contribui para rápida secagem, pode comprometer o conforto térmico, devido ao acúmulo de umidade na superfície do corpo e à dificuldade de regulação da transpiração, prejudicando o desempenho em indumentária esportiva destinada a ambientes quentes (Santos; Ribeiro, 2022, p. 36).

A heterogeneidade de propriedades entre diferentes lotes de fibras sintéticas, ainda que controlável, pode impactar na uniformidade dos fios confeccionados, exigindo sistemas rigorosos de controle de qualidade (Rosa et al., 2021, p. 93). Além disso, ainda que as fibras possam ser produzidas em diferentes comprimentos, lotes de fibra curta (staple) podem apresentar problemas de pilling (formação de bolinhas) e menor resistência do que filamentos longos (Souza; Freitas, 2023, p. 52).

No âmbito ambiental, a principal preocupação refere-se à baixa biodegradabilidade do poliéster, contribuindo para a persistência de microplásticos em ecossistemas aquáticos e terrestres. Estudos recentes apontam que fibras liberadas durante processos de lavagem domiciliar correspondem a significativo percentual da poluição por microfibrilas sintéticas (Santos; Ribeiro, 2022, p. 37). Embora o poliéster reciclado venha mitigando parte deste desafio, a circularidade efetiva da cadeia ainda enfrenta gargalos tecnológicos e logísticos, sobretudo nos países em desenvolvimento.

As fibras de poliéster (Figura 1) apresentam uma série de características desejáveis que as tornam ideais para uma vasta gama de produtos:

- **Alta Resistência Mecânica:** Possuem excelente resistência à tração, à abrasão e ao rasgo, conferindo durabilidade aos tecidos.
- **Resistência ao Amarramento:** Devido à sua resiliência e alta recuperação elástica, os tecidos de poliéster tendem a amassar menos e a manter a forma.
- **Baixa Absorção de Umidade:** Sua natureza hidrofóbica resulta em secagem rápida, o que é vantajoso para vestuário esportivo e artigos que necessitam de lavagem frequente.
- **Estabilidade Dimensional:** Mantêm sua forma e tamanho mesmo após lavagens repetidas, resistindo ao encolhimento e estiramento.
- **Resistência a Agentes Químicos:** São resistentes a ácidos fracos, alcalinos, alvejantes e solventes orgânicos comuns.
- **Resistência a Microrganismos e Insetos:** Não são atacadas por mofo, bolor ou insetos, como traças e cupins.
- **Resistência à Luz Solar:** Apresentam boa resistência à degradação pela luz ultravioleta, mantendo a cor e a integridade por mais tempo em exposição.
- **Versatilidade de Aparência:** Podem ser produzidas em uma ampla gama de texturas, brilhos e densidades, desde sedosas a ásperas, e desde opacas a brilhantes (PEREIRA; SOUZA, 2019, p. 112).

Figura 1: Fibra de poliéster



Fonte: <https://www.weihighpsf.com/pt/news/application-of-regenerated-polyester-fiber-in-filling/>

Então graças a suas propriedades o poliéster pode ser usado em:

- **Vestuário:** Amplamente utilizado em roupas esportivas, moda casual, uniformes, roupas de trabalho e lingerie devido à sua durabilidade, resistência ao amarramento e facilidade de cuidado.
- **Têxteis para o Lar:** Empregada em cortinas, estofamentos, tapetes, carpetes, lençóis e enchimentos para travesseiros e edredons (como fibras ocas).
- **Setor Automotivo:** Utilizada em estofamentos de veículos, cintos de segurança, carpetes automotivos e revestimentos internos, devido à sua resistência e durabilidade.
- **Produtos Industriais e Técnicos:** Encontrada em geotêxteis (para estabilização de solo), lonas, tendas, cordas, linhas de costura, correias transportadoras, e como reforço em pneus e mangueiras.
- **Materiais Compósitos:** Empregado como reforço em plásticos e outros materiais para conferir maior resistência e durabilidade (PEREIRA; SOUZA, 2019, p. 115).

A combinação de suas excelentes propriedades com um custo de produção relativamente baixo solidifica a posição da fibra de poliéster como um material indispensável na indústria têxtil moderna.

O poliéster também passou por alguns marcos industriais desde sua criação esses marcos são:

1. O poliéster se tornou a fibra dominante na indústria têxtil, com o advento do **fast fashion**. A produção em massa de roupas baratas e descartáveis foi facilitada pela versatilidade do poliéster, que poderia ser produzido rapidamente e em grandes quantidades.
2. Lançamento comercial como fibra têxtil (década de 1940-50) torna-se popular por sua durabilidade, resistência a rugas e secagem rápida.
3. Expansão na indústria têxtil (décadas de 1960 e 70) o poliéster se torna uma alternativa sintética ao algodão, sendo amplamente usado em roupas, estofados e tecidos industriais.
4. Popularização assim os tecidos mistos: poliéster + algodão (conforto + durabilidade) como também barateando a produção e gerando maior acessibilidade ao consumidor.
5. Aplicações em embalagens com o PET (década de 1970).
6. Aplicações industriais e automotivas.
7. Construção civil e materiais compósitos.
8. No ramo de sustentabilidade e reciclagem (décadas de 2000-2020).
9. Inovação e novas aplicações (2020 em diante) como nanotecnologia, Fibras biodegradáveis e no uso da medicina.

O PET é um polímero da classe dos poliésteres, formado pela polimerização do **ácido tereftálico** e do **etileno glicol**. A reação de polimerização é uma reação de condensação, onde uma molécula de água é liberada a cada ligação entre os monômeros.

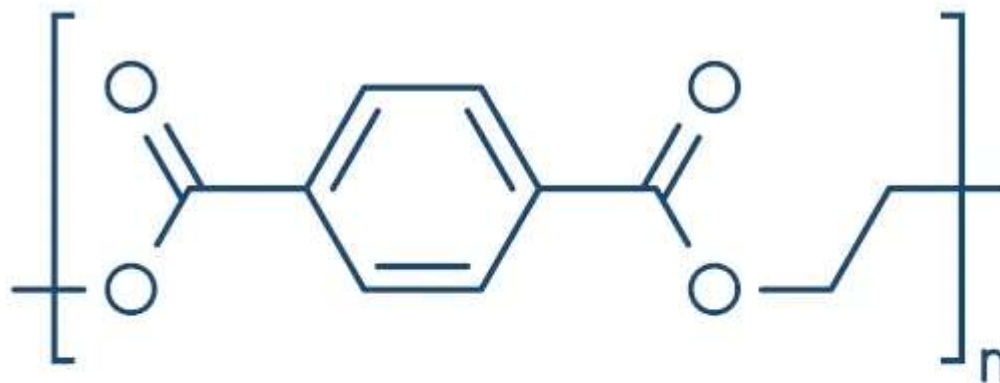
A estrutura do PET (Figura 2) pode ser descrita como uma cadeia de unidades repetitivas (monômeros) formadas por duas partes principais:

- **Ácido Tereftálico:** É um composto aromático com um grupo carboxila (-COOH) em cada extremidade de sua molécula. Sua fórmula molecular é $C_6H_4(CO_2H)_2$.

A parte aromática é responsável por muitas das propriedades do PET, como sua rigidez e resistência térmica.

- **Etileno Glicol:** É um diol (composto com dois grupos hidroxila - OH) com a fórmula molecular $C_2H_6O_2$. A molécula de etileno glicol se liga ao ácido tereftálico, formando as unidades repetitivas.

Figura 2: Cadeia molecular do PET



PET

Fonte: https://pt.123rf.com/photo_149158486_polietileno-tereftalato-pet-pete-pl%C3%A1stico-de-poli%C3%A9ster-estrutura-qu%C3%ADmica-usado-principalmente-em-fib.html

O PET possui propriedades de quiralidade e de porosidade em uma única estrutura e antifúngicas e antibacteriano para uso farmacêutico

Graças a essa sua estrutura química suas propriedades são:

1 Propriedades Mecânicas

Alta resistência à tração: É um material forte e resistente à deformação.

Boa rigidez: Mantém a forma sob pressão moderada.

Boa processabilidade: Pode ser extrudado, injetado e soprado com eficiência.

2 Propriedades Físicas

Transparência: Alta transparência, semelhante ao vidro.

Densidade: Aproximadamente $1,38 \text{ g/cm}^3$.

Cristalinidade: Pode ser amorfo (transparente) ou semicristalino (mais opaco e resistente).

3 Propriedades Térmicas

Temperatura de fusão: Cerca de 250°C .

4 Propriedades Químicas

Resistência química: Boa resistência a ácidos diluídos, óleos e solventes orgânicos fracos.

Também existem outros tipos de poliésteres que são usados no meio têxtil esses são:

1 Poliéster PET (Polietileno Tereftalato), como apresentado na figura 3.

Figura 3: Produto feito de PET



Fonte: stxembalagens.com.br

2 Poliéster recortado ou de fibras curtas (Short-cut Polyester) – Figura 4.

Figura 4: Produto feito de poliéster recortado



Fonte: <https://www.kuraray.com/global-en/products/polyester-shortcut-fiber/>

3 Poliéster microfibras (figura 5).

Figura 5: Produto feito de microfibras de poliéster



Fonte: www.sagoltecidos.com.br

“A fibra do poliéster constitui-se de uma macromolécula caracterizada por inúmeras funções multi éster. Para se obter essas fibras tem de ser através da condensação 16 entre os ácidos teraftálico e o etilenoglicol, a uma temperatura de 280°C” (FARIA DOS SANTOS, VANESSA, 2020, p. 16)

. O álcool metílico que é formado será destilado e o éster diglicólico é pré’, ‘as cadeias moleculares do poliéster são bastante rígidas por possuírem a presença dos grupos ésteres do poli (etileno tereftalato), assim garantindo à fibra um elevado grau de cristalinidade.

O processo de fiação pode ser exposto como uma etapa para a obtenção do fio a partir das fibras têxtil utilizada como matéria prima’, o processo de fiação do poliester passa por algumas etapas

As Etapas do Processo de Fiação por Fusão:

1. Produção do Chip de Poliéster:

Primeiro, o poliéster é produzido através de um processo químico chamado polimerização, formando os chips de poliéster.

2. Derretimento e Extrusão:

Os chips de poliéster são então aquecidos até atingirem a fusão e liquefazerem. Esse líquido é forçado através de uma fiação, que age como um "chuveiro" e determina o número e o diâmetro dos filamentos, mantendo-os alinhados.

3. Resfriamento e Enrolamento:

Os filamentos derretidos e recém-formados são resfriados, o que solidifica o material. Em seguida, eles são esticados e enrolados em um processo contínuo, formando o fio de poliéster.

4. Texturização (Opcional):

Dependendo da aplicação desejada, os fios podem ser texturizados para aumentar o volume, toque e elasticidade, criando um fio de poliéster texturizado com diversas características para diferentes produtos, como artigos desportivos e vestuário casual.

