

**IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODOS PARA GANHO DE EFICIÊNCIA E
ESCALABILIDADE EM PROJETOS DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**

Michel Ogliari França¹
Vanderson Almorin²
Maico Fernando Wilges Carneiro³
Simone Merlini⁴

RESUMO

O estudo foi realizado em uma empresa do setor metalmecânico, onde a alta competitividade do setor demanda eficiência, porém, gargalos de produtividade, retrabalho e baixa padronização são frequentes nos departamentos de engenharia. O objetivo central deste estudo foi reduzir o tempo médio de desenvolvimento de esteiras transportadoras. Para atingirmos estes objetivos, o trabalho utilizou a pesquisa-ação para desenvolver uma solução em duas frentes: (1) a otimização de um modelo CAD paramétrico em *SolidWorks* e (2) a criação de um catálogo de projetos em *Microsoft Excel* para fomentar a reutilização de dados. A validação da metodologia foi realizada através da análise de 17 projetos reais, que permitiu a identificação de métricas para quatro estágios de eficiência. Com base nesses dados, uma simulação de impacto total para 24 projetos indicou que o novo fluxo de trabalho, mesmo absorvendo o custo de investimento inicial do modelo padrão, é 56,1% mais eficiente que o método anterior. No pilar da qualidade, um novo *checklist* mitigou a sobrecarga no gestor, reduzindo a média de erros que chegam à sua revisão de 36,00 para 3,18 por projeto. Os resultados mostram que a solução adotada, sendo prática e de baixo custo, funcionou bem. Ela aumentou a padronização e a escalabilidade, melhorando a eficiência geral do setor de engenharia.

Palavras-chave: Gestão do Conhecimento. Projeto Paramétrico. Padronização de Projetos. *SolidWorks*. Indústria Metalmecânica.

1 INTRODUÇÃO

A competitividade da indústria atual exige que as empresas de engenharia otimizem continuamente seus processos para reduzir o tempo de lançamento de novos produtos (*time-to-market*) e aumentar a eficiência operacional. Neste cenário, a Gestão do Conhecimento (GC) transcende a teoria e torna-se um pilar estratégico para a inovação e a sustentabilidade do negócio (Varl; Duhovnik; Tavčar, 2020).

A pesquisa realizada analisa o processo de desenvolvimento de produtos em uma empresa do setor metalmecânico que, assim como outros pares, é tecnologicamente equipada, mas enfrenta desafios de produtividade (Suominen, 2022).

¹ Graduando em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2025). E-mail: michelogliari@gmail.com

² Docente orientador Esp. em Engenharia Mecânica – UCEFF Faculdades - E-mail: vanderson@uceff.edu.br

³ Docente da UCEFF Faculdades.

⁴ Docente da UCEFF Faculdades.

As esteiras transportadoras, equipamentos compostos por uma alta gama de conjuntos mecânicos (rolamentos, motores, fitas, perfis, ...), que possuem o objetivo de levar um item “A” até uma posição “B”, são os equipamentos de maior recorrência na produção da empresa, sendo equipamentos que exigem critérios rigorosos de dimensionamento mecânico e estrutural, conforme detalhado por Conceição (2022), o que torna seu desenvolvimento repetitivo, altamente trabalhoso e custoso. Hoje, a falta de um sistema ágil para catalogar projetos anteriores, acaba criando um ciclo vicioso de retrabalho, onde por muitas vezes, soluções de engenharia são recriadas do zero simplesmente porque não foram encontradas, devido aos milhares de equipamentos, existentes e não organizados no servidor, o que impacta direto no *time-to-market* das esteiras.

Esta falha no processo acaba aumentando tanto os custos quanto o tempo de entrega, além disso, conforme Hirayama (2016), isso gera um desperdício do capital intelectual que a empresa já possui.

Diante deste cenário, surge a seguinte questão-problema: **Como reduzir o tempo médio do desenvolvimento de projetos de esteiras transportadoras ganhando maior escalabilidade na empresa em estudo?**

Para solucionar tal questão, foi necessário diagnosticar o fluxo de trabalho vigente, identificando os gargalos na gestão de dados de projetos de esteiras transportadoras.

Buscando o ganho de eficiência, foi necessário criar um modelo de projeto CAD padrão para esteiras transportadoras, utilizando modelamento parametrizado para facilitar a reconfiguração e minimizar erros e ações repetitivas no *software SolidWorks* (Bezerra, 2018).

Após estruturar uma planilha funcional em *Microsoft Excel* para servir como catálogo, definindo os campos (metadados) necessários para a busca e identificação rápida de projetos semelhantes, e por fim validar a eficácia da solução proposta através da sua aplicação em projetos subsequentes, comparando os resultados com o método de trabalho anterior (Formentini et al., 2022).

A relevância deste estudo reside na aplicação de uma solução pragmática e de baixo custo para resolver um problema industrial concreto. Ao invés de focar em sistemas complexos, a proposta utiliza ferramentas já disponíveis na empresa (*Microsoft Excel* e *SolidWorks*) de forma integrada, criando um fluxo de trabalho otimizado e alinhado às práticas de eficiência da Indústria 4.0 (Varl; Duhovnik; Tavčar, 2020).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para dar suporte teórico ao desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas revisões da literatura abordando, a importância da Gestão do Conhecimento e da Reutilização de Projetos para a eficiência da engenharia, o papel da Padronização como pilar da qualidade e automação, os fundamentos do Projeto Paramétrico que viabilizam a criação de modelos inteligentes e a utilização de metadados como ferramenta chave para a otimização da busca de informação.

2.1 GESTÃO DO CONHECIMENTO E REUTILIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA

No setor de máquinas sob demanda, a agilidade no Desenvolvimento de Produtos (PDP) é o divisor de águas para a inovação. A filosofia *Lean* intervém nesse contexto para tornar o processo mais enxuto e eficiente, removendo atividades sem valor agregado. Frequentemente, o maior passivo da engenharia é o retrabalho. Conforme alerta Suominen (2022), ocorre o fenômeno do trabalho sobreposto, onde a falta de colaboração leva projetistas a criarem soluções paralelas para problemas que a empresa já resolveu.

A solução para este gargalo reside na Gestão do Conhecimento (GC) e na estratégia de Reutilização de Projetos (*Design Reuse*). Varl, Duhovnik e Tavčar (2020) afirmam que, devido à complexidade e ao alto custo associado ao processo de *design* criativo, existe um valor significativo na reutilização de dados e conhecimentos de projetos existentes. No contexto deste trabalho, a implementação de um sistema de catalogação busca capitalizar exatamente este valor. Ao tornar projetos anteriores facilmente acessíveis, o sistema permite que um novo projeto de esteira que tenha, por exemplo, 80% de similaridade com uma solução existente, exija esforço criativo apenas nos 20% restantes, o que representa uma redução significativa no tempo e no custo de desenvolvimento.

Para que a reutilização seja efetiva, é necessário um método para coletar e organizar o conhecimento de engenharia. Formentini *et al.* (2022) propõem a criação de um banco de dados do projetista (*Designer DB*) com essa finalidade.

2.2 PADRONIZAÇÃO EM PROJETOS MECÂNICOS

Sabe-se que em ambientes de engenharia, a padronização é a espinha dorsal da operação, ela garante a uniformidade, escalabilidade, facilita reposições, blinda o processo contra falhas

e serve de modelo para projetos futuros, tudo direciona a um produto de maior qualidade no final (Guimarães Neto, 2022).

Segundo Guimarães Neto (2022), a padronização é um pré-requisito para haver controle de qualidade, quando focado no desenvolvimento de produtos, vai além das peças físicas, abrange os próprios métodos de projeto. Neste sentido, Niero (2024) demonstra que o uso de metodologias sistemáticas, como na seleção de materiais, é determinante para reduzir incertezas e assegurar que os requisitos técnicos do produto sejam plenamente atendidos. É essa padronização que garante resultados previsíveis, mesmo quando a produção é customizada.

