PRODUÇÃO ONLINE
REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ISSN 1676-1901

O USO DE PRÁTICAS LSS 4.0 NA IDENTIFICAÇÃO, MONITORAMENTO E REDUÇÃO DE REFUGOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO TÊXTIL

THE USE OF LSS 4.0 PRACTICES IN IDENTIFYING, MONITORING AND REDUCING WASTE IN THE TEXTILE PRODUCTION PROCESS

Ayone Michico Mesquita Umemura* E-mail: ayonemichiko@gmail.com
Allan Gabriel Lopes Lima** E-mail: allanglima15@gmail.com
Fabíola Domingues Maciel** E-mail: fabioladmaciel10@gmail.com
Léony Luis Lopes Negrão** E-mail: leony@uepa.br
*Companhia Têxtil de Castanhal, Castanhal, PA, Brasil.
**Universidade do Estado do Pará (UEPA), Campus Castanhal, PA, Brasil.

Resumo: Por meio do presente estudo objetivou-se identificar, analisar e monitorar o processo produtivo, voltado à geração de refugos, de uma empresa da Indústria Têxtil, sob o prisma das práticas *Lean Six Sigma* 4.0 (LSS 4.0), com a proposição de melhorias no macroprocesso de Tecelagem. A pesquisa foi do tipo estudo de caso com caráter exploratório, analisando os refugos liberados no processo produtivo e propondo a implementação de ferramentas de melhorias, seguindo o paradigma do LSS 4.0. A principal fonte de coleta de dados desta pesquisa foi o sistema ERP utilizado pela empresa estudada. Tal proposição foi realizada a partir da elaboração dos mapas de processos, nos quais os índices encontrados possibilitaram a identificação dos principais fatores geradores de refugos. Outrossim, por meio do monitoramento adicionado nos macroprocessos de produção, como uma das soluções vislumbradas por este estudo, foi possível propor soluções com potencial para o atingimento das reduções no índice de refugos produzidos e a melhoria na produção total. Assim sendo, este estudo foi considerado relevante para a empresa objeto de estudo, tendo-se em vista as análises de soluções propostas geradas. Assim como, do ponto de vista científico, representa uma importante contribuição para a consolidação de práticas e ferramentas no âmbito da gestão de operações.

Palavras-chave: *Lean Six Sigma*. Indústria 4.0. Indústria Têxtil.

Abstract: The present study aimed to identify, analyze and monitor the production process, focused on the generation of waste, of a textile industry company, from the perspective of Lean Six Sigma 4.0 (LSS 4.0) practices, proposing improvements in the weaving macro process. The research was of the exploratory case study type, analyzing the waste released in the production process and proposing the implementation of improvement tools, following the LSS 4.0 paradigm. The main source of data collection for this research was the ERP system used by the company studied. This proposition was carried out from the elaboration of process maps, in which the indexes found allowed the identification of the main factors generating waste. Furthermore, through the monitoring added to the production macro processes, as one of the solutions envisioned by this study, it was possible to propose solutions with the potential to achieve reductions in the rate of waste produced and the improvement in total production. Therefore, this study was considered relevant for the company under study, considering the analyses of proposed solutions generated. Also, from a scientific point of view, it represents an important contribution to the consolidation of practices and tools within the scope of operations management.

Keywords: Lean Six Sigma. Industry 4.0. Textile Industry.

1 INTRODUÇÃO

As práticas de melhoria contínua têm sido amplamente adotadas para melhorar os processos, reduzindo desperdícios e otimizando o consumo de recursos (KUMAR *et al.*, 2022). Segundo Dantas *et al.* (2023), a digitalização de processos no contexto atual não é mais algo opcional, mas sim um paradigma que tende a se fortalecer à medida que a Indústria 4.0 ganha novas organizações adeptas de seus princípios. Desta forma, diversas abordagens, como o *Kaizen, Lean, Six Sigma* e *Lean Six Sigma*, têm demonstrado a capacidade de produzir produtos de alta qualidade, e desse modo, a combinação entre a digitalização e as práticas de melhoria contínua pode gerar uma revolução significativa, com potencial para impulsionar a eficiência e a competitividade das indústrias (VINODH *et al.*, 2020).

De acordo com Kipper *et al.* (2022), o *Lean Six Sigma* (LSS) oferece diversas ferramentas voltadas para a eliminação de desperdícios e o aumento do valor ao cliente, enquanto a Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental nesse contexto, ao permitir a criação de fábricas inteligentes por meio da integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem. Portanto, a utilização conjunta das práticas e ferramentas do LSS e as tecnologias da Indústria 4.0, se torna uma estratégia promissora, já que permite uma abordagem holística para a melhoria contínua.

Segundo Letchumanan *et al.* (2022), a proposição de práticas LSS 4.0 permite a identificação de oportunidades para aumentar a eficiência energética, reduzir o consumo de recursos naturais e promover a sustentabilidade em todas as fases do ciclo de vida dos produtos. Melhorias que também são encontradas em outros setores econômicos, como o setor alimentício, com o estudo de Telenchana *et al.* (2024) mostrando que o interesse em sua aplicação tem crescido significativamente, tendo-se em vista a sua abordagem de melhoria de processos e de qualidade.

Tendo em vista os benefícios da implementação de práticas e ferramentas LSS e das tecnologias da Indústria 4.0 identificados na literatura, apresenta-se a questão da pesquisa**:** Como propor medidas de melhorias baseadas nas práticas e tecnologias LSS 4.0 no processo produtivo de uma empresa têxtil, visando à identificação e monitoramento de refugos, aumento da eficiência operacional e da qualidade dos

produtos? Nesse sentido, o objetivo geral desta pesquisa é propor a aplicação de práticas LSS 4.0 para identificar, analisar, monitorar e reduzir os refugos nos processos produtivos de uma empresa da Indústria Têxtil.

2 PRÁTICAS LSS 4.0

Em análise inicial à literatura, observa-se a crescente integração entre as práticas de Lean Six Sigma (LSS) e as tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) como um direcionador da eficiência e da sustentabilidade industrial. Nesse contexto, o LSS atua na estruturação da melhoria contínua e na eliminação de desperdícios, enquanto a I4.0 viabiliza o monitoramento em tempo real e a tomada de decisão baseada em dados. É notável, ainda, a recorrência de ferramentas do LSS, como o DMAIC, o Value Stream Mapping (VSM) e o Kaizen, frequentemente associadas a tecnologias como o *Big Data* e o *IoT*. Conforme sintetizado no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Síntese das práticas de LSS e tecnologias da Indústria 4.0

Ferramentas LSS / Tecnologias I4.0	**AUTORES**
DMAIC	Sordan *et al.* (2022); Tripathi *et al.* (2021); Titmarsh, Assad e Harrison (2020); Chiarini e Kumar (2021); Arcidiacono e Pieroni (2018), Enfimova e Bris (2022); Kaswan *et al.* (2022); Rosa *et al*. (2022).
VSM	Kaswan *et al.* (2022); Tripathi *et al.* (2021); Macedo *et al.* (2022); Kipper *et al.* (2022); Letchumanan *et al.* (2022).
Kaizen	Sordan *et al.* (2022); Tripathi *et al.* (2021), Kipper *et al.* (2022); Vinodh *et al.* (2020); Yadav, Sankar e Singh (2020).
Kanban	Yadav, Sankar e Singh (2020); Antony *et al.* (2022); Kumar *et al.* (2021).
Big Data	Sordan *et al.* (2022); Tripathi *et al.* (2021); Skalli, Charkaoui e Cherrafi (2022); Titmarsh, Assad e Harrison (2020); Butt (2020); Letchumanan *et al.* (2022); Alemsan e Paladini (2022); Kipper *et al.* (2022); Macedo *et al.* (2022); Chiarini e Kumar (2021); Arcidiacono e Pieroni (2018); Bhat, Bhat e Gijo (2021); Rana e Jani (2022); Kumar *et al.* (2021); Antony *et al.* (2022); Kaswan *et al.* (2022).
IoT	Fiorelli *et al.* (2022); Tripathi *et al.* (2021); Butt (2020); Letchumanan *et al.* (2022); Alemsan e Paladini (2022); Vinodh *et al.* (2020); Alves e Marcolino (2022); Arcidiacono e Pieroni (2018); Rana e Jani (2022); Yadav, Shankar e Singh (2020); Kaswan *et al.* (2022).
Cyber-Physical Systems	Butt (2020); Kaswan *et al.* (2022).

Fonte: Autores (2024).

2.1 Discussão da literatura

A integração do *Lean Six Sigma* (*LSS*) com a Indústria 4.0 (I4.0), frequentemente denominada LSS 4.0, é um tema de crescente interesse e relevância no contexto da melhoria contínua e da transformação digital nas indústrias (PISOLER; FREITAS, 2025). De modo geral, a literatura aponta que essa convergência ocorre por meio da combinação entre a estrutura metodológica do LSS e o uso intensivo de dados proporcionado pelas tecnologias digitais da I4.0.