Policondensação O processo de policondensação é aquele que realmente dá origem ao polímero de poliéster. As principais matérias-primas para a obtenção do poliéster são: Para-xileno; ácido tereftálico (PTA); Dimetiltereftalato (DMT); Etilenoglicol. O processo para a produção de poliéster é conhecido como polimerização. Há duas tecnologias disponíveis para obtenção de polímeros e fios de poliéster, tecnologia contínua e tecnologia descontínua. Tecnologia Contínua é indicada para uma produção superior a 10 toneladas/dia, parte diretamente do PTA. Ácido tereftálico e representa uma economia em torno de 15% em relação ao uso do DMT Dimetiltereftalato

Fluxograma da Policondensação

1 Polimerização

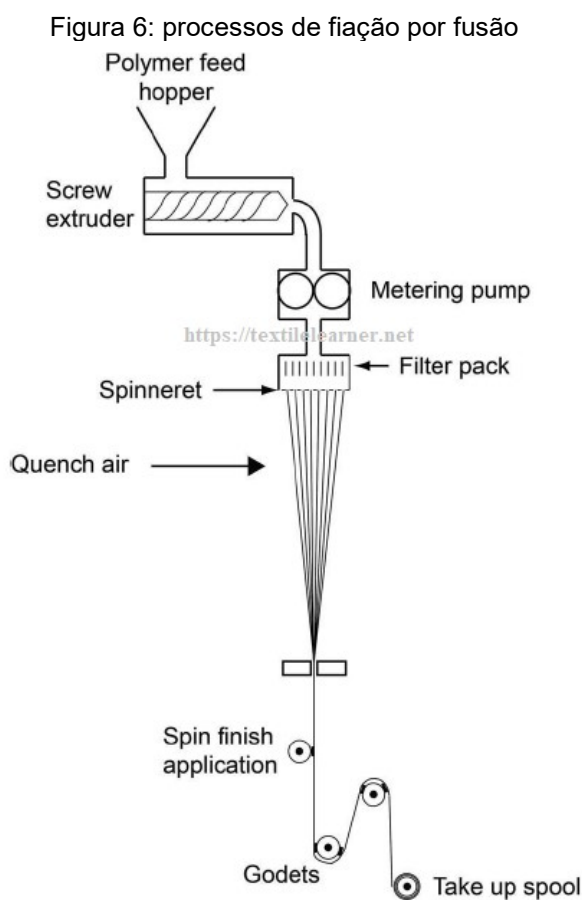
2 Lavador

3 Silos Polímero Úmido

4 Secador

5 Silos Polímero seco

A fiação por fusão (figura 6) é o processo de extrusão mais simples, pois não é necessária adição e remoção subsequente de solvente. Na fiação por fusão, a substância formadora de fibra é derretida para extrusão através da fieira e depois solidificada diretamente por resfriamento. Neste processo de fiação, o composto de fiação é girado em um duto de têmpera de ar frio. Como neste processo não são liberados solventes, a reciclagem de subprodutos não é necessária. A fiação por fusão utiliza o calor para fundir o polímero até uma viscosidade adequada para a extrusão através da fieira. (FUSÃO, 2021, n.p.)



Fonte: <https://textilelearner.net/melt-spinning-process/>

Fio de poliéster POY é uma forma semiacabada de fio de poliéster seu nome completo é Fio Pré-Orientado ele é obtido por processo de fiação em alta velocidade e é uma espécie de filamento de fibra química com grau de orientação entre fio não orientado (UDY) e fio totalmente trefilado (como FDY), O POY possui certo grau de orientação e estabilidade, mas não foi totalmente esticado, portanto seu alongamento residual é alto, geralmente acima de 50%. Essa característica faz com que o POY tenha alta plasticidade no processamento posterior e seja adequado como matéria-prima para posterior estiramento ou falsa torção. É amplamente utilizado na indústria

têxtil e é uma importante matéria-prima para a fabricação de fios texturizados, como o fio de poliéster de baixa elasticidade (DTY)

Um fio trefilado é obtido através do processo de trefilação, que consiste em puxar um material metálico (fio máquina) através de uma matriz com um canal convergente (a fieira) para reduzir seu diâmetro e aumentar seu comprimento, resultando em um produto com maior precisão dimensional e propriedades mecânicas aprimoradas, como resistência e dureza.

O processo de trefilação é composto pelas seguintes etapas

1. Preparação:

O fio máquina, um vergalhão laminado a quente, passa por um processo de decapagem (mecânica ou química) para remover a carepa (óxidos de ferro da superfície).

2. Trefilação:

O fio é então puxado através de uma ou várias fieiras, que são ferramentas de alta dureza com um furo em forma de funil.

3. Redução e alongamento:

A força de tração força o metal a passar pela fieira, deformando-o plasticamente, o que resulta na diminuição do diâmetro e no aumento do comprimento.

4. Acabamento:

Após a trefilação, o fio pode ser enrolado em uma bobina ou passar por tratamentos térmicos, como o recozimento, para ajustar suas propriedades mecânicas.

O Fio de Poliéster Texturizado é uma escolha econômica para utilização em processos têxteis. Devido à sua alta lubrificação, reduz de forma eficaz os problemas de rupturas e aberturas dos filamentos, proporcionando não apenas um excelente custo-benefício, mas também um acabamento superior ao produto final. Por usar baixo torque, é um produto que não apresenta formação de "rabos de porco" ou instabilidade no desempenho, oferecendo uma experiência mais consistente do que os concorrentes.

Principais Parâmetros da Fiação e Suas Influências:

1. Velocidade de fiação, - Alta velocidade pode causar orientação molecular maior, resultando em fibras mais resistentes, mas menos alongáveis. Baixa velocidade favorece o alongamento.
2. Temperatura de fiação, - Temperaturas mais altas promovem uma melhor fluidez do polímero, o que pode melhorar a uniformidade e a coesão da fibra. Excesso de temperatura podem degradar o polímero.
3. Taxa de estiramento (draw ratio), - Um maior estiramento aumenta a orientação molecular e cristalinidade, melhorando a resistência à tração e reduzindo o alongamento. Estiramento inadequado resulta em fibras fracas.
4. Número de orifícios da fieira, - Afeta o diâmetro e a regularidade da fibra. Mais orifícios podem aumentar a produção, mas exigem controle rigoroso para manter a uniformidade entre fibras.
5. Tipo de resfriamento, - O resfriamento rápido (sopro de ar frio) pode congelar a estrutura amorfa da fibra, reduzindo a cristalinidade. O resfriamento lento permite mais cristalização e melhora propriedades mecânicas.
6. Viscosidade do polímero, - Polímeros com alta viscosidade produzem fibras mais resistentes, mas mais difíceis de processar. Baixa viscosidade facilita a fiação, mas pode comprometer propriedades finais.
7. Ambiente de fiação (úmido/seco), - Na fiação a seco, o solvente é evaporado e pode afetar a porosidade e densidade da fibra. Na fiação úmida, a coagulação pode influenciar na estrutura interna da fibra.

Propriedades Finais Afetadas:

- 1 Resistência à tração
- 2 Alongamento na ruptura
- 3 Cristalinidade
- 4 Tenacidade
- 5 Elasticidade
- 6 Diâmetro da fibra
- 7 Uniformidade

8 Morfologia (estrutura interna e superfície)

2.2 TECELAGEM

Estima-se que o ser humano utiliza tecidos desde a pré-história. Existem registros datando de 4000 a.c. que mostram o uso das fibras naturais como uma forma de se aquecer e demonstrar poder e riqueza.

Os primeiros tecidos eram feitos de materiais como a pele de animais, linho, lã, algodão e seda, e surgiram no período paleolítico através da filtragem e manipulação de fibras, sendo a cestaria uma arte primitiva relacionada.

Peles de animais:

- As peles de animais foram usadas pelas primeiras civilizações para proteção contra o clima, como demonstrado por vestígios encontrados em escavações, indicando que os primeiros humanos já as utilizavam há mais de 70.000 anos.

A tecelagem é uma arte bem antiga com vários momentos importantes na história como:

Origens primitivas (cerca de 10.000 a.C.):

A tecelagem surgiu com os primeiros grupos humanos que começaram a produzir tecidos a partir de fibras vegetais, como o linho e o cânhamo, e de peles de animais. Os primeiros utensílios para tecer eram simples, como espinhos ou fios que entrelaçavam as fibras à mão.

Desenvolvimento da tecelagem (3.000 a.C. - 2.000 a.C.):

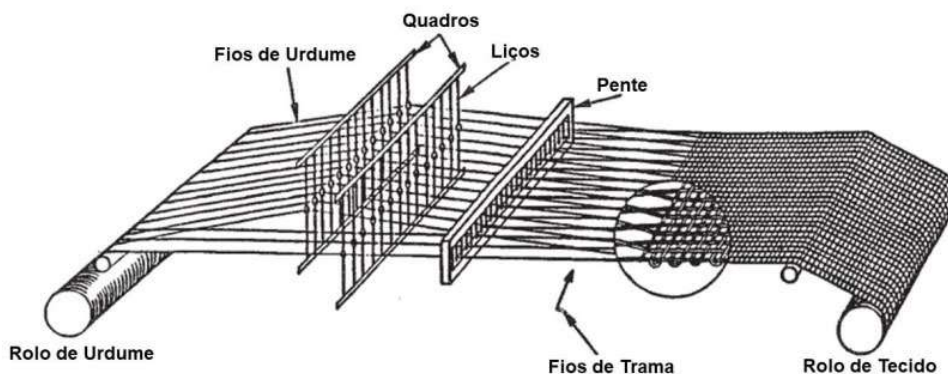
Nas civilizações antigas, como o Egito e a Mesopotâmia, a tecelagem se sofisticou. Técnicas como o tear manual foram aprimoradas, permitindo a produção de tecidos mais complexos e decorativos. O tear de "pente" e os teares simples manuais começaram a ser usados, permitindo criar padrões repetitivos nas peças de tecido.

Alguns movimentos Primários do Teares manuais são:

- Abertura da cala: o urdume (fios longitudinais) é dividido em dois ou mais grupos para formar um espaço (a cala) por onde a trama será inserida no movimento de subir e descer, o liso é acionado para alternar a posição dos fios de urdume, criando espaços (chamados de bate ou flutuadores) por onde a linha da trama passará.
- Inserção da trama: Um fio de trama (horizontal) é inserido através da cala pode ser feito com lançadeira, pinça, jato de ar, jato de água, etc., dependendo do tipo de tear.
- Batida: O pente do tear empurra o fio de trama recém-inserido contra os fios já tecidos, compactando o tecido.
- Avanço do tecido: O tecido pronto é enrolado em um rolo, permitindo que o trabalho continue.
- Movimento de Ajuste de Tensão: são movimentos usados para o ajuste da tensão do fio de urdume esses movimentos específicos são feitos para esticar ou relaxar a tensão dos fios enquanto o tecido é formado, influenciando a largura e a textura do produto final.
- Desenrolamento do urdume: O urdume é liberado aos poucos para manter a tensão adequada e permitir a continuidade da tecelagem.

Assim esse ciclo se repete fazendo com que o tear funcione. A figura 7 demonstra um esquema dos principais movimentos de um tear.

Figura 7: Principais movimentos de um tear



Fonte: tecelagemmanual.com.br

A invenção do tear mecânico (século XVIII):

Durante a Revolução Industrial, no final do século XVIII, o processo de tecelagem sofreu uma grande transformação. A invenção do **tear mecânico** por **Edmund Cartwright** (1785) foi crucial. Este tear, que usava força motriz (como a água ou vapor) para movimentar os fios, aumentou a produtividade de forma exponencial. Isso permitiu a produção em massa de tecidos e a redução de custos, revolucionando a indústria têxtil.

