

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA - CCET
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEMec

Sofia Tiemi Ignacio Moro

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DO NÚMERO
DE PARAFUSOS DE FIXAÇÃO NO SUPORTE DO TANQUE EM
LAVADORAS DE ROUPAS**



São Carlos - SP
2025

Sofia Tiemi Ignacio Moro

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DO NÚMERO DE
PARAFUSOS DE FIXAÇÃO NO SUPORTE DO TANQUE EM
LAVADORAS DE ROUPAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Luis Antonio Oliveira Araujo

São Carlos - SP
2025



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEMec/CCET

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33519703 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 35/2025/CCEMec/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

SOFIA TIEMI IGNACIO MORO

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DO NÚMERO DE PARAFUSOS DE FIXAÇÃO NO SUPORTE DO TANQUE EM LAVADORAS DE ROUPAS.

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 28 de julho de 2025

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Luis Antonio Oliveira Araujo
Membro da Banca 1	João Gustavo Pereira da Silva
Membro da Banca 2	Mateus de Oliveira Monteiro



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Oliveira Araujo, Docente**, em 28/07/2025, às 16:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joao Gustavo Pereira da Silva, Professor(a) do Ensino Superior**, em 28/07/2025, às 19:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **1931279** e o código CRC **D8948C24**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.023744/2025-05

SEI nº 1931279

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019



Documento assinado digitalmente

MATEUS OLIVEIRA MONTEIRO

Data: 01/08/2025 11:22:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

RESUMO

Em um contexto empresarial em que sempre se busca maximizar os lucros, a redução de custos de manufatura dos produtos surge como uma alternativa estratégica, seja por meio de otimizações de peças superdimensionadas ou pela remoção de componentes de fixação, como parafusos. O principal desafio para que isso possa ser feito, no entanto, é a manutenção da qualidade e da funcionalidade do que está sendo produzido e vendido. Atualmente para aqueles que trabalham no ramo de linha branca no Brasil evidencia-se esse cenário, com consumidores que demandam eletrodomésticos melhores e acessíveis. Nesse contexto, este trabalho se propõe a analisar a viabilidade técnica da redução do número de parafusos de fixação do tanque no suporte do tanque de lavadoras de roupas, considerando-se a necessidade de garantir sua qualidade e segurança de utilização. A realização deste estudo foi feita através do desenvolvimento de experimentos práticos, testes a nível de produto para avaliar o desempenho do modelo proposto, e comparativos para visualizar, por meio de análises estatísticas dos resultados e pesquisas de conhecimentos pré-existentes, se houve perda de qualidade. Os estudos apontaram que a redução é promissora, contribuindo para a redução de custos sem impactar no funcional do conjunto lavante.

Palavras-chave: Lavadora de roupas, redução de custos, qualidade, parafusos, rigidez.

ABSTRACT

In a business context where it is always desirable to maximize profits, the reduction of products' manufacture cost appears as a strategic alternative, whether through optimization of oversized parts or the removal of fastening components, such as screws. The main challenge to achieve this, however, is maintaining the quality and functionality of what is being produced and sold. This scenario is currently evident for those who work in the home appliance industry in Brazil, with consumers demanding better and more affordable home appliances. In this context, this document proposes to analyze the technical feasibility of reducing the number of screws that fix the tub on the tub support of washing machines, considering the need to guarantee their quality and safety in use. This study was carried out through the development of practical experiments, product-level tests to evaluate the performance of the proposed model, and comparative tests to visualize, through statistical analysis of the results and research of pre-existing knowledge, if there has been a loss of quality. The studies have shown that the reduction is promising, contributing to cost reduction without impacting the functionality of the washing set.

Key-words: Clothes washer, cost reduction, quality, screws, stiffness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lavadoras Brastemp de abertura vertical e horizontal.....	9
Figura 2 - Cesto da lavadora de roupas.....	11
Figura 3 - Tanque da lavadora de roupas.....	12
Figura 4 - Esquemático de montagem do produto	12
Figura 5 - Esquemático de aproximação do cesto e do tanque	13
Figura 6 - Suporte do tanque da lavadora de roupas.....	14
Figura 7 - Montagem do suporte do tanque no tanque em lavadora.....	14
Figura 8 - Câmara para teste de confiabilidade em eletrônicos	16
Figura 9 - Câmara de teste de estresse pneumático	17
Figura 10 - Teoria da tripla restrição	19
Figura 11 - Fluxograma do processo	21
Figura 12 - Marcação de posição no parafuso	26
Figura 13 - Esquemático do teste de verificação da distância entre cesto e tanque.....	28
Figura 14 - Instrumento de medição de batimento	30
Gráfico 1 - Torque final dos parafusos nos produtos de alta capacidade.....	33
Gráfico 2 - Torque final dos parafusos nos produtos de baixa capacidade.....	33
Gráfico 3 - Resultados do teste de verificação da distância entre cesto e tanque	35
Quadro 1 - Configuração dos produtos para o teste de centrifugação acelerada.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Configuração dos produtos para o teste de verificação da aproximação	29
Tabela 2 - Torque final dos parafusos para o teste de centrifugação acelerada	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Objetivo geral.....	10
1.1.2. Objetivos específicos	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Lavadoras de roupas.....	11
2.2. Ensaios experimentais.....	15
2.2.1. Testes de confiabilidade.....	15
2.2.2. Testes de estresse	17
2.2.3. Outros testes.....	18
2.3. Redução de custo	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Identificação de modos de falha.....	22
3.1.1. Resistência às cargas de centrifugação	23
3.1.2. Resistência às cargas de frenagem	24
3.1.3. Rigidez do sistema	24
3.2. Realização de testes	25
3.2.1. Centrifugação acelerada.....	25
3.2.2. Resistência a frenagem.....	27
3.2.3. Teste de verificação da distância entre o cesto e o tanque.....	28
3.2.4. Teste de verificação de contatos em condições estressadas.....	30
4. RESULTADOS.....	32
4.1. Centrifugação acelerada.....	32
4.2. Resistência à frenagem.....	34
4.3. Teste de verificação da distância entre o cesto e o tanque.....	34
4.4. Teste de verificação de contatos em condições estressadas.....	35
5. CONCLUSÃO	36

1. INTRODUÇÃO

A engenharia de desenvolvimento de produtos é uma área em que o estabelecimento de uma estratégia é essencial. É comum encontrar momentos de tomada de decisão em que nenhum dos possíveis cenários é o ideal, e deve-se escolher com base nas metas e prioridades da empresa. Fazer um produto que quase alcance a perfeição é algo possível, porém ao falar de desenvolvimento de produtos é fundamental pensar nos desejos do consumidor, tanto em questão de qualidade e funcionalidade, quanto em questão de preço. O problema é que esses fatores normalmente não são diretamente proporcionais, o que significa que muitas vezes para desenvolver algo com a melhor qualidade é necessário um investimento financeiro altíssimo, algo que muitas vezes o público alvo não está disposto a pagar.