Diante disso, um dos principais achados recorrentes é a centralidade do método DMAIC como estrutura fundamental para a melhoria de processos. Estudos como os de Letchumanan *et al.* (2022) e Sordan *et al.* (2022) destacam a importância do DMAIC na identificação e solução de problemas, bem como na aplicação de melhorias contínuas. Aplicações práticas também reforçam essa relevância, como demonstrado por Rosa *et al*. (2022), ao utilizar o DMAIC na organização da coleta e análise de dados em um comércio de alimentos; e por Sahay, Ghosh e Bheemarthi (2011), citados por Valença e Oliveira (2023), ao aplicarem a metodologia DMAIC combinada com os princípios do *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* na melhoria do processo produtivo de alavancas de freio automotivas.

Além disso, o DMAIC tem sido associado à integração com sistemas ciberfísicos, como no estudo de Butt (2020), no qual a metodologia atua como um roteiro estruturado para a implementação eficaz de tecnologias na Indústria 4.0 dentro da manufatura. De forma complementar, Titmarsh, Assad e Harrison (2020) e Chiarini e Kumar (2021) reforçam a aplicação do DMAIC em iniciativas de melhoria contínua, destacando sua contribuição tanto para a manufatura sustentável quanto para a excelência operacional integrada.

Outro achado relevante refere-se ao uso do *Value Stream Mapping* (VSM), que, além de possibilitar a identificação de gargalos e a redução do tempo total do *lead time* (MACEDO *et al.*, 2022), também atua como ferramenta estratégica para apoiar a seleção de tecnologias da Indústria 4.0 mais adequadas a cada contexto organizacional (KIPPER *et al.*, 2022). Nesse sentido, o VSM contribui para uma visão sistêmica dos processos, facilitando a tomada de decisão orientada por dados.

Em relação às práticas de melhoria contínua, o *Kaizen* aparece frequentemente associado às tecnologias digitais. Tripathi *et al.* (2021) destacam o seu uso em conjunto com o *Big Data* como suporte à inovação aberta à sustentabilidade, enquanto Vinodh *et al.* (2020) integram o *Kaizen* com tecnologias como o IoT, evidenciando sua contribuição para estratégias mais amplas que envolvem *Lean*, *Six Sigma*, *Kaizen*, sustentabilidade e transformação digital.

A integração entre LSS e I4.0 também tem sido analisada sob a perspectiva de desempenho organizacional. Yadav, Shankar e Singh (2020) demonstram que a combinação entre práticas LSS e tecnologias como IoT, aprendizado de máquina, inteligência artificial, robótica e computação em nuvem impactam indicadores como qualidade, entrega, volumes de vendas e níveis de estoque. De forma semelhante, Kumar *et al.* (2021) e Antony *et al.* (2022) destacam o papel de ferramentas como *Kanban*, apoiadas por *Big Data*, na melhoria do desempenho operacional.

Por fim, estudos como o de Kaswan *et al.* (2022) reforçam a convergência entre LSS e I4.0 ao integrar ferramentas como VSM, *Big Data* e DMAIC com foco na sustentabilidade, evidenciando que diferentes combinações metodológicas podem atender aos objetivos de melhoria contínua e desempenho ambiental.

No entanto, apesar dos avanços observados, a literatura ainda apresenta lacunas relevantes. Uma delas refere-se à dimensão humana e social da implementação do LSS 4.0. Embora melhorias em indicadores operacionais sejam amplamente reportadas, estudos como o de Yadav, Shankar e Singh (2020) indicam que variáveis como absenteísmo e aspectos comportamentais não apresentam resultados conclusivos, sugerindo limitações na abordagem exclusivamente tecnológica. Outra lacuna importante diz respeito à ausência de aplicações setoriais específicas, especialmente no contexto da Indústria Têxtil. Observa-se que a maior parte dos estudos se concentra em setores como o automotivo e o industrial de manufatura discreta, havendo escassez de pesquisas voltadas com o uso integrado de sistemas digitais e práticas LSS.

Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de estudos que avancem na aplicação prática do LSS 4.0 em contextos específicos, considerando não apenas a integração tecnológica, mas também as particularidades dos processos produtivos. Assim, a presente pesquisa busca contribuir para o preenchimento dessa lacuna ao

propor a aplicação de práticas LSS 4.0 no contexto da indústria têxtil, com foco no macroprocesso de tecelagem, visando a identificação, monitoramento e redução de refugos de forma estruturada e orientadas por dados.

3 MÉTODO

3.1 Abordagem de pesquisa

A pesquisa é do tipo estudo de caso aplicada em uma empresa produtora de fios, telas e sacos de juta, com caráter exploratório, a fim de ratificar a análise sobre os refugos liberados no processo produtivo e propor a implementação de ferramentas de melhorias, seguindo o paradigma do LSS 4.0. A principal fonte de coleta de dados desta pesquisa é o sistema ERP utilizado pela empresa estudada.

3.2 Método de pesquisa

O método de pesquisa adotado para a realização deste trabalho foi o estudo de caso. Para Ganga (2012) o estudo de caso pode ser definido como uma investigação empírica que investiga um determinado fenômeno contemporâneo em profundidade e a sua realidade, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto real não são claramente evidentes.

De acordo com Yin (2014), é possível definir quatro fases que mostram o desdobramento do estudo de caso. Sendo elas:

a) delimitação da unidade-caso;

b) coleta de dados;

c) seleção, análise e interpretação dos dados;

d) elaboração do relatório.

Em vista disso, esta pesquisa foi desenvolvida com base nas ferramentas apresentadas e com o acréscimo de algumas adaptações necessárias para alinhar o estudo ao paradigma do LSS 4.0.

3.3 Etapas do método de pesquisa

A partir da edificação metodológica, foram delineadas as etapas necessárias para execução da pesquisa, as quais:

- **Revisão sistemática da literatura:** Realizou-se uma revisão sistemática da literatura com o intuito de adquirir conhecimentos mais aprofundados sobre as práticas do modelo de gestão *Lean Manufacturing* e as tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Indústria de Transformação;
- **Identificação da unidade-caso:** por meio de visita à empresa objeto de pesquisa para identificar os tipos de desperdícios presentes ao longo do processo produtivo atual da empresa;
- **Coleta de dados:** a coleta de dados foi realizada por meio de relatórios de controle de desperdícios disponíveis no sistema ERP da empresa estudada, bem como em planilhas de controle. Além disso, foram conduzidas entrevistas e reuniões semiestruturadas com encarregados e colaboradores operacionais, ao longo de 11 meses (de fevereiro a dezembro de 2023), a fim de se obter dados precisos e abrangentes para a análise e avaliação das práticas de controle de desperdícios da empresa;
- **Elaboração de gráficos para monitoramento:** Com base nos dados coletados, foram selecionadas as métricas relevantes para a construção dos gráficos. Diante disso, com o auxílio do *Microsoft Excel* 2019, foram utilizadas tabelas dinâmicas, para uma compreensão mais abrangente dos dados, interpretação dos resultados e tomada de decisões. A fim de identificar padrões e monitorar a quantidade de retorno e resíduo na produção;
- **Proposição das práticas LSS 4.0:** Foram selecionadas as práticas do modelo de gestão LSS 4.0 mais adequadas para reduzir os refugos no processo de produção da empresa têxtil. Sendo o *Value Stream Mapping* indicado pela literatura como a ferramenta central para a visualização dos fluxos de valor e identificação dos gargalos e desperdícios. Desta forma, A proposta foi planejada e organizada em etapas, de acordo com as necessidades e capacidades da empresa, visando monitorar a geração de

refugos durante o processo produtivo - como a adaptação do mapeamento de processos para distinguir de forma rigorosa entre “Retorno” (material processado) e “Resíduo” (material descartado), subdividindo os resíduos em inerentes e não inerentes para priorizar a redução de falhas operacionais evitáveis).

- **Avaliação dos resultados e recomendações:** Com base nos dados coletados e na proposta estabelecida, foi realizada uma análise para compreender os possíveis efeitos das práticas LSS 4.0 no monitoramento de refugos no processo de produção da empresa têxtil. Elaborando-se recomendações específicas, levando-se em consideração as práticas efetivas identificadas e as áreas de oportunidade, para a possível futura implementação da proposta.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da empresa

A empresa utilizada como objeto de estudo para este trabalho, está localizada na cidade de Castanhal, no Estado do Pará, possuindo também uma filial na região de Manacapuru-AM e escritório comercial na cidade de São Paulo/SP. Fundada em 1966 e atuando há 58 anos no segmento têxtil, é considerada a maior fabricante de produtos derivados da juta e malva da América do Sul.

Logo, ela atua no comércio nacional e realiza vendas para outros países, buscando cada vez mais se consolidar em suas exportações. Possuindo, portanto, produtos variados que abrangem diferentes mercados como, por exemplo, Artesanato, Moda, produção de tabaco, produção de calçados e produtos para automóveis.

Em relação aos seus principais produtos, encontram-se as seguintes classes: Fios, Telas e Sacarias. Desta forma, cada classe possui os seus respectivos produtos, com as mais diversas características. Como o saco de café, por exemplo, que faz parte das Sacarias e representa a principal produção da empresa, sendo responsável por mais da metade da comercialização mensal realizada.