Nesse contexto, a aplicação de metodologias como o *Design for X* (DFX) torna-se fundamental, pois enfatiza a consideração de todos os objetivos de design e restrições de fabricação logo nos estágios iniciais. Segundo Kuo, Huang e Zhang (2001), essa antecipação permite simplificar produtos, reduzir custos de montagem e diminuir significativamente o tempo de lançamento no mercado (*time-to-market*).

O desenvolvimento de uma metodologia de padronização e catalogação para os arquivos de projeto será crucial para a organização e a recuperação da informação técnica. Já a criação de um modelo CAD padrão para as esteiras transportadoras materializará o conceito apresentado por Suominen (2022) de oferecer um produto especial feito com componentes padrão. Isso significa que, embora cada esteira entregue ao cliente seja única em suas dimensões e especificações, ela será derivada de uma base de projeto comum, validada e otimizada.

2.3 PROJETO PARAMÉTRICO E MODELAGEM INTELIGENTE EM CAD 3D

A tecnologia que viabiliza a criação de modelos padrão, flexíveis e inteligentes é o “Assistente de furação” alinhado ao “Padrão de componente acionado por padrão”, que são recursos encontrados dentro do *software SolidWorks*, onde os mesmos possuem interação direta. Como o Assistente de furação registra as variáveis das posições de seus furos, quando se é conectado a esse recurso, de Padrão de componente acionado por padrão, o item selecionado se replica em toda ocorrência de um furo. Essa técnica é um avanço na modelagem, pois define a geometria e captura a lógica, ou a 'intenção de projeto'. Bezerra (2018) explica que essa intenção é materializada através de parâmetros (variáveis que controlam dimensões), restrições (regras geométricas) e um histórico de construção editável.

A principal vantagem dessa metodologia é a associação entre os elementos do modelo. Bezerra (2018) detalha a relação de dependência pai/filho, onde a alteração em uma peça propaga-se automaticamente para todas as *features* dependentes (os filhos).

Lee *et al.* (2023) demonstrou uma abordagem similar, onde parâmetros extraídos e organizados em uma planilha são utilizados para gerar modelos 3D automaticamente. Embora a proposta deste trabalho não vise a geração completa do modelo a partir da planilha, a lógica é a mesma: a combinação de dados estruturados (no *Excel*) com um modelo inteligente (no *SolidWorks*). A flexibilidade do *Excel* para criar *dashboards*, *links* e automações tornou o acesso ao arquivo de projeto correto um processo extremamente prático e rápido para o projetista.

2.4 UTILIZAÇÃO DE METADADOS PARA OTIMIZAÇÃO DA BUSCA DE INFORMAÇÃO

Para que o conhecimento contido em projetos anteriores seja efetivamente reutilizável, ele precisa ser facilmente localizável, a solução para isto é a catalogação de informações descritivas, integrado a um sistema de busca eficiente, que logicamente depende diretamente da qualidade e da estrutura desses metadados. Li *et al.* (2022) descrevem sistemas complexos que utilizam uma base de conhecimento para realizar análises de dados e recomendar soluções.

Seguindo a visão de Suominen (2022) sobre a criação de um catálogo de produtos interno, será criado uma planilha enriquecida com elementos visuais. Cada linha do catálogo contém não apenas os dados técnicos, mas também imagens que facilitem a rápida identificação do modelo da esteira. Outro ponto é, um *hyperlink* direto para o arquivo no PDM foi disponibilizado, permitindo que o projetista abra o projeto desejado com um único clique, eliminando a necessidade de buscas manuais no sistema e tornando o fluxo de trabalho mais ágil e intuitivo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho é caracterizado como um estudo de caso, método que permite uma investigação aprofundada de um fenômeno em seu contexto real. A abordagem segue também os preceitos da pesquisa-ação, na qual o pesquisador atua como agente de mudança para resolver um problema prático enquanto gera conhecimento.

3.1 MATERIAIS

Os recursos empregados neste estudo, estão localizados no Quadro 1.

Quadro 1 – Materiais utilizados

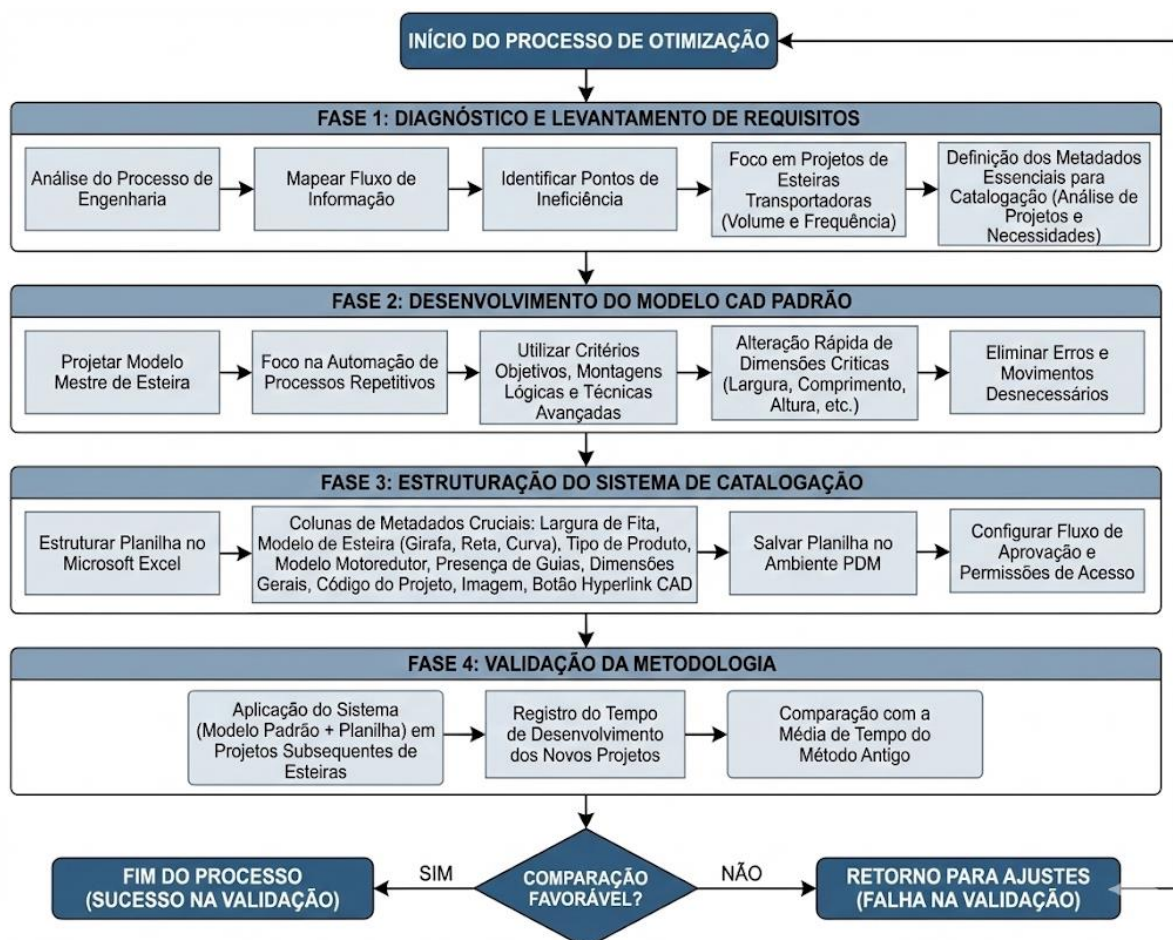
Materiais	Descrição Função
Microsoft Excel	Usado para criar a planilha de catálogo. Ele serviu como interface de busca devido aos seus recursos de filtros e organização de dados.
SolidWorks CAD	Ferramenta para a criação do modelo 3D padrão da esteira transportadora, onde foram aplicadas as melhores práticas de modelagem paramétrica robusta (Bezerra, 2018).
SolidWorks PDM Professional	Essa ferramenta assegurou o controle de versão e o histórico. Também gerenciou as permissões de acesso, diminuindo o risco de perder dados ou de alterações não autorizadas, conforme aponta Suominen (2022).
Documentos	Projetos CAD de esteiras transportadoras já existentes na empresa, que constituíram a base de conhecimento inicial a ser organizada e catalogada (Formentini <i>et al.</i> , 2022).