O mercado de eletrodomésticos não é diferente: a todo momento existem engenheiros trabalhando em projetos de custo e qualidade de produtos já existentes, o que é imprescindível visto que a cada ano que passa a inflação aumenta o preço das mercadorias e diminui o poder de compra da população. Além disso, há um olhar minucioso ao que está sendo produzido pelos concorrentes, pois sempre é desejável estar um passo à frente em questões de inovação, excelência e preço, e com isso garantir que a marca é favorita e preferência entre as demais.

No Brasil, as marcas que atualmente lideram o mercado de lavadoras de roupa são, em geral, Electrolux, LG, Samsung, Brastemp e Consul. Dentre essas, a Whirlpool Corporation, maior produtora de eletrodomésticos da América Latina, é proprietária das duas últimas e possui forte presença no segmento. A empresa se destaca não apenas em volume de vendas, mas também em reconhecimento de marca, sendo a Brastemp a mais lembrada da categoria segundo a pesquisa *Top of Mind 2024* (Datafolha/GfK), com cerca de 28% das menções espontâneas entre os consumidores.

Entre os produtos mais comercializados, estão as lavadoras do tipo *top load*, que possuem abertura pela face superior e eixo de centrifugação vertical. Esse modelo é o favorito do consumidor brasileiro por diversas razões práticas, como preço mais acessível, ciclos de lavagem mais rápidos e maior facilidade de uso no dia a dia quando comparado com lavadoras que possuem abertura frontal. Sua predominância no mercado está diretamente relacionada ao perfil do consumidor nacional, que busca funcionalidade e economia em produtos duráveis de uso frequente. A Figura 1 apresenta ambos os modelos de lavadoras, estando à esquerda uma máquina de abertura pela face superior e, à direita, uma de abertura frontal.

Figura 1 - Lavadoras Brastemp de abertura vertical e horizontal



Fonte: BRASTEMP (2025)

Com objetivo de reduzir o custo de fabricação das lavadoras de roupas de eixo vertical da Whirlpool no Brasil, mantendo sua funcionalidade e qualidade, foram desenvolvidos estudos para analisar a viabilidade de redução de um dos seis parafusos que atualmente fixam a transmissão da lavadora, reduzindo conseqüentemente o preço final de manufatura do produto. As principais preocupações ao fazer essa mudança são a rigidez e a confiabilidade do sistema, que tendem a diminuir com um menor número de elementos de fixação dos demais componentes essenciais.

O sistema de uma lavadora de roupa onde ficam comportadas as peças a serem lavadas é composto por dois componentes principais, sendo eles o conjunto do cesto, composto pela lateral do cesto, sua base, e um anel localizado na parte superior, e o tanque em si, localizado externamente e concêntricamente ao primeiro. Com o funcionamento do produto, especialmente em sua fase de centrifugação, um parâmetro essencial a ser analisado é a distância entre o cesto e o tanque que pode levar, em casos extremos, a contato indesejado entre as duas peças. A questão principal é: com a remoção de um parafuso, há perda significativa de rigidez a ponto de haverem riscos no produto durante a lavagem?

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O principal objetivo deste estudo é comprovar a viabilidade técnica da redução de custos de produção das lavadoras de roupas de eixo vertical produzidas na Whirlpool a partir da redução do número de parafusos do suporte do tanque no tanque.

1.1.2. Objetivos específicos

Em virtude do propósito geral, consideram-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a perda de rigidez do sistema a partir da comparação entre o modelo atual e o proposto e seu impacto no desempenho da lavadora de roupas;
- Verificar os resultados obtidos e validar se o novo modelo com menos parafusos se mantém dentro das especificações de performance de lavagem e qualidade;
- Verificar para quais modelos e capacidades de lavadoras de roupas a proposta é válida e pode ser aplicada;
- Avaliar a redução de custos gerada pela redução no número de parafusos, considerando o preço unitário da peça e a produção anual das máquinas afetadas pelo projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica contempla 3 assuntos fundamentais para o desenvolvimento do trabalho: lavadoras de roupa, ensaios experimentais aplicados em estudos com máquinas e, por fim, redução de custo.

2.1. Lavadoras de roupas

O sistema de uma lavadora de roupas onde ficam comportadas as peças a serem lavadas é composto por dois componentes principais, sendo eles o conjunto do cesto e o tanque. O conjunto cesto é um componente cilíndrico com topo aberto composto por três peças, sendo essas: a lateral do cesto, uma chapa de metal dobrada que tem duas de suas faces opostas cravadas de modo a conformar-se em um formato cilíndrico; a base do cesto, uma peça plástica rotacionalmente simétrica posicionada concentricamente a lateral do cesto e encaixada à face inferior mesma; e o anel hidro que, como o nome já diz, é um anel plástico oco que comporta internamente água, responsável por auxiliar no equilíbrio do cesto durante a rotação do mesmo e encaixado superiormente à lateral.

