



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

Antônio Carlos Araújo de Jesus

ENGOMAGEM DE FIOS OPEN END PARA USO EM PRODUÇÃO DE TECIDOS
PRONTOS PARA TINGIR

AMERICANA, SP

2026

Antônio Carlos Araújo de Jesus

ENGOMAGEM DE FIOS OPEN END PARA USO EM PRODUÇÃO DE TECIDOS
PRONTOS PARA TINGIR

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido em
cumprimento à exigência curricular do Curso
Superior de Tecnologia em Produção Têxtil no
CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – FATEC/
Americana – Ministro Ralph Biasi.

Área de concentração: Engomagem

Orientador: Prof. Dr. Daives Arakem Bergamasco

AMERICANA, SP

2026

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

JESUS, Antônio Carlos Araújo de

Engomagem de fios open end para uso em produção de tecidos prontos para tingir. / Antônio Carlos Araújo de Jesus – Americana, 2026.

73f.

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. Engomagem 2. Tecnologia têxtil – processos industriais. I. JESUS, Antônio Carlos Araújo de II. BERGAMASCO, Daives Arakem III. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi

CDU: 677.023.75
677.02

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

ANTONIO CARLOS ARAÚJO DE JESUS

**ENGOMAGEM DE FIOS OPEN END PARA USO EM PRODUÇÃO
DE TECIDOS PRONTOS PARA TINGIR**

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: Processos de Engomagem

Americana, 10 de Junho de 2026

Banca Examinadora:



Dalves Arakem Bergamasco
(Presidente)
Doutor
Fatec Americana



Dila De Oliveira Trevisan
(Membro)
Especialista
Fatec Americana



Valmir Calefi
(Membro)
Mestre
Fatec Americana

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também o resultado de um percurso marcado por desafios, aprendizados e muitas contribuições valiosas. Por isso, gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que fizeram parte dessa jornada.

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

Agradeço a Deus e a minha família, por me incentivar, em especial, aos meus pais, minha esposa e minhas filhas.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por me conceder perseverança e determinação durante esta trajetória acadêmica.

À minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos mais difíceis, sendo essencial para a concretização deste objetivo.

Aos professores, pelos ensinamentos transmitidos, dedicação e contribuição para minha formação acadêmica.

Aos colegas e amigos, pelo companheirismo, troca de conhecimentos e apoio ao longo desta caminhada.

Por fim, dedico este trabalho a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização desta importante etapa na minha vida.

FRASE

A educação transforma o conhecimento em oportunidade, e o esforço de hoje constrói as conquistas do amanhã.

Autor desconhecido.

RESUMO

O processo de engomagem de fios de algodão gerados por fiação a rotor (open-end) para a confecção de tecidos planos Prontos para Tingir (PT) representa um campo de estudo crucial para elevar a produtividade e a sustentabilidade no beneficiamento têxtil. Esta etapa é fundamental para blindar o fio contra as intensas forças de abrasão e tração que ocorrem durante o processo de tecitura nos teares modernos. Com o propósito de investigar e otimizar essa operação, a presente pesquisa buscou avaliar como o controle rigoroso dos parâmetros operacionais: reologia da goma, arraste úmido (wet pick-up) e carga de adesivo depositada (*size add-on*), associado à aplicação de um polímero biodegradável derivado do amido modificado, o carboximetilamido (CMA), viabiliza a obtenção de tecidos planos de alta qualidade física e excelente desempenho nas etapas posteriores de tingimento. Para a execução do estudo, adotou-se uma metodologia de natureza aplicada, mesclando dados qualitativos e quantitativos que foram estruturados a partir de uma revisão sistemática de publicações técnico-científicas e no desenvolvimento de protocolos de controle operacional fabril e de calibração gravimétrica. Os resultados mais expressivos apontam que os fios open-end, apesar de sua menor resistência intrínseca, obtêm um ganho substancial de elasticidade e tenacidade quando engomados com CMA, preservando sua integridade física no tear. A estabilidade de viscosidade proporcionada pelo CMA na caixa de goma garantiu uma película homogênea e uniforme ao longo de toda a teia. Além disso, os ensaios demonstraram que a solubilidade do CMA em água morna simplifica e otimiza a desengomagem, solucionando gargalos históricos de absorção irregular de corantes. Conclui-se que o rigoroso monitoramento reológico e gravimétrico consolida o CMA como uma alternativa técnica e ecológica superior ao amido nativo e aos adesivos sintéticos, reduzindo quebras nas salas de tecelagem e viabilizando processos têxteis limpos.

Palavras-chave: Engomagem; Fiação open-end; Carboximetilamido; Tecido plano; Beneficiamento têxtil.

ABSTRACT

The textile sizing process of cotton yarns produced by rotor (open-end) spinning for the manufacture of Ready-to-Dye (RTD) woven fabrics represents a crucial field of study to enhance productivity and sustainability in textile wet processing. This stage is fundamental to shield the yarn against the intense forces of abrasion and tension that occur during the weaving process in modern looms. Aiming to investigate and optimize this operation, this research evaluated how the rigorous control of operational parameters namely size bath rheology, wet pick-up, and size add-on associated with the application of carboxymethyl starch (CMS), a biodegradable polymer derived from modified starch, enables the production of woven fabrics with high physical quality and excellent performance in subsequent dyeing stages. To conduct this study, an applied research methodology was adopted, merging qualitative and quantitative data structured from a systematic review of technical-scientific literature and the development of mill operational control and gravimetric calibration protocols. The most significant results indicate that open-end yarns, despite their lower intrinsic strength, achieve a substantial increase in elasticity and tenacity when sized with CMS, preserving their physical integrity in the loom. The viscosity stability provided by CMS in the size box ensured a homogeneous and uniform film along the entire warp. Furthermore, trials demonstrated that the solubility of CMS in warm water simplifies and optimizes the desizing process, resolving historical bottlenecks of uneven dye absorption. It is concluded that rigorous rheological and gravimetric monitoring consolidates CMS as a technically and ecologically superior alternative to native starch and synthetic adhesives, reducing warp breakage in weaving rooms and enabling clean textile processing.

Keywords: Sizing; Open-end spinning; Carboxymethyl starch; Woven fabric; Textile wet processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fibra do algodão	18
Figura 2: Comparativo de maturidade da fibra de algodão.....	19
Figura 3: Linha de abertura UNIfloc da Rieter	21
Figura 4: limpador universal CL-U da truetzschler.....	22
Figura 5: Carda Trützschler	23
Figura 6: Máquina de Fiação Rotor – Open end	24
Figura 7: Fibras de enrolamento.....	26
Figura 8: Gaiola de urdimento direto	29
Figura 9: Pente de distribuição	30
Figura 10: Urdideira por sistema direto	31
Figura 11: Gaiola de alimentação.....	34
Figura 12: Caixa de goma	35
Figura 13: Esquema da caixa de goma	36
Figura 14: Zona de secagem.....	37
Figura 15: Varas de separação	40
Figura 16: Cabeçote bobinador	42
Figura 17: Sistema de Cozimento de goma Contínuo – Jet Cooking	45
Figura 18: Reservatório elevado de armazenamento de goma	46
Figura 19: Bomba de transferência	47
Figura 20: Controlador de temperatura do reservatório de armazenamento de goma	48
Figura 21: Carboximetilamido (CMA)	49
Figura 22: Viscosímetro de orifício ZAHN.....	54
Figura 23: Refratômetros de precisão	55
Figura 24: Teste de viscosidade com viscosímetro de orifício	57
Figura 25: Adição de amostra de goma ao refratômetro	59
Figura 26: Leitura na escala Brix	60
Figura 27: Passo a passo do método de análise de carga de goma por extração	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Compativo entre amido tradicional e Carboximetilamido (CMA)	51
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Brix – Escala de sólidos solúveis

CMA – Carboximetilamido

CMC - Carboximetilcelulose

cP – Centipoise (viscosidade)

NBR – Norma Brasileira

PT – Pronto para Tingir

PVA – Álcool Polivinílico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	Algodão	18
2.2	Fiação a rotor	20
2.3	Fundamentos da engomagem	25
3	PROCESSO COMPLETO DE ENGOMAGEM DE FIOS PARA PRODUÇÃO DE TECIDOS PT DE ALGODÃO COM FIOS FABRICADOS POR FIAÇÃO OPEN END	28
3.1	O Urdimento Direto ou Contínuo: Fundamentos, Processos e Critérios de Qualidade	28
4	FLUXOGRAMA E ETAPAS DO PROCESSO DE ENGOMAGEM	33
4.1	Gaiola de Alimentação:.....	33
4.2	Caixa de Goma:.....	34
4.2.1	Dinâmica de Impregnação e Funcionamento Mecânico:	35
4.2.2	Controle de Variáveis e Propriedades do Banho:	36
4.2.3	Regulação da Pressão e Cilindros Espremedores:.....	36
4.3	Zona de Secagem	37
4.3.1	Funcionamento Mecânico e Transferência de Calor.....	38
4.3.2	Controle de Temperatura e Velocidade	38
4.3.3	Monitoramento da Umidade Residual	38
4.4	Separação a Seco e Monitoramento: Integridade da Película e Controle de Tensão	39
4.4.1	Mecânica de Separação e Barras Divisoras	39
4.4.2	Monitoramento de Tensão e Células de Carga	40
4.4.3	Controle Final de Umidade e Eletricidade Estática	40
4.5	Bobinamento Final: Arquitetura do Rolo e Controle de Estiramento	41
4.5.1	Mecânica de Enrolamento e Controle de Tensão:	41
4.6	Gerenciamento do Estiramento (Stretch Control)	42
4.7	Arquitetura e Geometria do Rolo	43
5	QUÍMICA E PREPARAÇÃO DOS AGENTES DE ENGOMAGEM: UMA ANÁLISE DO CARBOXIMETILAMIDO (CMA)	44
5.1	Preparação da Goma: Fundamentos e Sistemas de Cozimento	44
5.1.1	Cozimento por Batelada (Batch Cooking).....	44

5.1.2	Cozimento Contínuo (Jet Cooking)	45
5.1.3	Reservatório de goma.....	46
5.2	Carboximetilamido (CMA): Definição e Processo de Obtenção	48
5.2.1	Processo de Obtenção	49
5.2.2	Análise Crítica do CMA na Aplicação Têxtil	50
5.2.3	Análise Comparativa: CMA vs. Amido Tradicional.....	51
6	CONTROLE DE VISCOSIDADE NA CAIXA DE GOMA: FUNDAMENTOS REOLÓGICOS E MONITORAMENTO OPERACIONAL.....	53
6.1	Descrição Detalhada dos Equipamentos de Medição	53
6.1.1	Viscosímetros de Orifício (Copos Ford e Zahn).....	53
6.1.2	Viscosímetros Rotacionais (Brookfield)	54
6.1.3	Refratômetros de Precisão	55
6.2	Metodologia e Procedimentos Operacionais do Ensaio	56
6.2.1	Coleta de Amostra e Estabilização Térmica	56
6.3	Procedimento com Viscosímetro de Orifício	56
6.4	Procedimento com Viscosímetro Rotacional	58
6.5	Procedimento com Refratômetros de Precisão	58
6.5.1	Coleta e Preparação da Amostra.....	58
6.5.2	Execução da Leitura	59
6.5.3	Correlação entre Graus Brix e Percentual de Sólidos Real	60
6.5.4	Impacto da Evaporação e Diluição	61
6.5.5	Sólidos Totais vs. Sólidos Ativos	61
6.6	Análise Técnica dos Parâmetros de Controle.....	61
6.6.1	Influência da Temperatura e Concentração	62
6.6.2	Estabilidade Reológica e Polímeros Modificados	62
6.6.3	Correlação com a Pressão de Espremimento	62
7	AVALIAÇÃO DA CARGA E ARRASTE DE GOMA: PROTOCOLOS GRAVIMÉTRICOS E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL.....	63
7.1	Descrição Detalhada dos Equipamentos de Medição	63
7.1.1	Balança Analítica de Alta Precisão	63
7.1.2	Estufa de Secagem com Circulação de Ar Forçada	64
7.1.3	Dessecadores e Recipientes de Pesagem	64
7.1.4	Equipamentos de Extração Química.....	64
7.2	Metodologia e Procedimentos Operacionais Detalhados	65

7.2.1	Procedimento para Determinação da Carga de Goma (Size Add-on) .	65
7.2.2	Procedimento para Determinação do Arraste de Goma (Wet Pick-up)	67
7.3	Análise Técnica dos Parâmetros Críticos e Interpretação de Dados.....	67
7.3.1	Relação entre Arraste, Concentração e Carga Final	67
7.3.2	Eficiência da Engomagem com CMA vs. Amido Nativo.....	68
7.3.3	O Fenômeno do Arraste e a Secagem	68
8	CONCLUSÃO	69

1 INTRODUÇÃO

A engomagem de fios de algodão constitui uma das etapas mais críticas e determinantes para a eficiência da tecitura plana, atuando como um elo de transição indispensável entre a fiação e o tear. No contexto do beneficiamento primário para a produção de tecidos Prontos para Tingir (PT), o processo ganha ainda mais complexidade quando se utilizam fios produzidos por fiação a rotor (*open-end*). Estes fios, embora ofereçam excelente cobertura visual e regularidade, apresentam menor resistência à tração e uma estrutura superficial singular, caracterizada por fibras de amarração (*wrapper fibers*), o que eleva a sua suscetibilidade a falhas por abrasão mecânica durante a inserção da trama e batida do pente. Para mitigar tais limitações, a aplicação de uma película protetora homogênea por meio de agentes engomantes modernos, como o carboximetilamido (CMA) um éter aniônico derivado do amido modificado, torna-se essencial. O CMA destaca-se por sua alta estabilidade reológica, solubilidade em água morna e facilidade de remoção, características fundamentais para garantir que o substrato de algodão seja posteriormente desengomado de maneira uniforme, evitando manchas ou barreiras físicas à absorção de corantes no subsequente processo de tingimento.