A introdução da mecanização, que seria plenamente desenvolvida no século XIX, época da Revolução Industrial, provocou o declínio da tecelagem a partir do século XVIII e foi em 1804 que o francês Joseph Jacquard desenvolveu uma ideia já existente e fez funcionar o primeiro tear automático, semelhante aos que até hoje são utilizados na indústria têxtil. Esse tipo de tear foi (e ainda é) o inimigo dos tecelões, pois elimina toda a criatividade do trabalho e não deixa nenhum espaço para o prazer de obter um tecido único e personalizado. Revoltados contra essa nova forma de trabalho, os artesãos usaram seus tamancos para quebrar as máquinas, assim dando origem à palavra sabotagem, pois tamanco em francês é “sabot” (QUEIROZ, MARIELA, 2015)

Automação e inovação no século XIX e XX:

Com a introdução de novos mecanismos e o avanço das máquinas, a tecelagem passou a ser totalmente automatizada. No século XX, os teares automáticos e as tecnologias de tecidos sintéticos (como o nylon e o poliéster) transformaram ainda mais a indústria têxtil.

Hoje, a tecelagem continua a ser uma parte essencial da indústria têxtil, com a combinação de técnicas tradicionais e tecnologias de ponta, como os teares digitais, que permitem criar tecidos com desenhos e padrões altamente sofisticados. A sustentabilidade também tem sido um foco crescente, com o desenvolvimento de materiais ecológicos e métodos de produção mais eficientes.

Os mecanismos dos teares podem ser classificados de três formas: Primários, Secundários e Auxiliares.

Os movimentos primários podem ainda ser dividido em movimentos de derramamento, coleta e espancamento. O derramamento abre a folha de urdidura em camadas para facilitar a passagem da lançadeira. O movimento de coleta faz com que a lançadeira que transporta a trama seja impulsionada de uma extremidade ao outro do tear. O movimento de batimento coloca a trama previamente colocada na parte inferior do tecido.

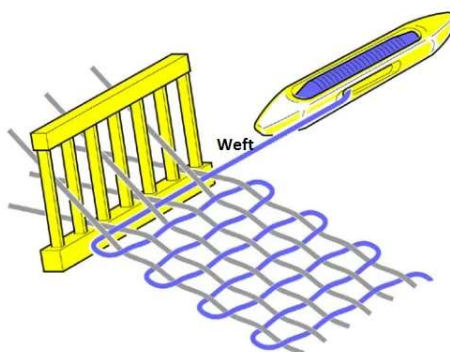
Os movimentos secundários compreendem movimentos de pegar e soltar. O movimento de recolhimento ajuda a enrolar o pano no rolo de pano e também influencia a densidade de coleta no pano. O movimento de liberação ajuda a soltar a urdidura da viga do tecelão a uma taxa uniforme, mantendo assim a tensão da urdidura constante durante todo o processo de tecelagem.

Os movimentos auxiliares consistem no movimento de parada da urdidura, movimento de parada da trama e movimento do protetor da urdidura. O movimento de parada da urdidura é usado para parar o tear em caso de quebra da urdidura. Isto é necessário para evitar defeitos no tecido, como falta de extremidades e flutuadores. O movimento de parada da trama é usado para parar o tear em caso de exaustão ou quebra da trama. Isto é necessário para evitar a falta de fios de trama chamados rachaduras, no tecido. O protetor de urdidura é usado para evitar quebras de múltiplos fios de urdidura no caso de a lançadeira ficar presa no meio da folha de urdidura.

Tipos de inserção de trama:

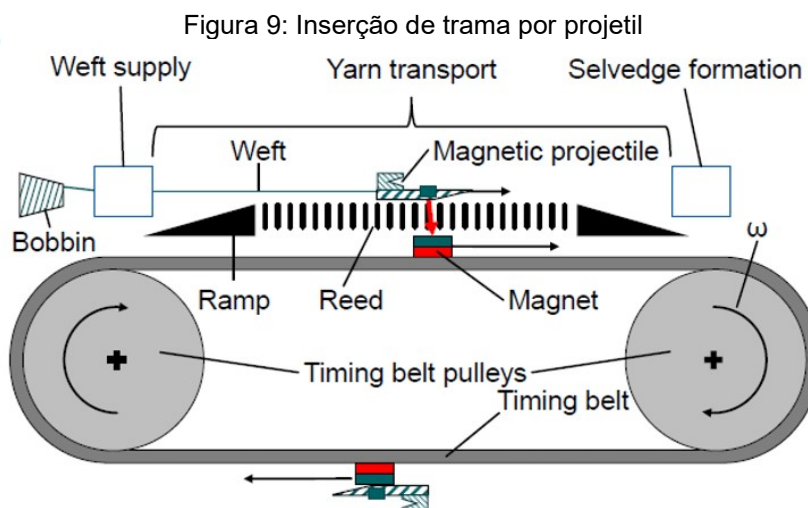
- Tear de lançadeira:” o mecanismo do tear de lançadeira é bem simples, o fio de trama fica armazenado dentro de uma ferrenta chamada lançadeira que o conduz ao outro lado do tecido após a abertura da cala.” (Aguiar. 2022. P. 148) (figura 8).

Figura 8: Inserção de trama por lançadeira

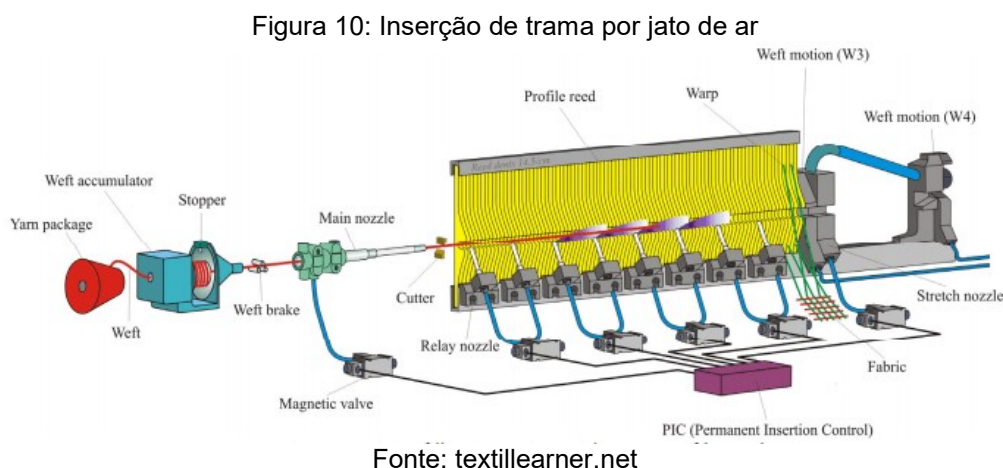


Fonte: textillearner.net

- Tear de projétil:” A inserção é feita através de um projétil que prende a trama e é impulsionado por um lançador até o outro lado da máquina, onde então solta o fio. Em seguida o projétil é trazido de volta por um dispositivo para que possa realizar um novo ciclo.” (Aguiar. 2022. P. 148) (Figura 9).

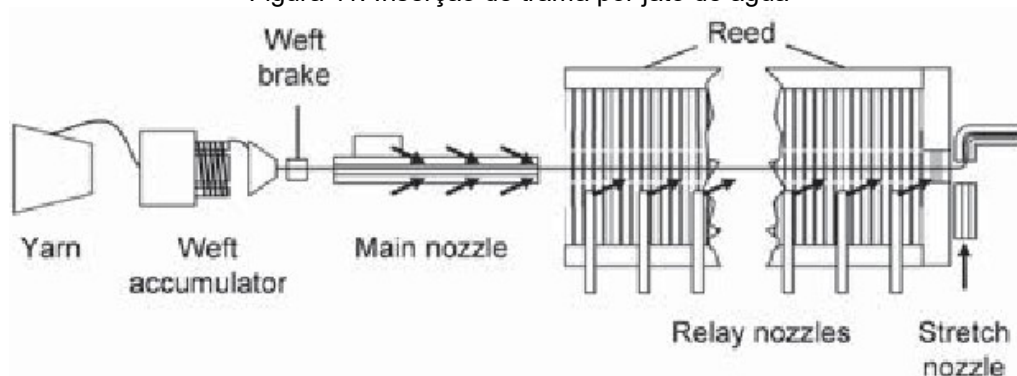


- Tear jato de ar:” Ele lança a trama através da cala aplicando impulso de ar comprimido no fio,” (Aguiar. 2022. P. 148) (Figura 10)



- Tear jato de água:” similar ao tear de jato de ar, o jato de água usa água pressurizada para levar a trama a atravessar a cala.” (Aguiar. 2022. P. 149) (Figura 11)

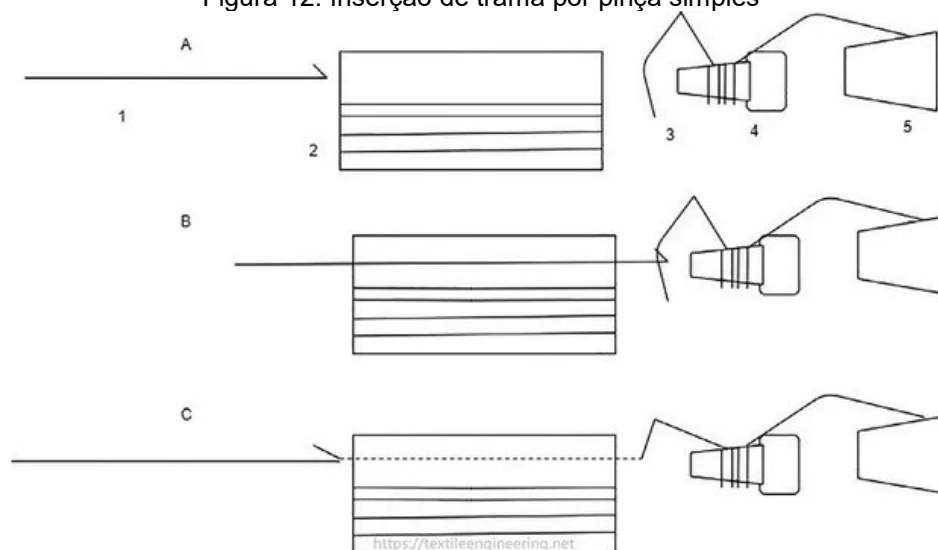
Figura 11: Inserção de trama por jato de água



Fonte: www.researchgate.net

Tear de pinça simples ou unilateral:” utiliza pinça rígida que fica do lado oposto ao fio de trama, percorre toda a extensão da máquina, agarra o fio e refaz o percurso de volta a seu ponto original.” (Aguiar. 2022. P. 150) (Figura 12)

Figura 12: Inserção de trama por pinça simples

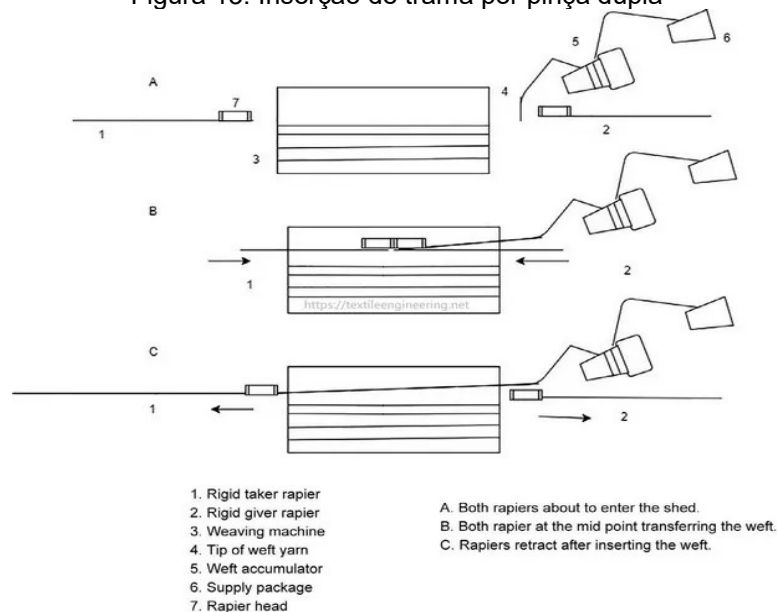


1. Rigid rapier head
2. Weaving machine
3. Tip of weft yarn
4. Weft accumulator
5. Supply package

Fonte: textileengineering.net

Tear de pinça dupla ou bilateral:” pode ter pinças rígidas ou flexíveis. Nesse tipo de tear, a primeira pinça, chamada doadora, leva o fio de trama até o centro da cala e transfere o fio para a segunda pinça, chamada recebedora, que então completa o trajeto de inserção da trama.” (Aguiar. 2022. P. 150) (Figura 13)

Figura 13: Inserção de trama por pinça dupla



Fonte: textileengineering.net

2.3 TEORIA DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

A crescente preocupação com a escassez hídrica e os impactos ambientais da atividade industrial impulsionam a busca por modelos de produção mais sustentáveis. Nesse contexto, a economia circular e o reuso de água emergem como estratégias fundamentais, especialmente para setores como o têxtil, que é intensivo no uso de recursos hídricos.