Figura 2 - Cesto da lavadora de roupas



Fonte: BRASTEMP (2025)

O tanque é um componente de peça única com formato similar ao cesto, isto é, cilíndrico com sua face superior aberta, porém de material plástico. Ele é posicionado concentricamente e externamente ao cesto, de modo que o cesto possa ser comportado inteiramente dentro dele. Assim, percebe-se que os dois componentes são complementares no processo, já que o cesto é responsável por acomodar os itens de lavanderia para a lavagem, e o tanque comporta a água e todos os insumos adicionados, permitindo que as roupas sejam molhadas e impedindo vazamento de água para os demais componentes da máquina. Destaca-se que a lateral do cesto possui furos ordenados ao longo de seu comprimento, permitindo a entrada de água durante a lavagem e a saída durante a secagem da roupa.

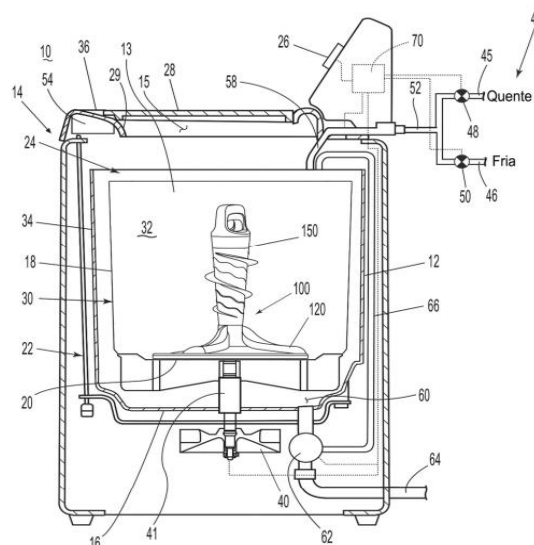
Figura 3 - Tanque da lavadora de roupas



Fonte: MERCADO LIVRE (2025)

Enquanto o cesto rotaciona durante o ciclo de lavagem, o tanque permanece praticamente (e idealmente) estático em relação ao gabinete. A rotação do cesto ocorre pelo acionamento do motor, que é acoplado a diversos componentes intermediários e, por fim, ao suporte do cesto, que se encaixa diretamente à base do cesto. Diz-se que o tanque fica idealmente estático pois os esforços causados pelo movimento do cesto levam a movimentação do mesmo. Além disso, é essencial ressaltar que a concentricidade entre eles é ideal pois, como em qualquer projeto mecânico, os componentes do sistema e a montagem apresentam erros de forma e posição, o que impede seu alinhamento perfeito. A Figura 4 é uma vista em corte transversal do produto, sendo o cesto o número 30 e o tanque o 34.

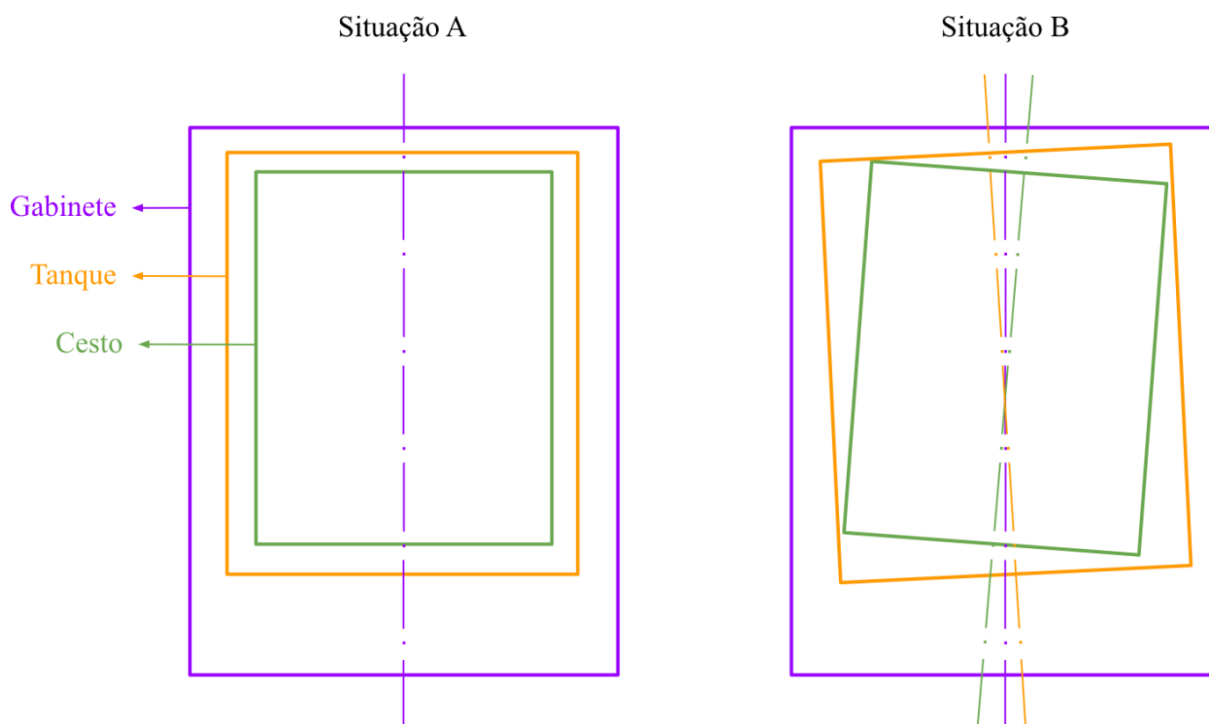
Figura 4 - Esquemático de montagem do produto



Fonte: SAYER (2021)

Um fenômeno que ocorre em lavadoras de roupas de eixo vertical durante a centrifugação é a aproximação do cesto e do tanque que acontece pelo erro de batimento descrito anteriormente e pela rigidez do sistema, que impede que o tanque permaneça estático em relação à sua posição de repouso. Evidencia-se um problema maior, porém, quando essa aproximação é tão grande que se tem contato entre os componentes, podendo levar a falhas no funcionamento do produto e insatisfação do consumidor. A Figura 5 é um esquemático que ilustra, na situação A, a montagem estática do sistema, e na situação B, a possível movimentação do cesto (representado em verde) e do tanque (representado em laranja) até o caso crítico de contato. O bloco representado em roxo é o gabinete, e utiliza-se sua linha de simetria como ponto de referência para visualização dos desalinhamentos.