Diante desse cenário operacional e químico, emerge a pergunta central que norteia esta investigação: de que maneira o controle sistemático das variáveis operacionais de engomagem especificamente a reologia do banho, a carga de goma (*size add-on*) e o arraste úmido (*wet pick-up*) associado ao uso do carboximetilamido (CMA), viabiliza a tecitura de fios de algodão obtidos por fiação a rotor para a produção de tecidos PT de alta qualidade?

A relevância desta pesquisa fundamenta-se na necessidade premente da indústria têxtil em otimizar seus índices de produtividade na sala de teares, reduzindo as paradas de máquina decorrentes de quebras de fios sob alta tensão. Justifica-se, de igual modo, pelo vetor da sustentabilidade e da química verde, uma vez que a substituição de adesivos sintéticos tradicionais ou amidos nativos de difícil remoção pelo carboximetilamido (CMA) reduz drasticamente a demanda por insumos químicos severos e o consumo energético no processo

de desengomagem. Sob o aspecto social e econômico, o refinamento desse processo tecnológico propicia maior competitividade ao setor de tecidos planos de algodão, promovendo a estabilização da qualidade do produto final que chega ao mercado consumidor de vestuário e moda.

Para responder ao problema formulado, estabeleceu-se como objetivo geral analisar e consolidar o processo completo de engomagem de fios de algodão fabricados por fiação *open-end* destinados à fabricação de tecidos planos PT. Para a consecução dessa meta, definiram-se os seguintes objetivos específicos: mapear as características de finura e maturidade da fibra de algodão que impactam diretamente a fiação a rotor; avaliar o comportamento químico e reológico do carboximetilamido (CMA) como agente adesivo frente aos amidos tradicionais; detalhar o monitoramento prático da viscosidade e dos sólidos solúveis (Brix) na caixa de goma; e estruturar protocolos gravimétricos precisos para a determinação da eficiência de deposição e penetração da goma nos fios.

A condução deste estudo viabilizou-se por meio de uma abordagem metodológica de natureza aplicada e qualitativo-quantitativa, estruturada a partir de uma rigorosa revisão de literatura técnica e da sistematização de ensaios laboratoriais e protocolos operacionais padrão da indústria de beneficiamento têxtil. O referencial teórico foi construído com base em artigos científicos rastreáveis, patentes e manuais de engenharia de processos, enquanto a etapa de análise técnica apoiou-se em simulações e diretrizes de calibração gravimétrica de carga e arraste de goma, utilizando balanças analíticas de precisão, refratômetros, viscosímetros rotacionais e de orifício para a validação dos parâmetros reológicos do banho.

O desenvolvimento deste trabalho encontra-se estruturado de forma lógica e sequencial ao longo de seus capítulos para propiciar uma compreensão holística do fenômeno estudado. Na seção inicial, correspondente à Revisão Bibliográfica, são abordados os fundamentos da fibra de algodão com foco no Micronaire, os princípios mecânicos da fiação a rotor (*open-end*) e os conceitos básicos que regem a engenharia de engomagem de fios. Na sequência, detalha-se o Processo Completo de Engomagem, subdividido em seções que analisam o urdimento direto, as etapas físicas da engomadeira, a síntese química e

cozimento do carboximetilamido (CMA), os métodos reológicos para controle de viscosidade na caixa de goma e, por fim, as metodologias gravimétricas para avaliação técnica da carga e arraste do adesivo nos fios.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Algodão

A qualidade da fibra de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) (Figura 1) constitui o alicerce técnico para a eficiência produtiva na fiação Open-End e para o sucesso estético e funcional dos tecidos Prontos para Tingir (PT).

Figura 1: Fibra do algodão



Fonte: Site incofios.com.br (2026)

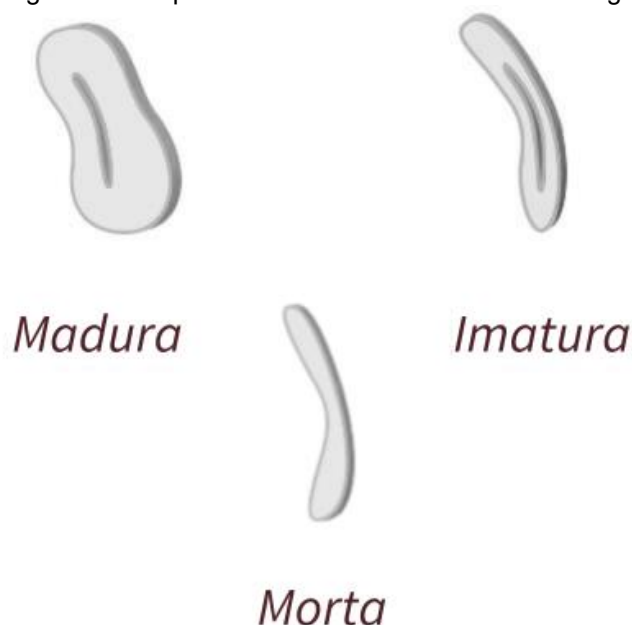
Essa relação intrínseca entre a matéria-prima e os processos subsequentes inicia-se na análise das propriedades físicas e morfológicas, em que o índice Micronaire assume um papel protagonista. Conforme aponta Martins (2020), o Micronaire é um indicador complexo que integra a finura e a maturidade da fibra; para a fiação por rotor (Open-End), a estabilidade do processo depende de um número adequado de fibras na seção transversal do fio, o que torna fibras mais finas e maduras essenciais para evitar quebras e garantir a uniformidade.

Principais Faixas de Micronaire e Efeitos:

- **Baixo (< 3,6 - 3,7):** Fibras finas, porém frequentemente imaturas. Tendem a gerar "neps" (nós), romper mais facilmente na fiação e causar problemas de tingimento.
- **Ideal (3,8 - 4,5):** Equilíbrio entre finura e maturidade. Proporciona o melhor rendimento industrial e qualidade do fio.
- **Alto (> 4,6 - 4,8):** Fibras mais grossas ou muito maduras. Reduzem a maciez do tecido e podem diminuir a resistência do fio, pois há menos fibras na seção transversal.

Por outro lado, a presença de fibras imaturas, como pode ser visto no comparativo apresentado na figura 2, é um fator crítico na formação de neps e na afinidade tintorial, uma vez que estas fibras possuem paredes celulares delgadas que não absorvem o corante de maneira plena, resultando em pontos claros no tecido acabado (MARTINS, 2020). Além disso, o comprimento e a variabilidade das fibras influenciam diretamente a pilosidade do fio OE; fibras mais curtas ou com alto índice de fibras curtas (SFI) tendem a se projetar da estrutura do fio, exigindo uma camada de engomagem mais robusta para suavizar a superfície e suportar as tensões mecânicas do tear.

Figura 2: Comparativo de maturidade da fibra de algodão



Fonte: site florisa.ind.br (2026)

A transição da fibra para o tecido PT exige uma compreensão profunda de sua composição química e das impurezas que devem ser removidas. Embora a celulose seja o componente principal, a fibra de algodão em seu estado natural contém ceras, pectinas, proteínas e pigmentos que lhe conferem um caráter hidrofóbico. Chanselme e Bachelier (2006) destacam que a preservação da qualidade durante o beneficiamento primário é vital, pois a presença de contaminantes e constituintes não celulósicos impede a penetração de soluções aquosas. No contexto de tecidos prontos para tingir, a remoção dessas ceras e pectinas através do cozimento e alveijamento é o que assegura a hidrofiliidade necessária para um tingimento uniforme e sem manchas. A eficiência dessa limpeza química está diretamente ligada à morfologia da fibra: a estrutura porosa e menos compacta do fio Open-end facilita a difusão dos agentes químicos, mas também exige um controle rigoroso para que a remoção de impurezas não comprometa a integridade física da celulose.

Finalmente, a interação entre a fibra e os adesivos durante a engomagem consolida a preparação do fio para a tecelagem. O mecanismo fundamental dessa adesão ocorre por meio de pontes de hidrogênio estabelecidas entre os grupos hidroxila da celulose e as moléculas da goma, sejam elas naturais ou sintéticas. Devido à sua estrutura morfológica distinta, os fios Open-end apresentam uma maior capilaridade e capacidade de absorção em comparação aos fios fiados em anel. Essa porosidade resulta em um comportamento de absorção diferenciado, em que a goma penetra mais profundamente no corpo do fio, criando uma ancoragem mecânica forte, mas que requer um equilíbrio preciso para não tornar o fio excessivamente rígido. A escolha da goma deve, portanto, considerar tanto a afinidade química com a celulose quanto a facilidade de sua posterior remoção, garantindo que o tecido PT mantenha sua capacidade de absorção para os processos de acabamento final.

2.2 Fiação a rotor

A tecnologia de fiação rotor, amplamente conhecida como open-end, consolidou-se na indústria têxtil contemporânea como uma alternativa de alta produtividade e eficiência, especialmente para a produção de fios destinados a tecidos planos de gramaturas médias e pesadas, como o denim. A compreensão

exaustiva deste processo exige uma análise integrada que se inicia muito antes do filatório, remontando às etapas de preparação da fibra, onde a pureza e a homogeneidade do material ditam o desempenho subsequente. Conforme aponta Belot (2010), a fiação rotor impõe requisitos qualitativos distintos da fiação convencional de anéis, priorizando a resistência e a finura da fibra em detrimento do comprimento, embora a limpeza extrema seja o fator crítico para evitar a acumulação de impurezas no interior do rotor.

O fluxo produtivo tem sua gênese na linha de abertura e limpeza, etapa fundamental para garantir que o algodão chegue ao estágio de fiação livre de contaminantes que comprometeriam a integridade do fio. Segundo Pal (2004), a configuração moderna de uma sala de abertura para fiação rotor deve contemplar máquinas de alta eficiência, como o UNIfloc da Rieter (Figura 3) ou o BLENDOMAT da Trützschler, que realizam a abertura inicial dos fardos em pequenos flocos.

Figura 3: Linha de abertura UNIfloc da Rieter



Fonte: Site Rieter.com (2026)

Este processo de abertura fina é essencial para que as máquinas subsequentes, como o limpador universal CL-U da truetzschler (Figura 4), possam extrair com precisão as impurezas e promover uma mistura íntima das fibras. A homogeneização na mistura é, inclusive, um pré-requisito técnico vital para os processos de beneficiamento químico, uma vez que variações na

composição da fibra podem resultar em afinidades tintoriais distintas, gerando defeitos visuais conhecidos como barrados no tecido acabado (PAL, 2004).