Por fim, a matéria-prima utilizada é parcialmente adquirida dos solos brasileiros nos Estados do Pará e do Amazonas, sendo a outra parte importada da Ásia (Índia e Bangladesh). Ademais, a empresa presa que todo o seu processo produtivo, desde até a plantação da matéria-prima até a comercialização do produto final, seja sustentável e não prejudique o meio ambiente.

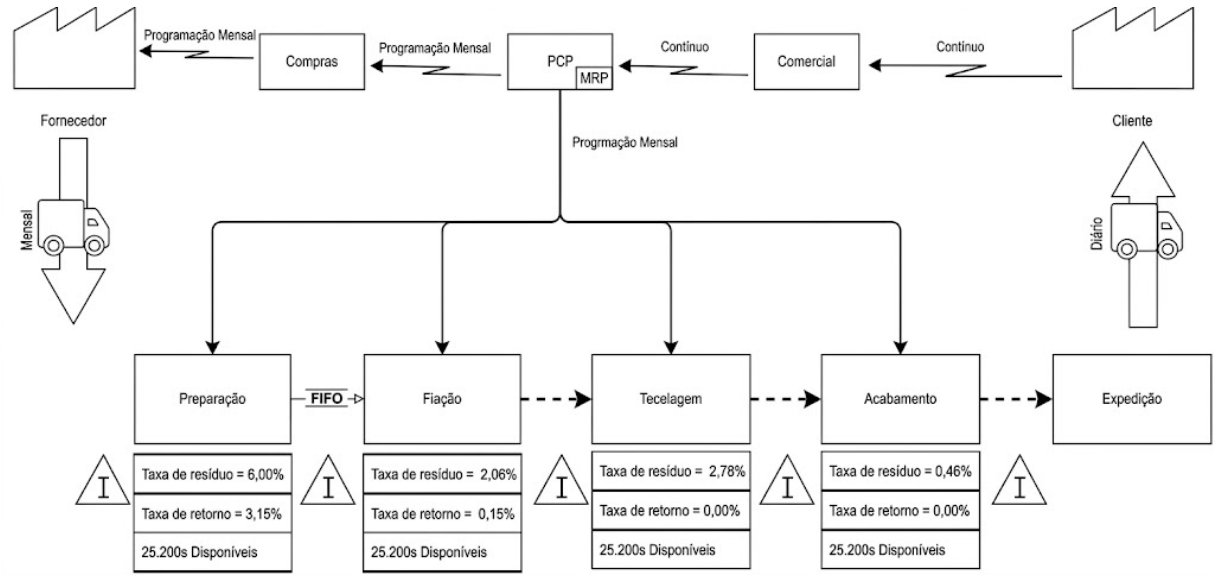
4.2 Análise dos refugos no processo de produção

4.2.1 VSM do processo

O processo produtivo da empresa estudada é composto por quatro macroprocessos, representados na Figura 1, além do setor de Matéria-Prima, o Almoxarifado e a Expedição de Produtos Acabados. No VSM da Figura 1, constam as taxas de retornos e resíduos de cada macroprocesso em relação ao volume produzido, sendo Retorno os materiais que regressam ao início do processo produtivo e são reprocessados para reintegrar a linha de produção, e Resíduos os materiais que, geralmente, são descartados. Tais parâmetros são necessários, visto que são o principal tipo de perda que está sendo investigada pela presente pesquisa.

Ademais, cada macroprocesso foi detalhado em termos de etapas de produção com seu respectivo VSM, buscando-se aprofundar na origem real de geração de refugos.

Figura 1 – VSM do processo de produção



Fonte: Autores (2024).

4.2.2 Macroprocesso de preparação

O macroprocesso de preparação é responsável por receber a matéria-prima e transformá-la para ser compatível para os próximos macroprocessos. Portanto, ele é composto pelas seguintes etapas: Embonecamento, Amaciador, Estendedeira, Maceração, Carda Grossa, Carda Fina, 1ª Passador, 2ª Passador e 3ª Passador, detalhadas a seguir.

- **Embonecamento:** no Embonecamento, as fibras serão juntadas e separadas por feixes, realizando-se uma mixagem entre elas para preservar uma boa qualidade do material. Consecutivamente, os feixes são alocados em carrinhos, para serem levados à próxima etapa. Simultaneamente a essas tarefas, realiza-se a varrição e coleta de resíduos, que são direcionados para a balança do setor para serem pesados e possuírem os seus respectivos pesos registrados em uma nota. Este procedimento é recorrente no processo operacional, sendo importante para a gestão eficiente dos resíduos gerados durante as atividades envolvidas;
- **Amaciador:** no Amaciador, as fibras são retiradas do carrinho e lançadas em uma esteira que possui a finalidade de despejar a emulsão formada por

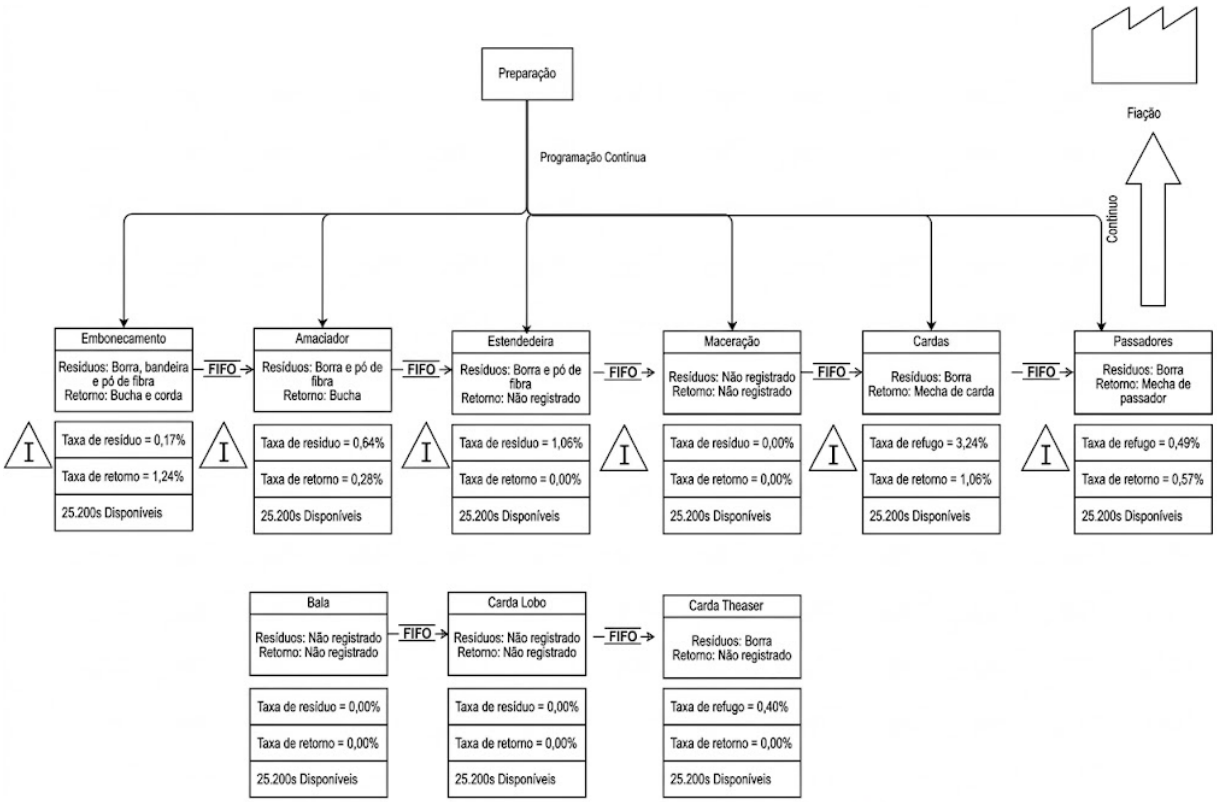
oleína e água, sobre elas. Tal ação auxilia na quebra das moléculas de impurezas ainda presentes na fibra. Considerando esse cenário, a fibra é novamente colocada nos carrinhos e direcionada para a próxima etapa. Do mesmo modo, os resíduos são coletados e separados de forma individual em seus recipientes, seguindo os mesmos critérios da etapa anterior;

- **Estendedeira:** na Estendedeira, para continuar o processo de limpeza, os feixes recebem novamente a emulsificação por meio da oleína, passando também pelo processo de estiragem e paralelização. Consecutivamente, eles são transformados em rolos e são levados para a próxima etapa. Da mesma forma, mantém a consistência na destinação desses refugos;
- **Maceração:** a Maceração consiste no armazenamento dos rolos em um local adequado para serem macerados, sendo cobertos por lonas e permanecendo assim de 72h a 120h, em média 96h. Deste modo, durante esse período, a emulsão continua reagindo, resultando na evaporação completa da água e permanência apenas da oleína na fibra. Tendo-se em vista que nesta etapa ocorre apenas o armazenamento e espera do material, não foram identificados resíduos a serem gerados;
- **Carda Grossa:** nesta etapa de cardagem, os rolos de fibra passam por cilindros agulhados, transformando a fibra em véu e originando um novo rolo que seguirá para a próxima etapa do processo. Durante o curso de ingresso dos materiais nos rolos das cardas, origina-se a coleta de dois tipos específicos de materiais durante a operação de varrição e recolhimento de refugos: mechas de cardas (retorno) e borra (resíduos). As mechas de cardas, por sua vez, após passarem pelo processo convencional, são submetidas a um subprocesso de reaproveitamento, sendo direcionadas às cardas *theaser* com o propósito de gerar rolos de repasse, os quais são destinados à reutilização no processo de Carda Fina;
- **Carda Fina:** na Carda Fina, a fibra se torna ainda mais fina e alinhada de maneira mais paralela, tornando-se apta para a próxima etapa do processo. Os retornos de resíduos são tratados da mesma maneira que na Carda Grossa;