Figura 5 - Esquemático de aproximação do cesto e do tanque



Fonte: Autor (2025).

Todos os componentes suspensos que devem permanecer estáticos durante o funcionamento da máquina ficam direta ou indiretamente apoiados no tanque: o suporte do tanque é um componente que contém quatro “pernas”, cada uma composta por dois furos de mesmas dimensões, acopladas diretamente à face inferior do tanque por meio de parafusos. Cada uma das pernas tem também um extrudado com um furo vertical, por onde fixa-se o suporte do motor e, com isso, suportam-se todos os demais componentes.

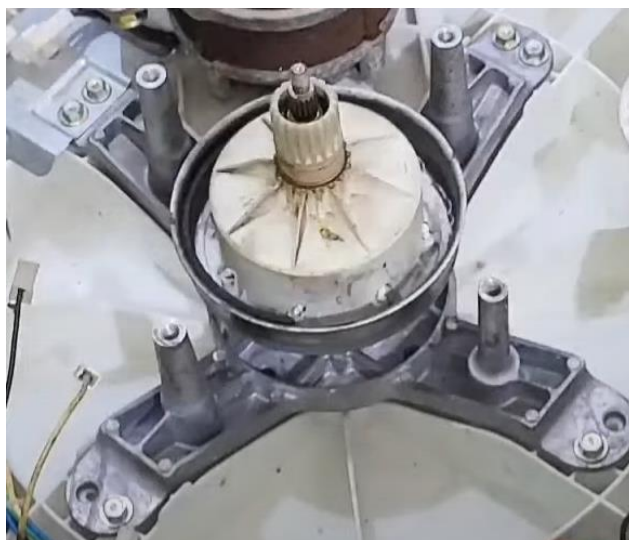
Figura 6 - Suporte do tanque da lavadora de roupas



Fonte: BRASTEMP (2025)

Como dito anteriormente, cada uma das pernas do suporte contém dois furos, totalizando oito furos que permitem a fixação no tanque. Essa quantidade foi selecionada durante o dimensionamento inicial do sistema, porém projetos realizados comprovaram um superdimensionamento, ou seja, a não necessidade de tantos parafusos de fixação. Com isso, realizou-se um projeto que aprovou uma redução de dois desses fixadores nos últimos anos, levando o modelo atual a ter, portanto, apenas 6 parafusos de fixação do suporte do tanque no tanque, como pode-se visualizar na Figura 7.

Figura 7 - Montagem do suporte do tanque no tanque em lavadora



Fonte: TUDO SOBRE LAVADORA (2020)

2.2. Ensaaios experimentais

No contexto atual, o segmento de lavadoras de roupas no mercado de lavanderia exige rigorosos padrões de qualidade e confiabilidade, dada a alta concorrência e a demanda dos consumidores por produtos duráveis e eficientes. As lavadoras são frequentemente submetidas a ciclos intensivos de uso, com variações de carga, tipos de tecido e exigências energéticas, o que torna essencial que os fabricantes garantam que esses produtos cumpram com eficácia suas funções ao longo do tempo. Os consumidores esperam que essas máquinas ofereçam desempenho constante, independentemente do uso repetido, e que sua durabilidade seja suficientemente longa para justificar o investimento.

A realização de testes em lavadoras de roupas, portanto, torna-se crucial para validar sua resistência, durabilidade e eficiência. Os testes ajudam a identificar possíveis falhas que podem surgir durante o uso contínuo e garantem que os produtos atendam às normas e expectativas do mercado. Isso inclui desde testes de desempenho, que avaliam a capacidade de lavagem e a eficiência no consumo de recursos, até testes de durabilidade, que simulam o uso intensivo ao longo do tempo para prever a vida útil do produto. Dessa forma, os testes asseguram que as máquinas possam operar com confiança em ambientes reais, sem falhas inesperadas, e que estejam em conformidade com as regulamentações de qualidade e segurança.

A realização desses testes também é fundamental para permitir a competitividade de maneira eficaz no mercado global, garantindo que os produtos atendam aos padrões de qualidade e às expectativas dos consumidores. O *Handbook of Reliability Engineering*, de Pham (2003), descreve como diferentes tipos de testes podem ser aplicados para validar a confiabilidade e a performance de sistemas, assegurando que eles funcionem de maneira eficiente ao longo de seu ciclo de vida e cumpram com as exigências do mercado.

Dentre os diversos testes citados no livro, destacam-se os testes de confiabilidade, especificamente os de confiabilidade com amostras, os testes acelerados, os de fadiga e os de estresse. É essencial entender que muitas vezes é necessário aplicar mais de um tipo de teste, pois cada método atende a objetivos específicos e é projetado para investigar determinadas condições ou modos de falha. Diz-se, então, que eles não se excluem, mas se complementam, oferecendo uma visão abrangente e precisa sobre a robustez do produto. A combinação desses métodos permite uma avaliação completa, possibilitando que hipóteses de falhas sejam validadas e que haja segurança de que o produto final atenda aos requisitos iniciais do projeto.

2.2.1. Testes de confiabilidade

Testes de confiabilidade têm como objetivo avaliar se um produto ou sistema pode operar corretamente por um período de tempo ou sob certas condições de uso. Eles ajudam a

identificar as taxas de falhas e fornecem informações sobre como os sistemas irão se comportar em diferentes cenários. Esses testes são essenciais para garantir que os produtos atendam às especificações e que as falhas não ocorram inesperadamente, especialmente quando os produtos estão em operação em campo. Em situações onde testar todos os produtos produzidos seria inviável, os testes de confiabilidade com amostras são empregados. Nesse tipo de teste, amostras representativas são selecionadas para avaliação, permitindo a estimação da confiabilidade do modelo a partir de poucas unidades.