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

3.2 MÉTODOS

A metodologia foi estruturada nas fases, de acordo com o Figura 1.

Figura 1 – Fases da metodologia para a pesquisa.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A fase inicial compreendeu a análise do processo de engenharia existente para mapear o fluxo de informação e identificar os pontos de ineficiência. Foram definidos os metadados essenciais para a catalogação a partir da análise dos projetos existentes e das necessidades dos projetistas.

Na segunda fase buscando a reutilização mais eficiente possível, foi projetado um modelo mestre de esteira, este modelo foi todo pensando com foco na automatização de processos repetitivos, utilizando critérios objetivos, montagens lógicas e técnicas avançadas de desenho. O objetivo é que dimensões críticas (como largura, comprimento, altura etc.) possam ser alteradas de forma rápida e itens repetitivos sejam posicionadas com o mínimo de ação humana, eliminando erros e movimentos desnecessários.

Com a terceira fase, aconteceu a estruturação da planilha no *Microsoft Excel*. A planilha foi estruturada com colunas de metadados cruciais para a busca, como: largura de fita, modelo de esteira (girafa, reta, curva), tipo de produto transportado, modelo do motoredutor, presença de guias, dimensões gerais, código do projeto, uma imagem para visualização rápida e um botão com *hyperlink* para acesso direto ao arquivo CAD da esteira. A planilha foi salva dentro do ambiente PDM, onde tem a configuração de um fluxo de aprovação e permissões de acesso para garantir a integridade dos dados.

Na última fase, validação da metodologia foi realizada pela aplicação do sistema (modelo padrão + planilha) em projetos subsequentes de esteiras transportadoras. O pesquisador registrou o tempo de desenvolvimento desses novos projetos e os comparou com a média de tempo dos projetos realizados pelo método antigo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento deste trabalho seguiu as fases descritas no Quadro 2. Os resultados são apresentados na mesma sequência lógica.

4.1 DIAGNÓSTICO DO PROCESSO ATUAL (RESULTADOS DA FASE 1)

Esta fase inicial compreendeu a análise do processo de engenharia existente para mapear o fluxo de informação e identificar os pontos de ineficiência. Essa etapa de mapeamento é fundamental para a compreensão dos gargalos produtivos e proposição de melhorias, corroborando com a abordagem de Ferreira (2022), que destaca a importância de visualizar o

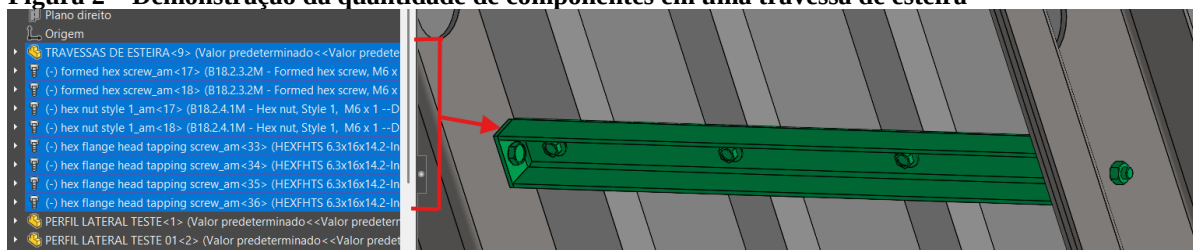
fluxo de trabalho para otimizar processos industriais. Foram definidos os metadados essenciais para a catalogação a partir da análise dos projetos existentes e das necessidades dos projetistas.

A análise da Fase 1 revelou que as ineficiências do processo de projeto de esteiras se concentram em três áreas principais: a metodologia de modelagem CAD, a gestão do conhecimento de projetos anteriores e o fluxo de verificação de qualidade.

4.1.1 Ineficiências de Modelagem e Processos Manuais Repetitivos

A análise da metodologia de modelagem CAD revelou que o principal gargalo de eficiência é a alta incidência de processos manuais repetitivos. Um exemplo claro foi observado nos elementos fixadores dos guias da esteira. Conforme demonstrado na Figura 2, estes componentes são montados em travessas centrais e precisam ser posicionados individualmente, um processo que se replica por toda a extensão do equipamento. Ao lado esquerdo da figura temos a árvore de projeto com cada fixador necessário para montagem de uma travessa de esteira, que se trata da indicada pela flecha em vermelho.

Figura 2 – Demonstração da quantidade de componentes em uma travessa de esteira



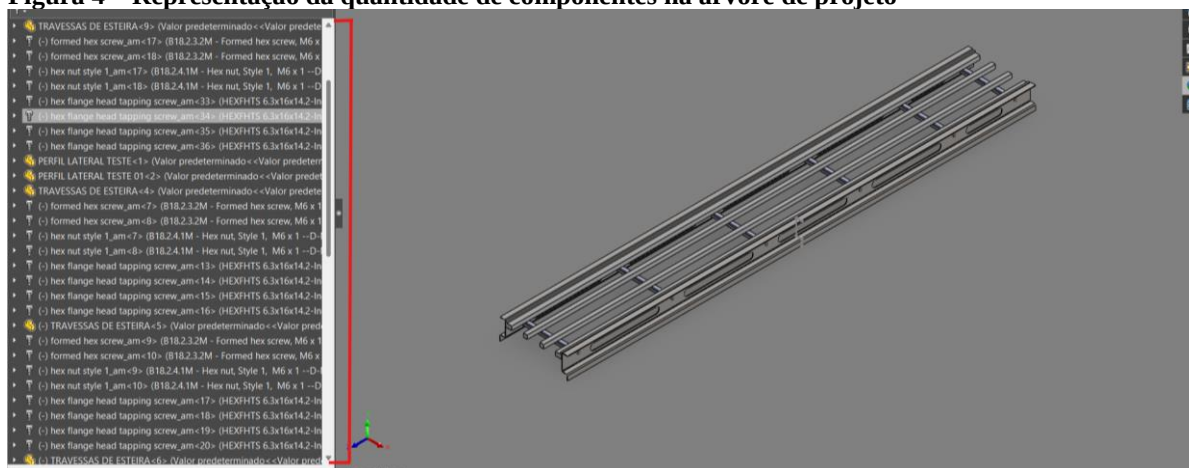
Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O impacto desta abordagem no tempo de projeto é significativo. Em esteiras que podem atingir dez, em alguns, casos até vinte metros de comprimento, o projetista precisa definir múltiplos posicionamentos para cada componente (no mínimo três, nos eixos X, Y e Z), como ilustrado na Figura 3. Esta operação manual não só demanda um tempo elevado, mas também se mostrou uma fonte frequente de erros, como falta de posicionamentos, ausência de componentes ou sobressalência. Na figura abaixo temos demonstrado na árvore de projeto, indicada em vermelho, a quantidade de posicionamentos necessários para fixar uma travessa.

Figura 3 – Quantidade de posicionamentos por travessa

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Como consequência direta, a árvore de projeto da montagem principal tornava-se desnecessariamente complexa e poluída, como representado na Figura 4, dificultando a navegação, a verificação e a manutenção futura do modelo. Na árvore de projeto podemos ver a quantidade de itens presentes em uma esteira completa montada, neste caso 65 itens.