- **1º Passador:** no 1º Passador, a fibra se transforma em mechas, para que posteriormente se torne um fio. Assim sendo, ocorre mais um *mix* entre as fibras, para que a fibra garanta a homogeneidade e equilíbrio em sua qualidade, não se tornando um fio frágil. Para a formação do novo rolo, haverá uma nova estiragem e alinhamento da fibra. Os passadores distinguem-se unicamente do material classificado como refugo, mais especificamente, a mecha de passador. Esta última segue o mesmo curso contínuo do item anterior;
- **2º Passador:** no 2º Passador, a mecha passa por um novo processo de estiragem e alinhamento, tornando-se cada vez mais fina. O processo de mixagem continua alimentando as máquinas com latões das diferentes fibras adquiridas no processo anterior. Os retornos e resíduos gerados são tratados da mesma forma que no 1º Passador;
- **3º Passador:** o 3º Passador é a última etapa da Preparação, na qual a mecha da fibra receberá sua última paralelização e homogeneização, sendo estocada para seguir ao processo de Fiação. Os retornos e resíduos são tratados do mesmo modo que no 2º Passador;
- **Baias:** este estágio consiste na armazenagem para maceração de fibras curtas que retornam do processo produtivo, sendo originadas no embonecamento, amaciamento e estendedeiras, por exemplo. O sistema compreende seis baias, cada uma com capacidade de, aproximadamente, 2.000 kg e duração do processo que varia de 72h a 120h;
- **Cardas lobo:** duas cardas lobos desempenham o papel de estirar o material após a maceração nas baias. Nestas cardas lobos, ocorre também o processamento de materiais reciclados provenientes das cardas grossa, finas e passadores, de forma separada em relação aos materiais provenientes das baias;
- ***Theaser*:** este equipamento processa materiais provenientes tanto do Retorno, como mechas de cardas e passadores, quanto dos materiais das baias que passaram pela Carda Lobo. Sendo assim, reintegrados à produção na forma de rolos de repasse nas Cardas Finas ou direcionados à embalagem como juta cardada.

Na Figura 2 consta o VSM do macroprocesso de preparação, levando em conta os refugos encontrados em cada etapa.

Figura 2 – VSM do macroprocesso de preparação



Fonte: Autores (2024).

4.2.3 Macroprocesso de fiação

Após a conclusão de toda a preparação da fibra, o macroprocesso de fiação é responsável por transformar a mecha da etapa anterior em fio. Para isso, as etapas que compõem esse macroprocesso são: Filatório, Conicaleira, Retorcedeira e Bobina de Precisão, assim detalhadas:

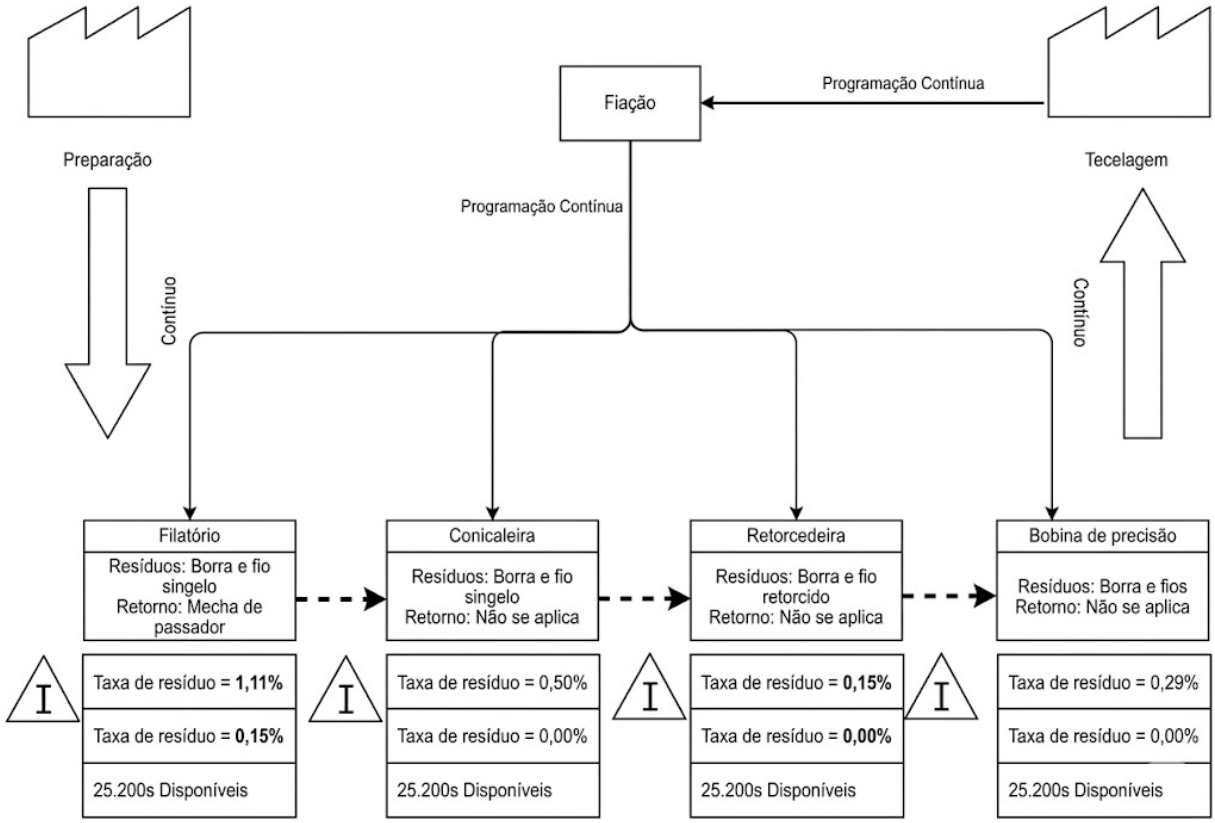
- **Filatório:** o Filatório realiza o processo de estiragem e torção por toda a extensão da mecha, transformando a fibra em fio que são armazenados em carretéis. Nesse contexto, são classificados como refugos: a mecha do passador (retorno), a borra e o fio singelo (resíduos). Diante disso, a mecha de passador ao ser devidamente alocada em recipientes, coletada e transportada à máquina de Carda *Theaser*, tem a possibilidade de ser

reaproveitada. Por sua vez, os resíduos são transformados em rolos para a reutilização no processo na Carda *Theaser*, porém a borra é considerada um resíduo não recuperável, seguindo os mesmos critérios de destinação mencionados na Preparação;

- **Conicaleira:** a Conicaleira pode ser tanto manual, quanto automatizada, realizando o processo de troca de embalagem dos carretéis. Nesta etapa foram identificados dois tipos de resíduos: borra e fio singelo (resíduos). Tendo-se em vista que não há reaproveitamento, após os resíduos passarem pelo procedimento padrão de pesagem, são direcionados para a incineração;
- **Retorcedeira:** na Retorcedeira ocorre a formação de um fio mais resistente, por meio da retorção do fio, ou seja, torcer novamente dois ou mais “cabos” do fio. Esse procedimento ocorre somente com os fios que possuem essa característica. Do mesmo modo que no processo anterior, as sobras de fio e borras são encaminhadas para a incineração;
- **Bobina de Precisão:** na Bobina de Precisão, por meio da troca de embalagem, há a transformação do fio singelo ou retorcido em bobinas padronizadas, em questão como altura, peso e o desenho do fio para a comercialização. Os refugos dessa etapa seguirão a mesma destinação indicada anteriormente.

Na Figura 3 está o macroprocesso de fiação, levando em conta os refugos encontrados em cada etapa.

Figura 3 – VSM do macroprocesso de fiação



Fonte: Autores (2024).