Figura 4: limpador universal CL-U da truetzschler



Fonte: site truetzschler.com (2026)

A remoção de poeira assume um papel de destaque na preparação para a fiação rotor. Lima (2010) adverte que a presença de partículas microscópicas de poeira é uma das principais causas de quebras e irregularidades no fio open-end, pois essas partículas tendem a se acumular na ranhura de coleta do rotor, alterando a geometria de formação do fio e elevando o número de imperfeições. Portanto, a inclusão de sistemas de despoeiramento eficientes na linha de abertura não é apenas uma recomendação, mas uma necessidade técnica para garantir a estabilidade do processo e a qualidade do produto final destinado à tecelagem plana.

A transição para a cardação representa o coração da preparação têxtil. A carda (Figura 5) desempenha funções cruciais de individualização das fibras, eliminação de neps e remoção final de cascas e fragmentos de sementes. De acordo com Pal (2004), modelos avançados como a Rieter C60 e a Trützschler TC07 são projetados para processar grandes volumes de material mantendo um controle rigoroso sobre a paralelização das fibras. No contexto da fiação rotor, a

cardação deve ser ajustada para minimizar o conteúdo de fibras curtas, que, embora menos críticas do que na fiação de anéis, ainda influenciam a pilosidade e a resistência do fio. Uma fita de carda bem estruturada é o insumo básico para a obtenção de um fio rotor com características de superfície adequadas para a engomagem, onde a uniformidade do diâmetro facilitará a aplicação homogênea do filme de goma.

Figura 5: Carda Trützschler



Fonte: site truetzschler.com (2026)

O processo de fiação rotor propriamente dito (Figura 6) opera sob o princípio da força centrífuga e da torção por extremidade aberta. A fita de algodão, após passar por passadores para regularização da massa, é alimentada no filatório rotor, onde um cilindro abridor (disgregador) individualiza as fibras e as transporta via fluxo de ar para o interior do rotor em alta rotação. A estrutura do fio rotor é intrinsecamente diferente da do fio de anéis; ele possui um núcleo de fibras mais paralelas envolto por fibras superficiais chamadas de "wrapper fibers" ou fibras de cinta. Segundo Belot (2010), essa arquitetura confere ao fio rotor um volume maior e uma superfície mais regular, porém com uma resistência à tração geralmente inferior à do fio de anéis. Para tecidos planos, essa característica volumétrica é vantajosa, pois proporciona uma

melhor cobertura do tecido e uma absorção mais uniforme de corantes durante o tingimento.

Figura 6: Máquina de Fiação Rotor – Open end



Fonte: site made-in-china.com (2026)

A interconexão entre a fiação e os processos de tecelagem plana é mediada criticamente pela engomagem e pelo tingimento. Um fio com torção excessiva pode dificultar a absorção do corante, enquanto um fio muito frouxo pode resultar em uma cor instável que se desprende excessivamente durante os processos de lavanderia industrial.

Em termos de desempenho na tecelagem plana, o fio rotor apresenta uma vantagem significativa na redução de neps e pontos grossos, que são frequentemente removidos ou diluídos durante a disgregação no rotor. Isso resulta em um tecido plano com aparência mais limpa e uniforme. No entanto, a

menor resistência à tração exige que o processo de engomagem seja otimizado para compensar essa limitação mecânica. O equilíbrio entre o coeficiente de torção aplicado no filatório e a carga de goma aplicada no slashing é o que determinará o sucesso do fio na inserção de trama, seja em teares a jato de ar ou de projétil, onde as velocidades de inserção são elevadíssimas (COTTON INCORPORATED, 2004).

2.3 Fundamentos da engomagem

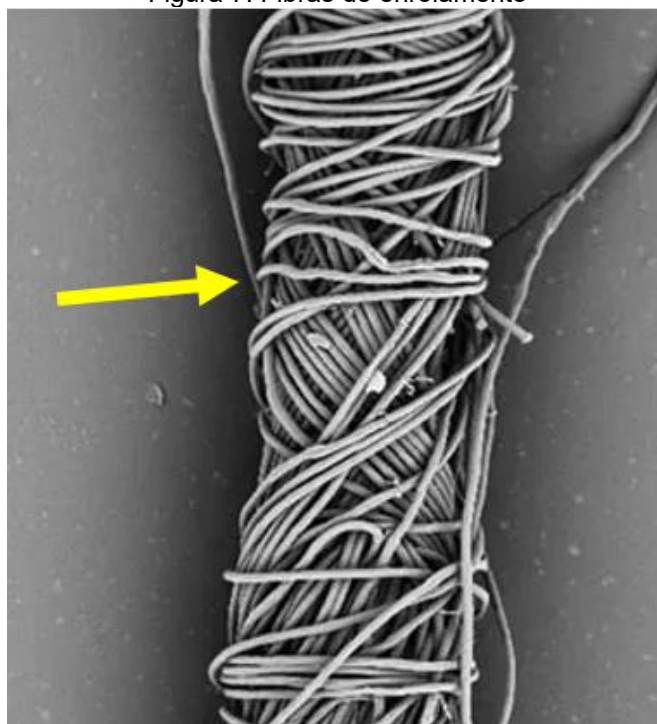
Os fundamentos da engomagem representam um dos pilares mais complexos e determinantes para a viabilidade econômica e técnica da produção de tecidos planos de algodão. No âmbito acadêmico da engenharia têxtil, compreende-se que este processo não é meramente uma etapa acessória, mas sim uma intervenção química e mecânica necessária para dotar o fio de propriedades que ele, em seu estado natural de fiação, não possui de forma suficiente para suportar o tear. Quando os fios produzidos pelo sistema Open-end (OE) são destinados a tecidos Prontos para Tingir (PT), a responsabilidade da engomagem dobra: ela deve garantir que o ato de tecer tenha máxima eficiência e, simultaneamente, assegure que sua remoção posterior seja absoluta, sob pena de comprometer toda a estética do beneficiamento final.

Os objetivos primordiais da engomagem orbitam em torno da mitigação das deficiências estruturais do fio frente aos esforços dinâmicos da tecelagem. O tear de tecidos planos é um ambiente de extrema agressividade mecânica, onde o fio de urdume é submetido a ciclos constantes de tração, flexão e, principalmente, abrasão metal-fio e fio-fio. Conforme elucidado por Martins (2020), a resistência à tração (STR) e o alongamento são parâmetros intrínsecos da fibra que definem o ponto de partida da qualidade do fio. No entanto, mesmo um fio com boa resistência nominal pode falhar no tear devido à pilosidade excessiva. A engomagem atua, portanto, no aumento da resistência à tração através da penetração do adesivo no corpo do fio, mas sua função mais visível é a redução da pilosidade. Ao "colar" as fibras superficiais ao núcleo do fio, a goma cria uma película protetora que impede que essas fibras se desprendam e formem aglomerados ou quebras por atrito. Martins (2020) destaca que o índice de fibras curtas (SFI) e a uniformidade (UNF) impactam diretamente essa

necessidade; fios com maior variabilidade e presença de fibras curtas demandam uma proteção mais rigorosa para evitar paradas de máquina que oneram o custo de produção.

Ao analisar a química dos adesivos e lubrificantes, entra-se no campo da adequação técnica para a estrutura porosa do fio Open-End. Diferente do fio anel, o fio de rotor possui uma estrutura menos compacta e a presença de fibras de enrolamento (wrapper fibers) (Figura 7), o que altera a dinâmica de absorção do banho de goma.

Figura 7: Fibras de enrolamento



Fonte: adaptado do site textilelearner.net (2026)

A escolha entre gomas naturais (amidos), modificadas ou sintéticas (como o PVA – álcool polivinílico) deve considerar essa porosidade. O objetivo é formar uma película que não seja apenas superficial, mas que possua uma ancoragem mecânica eficiente. Chanselme e Bachelier (2006) ressaltam que a preservação da qualidade da fibra exige cuidados que começam no descaroçamento, e essa lógica se estende à engomagem: uma goma mal selecionada pode penetrar excessivamente, tornando o fio rígido e quebradiço, ou permanecer apenas na superfície, descascando durante o trabalho no tear. Além da performance técnica, a biodegradabilidade dos agentes químicos tornou-se um requisito inegociável na engenharia têxtil moderna. A transição para adesivos que possam ser degradados de forma eficiente em estações de tratamento de efluentes é

uma resposta direta à pressão ambiental sobre o setor, exigindo que o pesquisador equilibre o poder de colagem com o impacto ecológico do descarte.

A integração entre a engomagem e o beneficiamento subsequente é onde se define o sucesso de um tecido Pronto para Tingir (PT). A receita da goma influencia diretamente a eficiência da desengomagem. Se o adesivo utilizado possuir baixa removibilidade ou se houver uma interação química excessivamente forte com a celulose que não seja prevista para a lavagem, resíduos de goma permanecerão no tecido. Chanselme e Bachelier (2006) apontam que a qualidade da fibra condiciona fortemente os produtos por ela gerados, e isso inclui a capacidade de absorção do tecido.

Resíduos de goma atuam como barreiras hidrofóbicas, impedindo que o corante penetre de forma homogênea na fibra de algodão. Como o algodão possui impurezas naturais como ceras e pectinas (que já conferem certa hidrofobicidade), a adição de uma goma de difícil remoção agrava o problema, resultando em manchas e irregularidades de cor. Portanto, a hidrofiliidade final do tecido essencial para um tingimento de alta qualidade é construída na sala de engomagem, através de uma escolha criteriosa de agentes que garantam a proteção no tear, mas que "se entreguem" facilmente durante o processo de preparação química.

Em suma, a revisão bibliográfica sobre este tema revela que a engomagem é um processo de equilíbrio. De um lado, tem-se as exigências mecânicas do tear, que pedem fios resistentes e protegidos; do outro, as exigências químicas do tingimento, que pedem fibras limpas e receptivas.

Compreender que parâmetros como o Micronaire e a maturidade da fibra discutidos exhaustivamente por Martins (2020) e Oliveira, Andrade Júnior e Ribeiro (2010) afetam a forma como a goma interage com o fio é o primeiro passo para o desenvolvimento de processos mais eficientes. A qualidade, conforme defendido por Chanselme e Bachelier (2006), é um potencial máximo que se atinge na abertura das maçãs do algodão, e cabe à engomagem proteger esse potencial durante a transformação física do fio em tecido, sem criar obstáculos para sua posterior valorização estética no tingimento.

3 PROCESSO COMPLETO DE ENGOMAGEM DE FIOS PARA PRODUÇÃO DE TECIDOS PT DE ALGODÃO COM FIOS FABRICADOS POR FIAÇÃO OPEN END

3.1 O Urdimento Direto ou Contínuo: Fundamentos, Processos e Critérios de Qualidade

O processo de tecelagem, caracterizado pelo entrelaçamento ortogonal de dois conjuntos de fios o urdume (longitudinal) e a trama (transversal), exige uma série de operações preliminares rigorosas para garantir a eficiência produtiva e a qualidade do material têxtil final. Dentre essas operações, destaca-se o urdimento como a etapa primordial de preparação, responsável por transferir os fios de seus suportes iniciais de fiação, como cones e bobinas, para o rolete de urdume que alimentará a engomadeira de fios (ALONSO, 2018).

No âmbito industrial, as técnicas de urdimento dividem-se fundamentalmente em duas modalidades: o urdimento seccional e o urdimento direto, também denominado contínuo. Enquanto o método seccional é preferido para pequenas metragens ou artigos com grande variedade de cores e padronagens complexas, o urdimento direto estabelece-se como o padrão para a produção de larga escala e tecidos de estruturas mais simples.

O urdimento direto ou contínuo define-se pelo enrolamento simultâneo e paralelo de um grande conjunto de fios diretamente em rolos conhecidos como roletes primários ou seccionais. Diferente do processo seccional, onde os fios são agrupados em seções ou "fitas" sobre um tambor intermediário antes de serem transferidos para o rolo final, o método direto processa o urdume em frações do total de fios necessários para o tecido.