Figura 8 - Câmara para teste de confiabilidade em eletrônicos



Fonte: Eurofins MASER (2025)

A Figura 8 apresenta um exemplo de teste de confiabilidade: trata-se da câmara utilizada para a realização do ensaio HTOL (*High Temperature Operating Life*), um dos principais testes aplicados para verificar a confiabilidade de dispositivos eletrônicos em condições de estresse térmico. Nesse teste, os componentes são operados continuamente sob temperaturas elevadas, frequentemente entre 125 °C e 150 °C, enquanto permanecem energizados com tensões próximas ou superiores aos limites especificados. O objetivo é acelerar os mecanismos de degradação dos materiais e componentes internos, simulando de forma antecipada as falhas que ocorreriam ao longo de anos de uso em campo. O tempo de duração do teste pode variar dependendo dos objetivos específicos e do tipo de produto avaliado.

Considera-se esse tipo de ensaio como um teste de confiabilidade já que ele fornece evidências concretas sobre a durabilidade e robustez dos componentes frente a condições extremas, sendo possível identificar falhas potenciais relacionadas a desgaste térmico, migração de elétrons, instabilidade de junções e outros fenômenos que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto. A capacidade de acelerar esses efeitos em laboratório torna o ensaio uma ferramenta

valiosa para prever o desempenho do produto e garantir sua adequação antes do lançamento comercial, atendendo às exigências do mercado por qualidade e durabilidade.

Além disso, esse ensaio é tipicamente realizado com um número reduzido de amostras representativas, sendo estas selecionadas de um lote de produção ou de uma plataforma de produtos. O objetivo não é testar cada unidade individualmente, mas sim validar o projeto do modelo e sua confiabilidade estrutural e funcional antes de uma produção em larga escala. Assim, esse tipo de teste contribui para uma tomada de decisão ágil e econômica, permitindo identificar e corrigir possíveis falhas em estágio inicial, sem comprometer a viabilidade do produto no mercado.

2.2.2. Testes de estresse

Os testes de estresse, também chamados de testes até a falha, envolvem a aplicação de condições operacionais extremas para avaliar como um sistema reage quando é forçado além de suas especificações normais. Eles são projetados para determinar os limites de resistência de um sistema ou componente, testando sua robustez em cenários desafiadores. Esse tipo de teste é frequentemente utilizado para verificar o desempenho de produtos em condições severas, como temperaturas extremas, vibrações intensas ou pressões elevadas.

Figura 9 - Câmara de teste de estresse pneumático



Fonte: CALSPAN (2025)

A Figura 9 apresenta um exemplo de teste de estresse: trata-se de um sistema de teste para pneus comumente conhecido como plataforma com tambor giratório, utilizado para

simular condições operacionais extremas de forma controlada. Nesse tipo de teste, o pneu é montado sobre um tambor que gira em alta velocidade, enquanto forças são aplicadas a ele repetidamente. O objetivo é simular condições extremas de uso, como altas velocidades, pressões elevadas e deformações repetidas, para avaliar como o componente se comporta quando submetido a situações severas ao longo do tempo. O teste segue até que ocorra uma falha estrutural, revelando seus limites de resistência.

Além da carga mecânica, esse tipo de teste pode envolver variações controladas de temperatura e umidade para simular diferentes ambientes de operação. Durante o processo, sensores registram parâmetros como número de ciclos, deformações e pressão interna, permitindo uma análise detalhada do desempenho do pneu, a identificação de pontos críticos de falha e garantia da segurança e da durabilidade do produto antes de sua aplicação no mercado.

Considera-se esse ensaio como um teste de estresse, portanto, já que ele submete o pneu a condições operacionais extremas e progressivamente mais severas, ultrapassando os limites normais de uso para avaliar sua robustez e identificar o ponto exato de falha. O objetivo não é apenas verificar se o pneu funciona adequadamente, mas sim entender até onde ele suporta esforços antes de falhar.

2.2.3. Outros testes

Os testes acelerados consistem em submeter o produto a condições extremas, como temperaturas mais altas, pressões elevadas ou cargas excessivas, para reduzir o tempo necessário para observar falhas. Esse tipo de teste é particularmente útil para prever a vida útil de componentes que, sob condições normais, levariam tempo para falhar. A aceleração das condições de operação permite a análise do comportamento do produto em um período de tempo reduzido, estimando sua durabilidade sob condições normais de uso.

Os testes de fadiga são imprescindíveis quando se trata de componentes que serão submetidos a ciclos repetidos de carga e descarga, já que eles simulam o desgaste de materiais e estruturas de sistemas que precisam resistir a tensões cíclicas. A fadiga pode levar a falhas inesperadas e catastróficas se não for adequadamente monitorada, e esses testes são fundamentais para entender até que ponto um material pode ser repetidamente carregado sem falhar.

2.3. Redução de custo

No mercado de desenvolvimento de produtos, a qualidade é um fator crucial para garantir a satisfação do cliente, a reputação da marca e a durabilidade do produto no mercado. A busca por altos padrões de qualidade, no entanto, frequentemente conflita com a necessidade de controlar e reduzir custos, o que exige das empresas um equilíbrio cuidadoso entre desempenho, funcionalidade e viabilidade econômica. É fundamental a adoção de estratégias que permitam manter a qualidade sem elevar excessivamente os custos, garantindo mercadorias competitivas para os consumidores.

Figura 10 - Teoria da tripla restrição



Fonte: ZUP IT (2022)

A teoria da tripla restrição, amplamente difundida na área de gerenciamento de projetos, descreve a interdependência entre custo, tempo e escopo como fatores determinantes da qualidade de um projeto. De acordo com essa teoria, qualquer alteração em uma dessas variáveis impacta diretamente as demais, exigindo adaptações para que a qualidade final do produto seja preservada (PMI, 2017). Por exemplo, quando se busca reduzir custos, frequentemente é necessário reduzir parte do escopo original do projeto, como funcionalidades, materiais de maior desempenho ou acabamentos elaborados. Essas alterações, se não forem bem planejadas, podem afetar negativamente a experiência do consumidor e a durabilidade do produto, o que explicita a importância da análise dos efeitos sobre qualidade ao definir estratégias de otimização de custos, evitando perdas maiores no longo prazo.