2.3.1 DEFINIÇÕES DE ECONOMIA CIRCULAR E REÚSO DE ÁGUA NO CONTEXTO INDUSTRIAL

A economia circular representa um modelo de produção e consumo que contrasta com o modelo linear tradicional de "extrair, produzir, usar e descartar". Ela se baseia em três princípios centrais: eliminação de resíduos e poluição por design, manutenção de produtos e materiais em uso e regeneração de sistemas naturais (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Ao aplicar este conceito à gestão da água, busca-se maximizar o valor da água por meio de seu reuso e reciclagem dentro dos processos industriais, minimizando a captação de água doce e o descarte de efluentes.

O reuso de água, por sua vez, refere-se à utilização de efluentes tratados para diversas finalidades que não o consumo humano direto, permitindo que a água retorne

ao ciclo produtivo (Mancuso e Santos, 2003). No contexto industrial, o reúso pode ser direto, quando a água tratada é imediatamente reincorporada a um processo, ou indireto, quando a água é lançada em um corpo hídrico para posterior captação por outros usuários após um tratamento adicional, ou quando a água tratada é utilizada em aplicações menos nobres, como irrigação de jardins ou lavagem de pátios. Para a indústria têxtil, o reúso da água pode gerar benefícios significativos, como a redução do consumo de água potável, a diminuição do volume de efluentes descartados, a economia nos custos de tratamento de água de abastecimento e de efluentes, e a melhoria da imagem corporativa ao demonstrar compromisso com a sustentabilidade ambiental.

2.3.2 MARCOS LEGAIS BRASILEIROS PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é regida por um arcabouço legal que estabelece princípios, instrumentos e diretrizes para o uso e a proteção da água. A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, é um dos pilares desse sistema, estabelecendo a água como um bem de domínio público, com valor econômico, e priorizando o uso para consumo humano e dessedentação de animais em situações de escassez (Brasil, 1997). Esta lei fundamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos, instrumento essencial para controlar a captação e o lançamento de efluentes, impactando diretamente as operações industriais.

No que tange à qualidade da água e ao lançamento de efluentes, as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) são de extrema importância. A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, classifica os corpos d'água e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, definindo parâmetros de qualidade que devem ser atendidos para que a água possa ser lançada em rios, lagos ou mares (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005). Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, complementou e alterou a Resolução nº 357/2005, aprimorando as condições e padrões de lançamento de efluentes e reforçando a necessidade de tratamento adequado antes do descarte (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011). Essas resoluções são cruciais para a indústria têxtil, pois regulam os limites de descarga para efluentes com alta carga orgânica, cor e substâncias químicas específicas.

Outras normativas também influenciam o reúso de água, mesmo que indiretamente. A Portaria MINTER nº 124, de 15 de fevereiro de 1980, estabeleceu padrões de potabilidade da água no Brasil, servindo como referência para a qualidade da água que seria destinada ao consumo humano (Brasil, 1980). Embora focada em água potável, seus parâmetros podem servir de base para avaliação de riscos em usos industriais que envolvam contato humano indireto ou para definir metas de tratamento para usos mais exigentes. De forma mais abrangente, a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, consolida as normas sobre as ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (SUS), incluindo anexos que abordam a água para consumo humano, detalhando os requisitos e procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água (Brasil, 2017). Esta portaria é essencial para garantir a segurança sanitária da água, seja ela captada da natureza ou utilizada após tratamento para reúso, especialmente quando há risco de exposição humana.

2.3.3 CONCEITOS DE EFLUÊNCIA E TRATAMENTO DE ÁGUA EM INDÚSTRIAS TÊXTEIS

A efluência gerada pela indústria têxtil é caracterizada por sua complexidade e variabilidade, sendo considerada uma das mais poluentes entre os setores industriais (Juchem et al., 2016). Os efluentes têxteis são tipicamente ricos em cor (devido aos corantes), apresentam alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), elevado teor de sólidos suspensos, variações extremas de pH, e podem conter metais pesados, cloretos, sulfetos, amônia e substâncias orgânicas complexas, como surfactantes e auxiliares de processo (Juchem et al., 2016). Essa heterogeneidade exige tratamentos específicos e robustos para garantir a adequação da água para descarte ou reúso.

O tratamento de efluentes têxteis geralmente envolve uma combinação de processos físico-químicos e biológicos. As etapas iniciais de tratamento, conhecidas como primárias, frequentemente empregam a coagulação e a floculação, que consistem na adição de produtos químicos para desestabilizar as partículas suspensas e coloidais, agrupando-as em flocos maiores que podem ser removidos por sedimentação (Mancuso e Santos, 2003). Após a sedimentação, processos de

filtração (como a filtração em areia) podem remover sólidos remanescentes, melhorando a turbidez da água.

Para atingir padrões de qualidade mais elevados, adequados para o reúso dentro da própria indústria, são necessárias tecnologias de tratamento avançadas, também chamadas de terciárias ou quaternárias. Entre elas, destacam-se os processos de membrana, como a ultrafiltração e a osmose reversa, que são capazes de remover sólidos suspensos, matéria orgânica dissolvida, sais e até mesmo alguns microrganismos. Outras tecnologias incluem a adsorção em carvão ativado, que é eficaz na remoção de cor e matéria orgânica recalcitrante, e processos biológicos aeróbios ou anaeróbios, que degradam a matéria orgânica presente. A escolha do processo de tratamento é determinada pela caracterização do efluente e pelo padrão de qualidade exigido para a finalidade de reúso (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017). A qualidade final da água para reúso deve ser compatível com a sua aplicação, garantindo que não haverá prejuízos aos equipamentos, à qualidade do produto final ou à saúde humana, caso haja contato.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 TEAR JATO DE ÁGUA

O tear de jato de água (ou tear a jato d'água) surgiu no início da década de 1950, sendo desenvolvido no Japão.

Ele é uma inovação no processo de tecelagem, utilizando um jato de água pressurizado para lançar o fio da trama através da cala (a abertura entre os fios do urdume), substituindo os métodos tradicionais como a lançadeira ou jato de ar.

Em 1958 O engenheiro Sukesaku Nakajima, da empresa Tsudakoma, é amplamente creditado como o inventor do primeiro tear comercial a jato de água.

O tear jato de água possui algumas limitações como ser limitado a fios hidro-repelentes (não pode usar algodão, lã, viscose etc.), requerer tratamento da água (filtros, desmineralização) para evitar entupimento dos bicos e pode gerar umidade excessiva no ambiente (precisa de boa ventilação ou desumidificação).

A inserção de trama é feita de acordo com a velocidade relativa entre o jato e o fio da trama produz uma força na trama que resulta na sua inserção

“as máquinas de tecelagem a jato de água são equipadas com bombas injetoras individuais para pressurizar a água fornecida pela rede de água; as águas residuais são descarregadas em um dreno.” (Önder, 2008, p.2)

Para obter a aceleração do ar comprimido ou da água pressurizada, juntamente com a extremidade dianteira do fio de trama, é usado um bico (Figura 14).

Figura 14: bico de um tear a jato



Fonte: <https://www.textilegence.com/en/italian-textile-machinery-manufacturers-eagerly-wait-for-itm-2022/>

“A massa do meio de inserção a ser acelerado é muito pequena, em relação às máquinas de tecelagem de lançadeiras, pinças ou projéteis, o que permite altas velocidades de operação.” (Önder, 2008, p.4)

Ao contrário dos sistemas de inserção de florete ou projétil, não há muitas peças mecânicas móveis para controlar e inserir o fio de trama.

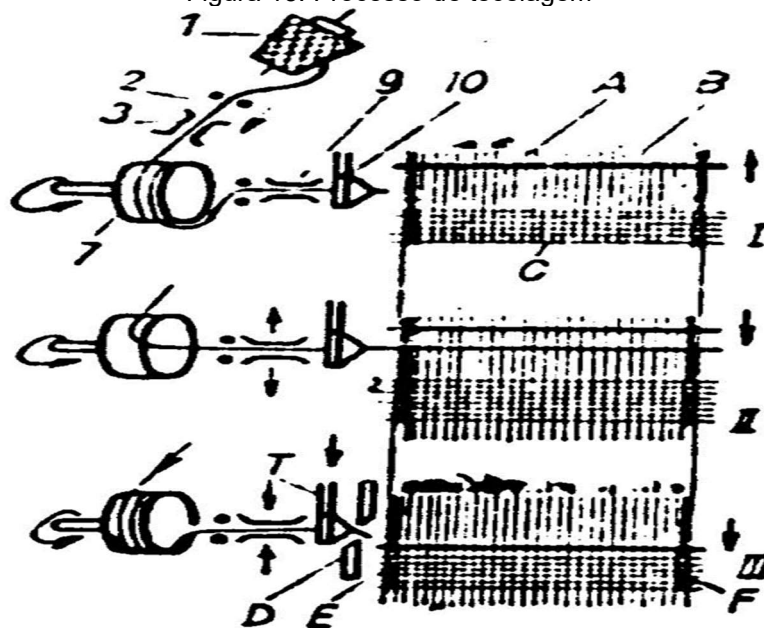
Outra especificação importante em relação aos fluidos é a sua temperatura, umidade, teor de impurezas e etc.

Como a força de tração aplicada na trama não é muito alta, ela deve ser preparada para a colheita por um dispositivo de medição.

Na maioria das máquinas de tecelagem a jato, o sistema de picking é instalado apenas em um dos lados da máquina (picking de um lado) (Figura 15).