A principal finalidade desta técnica é a viabilização de metragens elevadas com alto rendimento operacional. O urdimento direto é ideal para artigos que utilizam fios singelos que requerem engomagem posterior. Como a capacidade física das gaiolas de alimentação é limitada, produz-se um número determinado de rolos primários que, somados, totalizam a densidade de fios exigida pelo artigo têxtil. Posteriormente, esses rolos são reunidos na máquina engomadeira para formar o urdume completo, garantindo que o conjunto de fios apresente as

propriedades de resistência e lubrificação necessárias para suportar as tensões mecânicas do tear.

Realização do Processo: Equipamentos e Etapas

A execução do urdimento direto depende de uma unidade funcional composta por quatro elementos essenciais: a gaiola, o pente encruz, o pente de distribuição e a urdideira (órgão motor).

- **Gaiola (Creel):** É a estrutura que sustenta os cones de fios que alimentam a máquina. Sua capacidade varia conforme o tipo de fio, podendo conter de 400 a 800 pacotes para fios fiados e ultrapassar 1.000 para filamentos sintéticos. A gaiola (Figura 8) possui componentes críticos como suportes (pinos), tensores (geralmente discos metálicos que regulam a tensão do fio), guia-fios e o sistema de parada automática. Existem diversas configurações de gaiolas, desde as comuns e de carrinhos até modelos mais avançados como a gaiola em "V", a de alimentação dupla (magazine) e as totalmente automáticas, que visam reduzir o tempo de troca (setup) e aumentar a produtividade.

Figura 8: Gaiola de urdimento direto



Fonte: Autor (2026)

- **Pente Encruz:** Sua função é garantir que os fios mantenham uma sequência ordenada, evitando o embaraçamento com fios adjacentes. O encruzamento

separa os fios em dois planos (pares e ímpares), o que facilita operações subsequentes como a remição e a localização de fios em caso de quebra no tear.

- **Pente de Distribuição:** Responsável por distribuir os fios em uma densidade específica (fios/cm). O ajuste deste pente deve ser preciso para que a largura da "folha de fios" (yarn sheet) não ultrapasse a distância entre os flanges do rolete primário. Os pentes podem ser fixos, trapezoidais, extensíveis ou em formato de "V", permitindo o controle da largura e do alinhamento (Figura 9).

Figura 9: Pente de distribuição



Fonte: Autor (2026)

- **Urdideira:** É o motor que promove a tração e o enrolamento dos fios no rolete. No sistema direto, a metragem enrolada é variável e depende de fatores como o título (espessura) do fio e o diâmetro das flanges do rolete (Figura 10).

Figura 10:Urdideira por sistema direto



Fonte: Autor (2026)

Considerações para um Processo Satisfatório

Para que o urdimento direto resulte em um produto de alta qualidade, diversos pontos técnicos devem ser observados com rigor:

- **Regularidade da Tensão:** Este é o fator crítico de maior relevância. Diferenças de tensão entre os fios provenientes da parte frontal e do fundo da gaiola podem causar irregularidades no tecido. Por esse motivo, recomenda-se que o comprimento da gaiola não ultrapasse 12 metros, evitando variações excessivas de tensão que prejudicariam o rendimento operacional.
- **Controle de Rupturas:** A presença de fios rompidos no rolete de urdume é um defeito grave que compromete a tecelagem. A gaiola deve estar equipada com sensores de parada imediata (guarda-fio) que detectam a quebra e acionam o freio da urdideira antes que a ponta do fio perdido seja enterrada no rolo. A limpeza constante do equipamento é vital, pois o acúmulo de poeira e fibras pode impedir a queda das lamelas e o acionamento dos sensores.

- **Alinhamento e Geometria do Rolo:** O rolete primário deve estar perfeitamente alinhado com o conjunto de fios. Um ajuste incorreto das flanges pode causar o acúmulo de fios nas extremidades ou a queda de fios junto às bordas, gerando problemas de desenrolamento na etapa de engomagem.
- **Cálculo da Densidade:** O número de rolos primários e a quantidade de fios por rolo devem ser calculados com exatidão matemática baseada na capacidade da gaiola e na necessidade do artigo final. Se um urdume requer 2.400 fios e a gaiola comporta 400 cones, devem-se produzir 6 rolos idênticos para garantir a uniformidade da folha de fios na reunião final.
- **Condições Ambientais e Qualidade do Fio:** A umidade e a temperatura da sala de preparação influenciam a eletricidade estática e a maleabilidade das fibras. Além disso, a aplicação correta de lubrificantes (como óleos de urdimento) é essencial para minimizar o atrito, embora o excesso possa atrair sujeira e gerar defeitos como fios misturados ou "taquetas" (pelotinhas de fibras)

O urdimento direto consolida-se como um pilar da produtividade têxtil moderna, oferecendo uma solução eficiente para a preparação de grandes volumes de fios destinados ao tecimento plano. Através do controle rigoroso da tensão, do uso de sistemas automáticos de monitoramento e de uma configuração precisa de gaiolas e pentes, as indústrias conseguem minimizar as paradas de máquina e reduzir drasticamente o índice de defeitos na tecelagem. Em última análise, a excelência no urdimento direto é o que garante a estabilidade dimensional e a integridade estrutural dos tecidos que abastecem o mercado global de confecções e têxteis técnicos.

4 FLUXOGRAMA E ETAPAS DO PROCESSO DE ENGOMAGEM

O processo de engomagem é compreendido como uma etapa intermediária e essencial na cadeia produtiva têxtil. Sua função primordial consiste na aplicação de uma película protetora (goma) sobre os fios de urdume, seguida de uma secagem controlada. Esse procedimento visa, fundamentalmente, incrementar a resistência mecânica dos fios, preparando-os para suportar as solicitações de tração e abrasão inerentes ao processo de tecelagem. De acordo com Curi (2008), a engomagem é um fator determinante para a redução de paradas por rupturas, contribuindo diretamente para a eficiência produtiva e a qualidade final do artigo tecido.

Estruturalmente, o fluxograma de engomagem é operacionalizado por meio de setores integrados que atuam de forma sincronizada. As etapas principais que compõem esse sistema são: a gaiola de alimentação, a caixa de goma, a zona de secagem, o campo de separação a seco e o cabeçote bobinador. Cada um desses compartimentos desempenha funções técnicas específicas que asseguram a uniformidade da aplicação e a integridade física do material (CURI, 2008).

4.1 Gaiola de Alimentação:

A fase inicial ocorre na gaiola (Figura 11), estrutura projetada para a sustentação e o posicionamento dos rolos de urdideira. Nesta etapa, os fios são dispostos de forma paralela e alinhada, visando minimizar variações de tensão que poderiam comprometer a regularidade do processo. Para garantir a estabilidade durante as oscilações de velocidade da máquina, os rolos são equipados com sistemas de freios pneumáticos, que evitam o relaxamento excessivo ou o sobre-enrolamento dos fios.

Figura 11: Gaiola de alimentação



Fonte: Autor (2026)

4.2 Caixa de Goma:

A caixa de goma (Figura 12) é reconhecida como a unidade funcional mais crítica de todo o processo de engomagem, sendo o local onde ocorre a transformação das propriedades superficiais e estruturais do fio de urdume. Nesta etapa, o objetivo central é a aplicação controlada de uma solução adesiva que deve, simultaneamente, penetrar no núcleo do fio para consolidar as fibras e criar uma película externa protetora, processo conhecido como encapsulamento. A eficiência desta fase determina diretamente o comportamento do fio no tear, mitigando falhas por abrasão e fadiga cíclica (GOSWAMI et al., 2004).

Figura 12: Caixa de goma

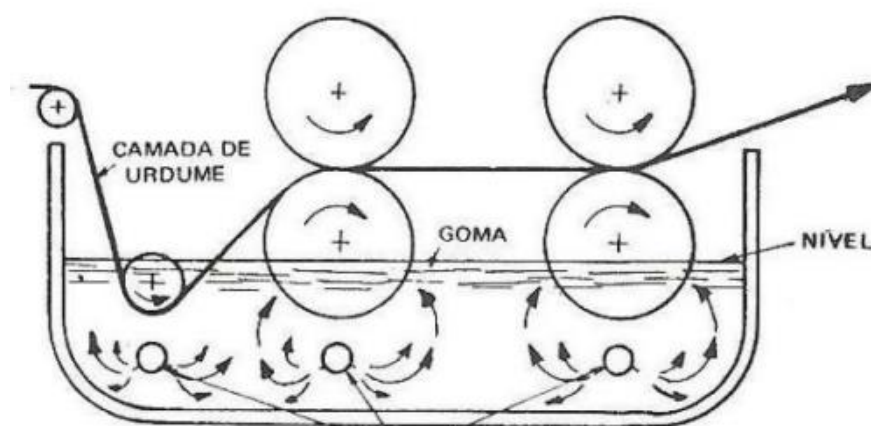


Fonte: Autor (2026)

4.2.1 Dinâmica de Impregnação e Funcionamento Mecânico:

O funcionamento mecânico da caixa de goma baseia-se em um sistema de imersão e compressão (Figura 13). Os fios, dispostos em uma folha de urdume paralela, entram no compartimento e são guiados por cilindros mergulhadores que garantem o tempo de residência necessário para a expulsão do ar contido entre as fibras e a subsequente absorção da solução. A dinâmica de penetração é influenciada pela afinidade química entre o banho e a fibra, bem como pela viscosidade da goma. Uma penetração excessiva pode tornar o fio excessivamente rígido e quebradiço, enquanto uma penetração insuficiente resulta em baixa adesão da película, levando ao desprendimento da goma (shedding) durante a tecelagem (GOSWAMI et al., 2004).

Figura 13: Esquema da caixa de goma



Fonte: Ponce (2010)

4.2.2 Controle de Variáveis e Propriedades do Banho:

A manutenção da estabilidade do banho de goma é assegurada por sistemas automatizados de controle de nível e temperatura. O controle de nível é fundamental para garantir que a área de contato e o tempo de imersão permaneçam constantes, evitando variações no percentual de goma aplicada (size add-on). Paralelamente, a temperatura deve ser mantida em níveis rigorosos (geralmente próximos a 85-90°C para amidos), uma vez que ela é o principal regulador da viscosidade. Flutuações térmicas alteram a fluidez da solução: temperaturas mais baixas aumentam a viscosidade, dificultando a penetração e gerando uma camada externa irregular e pesada, o que compromete a flexibilidade do fio (GOSWAMI et al., 2004).

4.2.3 Regulação da Pressão e Cilindros Espremedores:

A etapa final dentro da caixa de goma ocorre no sistema de cilindros espremedores (squeeze rolls), geralmente compostos por um cilindro metálico e outro revestido de borracha sintética. A regulação da pressão pneumática aplicada nestes cilindros é o mecanismo primordial de controle do pick-up (quantidade de solução retida pelo fio). Uma pressão maior resulta em uma camada de goma mais fina e maior penetração mecânica, enquanto pressões reduzidas permitem uma carga maior de goma na superfície. A uniformidade desta pressão ao longo de toda a largura da folha de urdume é indispensável

para evitar variações de secagem e garantir que todos os fios apresentem o mesmo desempenho mecânico (GOSWAMI et al., 2004).

Dessa forma, a caixa de goma consolida-se como o ponto de controle definitivo para a qualidade do urdume. A integração precisa entre a mecânica de esmagamento, o controle termodinâmico do banho e a química da solução é o que permite a criação de um fio capaz de suportar as altas velocidades e tensões dos teares modernos, tornando esta etapa o diferencial entre a alta eficiência produtiva e a ocorrência sistemática de defeitos têxteis.

4.3 Zona de Secagem

Após a passagem pela caixa de goma, o urdume, agora saturado pela solução aquosa, deve ser submetido à zona de secagem (Figura 14). Esta etapa tem como finalidade a remoção controlada da água utilizada como solvente no banho, permitindo a solidificação da goma e a formação de um filme contínuo e flexível sobre a superfície do fio. A secagem não é apenas uma fase de desidratação, mas um processo térmico crítico que define a integridade mecânica da película de goma e a estabilidade dimensional do fio (GOSWAMI et al., 2004).