Um método eficaz para a redução de custos é a análise de valor que, conforme descrito por Baxter (2003), envolve a identificação das funções que o produto deve desempenhar e a compreensão do custo associado a cada uma delas. Com isso, a busca por soluções que

ofereçam o mesmo desempenho com custos reduzidos deverá ser realizada, incentivando a simplificação do design, a substituição de materiais e a otimização dos processos produtivos, sempre com foco em eliminar despesas desnecessárias e agregar valor real ao consumidor.

A simplificação do design atua diretamente na minimização da complexidade e na eliminação de componentes desnecessários do produto. Segundo Ulrich (2015), ao reduzir o número de peças e funções no produto, é possível diminuir tanto os custos de fabricação quanto os de montagem, além de facilitar processos logísticos e reduzir a probabilidade de falhas. Além disso, a simplificação contribui para acelerar o tempo de desenvolvimento e reduzir custos indiretos relacionados a retrabalhos e controle de qualidade. Produtos simples são mais fáceis de fabricar e testar, o que resulta em maior eficiência operacional.

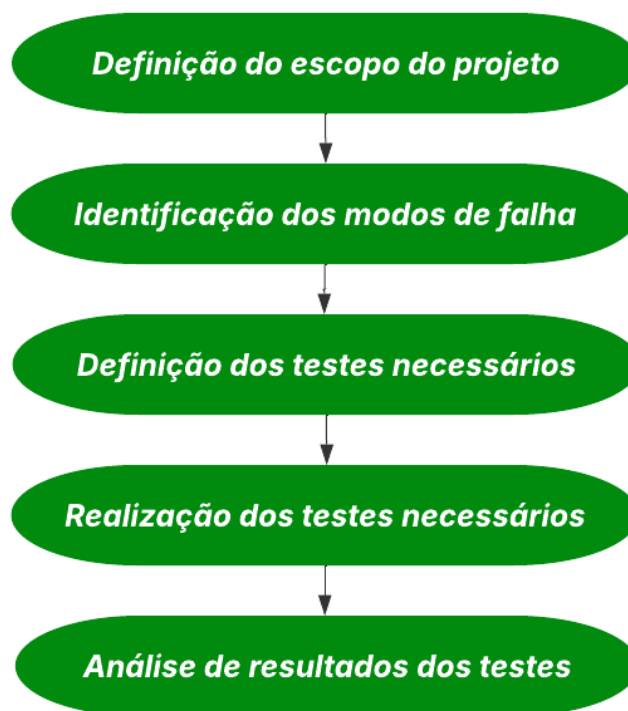
A substituição de materiais consiste em avaliar materiais alternativos que também ofereçam propriedades adequadas à aplicação, mas com custo inferior, melhor disponibilidade ou maior facilidade de processamento. Essa seleção deve ser feita a partir da análise das propriedades que o componente deve apresentar para cumprir sua função no produto. Segundo Ashby (2010), essa estratégia permite que o projeto se beneficie de opções com melhor custo-benefício, considerando critérios como resistência mecânica, densidade, condutividade térmica e durabilidade. Além disso, destaca-se a importância de considerar o impacto da substituição na fabricação e na sustentabilidade do produto, já que a escolha de materiais leves, recicláveis ou que demandem menos energia para produção pode reduzir custos indiretos e melhorar a pegada ambiental do produto, agregando valor à marca.

Por fim, a forma como o produto é fabricado também exerce grande influência sobre seu custo final. Nesse sentido, a otimização dos processos produtivos busca aumentar a eficiência da produção por meio da análise e reestruturação das etapas de fabricação, com foco na eliminação de desperdícios, na padronização de operações e na melhoria contínua dos métodos utilizados. Segundo Wheelwright e Clark (1992), a integração entre desenvolvimento de produto e seus processos produtivos é um fator determinante para alcançar maior eficiência. A engenharia simultânea permite considerar desde as fases iniciais do projeto as limitações e oportunidades da manufatura, reduzindo retrabalhos, encurtando o tempo de lançamento no mercado e diminuindo custos operacionais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando atender os objetivos propostos para este projeto, a realização deste projeto será conduzida através de uma pesquisa aplicada com abordagem analítica e prática. Estruturou-se o desenvolvimento em 4 etapas, sendo essas a definição do escopo (apresentada nas etapas anteriores do presente documento), a identificação dos possíveis modos de falha do sistema, a definição e realização de testes e a análise dos resultados dos mesmos. A Figura 11 apresenta um fluxograma simplificado do processo.

Figura 11 - Fluxograma do processo



Fonte: Autor (2025).

A definição do escopo do projeto é a base de tudo que vem pela frente. Nela entende-se o objetivo do trabalho, estudam-se possíveis riscos a partir de experiências anteriores e analisa-se a viabilidade de aplicar a ideia, levando em consideração tanto a viabilidade técnica quanto econômica. Entre outros pontos importantes a serem definidos, nesse caso, destacam-se a quantidade de parafusos a serem reduzidos, os produtos que serão impactados por essa mudança, e a necessidade de aplicar adaptações de montagem ou verificação de parâmetros na fábrica.

É essencial entender que, mesmo que essa seja uma etapa crucialmente inicial, a definição do escopo do projeto pode passar por mudanças conforme seu avanço. É ideal que

essa etapa seja feita de maneira embasada e fiel à realidade, porém é preferível que haja pequenas mudanças do que inviabilizar o projeto e perder todo o desenvolvimento.

Tendo sido realizados estudos iniciais de possíveis riscos que possam vir a surgir, agora aprofunda-se em relação a esse tópico. Para essa próxima etapa, desenvolve-se um FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), documento em que pode-se compreender sobre as partes envolvidas no projeto e suas funções, visualizar seus possíveis modos de falha e de suas interações, e os efeitos que essas falhas podem causar. Com isso, entende-se quais são as vulnerabilidades do projeto, para então definir quais os testes necessários.