4.2.4 Macroprocesso de tecelagem

O macroprocesso da tecelagem consiste em transformar os fios singelos da fiação em telas. Para isso, o material passa pelas seguintes etapas: urdideira, engomadeira e tear, detalhamento será apresentado abaixo:

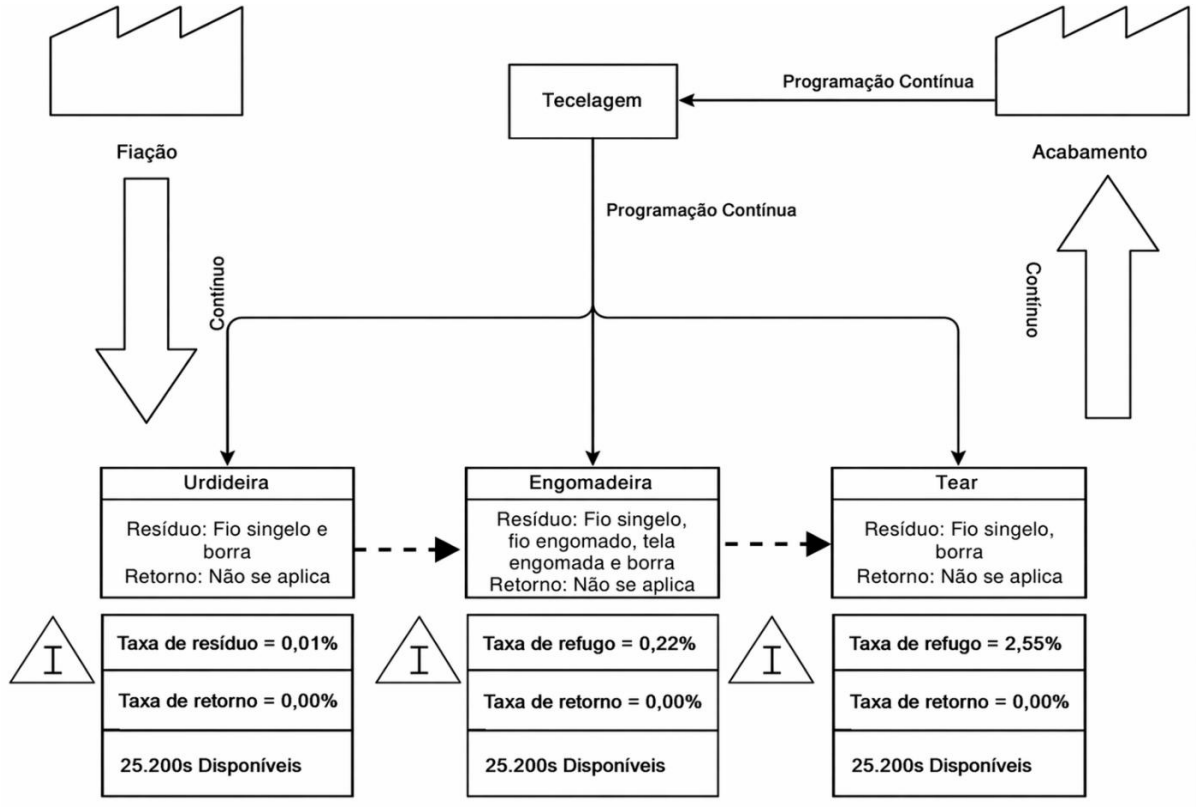
- **Urdideira:** na Urdideira, os fios são alinhados e enrolados novamente em um carretel com cerca de 1,5m de largura, formando o rolo urdido. Os resíduos gerados com este processo são a borra e os fios singelos, os quais são destinados para a incineração após a realização da separação, alojamento e pesagem, descritos nos processos anteriores;
- **Engomadeira:** na Engomadeira, são formados os fios, telas e rolos engomados, resultantes do processo de imersão dos fios em uma solução de produtos engomantes. Sendo assim, há a transformação dos rolos urdidos, de alguns fios da retorcedeira e de algumas telas em fio cru urdido,

frequentemente remanescente dos carretéis utilizados no abastecimento do maquinário. Assim sendo, os resíduos gerados são provenientes de telas com excesso de goma, além de fios engomados e borra. Desse modo, os resíduos são armazenados em um recipiente designado, seguindo pela coleta, pesagem e, por fim, incineração. Por sua vez, a borra passa pelo procedimento padrão para a incineração;

- **Tear:** o Tear realiza o procedimento de tecelagem do fio, ou seja, o entrelaçamento dos fios de urdume (rolos engomados posicionados verticalmente) com os fios de trama (fios singelos da fiação posicionados horizontalmente). Gerando a tela de juta que pode seguir para o Acabamento ou voltar para a etapa anterior para ser engomado. Todos os refugos originados nesta fase são atualmente categorizados como resíduos, sendo incinerados.

O macroprocesso de tecelagem consta na Figura 4, com a identificação na taxa de refugos encontrados em cada etapa.

Figura 4 – VSM do macroprocesso de tecelagem



Fonte: Autores (2024).

4.2.5 Macroprocesso de acabamento

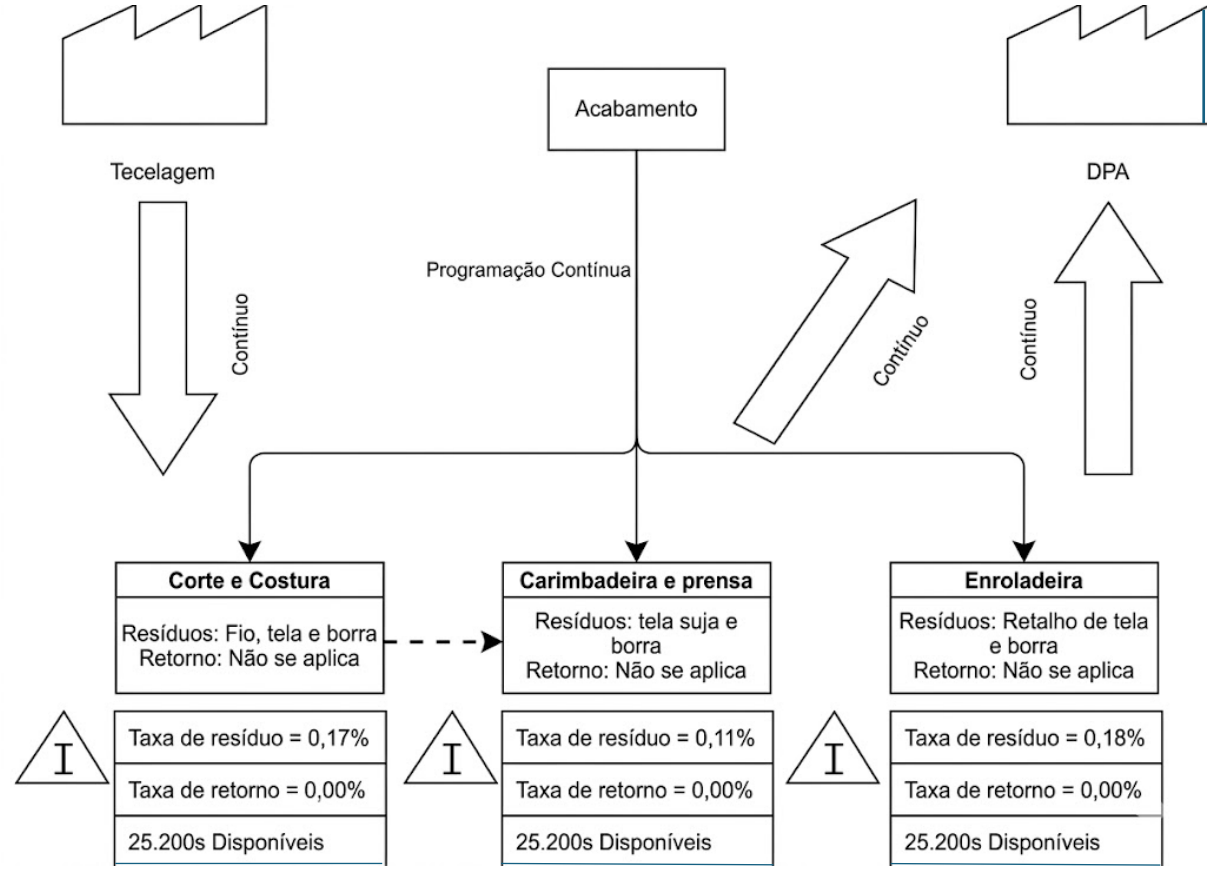
No macroprocesso de acabamento, as telas produzidas na tecelagem, sofrem os processos de transformações necessários de acordo com sua finalidade. Para isso, podem passar pelas seguintes etapas: Enroladeira, Embalagem de Telas, Cortadeira, Costura Manual, Esteira Mecanizada/Semimecanizada, Carimbadeira e Prensagem, detalhadas abaixo:

- **Enroladeira:** a Enroladeira é responsável pela troca de embalagens das telas, onde serão enroladas em um tubete de papelão de acordo com a metragem solicitada pelo cliente. Após passar pela enroladeira, os rolos de tela são identificados de acordo com seu tipo, metragem e peso, então são destinados à expedição. Os resíduos gerados são retalhos de tela, borra e telas com defeito. Desse modo, os retalhos de tela e os resíduos de borra passam pelo processo de pesagem padrão, sendo posteriormente direcionados para a incineração. Por fim, as telas com defeito passam por um processo de revisão de material, sendo destinadas a fins artesanais no âmbito da indústria;
- **Cortadeira:** na Cortadeira, as telas são cortadas e dobradas para serem transformadas em sacos. Os resíduos gerados são as emendas de telas, os quais, sem possibilidade de reaproveitamento, são descartados em recipientes designados. Esses resíduos passam pelo procedimento padrão, sendo encaminhados para a incineração. Outrossim, durante a análise, também foi identificada a presença de borra;
- **Costura manual:** a Costura Manual realiza costura manual do saco utilizando uma máquina de costura e fios retorcidos do macroprocesso de fiação. Os resíduos gerados são as sobras de fio de costura e borra. Em ambos os casos, realiza-se o procedimento padrão de pesagem e posterior incineração;
- **Esteira mecanizada e semimecanizada:** As Esteiras realizam o processo de corte e costura do saco, substituindo a etapa da cortadeira e da costura manual. Os resíduos provenientes desta etapa passam pelo procedimento padrão, sendo encaminhados para a incineração;

- **Carimbadeira:** a Carimbadeira realiza o processo de estamparia, no qual a marca do cliente e/ou da empresa é carimbado, conforme a solicitação. O resíduo gerado é a borra, a qual é conduzida pelo mesmo processo subsequente de pesagem e é, posteriormente, direcionada à incineração;
- **Prensagem:** na Prensagem, os sacos são prensados e transformados em fardos, os quais são destinados ao Departamento de Produto Acabado para ser preparado para a expedição.