Figura 14: Zona de secagem



Fonte: Autor (2026)

4.3.1 Funcionamento Mecânico e Transferência de Calor

O sistema predominante de secagem nas engomadeiras modernas utiliza cilindros secadores aquecidos a vapor. Os fios percorrem a superfície desses cilindros, onde ocorre a transferência de calor por condução. Para evitar o fenômeno de "colagem" (sticking) onde a goma úmida adere à superfície metálica, causando rupturas ou irregularidades na película, os primeiros cilindros da zona de secagem são frequentemente revestidos com politetrafluoretileno (Teflon). A disposição dos cilindros e o percurso do fio são projetados para garantir que a evaporação ocorra de maneira gradual, evitando o choque térmico que poderia fragilizar a estrutura polimérica da goma (GOSWAMI et al., 2004).

4.3.2 Controle de Temperatura e Velocidade

A eficiência da secagem é governada pela relação entre a temperatura dos cilindros (regulada pela pressão do vapor interno) e a velocidade de passagem da máquina. O sistema de controle deve ser capaz de ajustar automaticamente a pressão do vapor em resposta a variações na velocidade de produção. Caso a máquina desacelere, a temperatura deve ser reduzida proporcionalmente para evitar a sobre-secagem (over-drying). Segundo Goswami et al. (2004), fios sobre-secados perdem sua elasticidade natural e tornam-se excessivamente quebradiços, o que resulta em um aumento drástico de rupturas durante as tensões cíclicas do tear.

4.3.3 Monitoramento da Umidade Residual

Um dos parâmetros mais sensíveis desta etapa é a manutenção da umidade residual ideal, que geralmente situa-se entre 6% e 8% para fibras de algodão. Este valor é monitorado por sensores de condutividade ou higrômetros eletrônicos instalados na saída da zona de secagem. A manutenção de um nível mínimo de umidade é essencial para a higroscopicidade do fio e para evitar a geração de eletricidade estática. Por outro lado, uma secagem insuficiente deixa os fios "pegajosos" (*tacky*), o que provoca a adesão mútua entre os fios no rolo

de urdume, dificultando a separação posterior e causando danos à película de goma (GOSWAMI et al., 2004).

Portanto, a zona de secagem atua como o estágio de consolidação de todo o tratamento químico realizado anteriormente. O equilíbrio preciso entre a energia térmica aplicada e a velocidade de evaporação é o que assegura que o filme de goma atinja suas propriedades máximas de adesão e proteção, garantindo que o urdume chegue ao campo de separação com as características físicas necessárias para a tecelagem de alta performance.

4.4 Separação a Seco e Monitoramento: Integridade da Película e Controle de Tensão

A etapa de separação a seco, localizada imediatamente após a zona de secagem e antes do bobinamento final, é um estágio crítico para garantir a individualidade dos fios de urdume. Durante a secagem, é comum que os fios adjacentes fiquem unidos por "pontes" de goma, fenômeno que, se não for corrigido de forma controlada, pode resultar na ruptura da película protetora ou do próprio fio durante a abertura da cala no tear (GOSWAMI et al., 2004).

4.4.1 Mecânica de Separação e Barras Divisoras

O processo de separação é realizado por meio de um conjunto de barras divisoras metálicas (Figura 15), dispostas de forma escalonada. A folha de urdume é dividida em camadas menores, correspondentes ao número de rolos de urdideira originais, e cada camada passa por uma barra específica. Esta ação mecânica quebra as adesões laterais entre os fios de maneira gradual. Segundo Goswami et al. (2004), a geometria e o polimento dessas barras são fundamentais; qualquer rugosidade na superfície divisora pode causar abrasão desnecessária, removendo parte da goma aplicada e gerando resíduos (*dusting*) que comprometem a eficiência da tecelagem.

Figura 15: Varas de separação



Fonte: Autor (2026)

4.4.2 Monitoramento de Tensão e Células de Carga

O controle da tensão nesta fase é vital para preservar as propriedades elásticas do fio. O sistema utiliza rolos sensores equipados com células de carga ou tensiômetros eletrônicos, que monitoram a tração exercida sobre a folha de urdume em tempo real. A tensão deve ser mantida em um nível que permita a separação eficiente das fibras, mas que não exceda o limite de escoamento do material, o que causaria estiramentos permanentes. Flutuações na tensão são corrigidas automaticamente por meio de ajustes na velocidade do cabeçote bobinador, garantindo a estabilidade dimensional do urdume (GOSWAMI et al., 2004).

4.4.3 Controle Final de Umidade e Eletricidade Estática

Nesta seção, realiza-se também a medição final da umidade residual. Caso o fio apresente um nível de umidade abaixo do ideal (sobre-secagem), ele torna-se propenso ao acúmulo de eletricidade estática, o que causa a repulsão mútua entre os fios e dificulta o bobinamento perfeito. Sensores de alta precisão enviam

feedback imediato à zona de secagem para ajustar a pressão do vapor, assegurando que o fio atinja o bobinador com o equilíbrio higroscópico necessário para a sua conservação e manuseio (GOSWAMI et al., 2004).

Dessa forma, o campo de separação a seco e monitoramento atua como o filtro de qualidade final do processo. É nesta etapa que se assegura que a película de goma, aplicada na caixa e consolidada nos cilindros, permaneça íntegra e que o fio mantenha sua individualidade e propriedades físicas, requisitos indispensáveis para a produtividade dos teares de alta velocidade.

4.5 Bobinamento Final: Arquitetura do Rolo e Controle de Estiramento

O bobinamento final constitui a etapa conclusiva do processo de engomagem, na qual os fios individualizados e monitorados são reunidos e enrolados para formar o rolo de tear. Esta fase é de suma importância, pois a geometria e a densidade do rolo resultante determinam a fluidez do desenrolamento durante a tecelagem. Um bobinamento tecnicamente deficiente pode anular todos os benefícios obtidos nas etapas anteriores, resultando em fios com tensões desequilibradas ou danos estruturais à película de goma (GOSWAMI et al., 2004).

4.5.1 Mecânica de Enrolamento e Controle de Tensão:

O cabeçote bobinador (headstock), apresentado na figura 16 opera de forma sincronizada com o restante da máquina, mas possui um sistema de acionamento independente que permite o controle preciso da tensão de enrolamento. Segundo Goswami et al. (2004), a tensão aplicada deve ser suficiente para garantir um rolo firme e estável, porém não pode exceder o limite elástico do fio. O uso de diferenciais mecânicos ou motores de corrente contínua controlados eletronicamente permite que a velocidade periférica do rolo permaneça constante à medida que seu diâmetro aumenta, mantendo a tensão de enrolamento uniforme do início ao fim do processo.

Figura 16: Cabeçote bobinador



Fonte: Autor (2026)

4.6 Gerenciamento do Estiramento (Stretch Control)

Um dos desafios críticos nesta etapa é o controle do estiramento total. O fio engomado, embora mais resistente, possui uma capacidade de alongamento reduzida em comparação ao fio cru. Goswami et al. (2004) enfatizam que o estiramento acumulado entre a caixa de goma e o bobinador deve ser rigorosamente limitado (geralmente abaixo de 1% para algodão). Estiramentos excessivos provocam a fadiga prematura da fibra e a microfissuração da película de goma, o que compromete a proteção contra a abrasão no tear. Sistemas de medição por codificadores (encoders) comparam a velocidade de entrada e saída para garantir que o estiramento permaneça dentro dos parâmetros de segurança.

4.7 Arquitetura e Geometria do Rolo

Além da tensão, o bobinador controla a largura e o alinhamento lateral dos fios por meio do pente de expansão. Este componente assegura que os fios sejam distribuídos de forma equidistante, evitando o encavalamento ou a formação de bordas frouxas. A densidade do rolo deve ser homogênea para evitar o fenômeno de "mergulho" (trapped ends), onde os fios de uma camada penetram na camada inferior sob alta tensão, causando rupturas catastróficas durante o desenrolamento no tear de alta velocidade (GOSWAMI et al., 2004).

Dessa forma, o bobinamento final consolida o urdume como um produto pronto para a tecelagem. A precisão nesta etapa garante que o trabalho de proteção química e térmica realizado anteriormente seja preservado, entregando um rolo de tear com integridade física e arquitetura de enrolamento otimizadas para maximizar a eficiência da sala de tecelagem.

5 QUÍMICA E PREPARAÇÃO DOS AGENTES DE ENGOMAGEM: UMA ANÁLISE DO CARBOXIMETILAMIDO (CMA)

5.1 Preparação da Goma: Fundamentos e Sistemas de Cozimento

A preparação da solução de engomagem, comumente denominado “cozimento da goma”, é a fase química que antecede a aplicação mecânica no urdume. Esta etapa é decisiva, pois a eficácia da proteção do fio depende da completa solubilização ou gelatinização dos polímeros utilizados. Segundo Goswami et al. (2004), a preparação visa converter grânulos de amido insolúveis em uma dispersão coloidal homogênea, capaz de penetrar na estrutura do fio e formar um filme superficial íntegro.

Industrialmente, o processo de preparação evoluiu de sistemas rudimentares para métodos automatizados de alta precisão, sendo classificados principalmente em sistemas por batelada e sistemas contínuos.

5.1.1 Cozimento por Batelada (Batch Cooking)

O sistema por batelada utiliza tanques de cozimento equipados com agitadores mecânicos e camisas de aquecimento ou injetores diretos de vapor. Neste método, uma quantidade predeterminada de água, polímeros (amido, PVA, CMC - carboximetilcelulose) e aditivos (lubrificantes e umectantes) é adicionada ao tanque. A mistura é submetida a um ciclo de aquecimento sob agitação constante até atingir a temperatura de gelatinização.

De acordo com Goswami et al. (2004), o cozimento por batelada exige um controle rigoroso do tempo e da temperatura, pois o excesso de agitação ou o prolongamento do calor podem causar a degradação das cadeias poliméricas, resultando em uma queda indesejada da viscosidade. Embora seja um sistema versátil para produções de menor escala ou trocas frequentes de artigos, ele é suscetível a variações de lote para lote, o que pode comprometer a uniformidade do pick-up na engomadeira.

5.1.2 Cozimento Contínuo (Jet Cooking)

O cozimento contínuo, ou jet cooking, representa o estado da arte na preparação de gomas para alta produtividade (Figura 17).

Figura 17: Sistema de Cozimento de goma Contínuo – Jet Cooking



Fonte: Autor (2026)

Neste sistema, a mistura de goma (pasta fria) é bombeada através de uma câmara de alta pressão onde ocorre a injeção instantânea de vapor. Este processo promove uma gelatinização imediata e uniforme, garantindo que cada molécula do polímero seja submetida às mesmas condições de cisalhamento e temperatura (GOSWAMI et al., 2004).

A principal vantagem do sistema contínuo é a estabilidade da viscosidade. Como a goma é preparada conforme a demanda da caixa de goma da engomadeira, evita-se o armazenamento prolongado em tanques de espera, o que minimiza o risco de retrogradação do amido ou variações térmicas. Este método é indispensável para processos que utilizam fios de alta contagem ou

teares de última geração, onde a mínima variação na camada de goma pode resultar em paradas sistemáticas por rupturas (GOSWAMI et al., 2004).

5.1.3 Reservatório de goma

Na sequência do processo de preparação da goma, a solução é enviada para um reservatório elevado (Figura 18).

Figura 18: Reservatório elevado de armazenamento de goma



Fonte: Autor (2026)

O processo de transferência da goma para o tanque de armazenamento de goma é realizado via bomba de transferência (Figura 19).

Figura 19: Bomba de transferência



Fonte: Autor (2026)

A solução enviada de goma enviada é armazenada em reservatório que possui sistema de aquecimento indireto via serpentinas de vapor e é monitorado por sensores que mante a temperatura ao redor de 90 °C (Figura 20).

Figura 20: Controlador de temperatura do reservatório de armazenamento de goma



Fonte: Autor (2026)

5.2 Carboximetilamido (CMA): Definição e Processo de Obtenção

O Carboximetilamido (CMA) que é fornecido em sacos, como apresentado na figura 21 é um derivado químico do amido nativo, classificado como um éter de amido aniônico. Sua introdução na indústria têxtil surgiu como uma resposta às limitações do amido comum, especialmente no que tange à solubilidade e à estabilidade da viscosidade. Conforme descrito na literatura técnica da Textília (2025), o CMA é um polímero modificado que combina a abundância e o baixo custo do amido com a performance de polímeros sintéticos.