Os diversos testes a serem realizados em projetos têm alta variação de duração entre si, já que alguns testam apenas componentes ou funções específicas do produto e são, portanto, mais curtos, enquanto outros simulam a vida útil da máquina para análise de desempenho. Por isso, além da seleção e planejamento dos testes, é essencial que desenvolva-se um cronograma para entender suas durações e a ordem em que eles ocorrerão, de modo que otimize-se o tempo total para finalização dos experimentos. Essa etapa inclui também toda a solicitação de amostras e produtos, montagem de setups e quaisquer avaliações intermediárias julgadas como necessárias.

Já que alguns testes têm menor duração do que outros, naturalmente alguns resultados podem ser obtidos antes dos demais, o que leva a possibilidade de fazer a supervisão e acompanhamento dos testes e a análise de seus resultados praticamente em paralelo. Os dados obtidos com a finalização dos experimentos possibilitarão a análise do desempenho do novo modelo proposto e, portanto, decisão de se o projeto poderá ou não ser implementado; é importante ressaltar que não serão analisados apenas novos dados obtidos com a proposta, mas também resultados com o modelo atual, o que permite, também, a comparação para visualização de melhoras ou pioras.

Testes mais simples e diretos terão resultados binários, isto é, aprovado ou reprovado, dependendo do critério de sucesso definido para o mesmo. Para aqueles que demandam análises mais desenvolvidas, o tratamento dos dados obtidos será realizado manualmente, por meio do uso de planilhas, estudos estatísticos simples e análises visuais qualitativas, e em diversos softwares, dentre eles programas de matemática e estatística como o Minitab, e de desenho assistido por computador como o CREO.

3.1. Identificação de modos de falha

Para qualquer projeto, é crucial ter um entendimento aprofundado não apenas dos objetivos a serem alcançados no final, mas também dos possíveis riscos do mesmo, relacionados diretamente à probabilidade de sucesso ao implementar a ideia. O FMEA (*Failure Modes and*

Effects Analysis), como descrito anteriormente, é um diagrama a ser desenvolvido que permite uma melhor visualização do sistema, as maneiras com que ele pode falhar, e as consequências se essa falha vier a ocorrer. O documento contém uma tabela, em que cada uma das linhas descreve um modo de falha relacionado a um componente específico e o possível efeito. As colunas que formam a tabela são:

- Componente
- Função
- Potencial modo de falha
- Potencial efeito no componente
- Efeito potencial a nível produto
- Severidade
- Potencial causa da falha
- Prevenção e probabilidade de ocorrência
- Detecção e probabilidade de detecção
- Ações recomendadas

Dessa maneira, desenvolveu-se um FMEA bem estruturado para o atual projeto. Para que seja de melhor explicação e entendimento, a justificativa de seleção de testes neste documento será escrita detalhando-se cada uma das funções principais e seus possíveis modos de falha.

3.1.1. Resistência às cargas de centrifugação

A redução da quantidade de parafusos que fixam o suporte do tanque no tanque da lavadora de roupas leva ao aumento dos esforços individuais em cada um dos parafusos, já que as cargas se mantêm as mesmas, porém agora são suportadas por menos componentes de fixação. Esse raciocínio é igualmente válido para o suporte do tanque e para o tanque, que tem esforços concentrados em menos furos de fixação e castelos com a redução.

A soltura e a quebra de um ou mais parafusos devido, respectivamente, à perda de torque de montagem e ao aumento dos esforços no mesmo, torna esse cenário ainda mais crítico, podendo levar a folga entre os componentes pela diminuição da força de fixação entre eles e, ao longo do tempo, a danos aos componentes. O mesmo pode ocorrer em casos em que nenhum dos parafusos quebram, mas sim os castelos de fixação deles no tanque. O modo de falha, nesse caso relacionado a função de suportar as cargas dinâmicas de centrifugação durante a vida do

produto, é a peça não suportar o esforço demandado, defeito que pode levar a insatisfação no consumidor quanto a performance do produto.

Para verificar se esse potencial modo de falha realmente ocorre com a aplicação do projeto, optou-se por rodar um teste acelerado de centrifugação contínua que representa, como o nome já diz, de uma maneira acelerada, ciclos sequenciais e contínuos de centrifugação do produto. Dessa maneira, pode-se entender qual o comportamento tanto dos parafusos (se eles se soltarão ou quebrarão) quanto dos demais componentes do sistema (danos indesejados).

3.1.2. Resistência às cargas de frenagem

Além dos esforços sofridos pelo suporte do tanque durante a centrifugação, tem-se também esforços de frenagem. Do mesmo modo, quando o componente em questão não cumpre sua função de suportar as cargas de frenagem durante a vida do produto, o mesmo se torna incapaz de frear, comportamento indesejado de produto. O teste de resistência à frenagem, em que configura-se o ciclo do produto para frear consecutivamente, foi mapeado para entendimento e verificação da ocorrência desse potencial modo de falha.

3.1.3. Rigidez do sistema

Ao se tratar de sistemas, é essencial planejar-se em relação à sua rigidez, principalmente ao tratar-se de mecanismos que sofrem esforços dinâmicos. Para isso, deve-se considerar sua rigidez global, que depende, entre outros fatores, de como os componentes individuais interagem e como as forças distribuem-se entre eles. A remoção de um dos parafusos de fixação afeta essa rigidez, sendo reduzida a força de união entre os componentes envolvidos.

Para esse projeto, espera-se que haja redução da rigidez global do sistema. Deve-se garantir, porém, que esta não seja significativa a ponto de causar impactos negativos no desempenho da máquina. A principal preocupação caso isso aconteça é a diminuição da distância entre o cesto e o tanque durante a fase de centrifugação do produto vista como um possível modo de falha, pois a redução da rigidez do sistema pode levar a maior deformação do tanque e, com isso, aproximação entre ele e o cesto.

Foram mapeados dois testes para a verificação da aproximação entre as peças com o modelo proposto. O primeiro deles em teste em que roda-se um ciclo em um produto com lasers apontando para seu tanque e seu cesto, de modo que, ao final, seja possível comparar as alterações de posição dos dois lasers e, a partir da diferença entre eles, a aproximação entre os dois componentes ao longo do tempo. Esse teste é feito com ambos os modelos, ou seja, com 5 e 6 parafusos, de modo que seja feita a comparação entre os resultados para validação de se

houve diferença significativa entre eles. O outro teste ocorre em condições estressadas, em que adiciona-se uma carga de alto peso para aumentar os esforços e, com isso, amplificar probabilidade de ocorrência de contato entre os componentes. Pode-se observar com os resultados, então, o pior cenário e os impactos de ocorrência da falha.