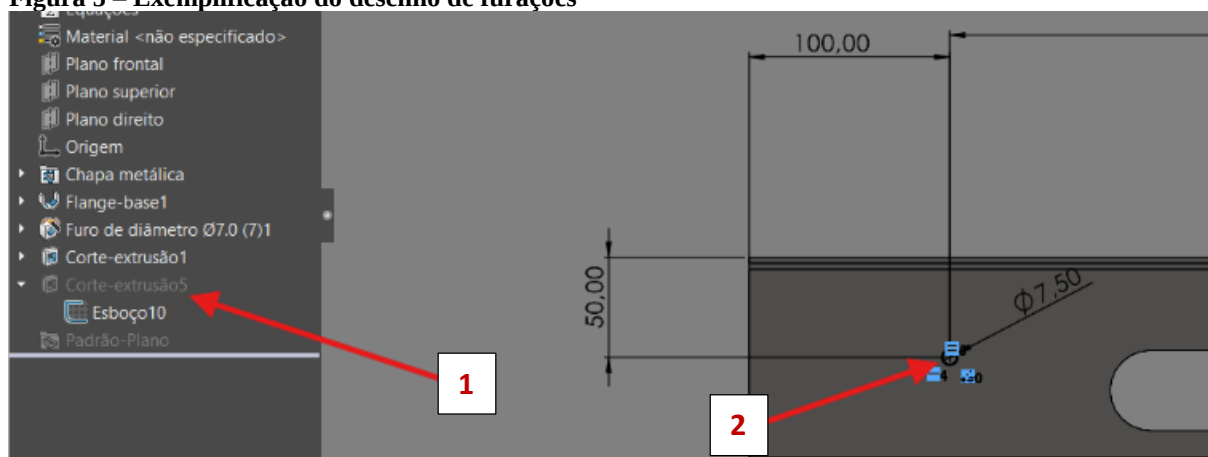
Figura 4 – Representação da quantidade de componentes na árvore de projeto

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O ponto chave desta ineficiência foi identificada no método de modelagem dos perfis laterais, que são as peças mestras responsáveis por comandar a posição da maioria dos componentes da esteira (travessas, guias, eixos etc.), o modelo vigente consistia em criar as furações utilizando o recurso de corte extrudado.

Como exemplificado na Figura 5, cada furo era literalmente desenhado como um círculo individual no esboço, exigindo que o projetista cotasse suas dimensões e posições furo por furo. No item um temos o recurso de corte extrudado, e no item dois o círculo desenhado com suas respectivas dimensões.

Figura 5 – Exemplificação do desenho de furações



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Quando utilizado a extrusão (que é um recurso do SolidWorks) ao invés de uma ferramenta de furação inteligente, o *software SolidWorks* não reconhece o recurso como um padrão de repetição, isto impede o uso de ferramentas de automação no ambiente de montagem (como o Padrão de componente acionado por padrão), forçando o projetista a inserir e posicionar cada travessa e fixador manualmente, perpetuando o ciclo de trabalho repetitivo.

4.1.2 Falhas na Rastreabilidade e Reutilização de Projetos

O segundo item detectado foi a ausência de um sistema formalizado para a gestão do conhecimento/catalogação, resultando em falhas de rastreabilidade e reutilização de projetos, essa lacuna dificulta a localização de peças e conjuntos, configurando um problema de alta relevância para o setor.

A consequência direta era o retrabalho, afinal por não terem conhecimento de que uma solução idêntica ou similar já existia, ou até mesmo por ser complexo rastreá-la, os projetistas frequentemente recriavam componentes, este ambiente tendenciava a duplicação e com isso ao desperdício. As vezes eram criadas peças e em alguns casos, até módulos de esteiras completos.

Este ciclo de recriação gerava impactos secundários na infraestrutura, como a sobrecarga da memória do servidor devido aos arquivos duplicados e, a longo prazo, o risco de esgotamento dos códigos de identificação disponíveis no sistema PDM.

Isto impactava muito na perda de eficiência do setor e no aumento do tempo médio de projeto e, esta subutilização do capital intelectual do setor afeta diretamente a capacidade produtiva, diminuindo o número de projetos que a equipe consegue absorver e entregar.

4.1.3 Gargalo no Fluxo de Verificação e Qualidade

O diagnóstico do fluxo de trabalho revelou um gargalo significativo no processo de verificação e aprovação final, pois o fluxo vigente estabelece que, após a conclusão do desenvolvimento, detalhamento e renomeação, o projetista envia o equipamento para a aprovação final do gestor do setor, sem uma prévia conferência de qualidade.

Neste ponto, o gestor se torna a única barreira de controle de qualidade, sendo o responsável por verificar uma lista extensa de possíveis falhas, sendo eles: erros por interferência de componentes, inviabilidade de montagem no ambiente real, erros técnicos, falta ou excesso de parafusos, furos desalinhados, entre outros.

Este processo, executado inteiramente pelo gestor, demanda um alto tempo, por vezes, até sobrecarregando o mesmo e criando um ciclo de retrabalho, pois ao encontrar uma falha, o gestor precisa parar, documentar a revisão, enviá-la ao projetista, aguardar a correção e, então, retornar ao mesmo projeto para uma nova verificação, repetindo o ciclo caso novos erros sejam encontrados.

Esta centralização faz com que o gestor perca tempo resolvendo problemas evitáveis, levando à sobrecarga e afastando-o de tarefas estratégicas importantes para a empresa.

4.2 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO PROPOSTA (RESULTADOS DAS FASES 2 E 3)

Com base nos gargalos identificados na Fase 1, as Fases 2 e 3 do trabalho focaram no desenvolvimento de um conjunto de soluções integradas. Estas soluções visaram automatizar processos repetitivos, criar um sistema de gestão do conhecimento e otimizar o fluxo de verificação de qualidade.

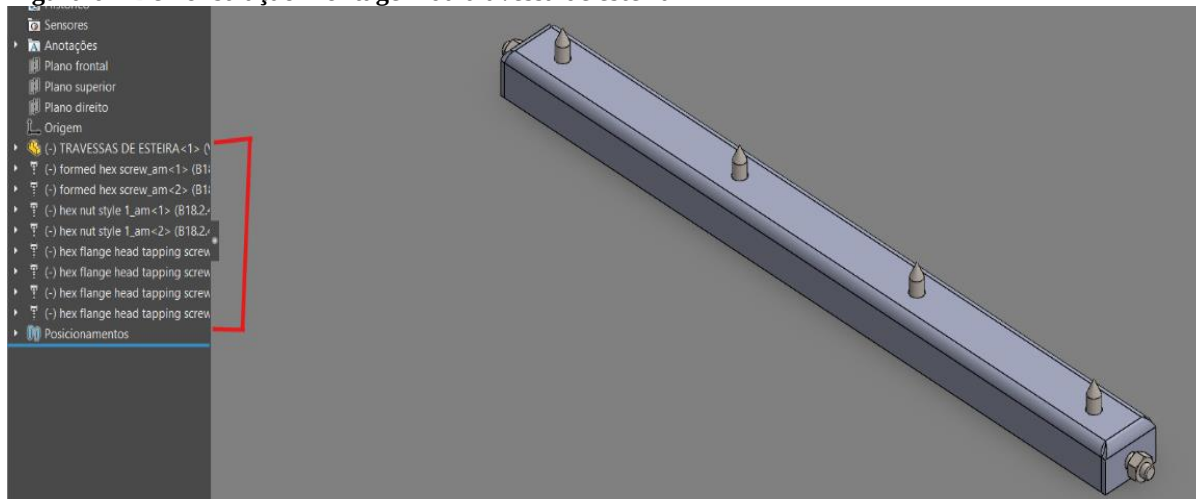
4.2.1 Otimização da Modelagem CAD e Automação de Processos

Para resolver as ineficiências de modelagem e os processos manuais, a metodologia de projeto no *SolidWorks* foi reestruturada.

A primeira ação foi unificar componentes repetitivos em submontagens. Itens como os fixadores das travessas, que antes eram posicionados individualmente (Figura 2), foram agrupados em uma única montagem (demonstrado na Figura 6). Esta lógica foi aplicada a todos os conjuntos repetidos (roletes, suportes etc.), reduzindo a poluição visual na árvore de projeto

e facilitando o controle de erros. Indicado em vermelho a quantidade de itens na árvore de projeto.