Figura 21: Carboximetilamido (CMA)



Fonte: Autor (2026)

5.2.1 Processo de Obtenção

A síntese do CMA ocorre por meio de uma reação de eterificação. O amido nativo (proveniente de milho, mandioca ou batata) é submetido a uma reação com o ácido cloroacético em um meio fortemente alcalino (geralmente na presença de hidróxido de sódio). Durante esta reação, os grupos hidroxila (-OH) presentes nas unidades de glicose do amido são parcialmente substituídos por grupos carboximetil (-CH₂COONa).

Este processo de modificação química altera drasticamente a estrutura molecular do polímero. A introdução de grupos carboximetil, que possuem carga negativa, gera uma repulsão eletrostática entre as cadeias de amido, impedindo que elas se realinhem e formem cristais insolúveis (retrogradação). O resultado é um polímero com alta capacidade de retenção de água e solubilidade mesmo em temperaturas mais baixas (TEXTÍLIA, 2025).

5.2.2 Análise Crítica do CMA na Aplicação Têxtil

A utilização do CMA em substituição ou complementação ao amido nativo e ao PVA traz implicações significativas para a eficiência do beneficiamento têxtil.

5.2.2.1 *Pontos Positivos (Vantagens)*

- **Alta Solubilidade e Facilidade de Desengomagem:** Uma das maiores vantagens do CMA é sua solubilidade em água morna ou fria. Diferente do amido nativo, que requer enzimas amilases e altas temperaturas para ser removido, o CMA pode ser eliminado do tecido em processos de lavagem simples. Isso reduz drasticamente o consumo de energia e produtos químicos na fase de acabamento (TEXTÍLIA, 2025).
- **Estabilidade de Viscosidade:** Devido à modificação química, o CMA não apresenta o fenômeno de retrogradação. Isso significa que a viscosidade do banho de goma permanece constante durante todo o processo de engomagem, garantindo uma aplicação uniforme do início ao fim do rolo de urdume.
- **Biodegradabilidade:** O CMA é um polímero de base natural e altamente biodegradável. Em comparação com o PVA (Álcool Polivinílico), que possui uma degradação lenta e complexa em estações de tratamento de efluentes, o CMA apresenta um impacto ambiental significativamente menor, alinhando-se às práticas de sustentabilidade da indústria têxtil moderna (TEXTÍLIA, 2025).
- **Formação de Filme Flexível:** O filme formado pelo CMA é mais flexível e menos quebradiço que o do amido comum, o que é essencial para fios de fibras curtas que sofrem flexões constantes no tear.

5.2.2.2 *Pontos Negativos e Limitações*

- **Sensibilidade à Umidade:** Por ser altamente hidrofílico, o CMA pode absorver umidade excessiva do ambiente se a sala de tecelagem não for rigorosamente climatizada. Isso pode tornar a goma "pegajosa", causando problemas de desenrolamento do rolo.

- **Custo Comparativo:** Embora seja mais barato que o PVA, o CMA possui um custo superior ao amido nativo devido ao processo de modificação química necessário para sua produção.
- **Compatibilidade Química:** Em banhos de goma complexos, a natureza aniônica do CMA exige cautela na adição de outros auxiliares químicos, para evitar a precipitação ou a desestabilização da solução (GOSWAMI et al., 2004).

5.2.3 Análise Comparativa: CMA vs. Amido Tradicional

Para consolidar o entendimento técnico, apresenta-se uma comparação estruturada entre o Carboximetilamido e o Amido Nativo/Tradicional, baseada nos parâmetros de performance industrial (Tabela 1).

Tabela 1: Comparativo entre amido tradicional e Carboximetilamido (CMA)

Parâmetro Técnico	Amido tradicional - insolúvel	Carboximetilamido (CMA)
Solubilidade	Requer cozimento prolongado (>90°C)	Solúvel em água morna/fria
Estabilidade	Sofre retrogradação (forma géis)	Alta estabilidade de viscosidade
Desengomagem	Complexa (exige enzimas amilases)	Simples (lavagem com água)
Filme	Rígido e quebradiço	Flexível e resistente
Impacto Ambiental	Médio (carga orgânica alta)	Baixo (alta biodegradabilidade)
Adesão	Boa em fibras naturais	Superior em misturas e fibras naturais

Fonte: Autor (2026)

Conforme observa-se na comparação, o CMA supera o amido tradicional em quase todos os aspectos de processabilidade e sustentabilidade. Enquanto o amido nativo atua como uma solução de baixo custo, ele impõe custos ocultos na etapa de desengomagem e riscos de irregularidade na tecelagem. O CMA,

por sua vez, otimiza o fluxo produtivo ao garantir uma aplicação mais estável e uma remoção simplificada, sendo a escolha preferencial para a produção de tecidos de alta qualidade que serão submetidos a processos de tingimento e acabamento rigorosos (TEXTÍLIA, 2025).

A análise técnica da química de engomagem revela que a escolha do polímero e o método de preparação são tão fundamentais quanto a mecânica da engomadeira. O Carboximetilamido (CMA) consolida-se como uma evolução necessária frente ao amido nativo, oferecendo uma ponte entre a economia de recursos naturais e a alta performance exigida pelos teares modernos. A transição para sistemas de cozimento contínuo, aliada ao uso de polímeros modificados como o CMA, representa o caminho para uma indústria têxtil mais eficiente, sustentável e tecnicamente precisa.

6 CONTROLE DE VISCOSIDADE NA CAIXA DE GOMA: FUNDAMENTOS REOLÓGICOS E MONITORAMENTO OPERACIONAL

A viscosidade é definida, no âmbito da engenharia têxtil, como a medida da resistência interna de um fluido ao escoamento. No processo de engomagem, a viscosidade da solução adesiva é a variável reológica de maior impacto na qualidade final do urdume, pois governa o equilíbrio entre a penetração da goma no núcleo do fio e o encapsulamento superficial das fibras. Segundo Goswami et al. (2004), a viscosidade não é uma propriedade estática, mas uma variável dinâmica que depende da concentração de sólidos, da temperatura do banho e da taxa de cisalhamento imposta pelos cilindros da engomadeira.

O controle rigoroso da viscosidade na caixa de goma é imprescindível para assegurar a constância do size add-on (percentual de goma adicionada). Uma viscosidade excessivamente elevada resulta em uma camada superficial pesada e irregular, que tende a se desprender na forma de pó (dusting) durante a tecelagem. Por outro lado, uma viscosidade muito baixa promove uma penetração excessiva, tornando o fio rígido e reduzindo sua capacidade de alongamento, o que é crítico para a resistência à fadiga cíclica do tear (GOSWAMI et al., 2004). Portanto, o monitoramento sistemático desta variável é o que permite a reprodutibilidade técnica do processo.

6.1 Descrição Detalhada dos Equipamentos de Medição

Para a quantificação da viscosidade em ambiente industrial e laboratorial, utilizam-se instrumentos que operam baseados em diferentes princípios físicos, sendo os mais comuns os viscosímetros de orifício e os viscosímetros rotacionais.

6.1.1 Viscosímetros de Orifício (Copos Ford e Zahn)

Os viscosímetros de orifício, como o Copo Zahn (Figura 22), são amplamente utilizados no chão de fábrica devido à sua robustez e facilidade de operação. Este equipamento consiste em um receptáculo de aço inoxidável com

um volume calibrado e um orifício padronizado em sua base. O princípio de medição baseia-se na viscosidade cinemática, onde o tempo de escoamento do fluido através do orifício é proporcional à sua viscosidade. Segundo Goswami et al. (2004), embora sejam práticos, esses dispositivos exigem que a temperatura do banho seja rigorosamente controlada durante o ensaio, visto que a fluidez da goma é altamente termodependente.

Figura 22: Viscosímetro de orifício ZAHN



Fonte: Site generalmed.com.br (2026)

6.1.2 Viscosímetros Rotacionais (Brookfield)

Em nível laboratorial e para pesquisas de maior precisão, utiliza-se o viscosímetro rotacional, sendo o modelo Brookfield o padrão de referência. Este equipamento mede o torque necessário para rotacionar um elemento imerso (chamado de *spindle*) a uma velocidade angular constante dentro da solução de goma. A resistência viscosa contra a rotação é convertida em unidades de viscosidade absoluta (centipoise - cP). De acordo com Goswami et al. (2004), o viscosímetro rotacional é superior para a análise de fluidos não-newtonianos, como as gomas de amido, pois permite avaliar o comportamento da solução sob diferentes taxas de cisalhamento, identificando fenômenos como a tixotropia e a pseudoplasticidade.

6.1.3 Refratômetros de Precisão

Embora não meçam a viscosidade diretamente, os refratômetros (Figura 23) são equipamentos complementares indispensáveis. Eles medem o índice de refração da solução, que é correlacionado com a concentração de sólidos (graus Brix). Como a viscosidade é uma função direta da concentração, o refratômetro atua como uma ferramenta de verificação para garantir que variações na viscosidade não sejam decorrentes de erros na dosagem de água ou polímeros durante o cozimento (GOSWAMI et al., 2004).

Figura 23: Refratômetros de precisão



Fonte: Site mercado livre (2026)

O monitoramento da concentração de sólidos via refratometria estabelece-se como o pilar da garantia de qualidade na engomagem têxtil. Enquanto a viscosidade monitora o comportamento reológico, o índice Brix monitora a massa efetiva de proteção que está sendo transferida para o urdume. A simplicidade do método refratométrico não diminui sua importância técnica; pelo contrário, sua aplicação sistemática é o que permite a transição de uma engomagem empírica para um controle de processo fundamentado em dados.

6.2 Metodologia e Procedimentos Operacionais do Ensaio

A realização do ensaio de viscosidade deve seguir um protocolo padronizado para evitar erros de leitura que possam levar a ajustes incorretos na engomadeira.

6.2.1 Coleta de Amostra e Estabilização Térmica

A amostra deve ser coletada diretamente da caixa de goma, preferencialmente em um ponto de circulação ativa para garantir a representatividade do banho. O procedimento exige o uso de um recipiente térmico para evitar o resfriamento brusco. Conforme aponta Goswami et al. (2004), a medição deve ser realizada na temperatura operacional de engomagem (geralmente entre 85°C e 90°C para gomas de amido). Caso a temperatura caia durante o ensaio, a viscosidade aumentará artificialmente devido ao início da retrogradação das cadeias de amilopectina, invalidando o resultado.

6.3 Procedimento com Viscosímetro de Orifício

- Limpeza rigorosa do copo para garantir que não haja resíduos de goma seca obstruindo o orifício.
- Imersão total do copo no banho de goma para equalização térmica.
- Elevação vertical do copo e acionamento simultâneo do cronômetro quando a borda superior do copo rompe a superfície do líquido (Figura 24).

Figura 24: Teste de viscosidade com viscosímetro de orifício



Fonte: Autor (2026)

- Interrupção do cronômetro no primeiro rompimento do fio contínuo de goma que escoa pelo orifício.
- O resultado é expresso em "segundos Zahn" ou convertido para centipoise através de tabelas de calibração específicas do fabricante (GOSWAMI et al., 2004).

6.4 Procedimento com Viscosímetro Rotacional

Para ensaios laboratoriais, a amostra é colocada em um béquer encamisado com circulação de água quente para manter a temperatura constante. O spindle adequado é selecionado conforme a faixa de viscosidade esperada e imerso até a marca de calibração. A leitura é feita após a estabilização do torque, garantindo que a estrutura molecular da goma tenha atingido o equilíbrio sob cisalhamento (GOSWAMI et al., 2004).

6.5 Procedimento com Refratômetros de Precisão

Antes de qualquer medição, o refratômetro deve ser calibrado. O procedimento padrão utiliza água destilada, que possui um índice de refração conhecido correspondente a 0% de sólidos ou 0° Brix. Uma gota de água destilada é colocada sobre o prisma, e o operador ajusta o parafuso de calibração até que a linha de contraste coincida exatamente com o zero da escala. Segundo Goswami et al. (2004), a calibração deve ser realizada diariamente ou sempre que houver mudanças significativas na temperatura ambiente do laboratório ou da sala de engomagem.