- “1 cone de enrolamento cruzado, 2 olhais guiam e 3 tensores, 7 dispositivos de medição (mede o comprimento necessário da rosca da trama). 9 suportes para reter o fio de trama após a colheita, 10 bicos. A água ou o ar são fornecidos através do tubo T
- A — a cana, B — a folha de urdidura, C — o tecido, D — o cortador de trama, E e F — o tecido leno que serve para reforçar as ourelas de tecido” (Önder. p.6)

Figura 15: Processo de tecelagem



Fonte: https://web.itu.edu.tr/~berkalpo/Weaving_Lecture/Weaving_Chapter8_Airjet.pdf

Se o fio da trama fosse apenas cercado pelo ar ou líquido durante a colheita e se sua velocidade fosse a mesma do meio de colheita, seria completamente sem tensão. O fio da trama então se enrolaria e rosnaria sobre si mesmo no galpão e sua inserção seria bastante incerta. Portanto, uma força de tração (arrasto) é necessária para produzir a tensão necessária no fio da trama e manter essa tensão durante toda a duração da colheita.” (Önder, 2008, p.8)

Nos sistemas de colheita a jato, essa força de tração no fio de trama resulta do atrito entre o ar ou líquido e a superfície do fio de trama

O nível de atrito desenvolvido em um meio fluido depende de:

- o quadrado da diferença de velocidade,
- a viscosidade do meio,
- a rugosidade e o comprimento do fio de trama e,

Nos sistemas de inserção de jato de água, a propriedade umectante do fio de trama.” (Önder. p.9) velocidade inicial da água - 40-60 m / s, velocidade inicial do fio de trama - 20-30 m / s.

Quanto maior a viscosidade, maior a força de tração.

A viscosidade da água a 0 0C é de 0,017 g cm⁻¹ s⁻¹, enquanto a 100 0C é tão baixa quanto 0,0028 g cm⁻¹ s⁻¹.

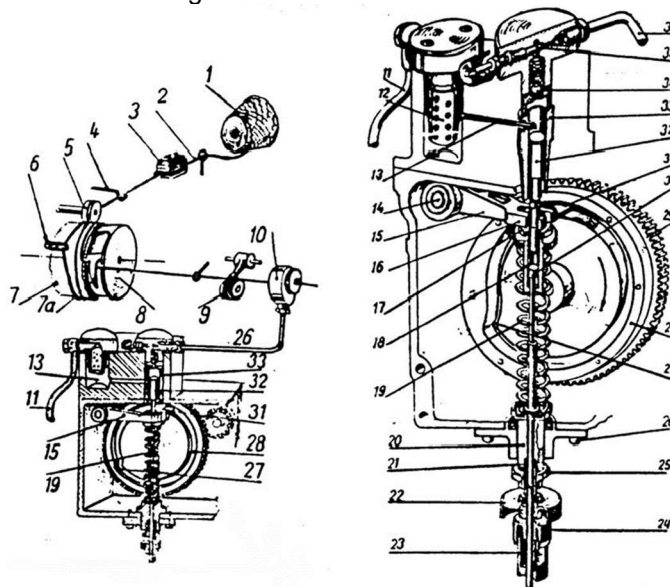
Nos sistemas de colheita a jato, a força de tração no fio da trama é quanto maior e mais áspera é a superfície do fio da trama.

A inserção da trama em uma máquina de tecelagem a jato de água é dividida em três fases:

- Aceleração da água na bomba antes de sua injeção no bico.
- Saída de jato do bico.
- Fluxo no ambiente livre de diferentes formas:
 - Compacto
 - Fender
 - Atomizado

Quando a água é fornecida a uma bomba cilindro, é acelerado por um pistão a mola e alimentado através de um encanamento ao bocal principal (Figura 16).

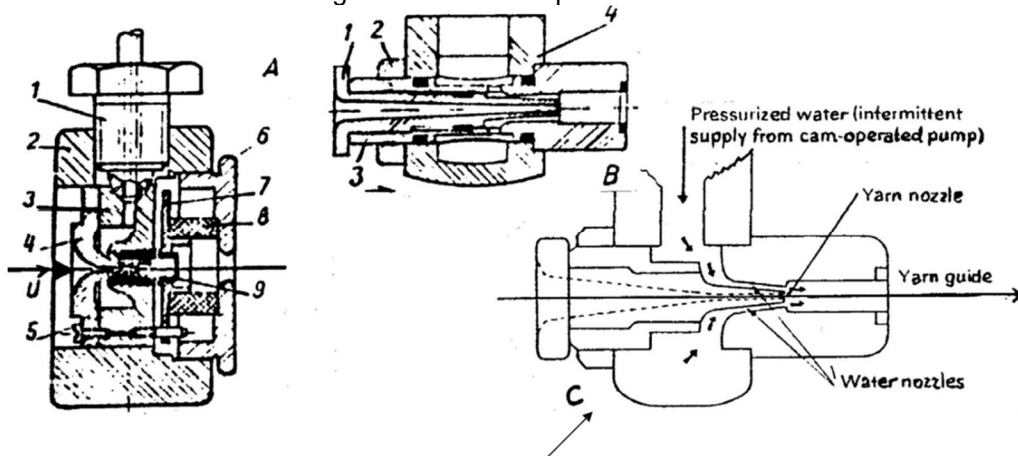
Figura 16: Bomba de cilindros



Fonte: https://web.itu.edu.tr/~berkalpo/Weaving_Lecture/Weaving_Chapter8_Airjet.pdf

Bocal aberto, sem partes móveis a grande vantagem deste tipo de bocal é a sua simplicidade. Sua desvantagem é um consumo consideravelmente maior de água e vazamento de água entre os bits individuais (Figura 17).

Figura 17: Bico sem partes móveis



Fonte: https://web.itu.edu.tr/~berkalpo/Weaving_Lecture/Weaving_Chapter8_Airjet.pdf

A pressão em um fluido em movimento depende de sua velocidade. Em particular, como a taxa de fluxo de um líquido incompressível é maior em uma região de restrição do que a taxa em uma região de seção transversal maior, a pressão é baixa na região de restrição. Isso produz um efeito de vácuo para acelerar o fio de trama.

“A — Compacto, B — dividido, C — atomizado. O mais adequado para a inserção da trama é a porção compacta do fluxo e possivelmente também a porção dividida.

Cp :frente de jato e :frente de trama em tX, a velocidade relativa $v_R = v_p - v_u$ torna-se negativo. Além neste ponto tX, o fio da trama” (Önder. p.15)

“Um jato de água é capaz de manter sua concentração e, portanto, sua força a uma distância maior do que um jato de ar, mas não há meios prontamente disponíveis para auxiliar o jato enquanto ele atravessa o tear.” (Önder. p.17)

“O fio da trama é travado pela palheta. O eixo do jato de água é mais ou menos paralelo ao tecido caído. A palheta que avança em direção ao tecido corre para o fio de trama úmido, que adere a ela, e é travado por ele e impedido de se contrair no comprimento.” (Önder. p.17)

A qualidade da água:

- As impurezas mecânicas devem ser filtradas
- Não deve conter aditivos formadores de sedimentos (Fe, Mg, Ca, Si)
- Dureza: 5-10 na escala alemã
- Deve ser inofensivo biológica e higienicamente.

As condições de trabalho:

- Temperatura de operação da água: 16-24 °C
- Pressão de funcionamento da água: 0.5-1.5 kg/cm².

Modificações de design da máquina de tecelagem:

- A máquina deve ser fornecida com um acabamento protetor anticorrosivo ou as peças da máquina (ou seja, palheta, hastes, liços) devem ser feitas de aços resistentes à corrosão.

Extração de água e secagem final

O pano pode conter uma grande quantidade de água. Isso é conseguido através de um pano espremendo ou uma sucção e depois secando. Esse sistema consome 2 a 3 kW de energia e uma fonte indesejada de aquecimento adicional na sala de tecelagem. As águas residuais são geralmente removidas para um sistema de drenagem.

Velocidades de trabalho:

- A largura e a velocidade dos teares a jato de água foram aumentadas gradualmente.

As modernas máquinas de tecelagem a jato de água podem ter uma velocidade de cerca de 1500ppm, enquanto a largura máxima da palheta é de 3 m e o WIR é de 1800m/min.

Uma das questões mais importantes no tear de jato de água é a qualidade da água, os principais parâmetros de qualidade que precisam ser controlados são:

- Dureza da água – A dureza é causada principalmente por sais de cálcio e magnésio. Se a dureza da água for alta, ocorre deposição de carbonatos e sulfatos dentro dos bicos e tubulações, o que resulta em seu entupimento.”
- pH da água –O valor de pH da água deve estar próximo do neutro (em torno de 7). Valores muito ácidos ou muito alcalinos podem causar corrosão nas partes metálicas e deterioração de componentes plásticos ou de borracha.
- Turbidez e sólidos suspensos – Partículas sólidas presentes na água podem bloquear os bicos e arranhar o tecido durante o processo de tecelagem. É necessário um bom sistema de filtração para remover essas impurezas.
- “Matéria orgânica e microrganismos – A presença de algas, bactérias e outros contaminantes orgânicos pode provocar entupimentos, odores desagradáveis e formação de lodo nas tubulações.” (Tasnim.1998. p.2)
- “Ferro e manganês – Concentrações elevadas desses metais podem formar depósitos marrons ou pretos nas peças da máquina e nos tecidos. A remoção desses elementos é essencial.” (Tasnim.1998. p.2)

Em muitas regiões, a água disponível diretamente de poços ou redes de abastecimento não atende aos requisitos para uso em tecelagem a jato. Portanto, ela precisa ser tratada por processos como Filtração (para remoção de partículas em suspensão), Abrandamento (para reduzir a dureza), Oxidação e precipitação (para remover ferro e manganês) e Cloração (para controle microbiológico).

Filtração: A filtração é o primeiro estágio essencial do tratamento da água. Filtros de areia, carvão ativado ou cartuchos especiais são utilizados para remover sólidos suspensos, partículas finas e impurezas orgânicas. Isso evita que o bico de inserção da trama seja bloqueado. (Tasnim.1998. p.3)

Abrandamento da água: Para reduzir a dureza causada por sais de cálcio e magnésio, geralmente são usados troca iônica ou produtos químicos sequestrantes. No processo de troca iônica, a água passa por resinas especiais que substituem íons de cálcio e magnésio por íons de sódio, tornando a água mais macia. (Tasnim.1998. p.3)

Remoção de ferro e manganês: Estes elementos são eliminados por processos de oxidação e filtração. Substâncias como cloro, permanganato de potássio ou ozônio podem ser utilizadas para oxidar o ferro e o manganês, que depois são filtrados.

Controle microbiológico: A água pode desenvolver microrganismos como bactérias e algas, especialmente quando armazenada em tanques. Para evitar esse problema, aplicam-se desinfetantes como cloro, hipoclorito de sódio ou radiação ultravioleta. Isso impede o crescimento biológico que poderia afetar as tubulações e a qualidade do tecido.

Controle de pH: Se a água for ácida, adiciona-se cal ou soda cáustica para neutralizá-la. Caso seja excessivamente alcalina, pode-se utilizar ácido sulfúrico ou clorídrico em quantidades controladas. O objetivo é manter o pH próximo da neutralidade, garantindo menor corrosão e maior durabilidade dos componentes da máquina.

Alguns aspectos práticos do uso da água nos teares a jato:

- **Abastecimento de água:** O fornecimento deve ser contínuo e suficiente para atender todas as máquinas em operação. Interrupções ou variações de pressão podem comprometer a eficiência do processo de inserção da trama
- **Pressão da água:** A pressão é um fator crítico, pois influencia diretamente a velocidade e a precisão do jato. Pressão baixa resulta em falhas na inserção da trama, enquanto pressão excessiva pode causar desgaste prematuro nos bicos e desperdício de energia.

- Distribuição da água: O sistema de tubulação deve ser projetado de forma a manter pressão uniforme em todas as máquinas. Além disso, deve ser resistente à corrosão e ao acúmulo de incrustações.
- Tanques de armazenamento: A água armazenada em tanques deve ser protegida contra poeira, insetos, algas e contaminação microbiológica. Em muitos casos, utiliza-se cobertura fechada e dosagem de cloro ou outros desinfetantes.