O VSM do macroprocesso de acabamento consta na Figura 5, com taxa de refugos encontrados em cada etapa.

Figura 5 – VSM do macroprocesso de acabamento

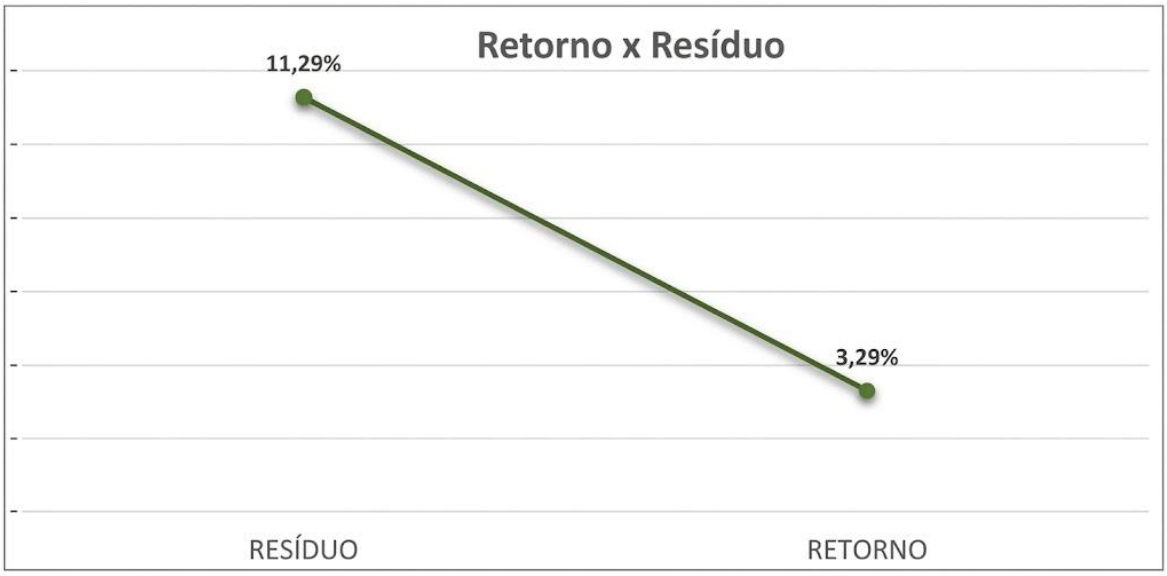


Fonte: Autores (2024).

4.2.6 Análise dos refugos

Após a análise dos refugos e todo o processo produtivo, é possível observar com a Figura 6 que as maiores taxas de refugo estão ligadas aos resíduos.

Figura 6 – Retorno x resíduo



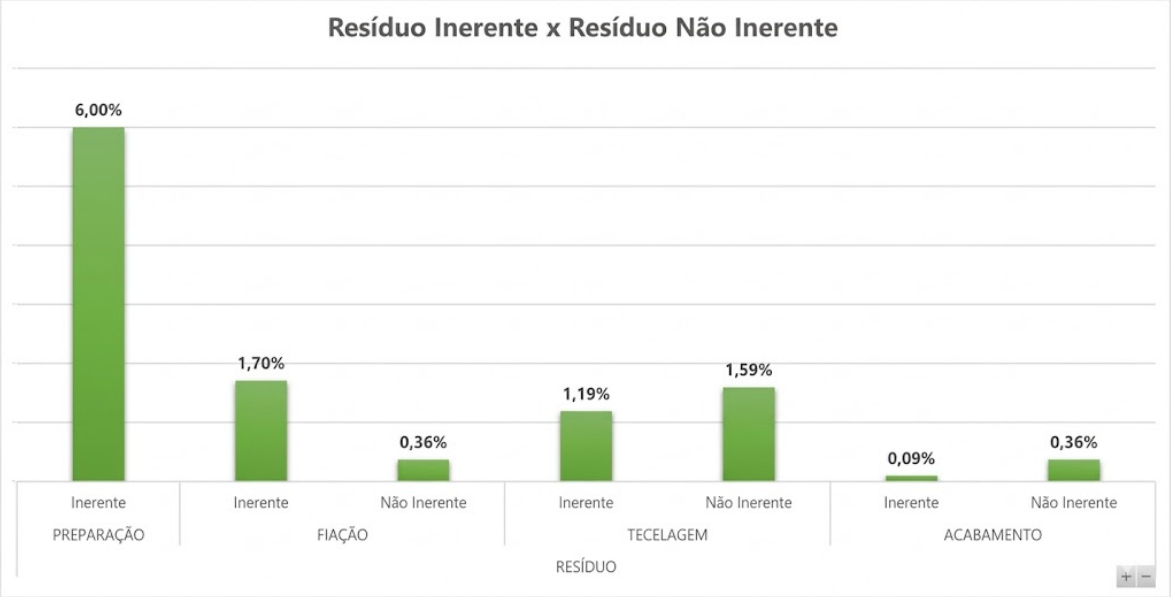
Fonte: Autores (2024).

Ao focalizar exclusivamente nos resíduos, é possível categorizá-los em duas vertentes: (i) os inerentes, representados pela borra e pelo pó de fibra; e (ii) os não inerentes, englobando os demais resíduos (bandeira, fio singelo, fio retorcido, fio engomado, tela engomada, tela suja e retalho de tela). Os resíduos inerentes referem-se àqueles que surgem de maneira “natural” durante o processo produtivo, enquanto os não inerentes são, em grande parte, evitáveis, pois resultam comumente de falhas ou inadequações operacionais.

Essa análise crítica ressalta a distinção entre os dois tipos de resíduos e aponta para a importância de uma gestão mais efetiva, especialmente no que tange aos resíduos não inerentes. A identificação e mitigação de falhas no processo produtivo podem contribuir significativamente para a redução desses resíduos, promovendo práticas mais sustentáveis e ecoeficientes na empresa têxtil objeto deste estudo.

Dessa forma, a Figura 7 mostra a comparação dessas duas vertentes por macroprocesso. Evidenciando que os resíduos não inerentes provenientes da tecelagem apresentam um volume superior em comparação com os demais macroprocessos.

Figura 7 – Resíduo inerente x resíduo não inerente



Fonte: Autores (2024).

4.3 Proposição de melhorias no processo de produção com base em LSS 4.0

4.3.1 Setor de tecelagem

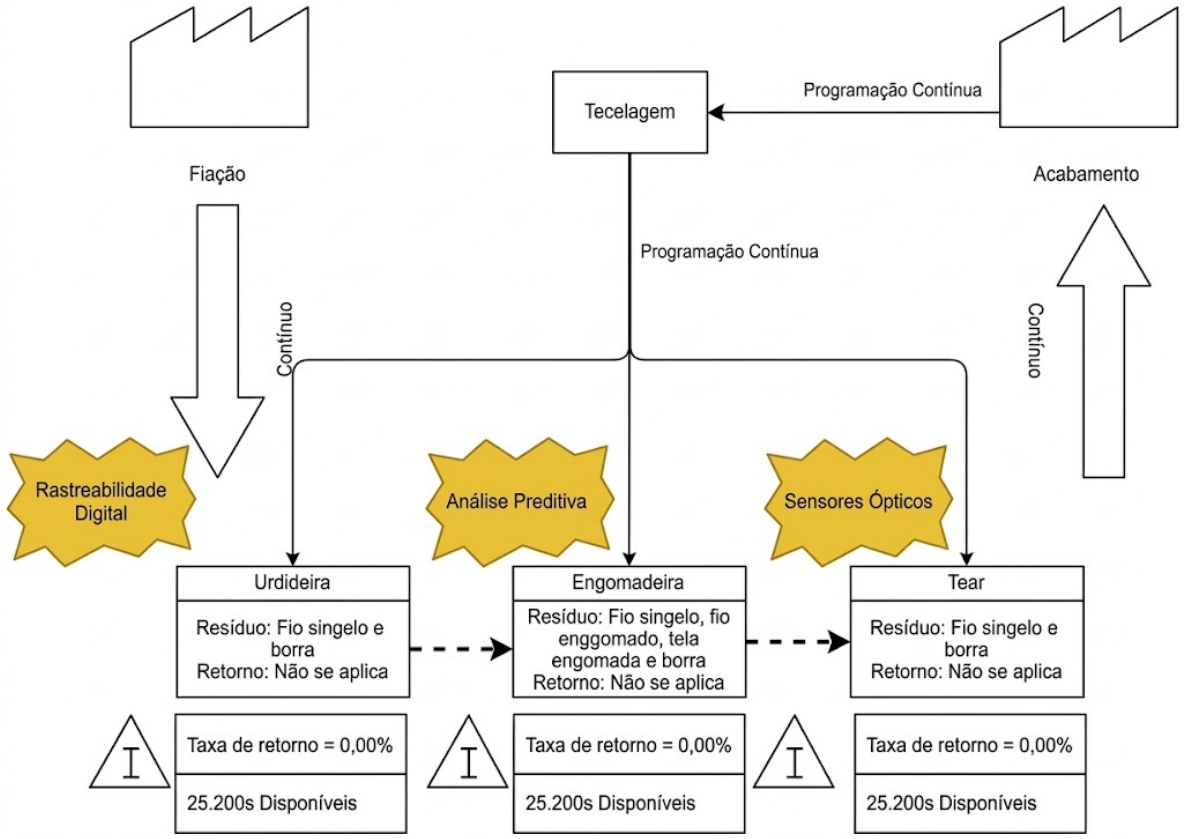
Tendo-se em vista a presente busca por eficiência operacional e práticas sustentáveis na Indústria Têxtil, a integração de tecnologias da Indústria 4.0 demonstra ser uma ferramenta acessível para alcançar melhorias na gestão de resíduos não inerentes no setor de tecelagem, por meio da utilização de sensores, *Internet* das Coisas (IoT) e análise de *Big Data*.