6.5.1 Coleta e Preparação da Amostra

A coleta da amostra de goma deve ser feita com o auxílio de uma espátula, conta-gotas limpo ou um recipiente que permita adicionar a goma ao refratômetro (Figura 25), retirando-se o fluido diretamente da caixa de goma ou do tanque de circulação. É fundamental evitar a coleta de bolhas de ar ou de películas de goma seca que possam estar na superfície, pois estas impurezas alteram a refração da luz e geram leituras errôneas. Caso a goma contenha pigmentos ou seja excessivamente opaca, a leitura pode tornar-se difusa, exigindo uma diluição controlada da amostra, cujos fatores de correção devem ser aplicados ao resultado final (GOSWAMI et al., 2004).

Figura 25: Adição de amostra de goma ao refratômetro



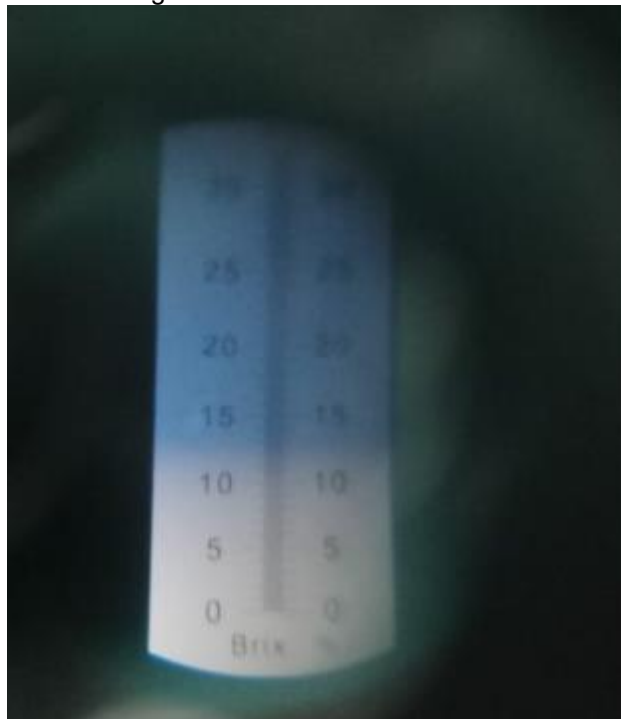
Fonte: Autor (2026)

6.5.2 Execução da Leitura

- Limpeza do prisma e da tampa com papel macio ou tecido que não solte fiapos, utilizando álcool isopropílico se necessário para remover resíduos de gordura ou lubrificantes de goma anteriores.
- Aplicação de duas a três gotas da amostra sobre o prisma principal.
- Fechamento da tampa de modo que a solução se espalhe uniformemente por toda a superfície do prisma, sem a formação de bolhas ou espaços secos.
- Aguardar alguns segundos (geralmente 30 segundos) para que a amostra atinja o equilíbrio térmico com o corpo do refratômetro, permitindo que o sistema ATC atue.

- Direcionar o aparelho para uma fonte de luz e realizar a leitura na escala Brix (Figura 26).

Figura 26: Leitura na escala Brix



Fonte: Autor (2026)

- Limpeza imediata do prisma após a leitura para evitar que a goma seque e encruste na superfície óptica (GOSWAMI et al., 2004).

A interpretação dos resultados obtidos via refratometria exige uma análise profunda da composição química da goma utilizada.

6.5.3 Correlação entre Graus Brix e Percentual de Sólidos Real

É um equívoco técnico comum assumir que o valor lido no refratômetro (Brix) é idêntico ao percentual de sólidos para todos os tipos de goma. Embora para o amido nativo a correlação seja próxima de 1:1, polímeros sintéticos como o PVA ou modificados como o CMA (Carboximetilamido) possuem índices de refração distintos. Conforme destaca a literatura da Textília (2025), para o CMA, o fator de correção deve ser estabelecido em laboratório através da comparação com o método de secagem em estufa (gravimetria). Se uma receita de CMA

exige 8% de sólidos reais, o valor correspondente em Brix pode ser ligeiramente diferente, e essa "curva de calibração" é essencial para o controle de processo de alta precisão.

6.5.4 Impacto da Evaporação e Diluição

Durante a operação da engomadeira, a concentração de sólidos tende a aumentar devido à evaporação da água, especialmente em caixas de goma abertas e com altas temperaturas (85-90°C). Se o monitoramento via refratômetro indicar um aumento no Brix, o operador deve intervir ajustando a entrada de água ou vapor. Por outro lado, a condensação excessiva do vapor injetado diretamente pode diluir a goma, reduzindo o Brix e comprometendo o pick-up. Segundo Goswami et al. (2004), a manutenção do Brix dentro de uma tolerância de $\pm 0,5^\circ$ é o padrão ouro para garantir a uniformidade da engomagem ao longo de todo o lote de produção.

6.5.5 Sólidos Totais vs. Sólidos Ativos

A refratometria mede os sólidos totais dissolvidos, incluindo aditivos como lubrificantes e antiespumantes. É vital que a formulação da goma seja mantida constante para que as variações no Brix reflitam apenas alterações na concentração do agente colante principal. Em processos que utilizam CMA, a estabilidade química deste polímero (ausência de retrogradação) facilita a leitura refratométrica, resultando em linhas de contraste mais nítidas e resultados mais consistentes em comparação com amidos instáveis que tendem a formar grumos (TEXTÍLIA, 2025).

6.6 Análise Técnica dos Parâmetros de Controle

A interpretação dos dados de viscosidade exige o entendimento das interações químicas entre os componentes da goma.

6.6.1 Influência da Temperatura e Concentração

A viscosidade é inversamente proporcional à temperatura. Um decréscimo de poucos graus na caixa de goma pode causar um aumento exponencial na viscosidade, resultando em um filme de goma excessivamente espesso que não penetra adequadamente nas fibras. Além disso, a concentração de sólidos é o principal fator de controle: quanto maior a carga de polímeros (como amido ou CMA), maior a densidade de cadeias moleculares entrelaçadas, o que eleva a resistência ao escoamento (TEXTÍLIA, 2025).

6.6.2 Estabilidade Reológica e Polímeros Modificados

O uso de polímeros modificados, como o Carboximetilamido (CMA), introduz uma nova dinâmica ao controle de viscosidade. Diferente do amido nativo, que sofre retrogradação e aumento de viscosidade ao longo do tempo (formação de gel), o CMA possui grupos carboximetil que impedem o realinhamento das cadeias. Isso resulta em uma "viscosidade estável", facilitando o controle operacional e garantindo que o pick-up permaneça constante durante turnos longos de produção (TEXTÍLIA, 2025).

6.6.3 Correlação com a Pressão de Espremimento

Existe uma correlação direta entre a viscosidade e a pressão aplicada pelos cilindros espremedores. Gomas mais viscosas exigem pressões de espremimento mais elevadas para manter o mesmo percentual de deposição. Se a viscosidade oscila sem que a pressão seja ajustada, o urdume apresentará variações de umidade residual e de resistência mecânica, comprometendo a eficiência da tecelagem (GOSWAMI et al., 2004).

7 AVALIAÇÃO DA CARGA E ARRASTE DE GOMA: PROTOCOLOS GRAVIMÉTRICOS E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL

O controle da carga de goma (comumente referida como size add-on) e do arraste de goma (wet pick-up) constitui o pilar quantitativo do processo de engomagem. Enquanto os capítulos anteriores trataram das variáveis reológicas (viscosidade) e térmicas (secagem), este capítulo dedica-se à mensuração da massa efetiva de polímero que adere ao urdume. De acordo com Goswami et al. (2004), a carga de goma é definida como a relação percentual entre o peso do material sólido seco aplicado e o peso do fio cru original. Esta variável é o indicador definitivo da proteção mecânica que o fio receberá para enfrentar as solicitações do tear.

A importância destes testes reside na necessidade de equilibrar a penetração e o encapsulamento. Uma carga de goma insuficiente deixa o fio vulnerável à abrasão e à fadiga cíclica, resultando em um aumento exponencial na taxa de rupturas. Por outro lado, um arraste excessivo de solução na caixa de goma, sem o devido espremimento, eleva o consumo de energia na zona de secagem e pode tornar o fio quebradiço, além de aumentar os custos operacionais e o impacto ambiental do efluente (GOSWAMI et al., 2004). O monitoramento sistemático da carga e do arraste permite, portanto, a otimização da receita de engomagem e a garantia da tecibilidade.

7.1 Descrição Detalhada dos Equipamentos de Medição

A realização dos ensaios de carga e arraste exige instrumentação de precisão laboratorial, capaz de detectar variações mínimas de massa que ocorrem durante o processamento têxtil.

7.1.1 Balança Analítica de Alta Precisão

O equipamento central para estes ensaios é a balança analítica, com sensibilidade de pelo menos 0,0001g (quatro casas decimais). Dada a leveza das amostras de fios e a pequena proporção de goma aplicada, a precisão é indispensável para que o cálculo percentual seja estatisticamente válido. Segundo Goswami et al. (2004), a balança deve ser operada em ambiente livre

de correntes de ar e vibrações, garantindo a integridade da pesagem gravimétrica.

7.1.2 Estufa de Secagem com Circulação de Ar Forçada

Para a determinação da carga de goma, é necessário eliminar toda a umidade residual da amostra, atingindo o chamado "peso seco absoluto". Utiliza-se uma estufa de secagem capaz de manter a temperatura constante a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A circulação de ar forçada assegura que a evaporação ocorra de forma homogênea em todas as fibras da amostra, evitando a degradação térmica do polímero enquanto remove a água (GOSWAMI et al., 2004).

7.1.3 Dessecadores e Recipientes de Pesagem

Após a secagem na estufa, as amostras não podem ser pesadas imediatamente, pois a fibra têxtil é altamente higroscópica e absorveria umidade do ar instantaneamente, alterando o resultado. Utilizam-se dessecadores contendo sílica gel para o resfriamento das amostras em ambiente anidro. Os recipientes de pesagem (pesa-filtros) devem possuir tampa hermética para garantir que o peso seco absoluto seja mantido durante o transporte entre a estufa e a balança (GOSWAMI et al., 2004).

7.1.4 Equipamentos de Extração Química

Para o teste de carga por extração, utilizam-se béqueres, sistemas de aquecimento e agentes químicos específicos para a remoção da goma. No caso de gomas à base de amido nativo, são necessárias enzimas amilases para a hidrólise do polímero. Já para gomas de Carboximetilamido (CMA), o processo exige apenas água morna e, ocasionalmente, um detergente neutro, devido à alta solubilidade deste polímero modificado (TEXTÍLIA, 2025).

7.2 Metodologia e Procedimentos Operacionais Detalhados

A metodologia para a determinação da carga e do arraste baseia-se no método gravimétrico de diferença de massas, seguindo protocolos rigorosos para garantir a reprodutibilidade.

7.2.1 Procedimento para Determinação da Carga de Goma (Size Add-on)

O ensaio de carga de goma visa quantificar a massa de sólidos secos depositados no fio. O procedimento técnico é dividido nas seguintes etapas:

- Amostragem: Coletam-se amostras de aproximadamente 5 a 10 gramas de fio cru (antes da engomadeira) e de fio engomado (após a zona de secagem).
- Secagem Inicial: Ambas as amostras são colocadas na estufa a 105°C até atingirem peso constante (geralmente por 2 a 4 horas).
- Pesagem do Peso Seco: As amostras são resfriadas no dessecador e pesadas na balança analítica, registrando-se o peso seco do fio cru e o peso seco do fio engomado.
- Cálculo da Carga: A carga de goma é calculada pela fórmula:

$$\% \text{ Addon} = \left(\frac{(\text{peso}_{\text{engomado}} - \text{peso}_{\text{cru}})}{\text{peso}_{\text{cru}}} \right) * 100$$

- Método por Extração: Em casos em que o fio cru não está disponível, a amostra engomada é pesada seca, submetida à desengomagem química completa, lavada, seca novamente e pesada. A diferença de massa representa a goma removida (GOSWAMI et al., 200). O fluxo desse processo é apresentado na figura 27.