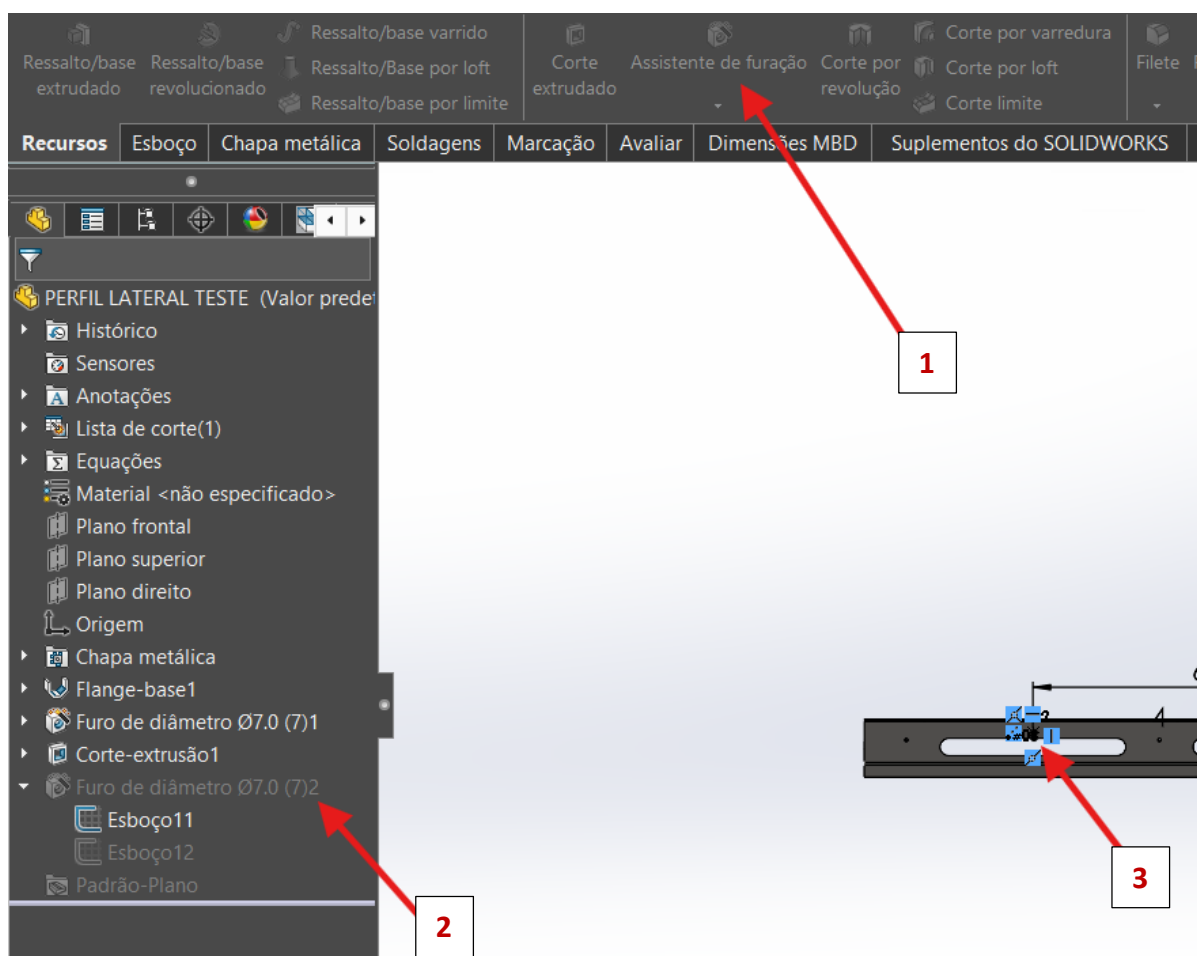
Figura 6 – Demonstração montagem da travessa de esteira



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Contudo, a alteração fundamental foi a substituição da metodologia de furação. O método de corte extrudado (Figura 5) foi abandonado em favor do recurso Assistente de Furação, como indicado na Figura 7. No item um temos o recurso utilizado, na aba de recursos, no item dois o mesmo localizado na árvore de projeto, e no item três a maneira como é desenhado nos projetos.

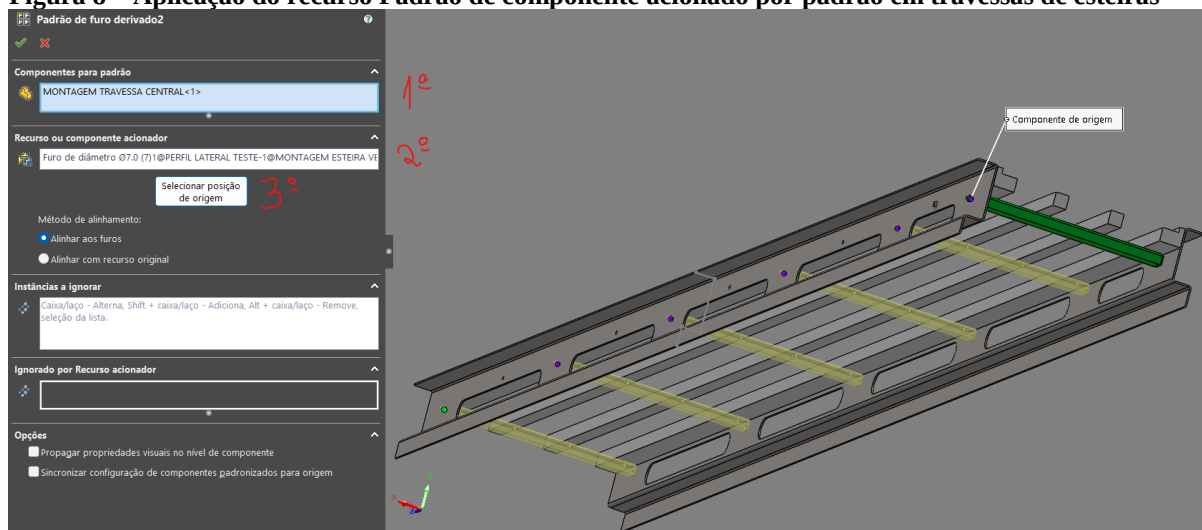
Figura 7 – Aplicação e Localização do Recurso Assistente de Furação



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A vantagem estratégica desta ferramenta é que o *SolidWorks* passa a reconhecer os furos como uma *feature* inteligente. Isso permitiu, enfim, a aplicação do recurso Padrão de componente acionado por padrão. Com isso, o posicionamento de travessas, suportes e seus fixadores foi automatizado, sendo replicado instantaneamente com base nos furos do perfil lateral. Primeiro seleciona-se o componente que desejamos replicar pelo padrão, por segundo a operação do assistente de furação e por terceiro o ponto de origem, como indicado na Figura 8.

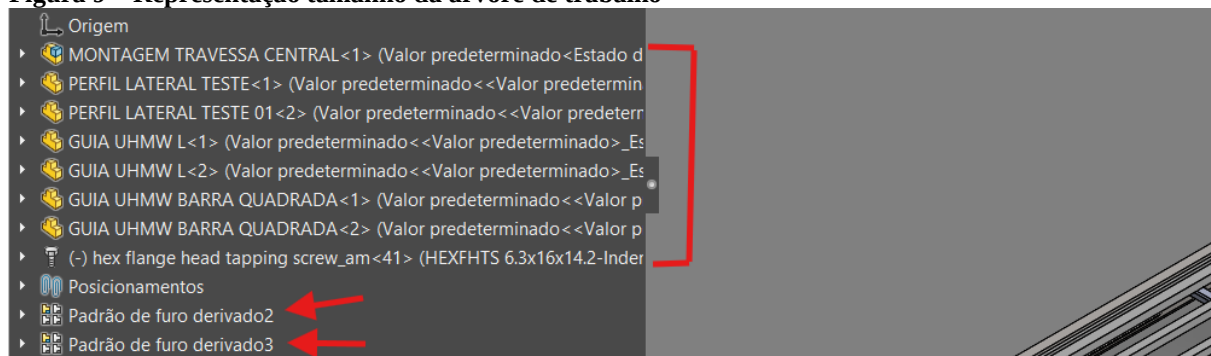
Figura 8 – Aplicação do recurso Padrão de componente acionado por padrão em travessas de esteiras



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Esta abordagem materializa na prática os conceitos de intenção de projeto e a relação pai/filho, onde as furações no perfil lateral da esteira (elemento pai) controlam a quantidade e a posição automática das travessas, dos suportes dos guias e de seus respectivos parafusos (elementos filhos). Vale notar que, serviu para controlar a qualidade, evitando erros frequentes como esquecer peças ou colocar componentes a mais na montagem. O resultado é uma árvore de projeto drasticamente mais limpa e organizada, como mostra a Figura 9, com oito componentes, e duas operações, em contraste direto com a complexidade do modelo antigo da Figura 4 que possuía sessenta e cinco componentes. Isto demonstra uma redução de 87,69% na quantidade de dados presentes na árvore de projeto. Na Figura 9 indica-se a quantidade de itens na árvore, e nas setas os recursos criados.