Desta forma, ao investir nessas soluções, a empresa não apenas busca eficiência operacional, mas também atende a demanda crescente por práticas sustentáveis (a exemplo do estudo de Skalli, Charkaoui e Cherrafi, 2022) consolidando sua posição como líder do setor e avançando de forma pragmática e viável.

Assim sendo, a estratégia delineada para cada fase do processo de tecelagem é fundamentada em otimizar a eficiência operacional, melhorar a qualidade do produto e reduzir os resíduos não inerentes. Diante disso, cada escolha estratégica se alinha

às características específicas de cada etapa do macroprocesso. Tais propostas, presentes na Figura 8, serão detalhadas nas seções subsequentes.

Figura 8 – VSM futuro do macroprocesso de tecelagem



Fonte: Autores (2024).

4.3.2 Implementação da rastreabilidade digital na etapa de urdideira

A urdideira é a primeira etapa do processo produtivo, formando rolos urdidos a partir das bobinas dos fios singelos. Deste modo, a introdução da rastreabilidade digital é realizada para aprimorar esta etapa do processo. Outrossim, estudos como os dos autores Macedo *et al.* (2022); Tripathi *et al.* (2021); Bhat, Bhat, e Gijo (2021); e Kaswan *et al.* (2022), seguiram essa linha ao buscar melhorar o desempenho operacional de empresas da indústria de transformação.

Sob essa óptica, a rastreabilidade digital realiza a atribuição de indicadores únicos a cada rótulo urdido, sendo codificados digitalmente e vinculados a plataformas

centralizadas, a fim de proporcionar uma visão abrangente do ciclo de vida de cada rolo e permitir um rastreamento detalhado desde a origem até a utilização na tecelagem, como também a antecipação de problemas e ajustes em tempo real.

Além disso, à medida que cada rolo avança pela etapa da urdideira, os sensores instalados durante o processo capturam informações sobre a qualidade dos fios e identificam os padrões que podem levar à geração de resíduos não inerentes, alimentando a base de conhecimento digital e criando um histórico que pode ser analisado para melhorar futuras produções.

Sendo assim, por meio dessa abordagem, coloca-se em prática os princípios e práticas *Lean*, como a gestão visual com foco na perfeição do processo (Liker, 2005), almejando melhor qualidade do produto e redução de refugos. Vale ressaltar também que a presente abordagem sinaliza a maturidade da empresa para a integração de tecnologias avançadas, indo em direção a operações mais inteligentes, sustentáveis e alinhadas com os princípios da Indústria 4.0.

4.3.3 Implementação da análise preditiva na etapa de engomadeira

A etapa de engomadeira é responsável pela aplicação de soluções engomantes nos rolos urdidos, fios e telas, agregando características específicas e preparando-os para as fases subsequentes do processo produtivo. Isto posto, a introdução da análise preditiva nessa etapa possui o intuito de antecipar e mitigar potenciais desafios. Esta proposição possui como parâmetro o estudo de Butt (2020), o qual propôs um roteiro estratégico para a implementação da Indústria 4.0 adequado para os fabricantes, utilizando os princípios LSS. Assim como outros estudos presentes na RSL, por exemplo, Chiarini e Kumar (2021), Rana e Jani (2022), Arcidiacono e Pieroni (2018).

Sendo assim, a análise preditiva oferece uma compreensão profunda dos processos físico-químicos envolvidos na aplicação, permitindo o monitoramento em tempo real de variáveis críticas, como concentração da solução, uniformidade da aplicação e aderência aos diferentes tipos de materiais. Tais dados permitem a construção de modelos matemáticos avançados, com o intuito de reconhecer padrões complexos que precedem a existência de resíduos não inerentes e a criação de um quadro abrangente com os elementos do processo.

Em vista disso, o sistema torna-se apto a prever cenários nos quais a formação de resíduos é mais provável, como as telas e os fios com excesso de goma, permitindo ajustes automáticos antes da materialização desses resíduos. Nesse contexto, há a melhoria contínua do processo e minimização dos desperdícios, configurando-se assim uma aplicação da prática *Lean Poka Yoke* ou “sistema à prova de erros”.

Além disso, a análise preditiva na engomadeira proporciona também uma gestão proativa da eficiência operacional, otimizando os parâmetros do processo com base em previsões sólidas e impulsionando a produtividade e a qualidade geral da empresa.

4.3.4 Implementação de sensores ópticos na etapa de tear

Os sensores ópticos são implementados para detectar de forma minuciosa qualquer irregularidade na etapa central na formação das telas, o tear. A partir dessa análise, ressalta-se o estudo de Butt (2020), no qual a aplicação de sensores resultou na integração rápida de informações na área produtiva. Do mesmo modo, Kaswan *et al.* (2022) destaca que a utilização de sensores robóticos como o COBOT, em parceria com outras tecnologias, fornece um controle maior sobre a produção.

Nesse contexto, os sensores ópticos ao identificar defeitos como falhas na teia, trama solta ou padrões irregulares, realizam a intervenção imediata do processo, minimizando a extensão de defeitos e reduzindo a quantidade de material descartado. Do mesmo modo, asseguram o alinhamento e disposição adequados dos fios de urdume e trama, garantindo a qualidade da tela.

Por outro lado, tendo-se em vista que a velocidade é uma variável crítica para o desempenho eficiente do setor, os sensores monitoram de forma contínua a velocidade do processo dentro dos parâmetros ideais. Portanto, ao ser detectado variações na velocidade, são realizados ajustes em tempo real com o intuito de prevenir rupturas de fios e defeitos na tela, por exemplo.

Em vista disso, em síntese, essa tecnologia aprimora a qualidade do produto e impulsiona também a sustentabilidade e competitividade da indústria têxtil.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação da abordagem *Lean Six Sigma,* associadas às tecnologias da Indústria 4.0, proporcionou uma visão completa dos fluxos de trabalho, permitindo identificação precisa das áreas que demandariam intervenções específicas no processo produtivo, especialmente no que se refere à geração de refugos do processo de produção. Além disso, os dados coletados e organizados em tabelas, gráficos e quadros também foram de suma importância, possibilitando uma compreensão mais aprofundada acerca do processo produtivo e identificação de oportunidade de melhorias.

Nesse contexto, a aplicação do *Value Stream Mapping* (VSM) apresenta ser uma ferramenta estratégica e eficiente para a visualização do fluxo de valor. Haja vista que permite identificar desperdícios, gargalos e possíveis causas raízes relacionadas à geração de refugos. Sua aplicação pode ser implementada por meio do mapeamento detalhado de cada etapa do processo produtivo, seguido da análise dos tempos de ciclo, estoques intermediários e fluxos de informação, possibilitando a proposição de um estado futuro mais eficiente. Contudo, ressalta-se que a efetividade dessas ferramentas está diretamente relacionada ao engajamento da equipe e à adaptação às condições operacionais da empresa.

Adicionalmente, considerando que o macroprocesso de tecelagem apresenta atualmente 1,59% de resíduos não inerentes (evitáveis), a implementação das tecnologias LSS 4.0, como sensores IoT e análise de *Big Data*, visa reduzir esse índice para patamares próximos aos do macroprocesso de fiação (0,36%), o que representa uma redução de aproximadamente 77% dos desperdícios operacionais deste setor. Pois a utilização de sensores em etapas-chave, como urdideira, engomadeira e tear, permitirá a coleta contínua de dados operacionais, como temperatura, tensão dos fios e velocidade de produção. Tais dados poderão ser armazenados e analisados por meio de ferramentas de *Big Data*, possibilitando a identificação de padrões, anomalias e causas raízes dos refugos de forma preditiva.

A partir disso, torna-se viável a implementação de um sistema de apoio à decisão, no qual gestores poderão atuar de forma mais assertiva na correção de falhas, redução de variabilidade e melhoria contínua do processo. Espera-se que

essas ações resultem na redução dos índices de refugo, otimização do tempo de produção, diminuição de custos operacionais e melhoria da qualidade do produto final.