Figura 27: Passo a passo do método de análise de carga de goma por extração



Fonte: Autor (2026)

7.2.2 Procedimento para Determinação do Arraste de Goma (Wet Pick-up)

O arraste de goma mede a quantidade de solução líquida que o urdume retira da caixa de goma após o espremimento. Este teste é vital para ajustar a pressão dos cilindros e prever a carga de secagem necessária.

- **Pesagem da Amostra Úmida:** Imediatamente após a passagem pelos cilindros espremedores, uma amostra do urdume úmido é coletada e colocada em um recipiente hermético para evitar a evaporação.
- **Pesagem e Secagem:** A amostra é pesada úmida (P_{umido}) e, em seguida, levada à estufa para secagem total, sendo pesada novamente após o resfriamento (P_{seco}).
- **Cálculo do Arraste:** O arraste percentual é determinado por:

$$\% Pick - up = \left(\frac{(peso_{úmido} - peso_{seco})}{peso_{seco}} \right) * 100$$

Este valor indica a eficiência mecânica dos cilindros espremedores em remover o excesso de banho (GOSWAMI et al., 2004).

7.3 Análise Técnica dos Parâmetros Críticos e Interpretação de Dados

A interpretação dos resultados de carga e arraste exige uma análise integrada das propriedades do fio e da química da goma utilizada.

7.3.1 Relação entre Arraste, Concentração e Carga Final

A carga de goma final é o produto matemático entre o arraste líquido e a concentração de sólidos no banho. Segundo Goswami et al. (2004), se o arraste é de 100% (o fio dobra seu peso com a solução úmida) e a concentração de sólidos no banho é de 10% (conforme medido via refratômetro no Capítulo VI), a carga de goma final será de 10%.

Variações inesperadas na carga de goma, mesmo com a concentração de sólidos estável, indicam problemas na pressão dos cilindros espremedores ou alterações na viscosidade do banho. Gomas mais viscosas tendem a aumentar

o arraste, exigindo maior pressão mecânica para manter a carga de goma dentro dos limites técnicos (GOSWAMI et al., 2004).

7.3.2 Eficiência da Engomagem com CMA vs. Amido Nativo

Um ponto de análise crítica fundamental, extraído da literatura da Textília (2025), refere-se à eficiência de colagem. O Carboximetilamido (CMA) apresenta um poder de adesão cerca de 30% superior ao amido nativo. Na prática industrial, isso significa que é possível obter a mesma proteção mecânica e resistência à abrasão utilizando uma carga de goma menor de CMA em comparação ao amido comum.

Por exemplo, se um fio de algodão exige 12% de carga de amido nativo para uma tecelagem eficiente, o uso de CMA pode permitir que essa carga seja reduzida para 8% ou 9% sem perda de performance. Esta redução na carga de goma impacta positivamente a flexibilidade do fio e reduz drasticamente a formação de pó (dusting) no tear, além de facilitar a desengomagem posterior (TEXTÍLIA, 2025).

7.3.3 O Fenômeno do Arraste e a Secagem

O controle do arraste é o principal regulador do custo energético da engomagem. Um arraste excessivo (acima de 120-130%) sobrecarrega os cilindros secadores, exigindo menor velocidade de máquina ou maior pressão de vapor. De acordo com Goswami et al. (2004), o objetivo técnico é maximizar a concentração de sólidos e minimizar o arraste líquido, obtendo-se a carga de goma desejada com o mínimo de água possível para evaporar. Este equilíbrio é o que define a produtividade da engomadeira.

8 CONCLUSÃO

A investigação sistemática do processo completo de engomagem de fios de algodão obtidos por fiação a rotor (*open-end*) para a produção de tecidos Prontos para Tingir (PT) demonstra que o objetivo geral deste trabalho foi plenamente alcançado. Ao mapear de forma integrada as variáveis que regem desde a seleção qualitativa da matéria-prima até a aplicação física do adesivo, este estudo consolidou uma rota metodológica consistente que culmina na viabilização prática de tecidos planos de alta qualidade. A jornada percorrida evidenciou que o sucesso do beneficiamento primário e da tecitura não depende de fatores isolados, mas sim de uma sinergia rigorosa entre as propriedades físicas da fibra de algodão, a física estrutural do fio a rotor e a química aplicada dos agentes engomantes.

Os resultados obtidos revelam que a estrutura peculiar dos fios produzidos por fiação *open-end*, caracterizada pela presença de fibras de amarração e menor resistência mecânica quando comparada à fiação convencional de anel, demanda um filme protetor altamente homogêneo e elástico. Nesse cenário, o uso do carboximetilamido (CMA) consolidou-se como o elemento-chave para solucionar essa fragilidade. A caracterização reológica e a avaliação sistemática demonstraram que o CMA oferece excelente estabilidade de viscosidade e solubilidade em água morna, permitindo que a película protetora seja facilmente removida no processo de desengomagem. Isso garante uma resposta direta ao problema de pesquisa, comprovando que o monitoramento rígido da viscosidade na caixa de goma e o controle estrito dos parâmetros gravimétricos especificamente o arraste (*wet pick-up*) e a carga de goma (*size add-on*) são fundamentais para assegurar a integridade do fio no tear sem comprometer a posterior absorção uniforme de corantes no acabamento PT.

As contribuições deste estudo estendem-se por dimensões teóricas, práticas e ambientais na área de tecnologia têxtil. Sob a ótica teórica, o trabalho preenche uma lacuna ao correlacionar as faixas de Micronaire da fibra de algodão e a estrutura física do fio a rotor com o comportamento de polímeros modificados em banhos de engomagem. Na prática industrial, a pesquisa disponibiliza um protocolo claro de monitoramento operacional através de

viscosímetros e refratômetros, servindo como guia para reduzir o índice de quebras de fios nas salas de tecelagem. Do ponto de vista socioambiental, a validação do CMA como um agente biodegradável de fácil remoção promove uma alternativa viável para a redução do consumo de água, energia e insumos químicos agressivos na etapa de desengomagem, alinhando a eficiência produtiva às demandas contemporâneas de sustentabilidade na cadeia têxtil.

Não obstante o alcance dos objetivos propostos, este trabalho apresenta limitações que devem ser ponderadas com honestidade acadêmica. O escopo da investigação concentrou-se exclusivamente no carboximetilamido (CMA) como agente principal, sem explorar blends complexos com outros aditivos ou ceras que frequentemente compõem as receitas industriais. Além disso, as análises gravimétricas e reológicas foram realizadas sob condições laboratoriais controladas e em faixas específicas de título de fio, o que restringe a generalização imediata dos resultados para teias submetidas a velocidades extremas de teares a jato de ar de última geração ou a variações sazonais bruscas de umidade relativa do ar no ambiente fabril.

Para expandir os horizontes delineados por esta pesquisa, propõem-se caminhos concretos para investigações futuras no campo da engenharia de processos têxteis. Recomenda-se o estudo comparativo do comportamento do CMA em misturas íntimas de algodão com fibras regeneradas ou sintéticas produzidas por fiação a rotor, avaliando o comportamento do filme sob diferentes tensões de urdimento. Outra vertente promissora consiste no desenvolvimento de sistemas de monitoramento em tempo real da viscosidade e concentração de sólidos na caixa de goma por meio de sensores digitais integrados a redes neurais, otimizando o espremimento de forma preditiva. Por fim, sugere-se analisar o impacto do envelhecimento do filme de CMA em fios estocados por longos períodos sob diferentes condições climáticas antes do processo de tecitura.

REFERÊNCIAS

ALONSO, Carla Helena Strapasson. **Fita de cetim: defeitos de tecelagem**. 2018. 45 f. Monografia (Tecnologia em Produção Têxtil) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Americana, 2018.

BELOT, Jean-Louis. Indústria têxtil, mercado mundial e qualidade de fibra para o futuro. *In: Manual de qualidade da fibra*. [S. l.]: IMAmt, 2010. p. 156-165.

CHANSELME, J.-L.; BACHELIER, B. Colheita e beneficiamento: preservação da qualidade da fibra exige cuidados. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 6, p. 96-101, jul./dez. 2006.

COTTON INCORPORATED. **Denim fabric manufacturing**. Cary, NC: Cotton Incorporated, 2004. (Technical Bulletin, ISP 1010).

CURI, A. **Engomagem de Fios: Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Têxtil, 2008.

CURI, Wesley Catão Fadlo. **Modelagem, controle e simulação de uma engomadeira industrial de grande porte**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

FLORISA. **Fibras têxteis**. Brusque: Florisa, 2026. Disponível em: <https://florisa.ind.br/fibras-texteis/>. Acesso em: 7 maio 2026.

GENERALMED. **Viscosímetro Zahn conforme ASTM D4212**. São Paulo: Generalmed, 2026. Disponível em: <https://www.generalmed.com.br/viscosimetro-zahn-conforme-astm-d4212-pr-1403-71454.htm>. Acesso em: 22 maio 2026.

GOSWAMI, B. C.; ANANDJIWALA, R. D.; HALL, D. M. **Textile Sizing**. New York: Marcel Dekker, 2004.

INCOFIOS. **Comprimento da fibra do algodão: um fator essencial na qualidade do fio**. Indaial: Incofios, 2026. Disponível em: <https://www.incofios.com.br/comprimento-da-fibra-do-algodao-um-fator-essencial-na-qualidade-do-fio/>. Acesso em: 7 maio 2026.

LEAFS MACHINERY. **OE Spinning Mills Rotor Spinning Machine / Open End Spinning Machine Price for Recycled Waste Cotton Yarn.** [S. l.]: Made-in-China, 2026. Disponível em: https://pt.made-in-china.com/co_leafsmachinery/product_OE-Spinning-Mills-Rotor-Spinning-Machine-Open-End-Spinning-Machine-Price-for-Recycled-Waste-Cotton-Yarn_uoihgeinyu.html. Acesso em: 11 maio 2026.

LIMA, Jorge José de. A indústria têxtil e a qualidade da fibra de algodão. *In: Manual de qualidade da fibra.* [S. l.]: IMAmt, 2010. p. 166-191.

MALUF, E.; KOLBE, W. **Dados Técnicos para a Indústria Têxtil.** 2. ed. São Paulo: IPT, 2003.

MARTINS, I. T. de A. **Qualidade da fibra de diferentes cultivares brasileiras de algodão e sua relação com as condições meteorológicas.** 2020. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

MERCADO LIVRE. **Refratômetro 0 a 90 Brix:** óleo de usinagem, leite, frutas. São Paulo: Mercado Livre, 2026. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/refratometro-0-a-90-brix-oleo-de-usinagem-leite-frutas/p/MLB56281487>. Acesso em: 22 maio 2026.

OLIVEIRA, S. R. M. de; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RIBEIRO, V. Q. **Características da fibra do algodão herbáceo submetido a diferentes níveis de umidade no solo.** *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. Anais [...].* João Pessoa: Embrapa Algodão, 2010. p. 1042-1046.

PAL, Supriya. **Technology of denim production: part I: yarn manufacturing techniques for denim.** Fibre2Fashion, [S. l.], 2004. Disponível em: <https://www.fibre2fashion.com>. Acesso em: 11 maio 2026.

PONCE, Daniela Volpi. **Engomagem do Denim preto sulfuroso.** 2010. 230 f. Monografia (Tecnologia em Produção Têxtil) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2010.

RIETER. **Bale Opener UNifloc A 12**. Winterthur: Rieter, 2026. Disponível em: <https://www.rieter.com/products/systems/fiber-preparation/bale-opener-unifloc-a-12>. Acesso em: 11 maio 2026.

SALEM, V. **Engomagem: Processos e Controles**. São Paulo: Érica, 2010.

TEXTILE LEARNER. **Ring spun yarn and rotor spun yarn**. [S. l.]: Textile Learner, 2026. Disponível em: <https://textilelearner.net/ring-spun-yarn-and-rotor-spun-yarn/>. Acesso em: 7 maio 2026.

TEXTÍLIA. **A engomagem com CMA: inovações e sustentabilidade**. Revista Textília, São Paulo, maio 2025. Disponível em: [Material de arquivo]. Acesso em: 20 maio 2026.

TRUETZSCHLER. **Linha de abertura para reciclagem**. Gravataí: Truetzschler, 2026. Disponível em: <https://www.truetzschler.com/pt/spinning/aplicacoes/reciclagem/linha-de-abertura/>. Acesso em: 11 maio 2026.