Figura 9 – Representação tamanho da árvore de trabalho



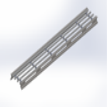
Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.2.2 Criação do Sistema de Catalogação e Gestão do Conhecimento

Para sanar as falhas de rastreabilidade e o retrabalho, foi desenvolvido um sistema de catalogação utilizando o *Microsoft Excel*. Esta planilha atua como a base de conhecimento simplificada, que segue a visão de Suominen (2022) sobre a criação de um catálogo de produtos interno, funciona como uma versão pragmática e de baixo custo deste conceito. Ela serve como um catálogo centralizado onde os projetistas podem pesquisar por filtros, como largura da fita, tipo de motoredutor ou produto a ser transportado, e visualizar imagens para identificar rapidamente soluções já criadas e validadas, evitando o retrabalho e promovendo o aproveitamento do capital intelectual da empresa. A validação prévia dos modelos inseridos na planilha assegurará que erros de projeto já tenham sido mitigados, diminuindo a probabilidade de falhas em projetos futuros. Li *et al.* (2022) descrevem sistemas complexos que utilizam uma base de conhecimento para realizar análises de dados e recomendar soluções.

Conforme apresentado na Figura 10, a planilha foi estruturada com metadados cruciais para a engenharia, incluindo um *hyperlink* para abertura automática do modelo, tipo construtivo da mesma, uma imagem para identificação visual, código de rastreio dentro do PDM, modelo de execução, tipo de produto transportado, espessura do perfil lateral, largura da fita, tipo do motoredutor, ângulo de inclinação da esteira, altura da aba, dimensões gerais (X, Y), altura dos guias caso existam, tipo da fita, modelo das rodas de tração, se possui higienizador ou levantador de fita. Isso permite que os projetistas, usando filtros, localizem um projeto similar em menos de um minuto.

Figura 10 – Representação planilha de padronização de esteiras

Link	Cat.	Imagem	Cód.	Mod.	Proc.	Es.	Lar.	Motor	Âng.	Ab.	X	Y	Guias	Fita	Rodas	Hig.	Lev.
CLIQUE PARA ABRIR NO SOLIDWORKS	Reta Modular		5516	Padrão 2025	Natural	2	506	ST47 M1A ø35	50	30	1250	0	0	02445 - PU AZUL	0555 - RODA DENTAD A Z10	S	N

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Esta catalogação ataca diretamente o problema do retrabalho, alinhando-se aos conceitos de Gestão do Conhecimento (Varl; Duhovnik; Tavčar, 2020). Mesmo que um projeto seja apenas 60% similar ao que o projetista está buscando, agora o esforço de engenharia é focado nos 40% restantes.

A planilha foi aperfeiçoada e preenchida em um esforço conjunto pelo pesquisador e mais dois integrantes da equipe, catalogando 68 esteiras no período, e está armazenada no ambiente PDM para garantir a confiabilidade, o versionamento e o controle de acesso aos dados.

4.2.3 Implementação do Novo Fluxo de Verificação e Qualidade

Finalmente, para eliminar o gargalo no fluxo de verificação, foi criado um processo focado na Padronização. Segundo Guimarães Neto (2022), a padronização é um pré-requisito para haver controle de qualidade, quando focado no desenvolvimento de produtos, vai além das peças físicas, abrange os próprios métodos de projeto.

O objetivo foi transferir a responsabilidade da verificação primária do gestor de volta para o projetista.

Foi instituído um *checklist* de revisão obrigatório que o projetista deve executar antes de enviar o projeto para a aprovação final. Este *checklist* é composto pelos seguintes itens, que são uso ferramentas do próprio *SolidWorks*, Análise de Interferências, Vista de Seção, simulação de movimentos e verificação de normas.

Trata-se apenas de uma folha impressa, para o projetista lembrar das ferramentas que devem ser utilizadas antes de enviar o projeto para aprovação.

Ao forçar o projetista a realizar esse filtro de qualidade, o fluxo de aprovação é otimizado: o gestor passa a receber projetos com um nível de segurança muito maior, reduzindo o ciclo de revisões e liberando seu tempo para atividades de maior valor agregado.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA E VALIDAÇÃO (RESULTADOS DA FASE 4)

Para validar a eficácia da metodologia proposta (modelagem CAD otimizada, planilha de catalogação e *checklist* de verificação), foi realizada a Fase 4 de coleta de dados. Esta fase consistiu na aplicação do novo fluxo de trabalho em 24 projetos reais de esteiras transportadoras, executados entre maio e novembro de 2025.

Os dados coletados foram compilados e permitiram uma análise comparativa em três frentes principais: tempo de desenvolvimento, eficiência da gestão da qualidade (erros) e impacto na produção (erros de fábrica).

Os principais dados de tempo e qualidade coletados para cada projeto estão consolidados na Tabela 1. As análises subsequentes utilizarão os dados desta tabela como fonte.

Tabela 1 - Dados Coletados na Validação (24 Esteiras)

ID	Categoria Esteira	Metodologia	Tempo (Horas)	Erros Checklist Projetista	Erros Conferência Gestor	Erros Fábrica
01	Girafa	Método Antigo	17	11	0	0
02	Girafa	Cópia Modelo Novo	6,43	8	4	0
03	Girafa	Cópia Modelo Novo	7,13	7	2	0
04	Reta Tração Central	Método Antigo com Reutilização da planilha	3,87	3	0	0
05	Girafa	Método Antigo	20,43	3	2	0
06	Girafa	Método Antigo	20,75	7	4	0
07	Girafa	Criação Modelo Método Novo	28,5	0	6	1
08	Girafa	Cópia Modelo Novo	10,22	6	0	0
09	Girafa	Cópia Modelo Novo	10,68	7	0	0
10	Reta	Criação Modelo Método Novo	25,17	7	0	0
11	Girafa	Cópia Modelo Novo	11,20	4	6	0
12	Girafa	Criação Modelo Método Novo	41,37	7	9	0
13	Girafa	Cópia Modelo Novo	3,70	0	8	0
14	Curva Tração Central	Método Antigo	21,93	6	0	1
15	Girafa	Cópia Modelo Novo	6,03	0	0	0
16	Girafa	Método Antigo com Reutilização da planilha	10,75	0	0	0
17	Girafa	Método Antigo com Reutilização da planilha	5,53	0	0	0
18	Girafa	Cópia Modelo Novo	4,97	0	0	0
19	Reta Tração por Corrente	Criação Modelo Método Novo	32,65	Não Realizado	18	0
20	Esteira de Cones	Método Antigo	66	Não Realizado	54	1
21	Reta Cliente 01	Criação Modelo Método Novo	17,92	17	0	0
22	Reta Tração Central Cliente 01	Criação Modelo Método Novo	20,15	5	5	0
23	Girafa Cliente 01	Criação Modelo Método Novo	21,80	3	8	0
24	Girafa Curva	Criação Modelo Método Novo	30,98	23	0	0

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O “Método Antigo” se trata do desenho em CAD utilizando corte extrudado para realização das furações, sem criação dos subconjuntos de itens repetitivos e sem nenhum tipo de automação no processo de modelagem, se trata do estilo de modelagem diagnosticado anteriormente. Quando citamos “Cópia Modelo Novo”, refere-se a um modelo derivado do proposto e criado no estudo, que é o com automações, otimizações de processo e reutilização de componentes da planilha. “Criação do Modelo Método Novo”, é o primeiro equipamento criado com automações, pensamento crítico, e buscando a melhor lógica de projeto. E por último temos “Método Antigo com Reutilização da planilha”, que é justamente a metodologia de desenho anterior, porém utilizando a planilha para reutilização de componentes comuns.