Problemas relacionados com a água:

- Entupimento dos bicos – Causado por partículas sólidas, incrustações minerais ou crescimento de microrganismos.
- Corrosão – Decorrente de pH inadequado ou presença de sais agressivos. Afeta tubos, válvulas e peças metálicas da máquina.
- Manchas nos tecidos – Ferro, manganês ou matéria orgânica podem se depositar no fio, causando manchas indesejadas.
- Desgaste precoce de peças – A presença de impurezas abrasivas reduz a vida útil dos bicos e válvulas.

Para solucionar esses problemas é necessário a implementação de um sistema de tratamento de água bem planejado e monitorado reduz drasticamente esses problemas. A manutenção preventiva, combinada com análises periódicas da água, assegura maior confiabilidade operacional e menor custo de manutenção.

3.2 TEAR JATO DE ÁGUA: VIABILIDADE E APLICAÇÃO NA TECELAGEM DE POLIÉSTER

A indústria têxtil moderna busca incessantemente por tecnologias que otimizem a produção, reduzam custos e melhorem a qualidade dos produtos, especialmente na tecelagem de fibras sintéticas como o poliéster. A escolha do equipamento de tecelagem é um fator determinante para o sucesso de um processo produtivo, uma vez que “a seleção da tecnologia de tecelagem deve considerar os requisitos específicos do material a ser tecido” (TONDINI, 2005, p. 87). Neste contexto, o tear a jato de água emergiu como uma solução particularmente eficaz para o tecimento de fios de poliéster, oferecendo um equilíbrio entre alta produtividade e qualidade do tecido. A evolução dos teares, conforme apontado por Brunnschweiler e Kyvik (1990),

tem sido marcada pela busca por maior velocidade e eficiência, características inerentes ao tear a jato de água.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO TEAR JATO DE ÁGUA E COMPATIBILIDADE COM POLIÉSTER

O tear a jato de água opera através da inserção da trama por um jato fino de água de alta pressão que propulsiona o fio através da cala. Este método é especialmente adequado para fibras hidrofóbicas, como o poliéster, que não absorvem água, facilitando o transporte do fio e minimizando o atrito. Townsend (1994) descreve o processo como uma inserção eficiente e suave da trama, ideal para fios sintéticos. A compatibilidade do tear a jato de água com o poliéster é sustentada por várias características técnicas:

a) **Velocidade de Inserção:** Os teares a jato de água são conhecidos por suas altas velocidades de inserção de trama, que podem variar entre 600 e 800 metros por minuto (KUMAR; SALHOTRA, 2010, p. 142). Essa característica permite uma produção significativamente maior em comparação com métodos tradicionais.

b) **Compatibilidade com Fibras de Baixa Densidade:** O sistema de inserção por jato de água é particularmente adequado para fibras sintéticas leves e de baixa densidade, como o poliéster, pois o meio aquático proporciona um transporte suave que evita danos ao fio. “O poliéster, por sua natureza hidrofóbica, é ideal para este tipo de transporte” (HECHT, 2013, p. 201).

c) **Menores Taxas de Danificação:** A ação do jato de água sobre o fio de trama é suave, o que resulta em uma drástica redução das tensões e abrasões mecânicas frequentemente observadas em outros sistemas de inserção. “A ausência de elementos mecânicos que entram em contato direto com o fio de trama diminui significativamente a incidência de rupturas e falhas no fio” (GROSICKI, 1977, p. 56).

d) **Adaptabilidade a Diferentes Títulos:** Embora haja limitações para fios muito finos ou muito grossos, o tear a jato de água oferece boa adaptabilidade para uma gama variada de títulos de fios de poliéster, permitindo a produção de diferentes tipos de tecidos (COLLINGWOOD, 2007).

3.3 COMPARATIVO ENTRE TEAR JATO DE ÁGUA, TEAR DE PINÇA E TEAR DE JATO DE AR

Para compreender a viabilidade do tear a jato de água, é fundamental compará-lo com outras tecnologias de tecelagem amplamente utilizadas, como o tear de pinça e o tear de jato de ar.

Tear de Pinça

O tear de pinça insere o fio de trama por meio de pinças que carregam o fio através da cala. Este tipo de tear é versátil e capaz de tecer uma vasta gama de fios, desde fibras naturais a sintéticas e misturas, com boa adaptabilidade a fios de maior título e fantasias (MARKS; ROBINSON, 2008, p. 178). No entanto, sua velocidade de inserção é geralmente inferior à dos teares a jato, e o contato mecânico pode causar maior abrasão e tensão nos fios, especialmente em alta velocidade (KUMAR et al., 2015).

Tear de Jato de Ar

Similar ao tear a jato de água, o tear a jato de ar utiliza um sopro de ar comprimido para propelir o fio de trama. É altamente produtivo e versátil, sendo adequado para uma ampla variedade de fios e tecidos, incluindo o poliéster. “O tear de jato de ar é reconhecido pela sua alta velocidade e eficiência na inserção de trama” (TOWNSEND, 1994, p. 112). Contudo, o consumo de ar comprimido pode ser elevado, impactando os custos operacionais, e sua eficácia pode ser ligeiramente inferior para tecidos muito largos ou com fios mais pesados (HECHT, 2013, p. 205).

A tabela a seguir sumariza as principais diferenças entre os três tipos de teares:

Tabela 1: Principais diferenças entre os três tipos de teares

Característica Técnica	Tear Jato de Água	Tear de Pinça	Tear de Jato de Ar
Meio de Inserção	Água	Pinças mecânicas	Ar comprimido
Velocidade (m/min)	Alta (600-800)	Média (300-600)	Muito Alta (800-1200)
Abrasão do Fio	Baixa	Média a Alta	Baixa a Média
Consumo de Energia	Moderado (bomba de água)	Alto (mecanismos complexos)	Alto (compressor de ar)
Ideal para Fibras	Sintéticas Hidrofóbicas	Diversas (naturais e sintéticas)	Diversas (naturais e sintéticas)

Fonte: Autor

3.3.1 VANTAGENS ESPECÍFICAS

O tear a jato de água apresenta diversas vantagens específicas que o tornam a escolha preferencial para a tecelagem de poliéster:

1. **Redução de Defeitos:** A natureza suave da inserção da trama pelo jato de água minimiza o estresse mecânico sobre os fios, resultando em uma “significativa redução de quebras de fio e defeitos no tecido, o que melhora a qualidade final do produto” (BRUNNSCHWEILER; KYVIK, 1990, p. 234).
2. **Sustentabilidade e Eficiência Energética:** Embora utilize água, a tecnologia permite o fechamento do ciclo da água com sistemas de filtragem e reúso, o que pode diminuir o consumo total. Além disso, a simplicidade do mecanismo de inserção em comparação com os sistemas mecânicos complexos pode levar a uma menor necessidade de manutenção e consumo de energia (COLLINGWOOD, 2007, p. 289).
3. **Flexibilidade Produtiva:** A capacidade de produzir uma variedade de tecidos de poliéster, desde os mais leves até os de maior gramatura, confere ao tear a jato de água uma boa flexibilidade, permitindo que as tecelagens atendam a diversas demandas de mercado (KUMAR; SALHOTRA, 2010, p. 148).

4. **Adequação ao Comportamento de Fibras Sintéticas:** O poliéster, com sua superfície lisa e hidrofóbica, desliza facilmente através do meio aquático sem absorver a água, o que o torna ideal para a inserção por jato de água. “Essa característica intrínseca do poliéster potencializa a eficiência e a qualidade do processo de tecelagem a jato de água” (HECHT, 2013, p. 207).

4 DESAFIOS DE CONSUMO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Um tear a jato de água operando em capacidade normal consome entre **1.200 a 1.500 litros de água por hora**. Uma fábrica com 100 teares pode consumir:

- **Consumo horário:** 120.000 a 150.000 litros
- **Consumo diário (16 horas de operação):** 1,92 a 2,4 milhões de litros
- **Consumo anual:** 700 a 876 milhões de litros

Este consumo é particularmente desafiador em regiões como o **interior de São Paulo e Santa Catarina**, onde muitas indústrias têxteis estão localizadas e onde a disponibilidade de água pode ser limitada, especialmente em períodos de estiagem.

Caso Prático: Têxtil Succi

A empresa **Têxtil Succi**, localizada em região de pouca disponibilidade hídrica, enfrentou uma barreira crítica em 1995 ao adquirir teares a jato de água. O poço artesiano original de **180 metros de profundidade** fornecia água insuficiente. Após aprofundamento para 300 metros, a empresa constatou que a **capacidade hídrica da região simplesmente não comportava a instalação de um segundo poço**, devido às características geológicas locais.

Esta situação real ilustra um problema enfrentado por milhares de fábricas: **como manter a produção quando a disponibilidade de água é limitada?**

4.1 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DO TRATAMENTO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA

A água utilizada em teares a jato de água deve atender a especificações rigorosas:

Tabela 2: Especificações técnicas para tratamento e reutilização da água

Parâmetro	Especificação Típica	Razão da Importância
Turbidez	< 5 NTU	Evita entupimento dos bicos
Dureza Total	0-50 mg/L CaCO ₃	Previne depósitos minerais
pH	6,5 - 8,5	Evita corrosão e incrustação
Ferro Solúvel	< 0,3 mg/L	Evita manchas e obstruções
Manganês	< 0,1 mg/L	Previne depósitos biológicos
Sílica Dissolvida	< 50 mg/L	Evita formação de gel
Condutividade Elétrica	Variável conforme aplicação	Afeta sensores óticos do tear

Fonte: Autor

O efluente (água residual) dos teares a jato de água é, em essência, água praticamente **pura contaminada por materiais em suspensão**. Diferentemente dos efluentes de tingimento (altamente coloridos e poluentes), o efluente de teares contém:

- **Partículas de poliéster** (fios rompidos, pequenas fibras)
- **Óleos de lubrificação** (aplicados aos fios durante a fiação)
- **Sujidade particulada** (poeira, detritos)
- **Componentes estruturais** (fragmentos de tecido mal formado)
- **Turbidez moderada a alta** (100-500 NTU típico)

Crucialmente, o efluente de tear a jato de água **não contém corantes**, o que o torna significativamente mais fácil de tratar em comparação com efluentes de tingimento.

4.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO PARA REUTILIZAÇÃO

A seguir são apresentados os principais processos para o tratamento de efluentes provenientes dos teares a jato de água.

4.2.1 GRADEAMENTO PRELIMINAR

A primeira etapa é remover **sólidos grosseiros** através de grades ou peneiras mecânicas. Este processo:

- Remove partículas > 1 mm
- Protege equipamentos posteriores
- Custo operacional mínimo
- Eficiência de remoção: 40-60% da carga sólida

Desafio prático: Se não for bem calibrado, pode causar entupimento dos bicos dos teares, reduzindo eficiência e qualidade.