No entanto, destaca-se que a validação dos benefícios propostos depende da implementação prática dessas soluções, sendo recomendada, como trabalho futuro, a elaboração de um plano de ação estruturado contendo etapas, recursos necessários e indicadores de desempenho para acompanhamento dos resultados.

6 CONCLUSÃO

Os índices encontrados de acordo com os mapas de processos elaborados por meio da ferramenta VSM demonstraram que o objetivo principal desta pesquisa foi alcançado, fundamentado na proposição de medidas que visam à redução das taxas de refugo com base na aplicação das práticas do *Lean Six Sigma* integradas à Indústria 4.0. Diante disso, a utilização da abordagem LSS 4.0 possibilitou a identificação de fatores críticos do processo produtivo que contribuem para a proposição de melhorias operacionais e para o aumento da produtividade empresarial, apoiadas pelo uso de tecnologias digitais e análises estatísticas na tomada de decisão.

O presente trabalho apresentou algumas limitações relacionadas ao tempo disponível para a implementação das propostas e à restrição de acesso a informações mais detalhadas, o que impediu a validação prática das soluções sugeridas. Ainda assim, considera-se que os objetivos foram atingidos de forma satisfatória no âmbito teórico e analítico.

Como trabalhos futuros, sugere-se a elaboração de um plano de ação para a implementação das melhorias propostas, visando a redução contínua dos índices de refugo e ao maior controle do processo produtivo. Recomenda-se, ainda, a ampliação da aplicação da abordagem LSS 4.0, permitindo a comparação entre os resultados atuais e os obtidos após a implementação das melhorias, de modo a validar empiricamente os benefícios identificados neste estudo.

REFERÊNCIAS

ALEMSAN, M. K; PALADINI, E. P. Métodos de avaliação do nível de maturidade da qualidade 4.0 – uma análise crítica. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 42., 2022. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2022.

ARCIDIACONO, G; PIERONI, A. The Revolution Lean Six Sigma 4.0**. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology**, Vol. 8, N. 1, p. 141-149, 2018.

BHAT, V. S; BHAT, S; GIJO, E. V. Simulation-based lean six sigma for Industry 4.0: an action research in the process industry. **International Journal of Quality and Reliability Management**, Vol. 38, N. 5, p. 1215-1245, 2021.

BUTT, J. A Strategic Roadmap for the Manufacturing Industry to Implement Industry. **Designs**, 4.0. Vol. 4, N. 11, p. 1-31, 2020.

CHIARINI, A; KUMAR, M. Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: evidence from Italian manufacturing companies. **Production Planning and Control**, Vol. 32, N. 13, p. 1084-1101, 2021.

DANTAS, D. H. S.; JUSTA, M. A. O.; NETO, J. C. L.; COELHO, M. I. B. A. Redução de desperdícios em processos produtivos: o caso da digitalização das instruções de trabalho numa indústria do polo industrial de Manaus. **Produção Online**, Vol. 23, N. 1, p. 1-31, e-4851, 2023.

GANGA, G. M. D; **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção Um Guia Prático de Conteúdo e Forma.** 1ª Edição, São Paulo, 2012.

KASWAN, M. S; RATHI, R; CROSS, J; GARZA-REYES, J. A; ANTONY, J; YADAV, V. Integrating Green Lean Six Sigma and industry 4.0: a conceptual framework. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 34, N. 1, p. 87-121, 2023.

KIPPER, L. M; SOUZA, A. R. R; LOPES, G. A; DENES, Q. R. F; FROZZA, R. O gerenciamento da aprendizagem no contexto do lean 4.0. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 42., 2022. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2022.

KUMAR, P; BRAR, P. S; SINGH, D; BHAMU, J. Fuzzy AHP approach for barriers to implement LSS in the context of Industry 4.0. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Vol. 72, N. 9, p. 2559-2583, 2022.

KUMAR, P; BHADU, J; SINGH, D; BHAMU, J. Integration between Lean, Six Sigma and Industry 4.0 technologies. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, Vol. 13, N. 1/2/3, p. 19-37, 2021.

LETCHUMANAN, L. T; GHOLAMI, H; YUSOF, N. M; NGADIMAN, N. H. A. B. N; SALAMEH, A. A; ŠTREIMIKIENĖ, D; CAVALLARO, F. Analyzing the Factors

Enabling Green Lean Six Sigma Implementation in the Industry 4.0 Era. **Sustainability**, Vol. 14, N. 6, p. 1-15, 2022.

LIKER, F. K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo.** 1ª Edição, Porto Alegre, Editora Bookman, 2005.

MACEDO, J. F; JUNIOR, P. F. S; DINIZ, L. S; MACIEL, A. C. M. Mapeamento de Fluxo de Valor aplicado na implementação de processos da Indústria 4.0 em uma empresa tradicional de Metalurgia. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 42., 2022. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2022.

PISOLER, G.; FREITAS, R. R.; *Lean* Seis Sigma aplicado na indústria 4.0: uma contribuição bibliométrica. **Produção Online**, Vol. 25, N. 2, p. 1-26, e-4960, 2025.

RANA, J. A; JANI, S. Y. An integrated Industry 4.0 – Sustainable Lean Six Sigma framework to improve supply chain performance: a decision support study from COVID-19 lessons. **Journal of Global Operations and Strategic Sourcing**, Vol. 16, N. 2, p. 430-455, 2023.

RANA, J. A; JANI, S. Y. Enhancing sustainable supply chain performance by adopting sustainable lean six sigma-Industry 4.0 practices. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, Vol. 34, N. 4, p. 1198-1221, 2023.

ROSA, L. M. A.; OLIVEIRA, L. T. B; FRANCO, R. M; SILVA, T. B.; BRAGA, W. L. M.; Resolução de problemas usando a metodologia DMAIC: estudo de caso em um comércio de alimentos. **Produção Online**, Vol. 22, N. 3, p. 3362-3389, 2022.

SKALLI, D; CHARKAOUI, A; CHERRAFI, A. Assessing interactions between Lean Six-Sigma, Circular Economy and industry 4.0: toward an integrated perspective. **IFAC-PapersOnLine**, Vol. 55, N. 1, p. 3112-3117, 2022.

SORDAN, J. E; OPRIME, P. C; BUENO, C. R; CONDÉ, G. C; PIMENTA, M. L. Interação entre lean seis sigma, data science e analytics: uma revisão sistemática da literatura. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 42., 2022. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2022.

TITMARSH, R; ASSAD, F; HARRISON, R. Contributions of lean six sigma to sustainable manufacturing requirements: an industry 4.0 perspective. **Procedia CIRP**, Vol. 90, p. 589-593, 2020.

TRIPATHI, V; CHATTOPADHYAYA S; MUKHOPADHYAY, A. K; SHARMA, S; SINGH, J; PIMENOV, D. Y; GIASIN, K. An Innovative Agile Model of Smart Lean-Green Approach for Sustainability Enhancement in Industry 4.0. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, Vol. 7, N. 4, p. 1-20, 2021.

VALENÇA, A. K. A.; OLIVEIRA, R. C. R.; Análise Bibliométrica do controle estatístico de processo (CEP) aplicado ao processo de fabricação. **Produção Online**, Vol. 23, N. 4, p. 1-25, e-5096, 2023.

VINODH, S; ANTONY, J; AGRAWAL R; DOUGLAS, J. A. Integration of continuous improvement strategies with Industry 4.0: a systematic review and agenda for further research. **The TQM Journal**, Vol. 33, N. 2, p. 441-472, 2021.

YADAV, N; SHANKAR, R; SINGH, S. P. Impact of Industry 4.0/ICTs, Lean Six Sigma and quality management systems on organisational performance. **The TQM Journal**, Vol. 32, N. 4, p. 815-835, 2020.

YIN, R. **Estudo de caso Planejamento e Métodos**. 5ª Edição, Porto Alegre, Editora Bookman, 2014.

Biografia do(s) autor(es)

Ayone Michico Mesquita Umemura
Bacharelado em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará, com experiência na área de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP). Atualmente atuo como Analista de PPCP, desempenho funções relacionadas ao planejamento da capacidade produtiva, otimização dos processos industriais e controle da produção, garantindo eficiência alinhamento entre demanda e recursos fabris.

Allan Gabriel Lopes Lima
Bacharelado em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará. Tem experiência e interesse em atividades de extensão nas áreas de Planejamento e Controle de Produção, Gestão de Estoque em Otimização de Processos.

Fabíola Domingues Maciel
Graduanda no Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará – UEPA, Campus Castanhal/PA.

Léony Luis Lopes Negrão
Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos. Tem interesse em ensino, pesquisa, extensão e gestão na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Gestão de Operações, PCP, Lean Manufacturing, Gestão de Estoques, Gestão de Custos e Avaliação de Projetos. Possui artigos publicados em *journals* com alto fator de impacto (JCR), dentre eles, *Production Planning and Control*, *Management Decision,* International Production Research e IEEE.

Artigo recebido em: 23/05/2025 e aceito para publicação em: 28/10/2026
DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i4.5628