4.3.1 Análise Quantitativa: Redução do Tempo de Desenvolvimento

Para uma análise quantitativa robusta, os 24 projetos analisados foram filtrados pela família de produto Esteira Girafa. Esta categoria, por possuir o maior volume de dados (17 dos 24 projetos), permite uma comparação justa e a identificação de quatro metodologias de trabalho distintas.

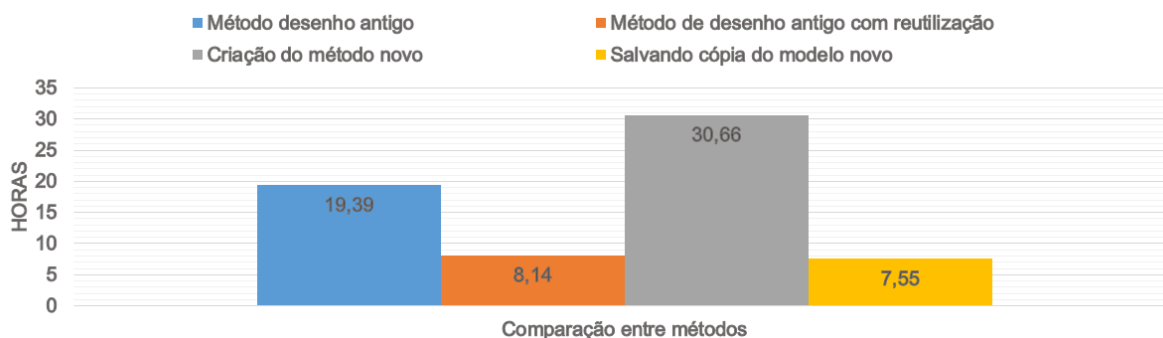
A Tabela 2 e Figura 11 apresenta os resultados desta análise, agrupando os projetos pela metodologia empregada e calculando o tempo médio de desenvolvimento para cada grupo.

Tabela 2 - Análise de Tempo por Metodologia (Família: Esteira Girafa)

Metodologia	Tempo Médio (Horas)	Número de Projetos	Esteiras Inclusas Identificação
Método Antigo	19,39	3	01, 05, 06
Método Antigo com Reutilização da planilha	8,14	2	16, 17
Criação Modelo	30,66	4	07, 12, 23, 24
Método Novo	7,55	8	02, 03, 08, 09, 11, 13, 15, 18

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Figura 11 - Análise de Tempo por Metodologia (Família: Esteira Girafa)



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A Tabela 2 e Figura 11 revela a jornada completa de otimização do processo. Cada metodologia representa um estágio de eficiência:

Método Antigo: O ponto de partida (Esteiras 01, 05, 06) demonstra o tempo médio de 19,39 horas para um projeto "Girafa" feito do zero, sem o novo método CAD e sem o auxílio da planilha de catalogação.

Método Antigo com Reutilização da planilha: Esta metodologia (Esteiras 16, 17) isola o impacto da Gestão do Conhecimento. Embora o método de modelagem fosse o antigo, o simples uso da planilha para reutilizar componentes ou módulos fez o tempo médio cair para 8,14 horas. Isso evidencia o alto valor da catalogação por si só.

Criação Modelo Método Novo (Investimento): A criação dos primeiros modelos mestres (Esteiras 07, 12, 23, 24), aplicando a nova metodologia de modelagem inteligente, exigiu um tempo médio de 30,66 horas por projeto. Este é o custo inicial deliberado para criar um ativo de engenharia, sendo um processo mais demorado que a própria linha de base.

Cópia Modelo Novo: Este é o ganho máximo de escalabilidade. Uma vez que o investimento (Estágio 3) foi feito, os projetos seguintes (8 esteiras) que apenas "foram salvas como cópia" do padrão e adaptadas, tiveram um tempo médio de apenas 7,55 horas.

Com as métricas da Tabela 2 estabelecidas (19,39h para o método antigo, 30,66h para o investimento e 7,55h para a reutilização), é possível simular o impacto total da metodologia em um lote de produção de 24 esteiras.

A Tabela 3 compara o custo de tempo de dois cenários hipotéticos: (1) 24 esteiras feitas pelo método antigo e (2) 24 esteiras feitas pelo "Novo Método" (1 Padrão + 23 Reutilizações).

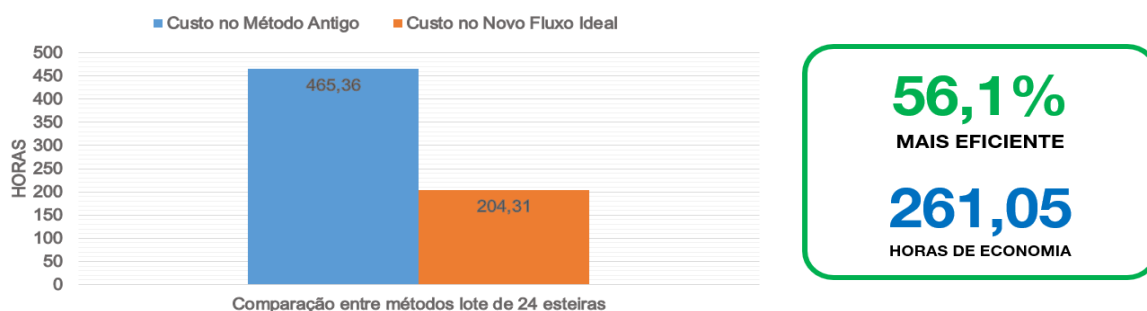
Tabela 3 - Simulação de Impacto Total (Lote de 24 Esteiras da Mesma Família)

Cenário Simulado	Cálculo (Horas)	Tempo Total Calculado (Horas)	Redução Percentual
Custo no Método Antigo	(24 projetos x 19,39h)	465,36	-
Custo no Novo Fluxo Ideal	(1 x 30,66h) + (23 x 7,55h)	204,31	56,1%
Economia Líquida		261,05	

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A simulação da Tabela 3 projeta o impacto final da solução proposta. Enquanto 24 projetos no método antigo custariam 465,36 horas de engenharia, o novo fluxo ideal, que exige um investimento inicial (30,66h) e depois capitaliza na reutilização (7,55h), produziria os mesmos 24 projetos em 204,31 horas, demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Simulação de Impacto Total (Lote de 24 Esteiras da Mesma Família)



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Isso representa uma economia líquida de 261,05 horas para a empresa, validando a hipótese do trabalho e demonstrando que a metodologia completa, quando implementada em escala, é 56,1% mais eficiente que o processo anterior.

A conclusão desta análise é que o investimento inicial (30,66h) é um custo único que destrava o ganho máximo. Este tempo poderá ser muito maior conforme a planilha vai ganhando maturidade, afinal quanto mais modelos disponíveis, maior a eficiência, pois mais peças não serão criadas, em um momento futuro atingirá um nível onde esteiras completas serão reutilizadas por completo, revisadas e enviadas para produção.

4.3.2 Análise Qualitativa: A Eficácia do *Checklist* na Prevenção de Erros

O segundo pilar da validação foi medir o impacto do "*Checklist* do Projetista" na qualidade do fluxo de trabalho. O objetivo era mitigar o gargalo do gestor (identificado na Seção 4.1.3).

A análise dos 24 projetos revelou uma divisão clara entre os que seguiram o novo fluxo de verificação (22 projetos) e os que não o fizeram (Esteiras 19 e 20, que pularam esta etapa).

A Tabela 4 compara o destino dos erros encontrados nesses dois grupos.

Tabela 4 - Análise de Detecção de Erros (Com vs. Sem *Checklist*)

Grupo de Projetos	Número de Projetos	Erros Detectados (<i>Checklist</i> Projetista)	Erros Detectados (Revisão Gestor)	Média de Erros por Projeto Detectado pelo Gestor
Com <i>Checklist</i>	22	129 erros	70 erros	3,18
Sem <i>Checklist</i>	2	-	72 erros	36

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os dados comprovam a eficácia do *checklist* como uma ferramenta de prevenção e a inversão da responsabilidade da qualidade.