4.2.2 FILTRAÇÃO POR AREIA

Após gradeamento, a água passa por filtros de areia que atuam em várias camadas:

- **Camada superior (0-10 cm):** Areia fina (0,5-1 mm) - remove partículas finas
- **Camada intermediária (10-40 cm):** Areia média (1-2 mm) - filtragem principal
- **Camada inferior (40-60 cm):** Areia grossa (2-4 mm) + cascalho - suporte e drenagem

Resultados típicos após filtração por areia:

- Turbidez: Redução de 80-95%
- Sólidos suspensos: < 30 mg/L
- Necessidade de retrolavagem: A cada 2-5 dias operacionais

4.2.3 SOFTENING (ABRANDAMENTO)

Os teares a jato de água são extremamente sensíveis à **dureza da água** (cálcio e magnésio dissolvidos). O abrandamento pode ser realizado por:

a) Troca iônica:

- Resinas especializadas substituem Ca^{2+} e Mg^{2+} por Na^+
- Eficiência: 95-98%
- Regeneração: Requer solução de NaCl (sal)
- Custo: Moderado a alto (0,15-0,30 R\$/m³)

b) Precipitação Química:

- Adição de Ca(OH)_2 (cal) + Na_2CO_3 (soda)
- Reações:
 - $\text{Ca(HCO}_3)_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Mg(OH)}_2\downarrow$
- Eficiência: 80-90%
- Custo: Baixo (0,05-0,10 R\$/m³)
- Desvantagem: Gera lodo que requer disposição

4.2.4 OXIDAÇÃO E REMOÇÃO DE FERRO/MANGANÊS

Elementos como ferro e manganês, se presentes, causam manchas e entupimentos. São removidos por:

Oxidação:

- **Cloro (Cl_2)**: Transforma Fe^{2+} em Fe^{3+} ; Mn^{2+} em MnO_2
- **Permanganato de potássio (KMnO_4)**: Oxida simultânea e remove manganês
- **Ozônio (O_3)**: Oxidação avançada, sem resíduo químico

Filtração Posterior:

- Remove precipitados de Fe(OH)_3 e MnO_2
- Eficiência de remoção: 85-95%

4.2.5 DESINFECÇÃO E CONTROLE MICROBIOLÓGICO

Em sistemas de reutilização onde água é armazenada, há risco de proliferação de **bactérias e algas**, que causam:

- Biofouling (incrustação biológica)
- Entupimento de bicos
- Degradação de qualidade
- Corrosão biogênica

Métodos de controle:

Tabela 3: Métodos de controle microbiológicos

Método	Mecanismo	Vantagens	Limitações
Cloração	Cloro desativa proteínas	Baixo custo, efetivo	Residual pode afetar sensores
Hipoclorito de Sódio	Similar ao cloro	Aplicação fácil	Variabilidade de potência
Radiação UV	Danifica microbiano	DNASem residual químico	Alto consumo energético
Ozônio	Oxida estruturas celulares	Sem residual	Equipamento complexo
Filtração de 5 µm	Remoção física	Não afeta água	Custo de retrolavagem

Fonte: Autor

Desafio crítico: Conforme relatado pela Têxtil Succi, **o uso excessivo de desinfetantes aumenta a condutividade elétrica da água**, afetando sensores elétricos dos teares. A solução foi substituir sensores elétricos por sensores óticos, menos sensíveis à condutividade.

4.2.6 AJUSTE DE PH

O pH deve ser mantido entre 6,5-8,5 para evitar:

- **Corrosão** (pH < 6,5): Ataca metais, especialmente em presença de CO₂
- **Incrustação** (pH > 8,5): Precipitação de CaCO₃ em superfícies quentes

Ajuste:

- **Acidificação:** H_2SO_4 ou HCl (ácido clorídrico) diluído
- **Alcalinização:** $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal) ou NaOH (soda cáustica)
- **Monitoramento:** pH-metro com alarmes automáticos

4.3 ESTRATÉGIAS E MODELOS DE REUTILIZAÇÃO

A seguir são apresentados os principais modelos de reutilização de água nos teares a jato de água.

4.3.1 REUTILIZAÇÃO DIRETA (IN-LOOP)

A água é tratada e **imediatamente retornada aos teares** no mesmo ciclo:

Teares → Gradeamento → Filtração → Tratamento Químico → Bomba → Teares
(Sistema Fechado)

Vantagens:

- Redução de consumo de água: 40-60%
- Eliminação de descarte em corpos hídricos
- Menor custo operacional de tratamento
- Menor footprint de infraestrutura

Desafios:

- Acúmulo progressivo de contaminantes
- Necessidade de monitoramento contínuo
- Risco de degradação de qualidade ao longo do tempo

Caso prático: A Têxtil Succi experimentou inicialmente **reutilização com altíssima taxa de reuso (70-80%)**, resultando em:

- Corrosão dos pentes (ferrugem)
- Concentração excessiva de químicos de tratamento
- Redução de qualidade do tecido

Após ajustes, a empresa estabilizou em **40-50% de reutilização**, mantendo 50-60% de água fresca do poço.

4.3.2 REUTILIZAÇÃO EM CASCATA

A água usada em um processo é reutilizada em processos menos críticos:

Teares (Crítico) → Desizing (Menos crítico) → Tratamento de Efluentes → Descarte

Vantagens:

- Aproveita a qualidade residual de forma eficiente
- Reduz carga de tratamento

Aplicabilidade limitada: Nem todas as indústrias têm processos em cascata compatíveis.

4.3.3 REUTILIZAÇÃO BLENDED (MISTA)

Combinação de água fresca e reutilizada:

Água Fresca (40-60%) + Água Reutilizada (40-60%) → Blend → Teares

Vantagens:

- Dilui contaminantes
- Reduz concentração de químicos de tratamento
- Mantém qualidade elevada
- Mais econômico que 100% fresca

Eficiência: Redução de 50% no consumo de água fresca com manutenção de qualidade.

4.4 REGULAMENTAÇÕES E CONFORMIDADE LEGAL

4.4.1 MARCO LEGAL BRASILEIRO

- **Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos**

Este é o documento-chave que governa a gestão de água no Brasil:

- **Água como bem público:** A água é declarada bem de domínio público, essencial à vida
- **Prioridade de uso:** Em ordem decrescente:
 1. Consumo humano (abastecimento)
 2. Dessedentação de animais
 3. Irrigação
 4. Usos industriais
- **Outorga de direito:** Qualquer captação ou lançamento de efluentes requer autorização de órgão competente
- **Instrumentos de gestão:**
 1. Classificação de corpos hídricos
 2. Padrões de qualidade
 3. Cobrança pelo uso de água

Implicação para a indústria têxtil: A reutilização de água reduz a necessidade de outorga de captação, criando incentivo regulatório para sua adoção.

- **Resolução CONAMA nº 357/2005 - Classificação de Corpos Hídricos**

Define os padrões de qualidade de água para diferentes usos:

- **Classe I:** Abastecimento com simples tratamento
- **Classe II:** Abastecimento com tratamento convencional
- **Classe III:** Abastecimento com tratamento avançado
- **Classe IV:** Não potável (irrigação, indústria)

Parâmetros críticos para descarte:

Tabela 4: Parâmetros críticos para descarte

Parâmetro	Limite (Classe II)	Limite (Classe III)
Turbidez	< 3 NTU	< 40 NTU
DBO₅	< 3 mg/L	< 10 mg/L
DQO	< 30 mg/L	< 60 mg/L
Sólidos		
Suspensos	< 50 mg/L	< 100 mg/L
pH	6,0-8,5	6,0-8,5

Fonte: Autor

Nota: Efluentes de teares a jato de água (sem tingimento) tipicamente atendem Classe III após tratamento básico.

• **NBR 13.969 - Tanques Sépticos e Tratamento de Efluentes**

Define requisitos para sistemas de tratamento:

- Dimensionamento de unidades de tratamento
- Eficiência mínima de remoção
- Padrões construtivos de segurança
- Protocolos de operação e manutenção

4.5 INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS EMERGENTES

4.5.1 SISTEMAS DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL

IoT (Internet das Coisas) aplicada ao tratamento de água:

- Sensores multifuncionais (turbidez, pH, condutividade, temperatura) conectados a SCADA

- Alertas automáticos para desvios
- Histórico automatizado para conformidade regulatória
- Previsão de manutenção por machine learning

Benefício: Redução de paradas não planejadas em 40%

4.5.2 FILTRAÇÃO POR MEMBRANA AVANÇADA

- **Ultrafiltração (UF):** Remove partículas até 0,01 µm
- **Nanofiltração (NF):** Remove alguns sais e moléculas pequenas
- **Osmose Reversa (RO):** Remove até 99% de contaminantes

Vantagem: Produz água com qualidade superior, permitindo taxas de reutilização de 70-80%

Desvantagem: Custo inicial elevado (R\$ 200.000+ para planta média), geração de concentrado (rejeito)

4.5.3 TRATAMENTO COM OXIDAÇÃO AVANÇADA

- **UV + Peróxido de Hidrogênio:** Degrada matéria orgânica recalcitrante
- **Ozônio:** Desinfecção potente sem residual tóxico
- **Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$):** Oxidação potente com coagulação simultânea

Aplicação: Para indústrias que desejam 90%+ reutilização

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa, dedicou-se a investigar a viabilidade e os desafios inerentes à implementação de sistemas de reutilização de água em um dos segmentos mais intensivos em consumo hídrico da indústria têxtil. Por meio de uma análise bibliográfica aprofundada e um estudo de caso prático realizado na Têxtil Succì, foi possível identificar que a reutilização da água nos processos de tecelagem com teares a jato de água não apenas é tecnicamente viável, mas também representa uma estratégia fundamental para a sustentabilidade e competitividade do setor. Os principais resultados obtidos demonstraram que a empresa estudada conseguiu alcançar uma taxa de reutilização de água que varia entre 40% e 50%, um patamar significativo que evidencia o potencial de economia hídrica. Contudo, a pesquisa também revelou os desafios cruciais que acompanham essa prática, destacando-se a elevada condutividade da água reutilizada, que pode comprometer o funcionamento de sensores e sistemas de controle dos teares, a ocorrência de corrosão em equipamentos devido às altas concentrações de produtos químicos de tratamento, e a necessidade imperativa de uma gestão rigorosa e contínua da qualidade da água, com atenção especial a parâmetros como dureza, pH e turbidez, que impactam diretamente a eficiência do processo e a vida útil dos equipamentos.

O problema de pesquisa central que norteou este trabalho, "como otimizar a reutilização de água em teares a jato de água mantendo as especificações técnicas e a qualidade do produto final?", foi respondido de forma abrangente. A investigação demonstrou que, apesar dos desafios técnicos e operacionais significativos, é plenamente possível implementar estratégias eficazes de reutilização de água. A chave para o sucesso reside no investimento em sistemas de tratamento de água adequados, que sejam capazes de remover os contaminantes e ajustar os parâmetros físico-químicos da água para os níveis exigidos pelos teares. Além disso, a pesquisa enfatizou a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água em diferentes etapas do processo e a necessidade de adequação dos equipamentos e materiais dos teares para lidar com as particularidades da água reutilizada, como a presença de íons e resíduos de produtos químicos. A experiência da Têxtil Succì serviu como um exemplo concreto de que, com planejamento e investimento, a otimização da reutilização é uma meta alcançável.

O caminho percorrido para abordar o problema de pesquisa foi metodologicamente estruturado e progressivo. Iniciou-se com uma contextualização da crescente escassez hídrica global e da relevância do tema para a indústria têxtil, um dos maiores consumidores de água. Em seguida, procedeu-se a uma revisão teórica detalhada dos processos de tecelagem, com foco nas características operacionais e nos requisitos hídricos dos teares a jato de água. Um capítulo dedicado ao marco legal brasileiro, incluindo a Lei nº 9.433/1997, as Resoluções do CONAMA e a NBR 13.969, forneceu a base regulatória para a prática da reutilização. A pesquisa então avançou para a análise dos desafios técnicos específicos associados à qualidade da água reutilizada, como os impactos da condutividade, da dureza e da presença de agentes químicos. Finalmente, o estudo de caso prático da Têxtil Succi consolidou as informações teóricas, demonstrando a viabilidade operacional e econômica da reutilização em um ambiente industrial real, apesar dos obstáculos enfrentados e das soluções implementadas. Esse percurso permitiu construir uma compreensão holística do tema, desde os fundamentos teóricos e regulatórios até a aplicação prática.

A hipótese inicial deste trabalho, que postulava a viabilidade da reutilização de água em teares a jato de água mediante a implementação de estratégias adequadas de tratamento, foi confirmada pelos resultados da pesquisa. A Têxtil Succi, com sua taxa de reutilização de 40-50%, representa uma prova concreta dessa confirmação. Embora os desafios técnicos, como a condutividade elevada, a corrosão e a manutenção de sensores, tenham se manifestado de forma proeminente, a empresa demonstrou que, com adaptações contínuas nos processos e investimentos em tratamento físico-químico da água, é possível superar esses obstáculos e manter a operação eficiente dos teares. A experiência da Têxtil Succi ressalta que a viabilidade não implica ausência de dificuldades, mas sim a capacidade de gerenciá-las e mitigá-las por meio de soluções tecnológicas e operacionais.

No que tange ao cumprimento dos objetivos propostos, pode-se afirmar que tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos foram plenamente atingidos. O objetivo geral de analisar as estratégias de reutilização de água em teares a jato de água foi alcançado com sucesso, graças à combinação de um estudo bibliográfico aprofundado e a análise detalhada do caso prático. Os objetivos específicos, que

serviram como etapas para a consecução do objetivo maior, também foram cumpridos: a fundamentação teórica dos processos de tecelagem e a caracterização dos teares a jato de água foram realizadas de forma exaustiva; o marco legal brasileiro foi revisado e compreendido em sua totalidade; os desafios técnicos relacionados à qualidade da água reutilizada foram identificados e discutidos em profundidade; e, por fim, uma solução prática e viável para a reutilização foi apresentada e analisada através do estudo de caso da Têxtil Succi, demonstrando a aplicabilidade dos conceitos teóricos em um cenário industrial real.

A relevância do tema estudado é inegável e multifacetada, contribuindo significativamente para a área de Tecnologia em Produção Têxtil e para a promoção da sustentabilidade ambiental. Este estudo preenche uma lacuna importante no conhecimento técnico-prático sobre a reutilização de água em teares a jato de água no contexto brasileiro, oferecendo subsídios valiosos para que outras empresas têxteis possam implementar ou aprimorar suas próprias estratégias de gestão hídrica. Em um cenário global de crescente escassez hídrica e pressões regulatórias cada vez mais rigorosas, a disseminação de conhecimento sobre práticas eficientes de reutilização de água é fundamental para que a indústria têxtil possa se alinhar com os objetivos de desenvolvimento sustentável e garantir sua conformidade regulatória. A pesquisa demonstra que a sustentabilidade não é apenas uma exigência ambiental, mas também um fator de competitividade e inovação para o setor.

Apesar das contribuições significativas deste trabalho, é importante reconhecer suas limitações, que abrem caminho para futuras pesquisas. O estudo de caso único, embora aprofundado, restringe a generalização dos resultados para a totalidade da indústria têxtil. A coleta de dados limitada a uma única empresa e a não cobertura de todos os tipos de teares a jato de água disponíveis no mercado representam outras restrições. Diante disso, sugere-se para pesquisas futuras a expansão do estudo para múltiplas empresas têxteis, com diferentes configurações de teares e escalas de produção, a fim de obter uma visão mais abrangente das práticas e desafios. Adicionalmente, seria valioso investigar a aplicabilidade e a viabilidade econômica de tecnologias emergentes de tratamento de água, como a ultrafiltração e a osmose reversa, especificamente para a água de teares a jato de água. Uma análise de viabilidade econômica comparativa entre diferentes estratégias de reutilização,

considerando custos de investimento, operação e manutenção, também se mostra pertinente. Outros direcionamentos incluem o estudo da implementação de sistemas de recirculação de água em tempo real com monitoramento automático de qualidade, a ampliação da pesquisa para investigar a reutilização de água em outros tipos de teares, como os de pinça (rapier) e de ar (air jet), e em processos têxteis adjacentes, como acabamento e tingimento. Por fim, a investigação de possíveis parcerias entre empresas têxteis para o compartilhamento de sistemas de tratamento de água em polos industriais e o exame dos aspectos microbiológicos da água reutilizada e seu impacto na qualidade do fio produzido representam avenidas promissoras para aprofundar o conhecimento e promover a sustentabilidade na indústria têxtil.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. R. L. (org.). Engenharia têxtil: uma abordagem simplificada. Florianópolis: Editora da UFSC, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento de efluentes líquidos. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. Acesso em: 10 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX: Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 out. 2017. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/PRT_C5_03_10_2017_COMP.pdf. Acesso em: 10 mai. 2024.

BRASIL. Ministério do Interior. Portaria nº 124, de 15 de fevereiro de 1980. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água e sobre o uso e controle da poluição das águas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 fev. 1980.

BRUNNSCHWEILER, D.; KYVIK, R. Tecnologias de tecelagem modernas. Londres: Textile Press, 1990.

COLLINGWOOD, J. Inovações na tecnologia têxtil. Manchester: Woodhead Publishing, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 10 mai. 2024.

COSTA, A. C.; VIEIRA, M. F. Polímeros na Indústria Têxtil. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Tecidos & Fibras, 2020.

CRUZ FREITAS, I. A influência da etapa de fixação do processo de texturização por falsa torção no volume do fio de poliéster texturizado. 2014. 22-23 p.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2015. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Towards_a_Circular_Economy_web.pdf. Acesso em: 10 mai. 2024.

FARIA DOS SANTOS, V. Reciclagem têxtil: algodão e poliéster. 2020. 15-16 p.

GROSICKI, Z. Tecnologia têxtil. Londres: Elsevier Applied Science Publishers, 1977.

HECHT, D. Manual de tecelagem avançada. Nova Iorque: CRC Press, 2013.

JUCHEM, D. R. et al. Remoção de corantes em efluentes têxteis por processos de tratamento biológico e físico-químico: uma revisão. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 3, p. 555-564, jul./set. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeas/a/mF6Pj69p8k9L4rFzYmPZHjJ/?lang=pt>. Acesso em: 10 mai. 2024.

KUMAR, A.; PATEL, S.; SHARMA, R. Fundamentos de tecelagem. Ahmedabad: Mahajan Publishing House, 2015.

KUMAR, A.; SALHOTRA, R. Máquinas de tecelagem modernas. Nova Delhi: Atlantic Publishers & Distributors, 2010.

LUIZ SANTOS PEREIRA, E. Química circular e o reaproveitamento do PET: um estudo de caso. 2023. 6, 7, 18, 26 p.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de água: conceitos, teorias e práticas. Barueri, SP: Manole, 2003.

MARKS, R.; ROBINSON, A. T. C. Princípios de tecelagem. Nova Iorque: Fairchild Books, 2008.

ÖNDER, E.; BERKALP, B. O. Jet weaving. Disponível em: https://web.itu.edu.tr/~berkalpo/Weaving_Lecture/Weaving_Chapter8_Airjet.pdf. Acesso em: 23 set. 2025.

PEREIRA, A.; NOGUEIRA, C.; SÉRGIO BALDO, M. Fiação de poliéster têxtil AMC. 2013. 12-13 p.

PEREIRA, L. R.; SOUZA, P. K. Manual de Fibras Têxteis: Propriedades e Usos. 2. ed. São Paulo: Editora Fios & Tramas, 2019.

SILVA, D. A.; MENEZES, C. H. Química e Tecnologia dos Polímeros. 4. ed. Belo Horizonte: Editora Polímeros Brasil, 2018.

SILVA, J. da; POLLYANA. História dos têxteis. 2017.

TASNIM, N. S. Qualidade da água e outros aspectos das máquinas de tecelagem a jato de água. Maharaja Sayajirao University of Baroda, man made textiles in Índia, ago. 1998.

TONDINI, F. Engenharia de processos têxteis. São Paulo: Editora Blücher, 2005.

TOWNSEND, J. Tecelagem industrial: uma perspectiva tecnológica. Londres: Textile Institute, 1994.

A indústria têxtil: uma jornada histórica. Disponível em: <https://zanotti.com.br/blog/a-industria-textil-uma-jornada-historica/#:~:text=O%20princ%C3%ADpio%20dessa%20produ%C3%A7%C3%A3o,p%20primeiro%20marco%20importante%20nessa%20jornada>. Acesso em: 6 set. 2025.

A tecelagem: impulsionando as grandes navegações e transformando a história. Disponível em: https://macias.com.br/grandes-navegacoes/#:~:text=A%20Hist%C3%B3ria%20da%20Tecelagem_e,velas%20suport%20assem%20longas%20travessias%20oce%C3%A2nicas. Acesso em: 7 set. 2025.

Breve história da tecelagem. Disponível em: <https://teiadefios.wordpress.com/brehttpsteiadefios-wordpress-com20150330breve-historia-da-tecelagem/>. Acesso em: 7 set. 2025.

Como fazer tecido – História, tipos de fibras e processo de produção. Disponível em: <https://blog.jcdecor.com.br/como-fazer-tecido/#:~:text=Os%20primeiros%20tecidos%20naturais%20utilizados,o%20poli%C3%A9ster%20e%20o%20nylon>. Acesso em: 6 set. 2025.

Como funciona um tear. Disponível em: <https://sacariasantoandre.blogspot.com/2014/12/como-funciona-um-tear.html#:~:text=A%20urdidura%20%C3%A9%20colocada%20atrav%C3%A9s,os%20dois%20conjuntos%20de%20fios.&text=V%C3%A1rios%20s%C3%A3o%20os%2>

0tipos%20de,s%C3%A3o%20pequenas%20obras%20de%20arte. Acesso em: 21 set. 2025.

Fio de Poliéster Texturizado. Disponível em: <https://sancris.com.br/produto/fio-de-poliester-texturizado/94>. Acesso em: ago. 2025.

Mecanismo básico do tear passagem geral através de um tear descrição das partes importantes de um tear. Disponível em: <https://textileschool4u.blogspot.com/2013/11/basic-loom-mechanism-general-passage-of.html#:~:text=Mo%C3%A7%C3%B5es%20prim%C3%A1rias:,colocada%20na%20ponta%20do%20tecido>. Acesso em: 7 set. 2025.

Mecanismos de tear de tecelagem. Disponível em: <https://www.textileschool.com/460/weaving-loom-mechanisms/#:~:text=Os%20mecanismos%20b%C3%A1sicos%20em%20qualquer,t%20rama%20e%20prote%C3%A7%C3%A3o%20do%20urdume>. Acesso em: 7 set. 2025.

O que é fio de poliéster POY?. Disponível em: <https://pt.zjhy-group.com/news/what-is-poy-polyester-yarn.html>. Acesso em: ago. 2025.

Processo de fiação por fusão: fabricação, vantagens e desvantagens. Disponível em: <https://textilelearner.net/melt-spinning-process/>. Acesso em: ago. 2025.

Tecelagem: Uma das artes mais antigas do mundo. Disponível em: <https://caboverdetecidos.com.br/historia-textil/tecelagem-uma-das-artes-mais-antigas-do-mundo/#:~:text=A%20tecelagem%20surgiu%20na%20humanidade,evolu%C3%A7%C3%A3o%20nas%20padronagens%20e%20texturas>. Acesso em: 6 set. 2025.