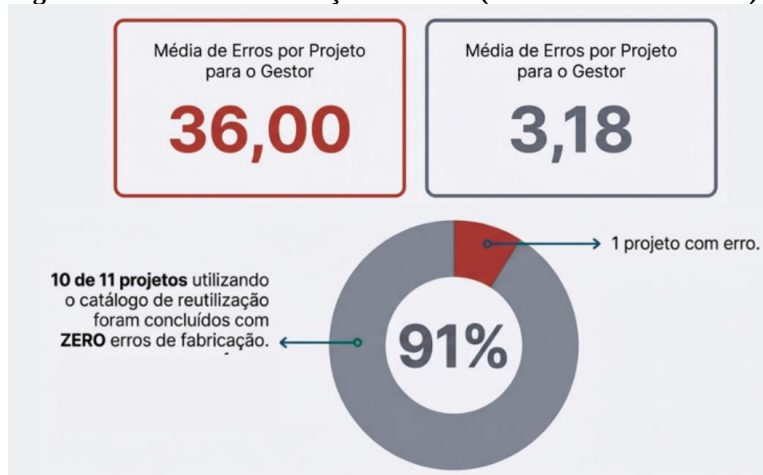
Filtro de Qualidade: Nos 22 projetos que usaram o *checklist*, 129 erros foram evitados, sendo corrigidos pelo próprio projetista antes de chegarem para o gestor.

Redução do Gargalo: Os 2 projetos executados sem o *checklist* (Esteiras 19 e 20) geraram, sozinhos, 72 erros para o gestor, com uma média de 36 erros por projeto. Em contrapartida, os outros 22 projetos somados geraram apenas 70 erros, com uma média de 3,18 erros por projeto.

Outro dado relevante, é que 10 de 11 projetos feitos utilizando o catálogo, foram concluídos sem erros de fabricação, mostrando a eficácia do processo.

Isso demonstra que a não utilização do *checklist* sobrecarrega o gestor em mais de 10 vezes (36 erros/projeto contra 3,18), validando o novo fluxo de verificação, que é 91,16% mais eficiente que o fluxo sem verificação, como demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Análise de Detecção de Erros (Com vs. Sem Checklist)



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.3.3 Análise de Impacto: Redução de Erros na Fábrica

O indicador final de sucesso é a redução de problemas no processo mais complexo: a fabricação. Dos 24 projetos analisados, apenas 3 apresentaram erros que chegaram à fábrica:

Esteira 14 (1 erro): Pertence à metodologia "Método Antigo".

Esteira 07 (1 erro): Pertence à metodologia "Criação do Modelo Método Novo".

Esteira 20 (1 erro): Pertence à metodologia "Método Antigo".

A análise demonstra que o "Método Antigo" (esteira 14 e 20) continua sendo uma fonte de erros de fabricação. O outro erro (esteira 07) ocorreu em projetos de alta complexidade de adaptação, que também geraram um alto número de revisões do gestor (6 revisões), indicando que a complexidade da adaptação, e não o método em si, foi o ponto de falha.

Notavelmente, dos 11 projetos que se beneficiaram do uso da planilha (Reutilização Parcial + Salvar Cópias), 10 foram concluídos com zero erros de fabricação totalizando 91% de sucesso, validando o impacto final da metodologia na qualidade da entrega.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho partiu da necessidade de otimizar o processo de desenvolvimento de produtos em uma indústria metalmecânica, que sofria com gargalos crônicos de retrabalho, longo tempo de projeto e falta de padronização. A ausência de um sistema formal de gestão do

conhecimento subutilizava o capital intelectual da empresa e sobrecarregava o fluxo de verificação de qualidade.

Os resultados quantitativos, coletados na validação de 24 projetos executados, comprovaram a eficácia da metodologia. A análise de tempo identificou quatro estágios de eficiência, estabelecendo a linha de base pura em 19,39 horas por projeto. A simulação de impacto total demonstrou que o "Novo Método", mesmo incluindo o custo de investimento para criar o modelo padrão (30,66 horas), é 56,1% mais eficiente que o método antigo, economizando um total líquido de 261 horas a cada 24 projetos.

No pilar da qualidade, a metodologia também validou sua eficácia. O *checklist* de verificação mitigou o gargalo do gestor, reduzindo a média de erros por projeto que chegam à sua mesa de 36,00 para 3,18. Vale notar que, a análise de impacto na fábrica mostrou que 91% dos projetos que usaram a planilha (reutilização parcial ou total) foram concluídos com zero erros de fabricação.

Afirma-se que o objetivo geral foi plenamente atingido. O estudo demonstrou que a implementação de um sistema de catalogação (planilha) alinhado a um modelo CAD aprimorado (padronização) não apenas reduz o tempo de desenvolvimento, mas também eleva a qualidade das entregas e otimiza o uso do capital intelectual da equipe, respondendo positivamente à questão-problema, tornando o processo de desenvolvimento mais eficiente.

Como limitações do estudo, aponta-se que a análise quantitativa de tempo dependeu do agrupamento da família de produtos "Esteira Girafa" para obter métricas comparáveis, visto que esta possuía o maior volume de dados (17 dos 24 projetos). Outro ponto é, o catálogo (68 esteiras) ainda representa uma fração do histórico total da empresa, e a eficiência da "Reutilização" tende a aumentar exponencialmente à medida que mais modelos padrão forem criados e catalogados.

Para trabalhos futuros e otimizações possíveis, sugere-se a expansão desta metodologia para as demais famílias de produtos e equipamentos fabricados pela empresa. Adicionalmente, recomenda-se a evolução do catálogo em *Microsoft Excel* para um sistema de banco de dados mais robusto (como SQL), que possa ser futuramente integrado diretamente ao sistema PDM ou ERP, automatizando ainda mais o fluxo de informação e a busca por similaridade.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, Matheus Kenneth Cardoso. **Análise da modelagem paramétrica baseada em features com Siemens NX 11**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

CONCEIÇÃO, Joicy Milena da. **Dimensionamento de uma esteira transportadora compacta e ajustável para o transporte de mercadorias**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2022.

FERREIRA, Jhonata Igor Carvalho. **O uso do mapeamento de processos a partir do business process model and notation (BPMN) para propor melhorias em uma indústria de fundição e usinagem em Minas Gerais**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Arcos, 2022.

FORMENTINI, G. *et al.* A framework to collect and reuse engineering knowledge in the context of design for additive manufacturing. In: **INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2022**, 2022. Proceedings... Cambridge: Cambridge University Press, 2022. p. 1371-1380. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/pds.2022.139>. Acesso em: 05 nov. 2025.

GUIMARÃES NETO, Vivaldo Grechi. **Padronização do processo de manutenção de fusos - Projeto Seis Sigma**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2022.

HIRAYAMA, Ernesto Toshimitsu. **Proposta de procedimento para gerenciamento de pequenos projetos: Aplicação em dispositivos industriais**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

KUO G. *Et al.* A framework to collect and reuse engineering knowledge in the context of design for additive manufacturing. In: **INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2022**, Gothenburg, 2022. Proceedings of the Design Society, V. 2, P. 1371-1380, 2022.

KUO, T. C.; HUANG, S. H.; ZHANG, H. C. Design for manufacture and design for ‘X’: concepts, applications, and perspectives. **Computers & Industrial Engineering**, v. 41, n. 3, p. 241-260, 2001.

LEE, Yu-Chen; MA, Jong Won; LEITE, Fernanda. A parametric approach towards semi-automated 3D as-built modeling. **Journal of Information Technology in Construction**, V. 28, P. 806-825, 2023.

LI, C. *et al.* A Novel Agricultural Machinery Intelligent Design System Based on Integrating Image Processing and Knowledge Reasoning. **Applied Sciences**, V. 12, N. 15, E7900, 2022.

NIERO, João Pedro. **Proposta de método para seleção de materiais para componentes estruturais de VANTs**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São João da Boa Vista, 2024.

SUOMINEN, Christian. **Development of Technical Design Process for a Manufacturing Company**. 2022. Bachelor's Thesis (Degree Programme in Industrial Management) – Satakunta University of Applied Sciences, 2022.

VARL, M.; DUHOVNIK, J.; TAVČAR, J. Application of Lean Methods into the Customised Product Development Process of Large Power Transformers. **Technical Gazette**, V. 27, N. 1, P. 276-282, 2020.