3.2. Realização de testes

Após o mapeamento dos modos de falha e dos testes necessários, parte-se para a etapa de planejamento, para que, enfim, os testes sejam rodados e os resultados sejam analisados. Vale ressaltar que toda a organização dos testes foi desenvolvida em conjunto com a equipe de engenheiros da área, porém os técnicos do laboratório foram responsáveis por executá-los.

3.2.1. Centrifugação acelerada

O teste de centrifugação acelerada tem por objetivo representar como se comporta o modelo de lavadora de roupas ao longo de sua vida. No caso do projeto, o modelo a ser testado é o produto com apenas 5 parafusos de fixação do tanque no tanque, e deseja-se verificar se a ocorrência das falhas mapeadas, como por exemplo a soltura ou a quebra de um dos parafusos, é possível com a nova proposta.

Como dito anteriormente, esse teste busca não apenas a aprovação de um produto individualmente, mas a aprovação do modelo. Para isso, utilizam-se 10 produtos no total, de maneira que se possa ter uma quantidade de amostras suficientes para realização de análises e verificação de problemas. Especificamente para esse projeto, optou-se por selecionar 2 produtos de diferentes modelos, sendo um de alta capacidade (17kg) e o outro de baixa capacidade (12kg). Essa decisão se deu pelo fato de que a aprovação neles permite a aprovação por similaridade no restante dos modelos.

Além da seleção dos produtos, deve-se determinar quais serão os parâmetros de ciclagem. A centrifugação contínua, como o nome já diz, testa ciclos sequenciais e contínuos de centrifugação do produto. Inicia-se o ciclo com o enchimento e o esvaziamento de água no tanque para garantir que o retentor do tanque não esteja superaquecido no início do ciclo, evitando ruídos e desgastes. Realizam-se, logo após, duas centrifugações com as cargas de borracha distribuídas e desbalanceadas pré-definidas de acordo com o tamanho do cesto do produto. Esse processo se repete de acordo com a duração definida.

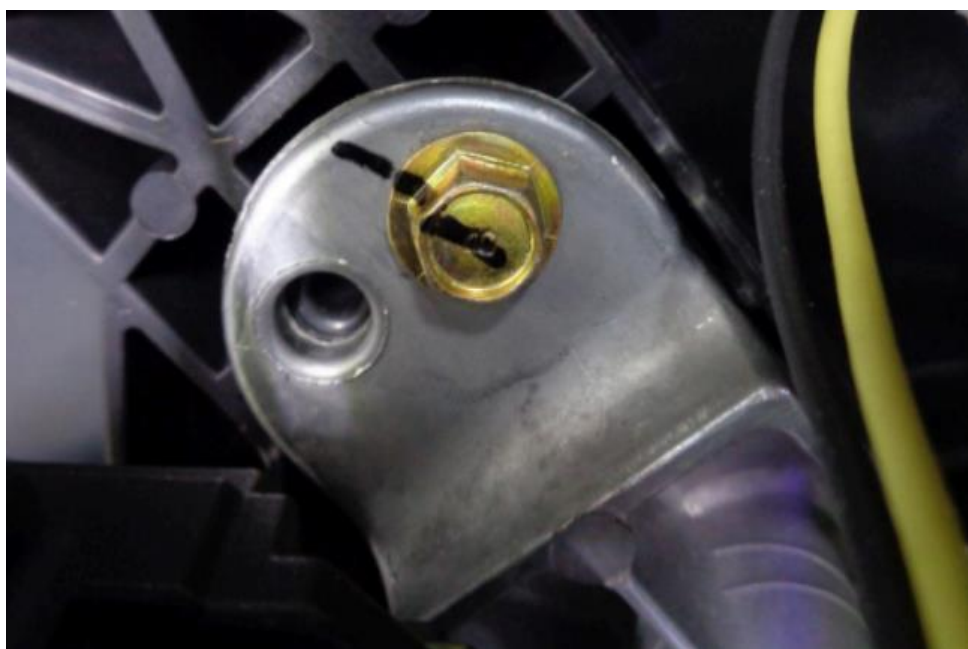
A definição das cargas ocorre a partir de uma tabela padronizada pelo laboratório de acordo com a capacidade do produto e características de carregamento de roupas típicas de um consumidor. Em relação às cargas desbalanceadas, existe um rodízio ao longo dos dias com

objetivo de variá-la, alterando seu peso (utilizando-se tanto a carga padrão quanto a estressada) e seu posicionamento em relação ao cesto, ou seja, a altura em que ela é posicionada e o quadrante (divide-se o cesto em 4 partes iguais, de modo que cada parte seja um quadrante). A alteração do peso e da altura dessa carga ocorre a cada turno do dia, enquanto a do quadrante a cada semana.

Antes do início do teste, como os produtos vieram diretamente da fábrica, o parafuso que será removido dos produtos após a aprovação do projeto foi retirado, e todos os demais foram retirados para que fossem inseridos novamente, agora com controle do torque de aperto. Já que a especificação de montagem determina que o torque dos parafusos deve estar entre um valor mínimo e máximo, optou-se por montar alguns dos produtos com a especificação mínima e os demais na máxima.

Para que seja possível verificar visualmente se houve rotação de algum dos parafusos ao longo do teste, foram realizadas marcações em caneta entre a cabeça do parafuso e o suporte do tanque, que modo que, se eventualmente houvesse alguma rotação, a mesma seria perceptível pelo não alinhamento das marcações nas duas peças. Pode-se visualizar como foram realizadas essas marcações na Figura 12.

Figura 12 - Marcação de posição no parafuso



Fonte: Autor (2024).

Com todas as etapas de preparo prontas, roda-se o teste. O Quadro 1 mostra a configuração dos produtos logo antes do início do teste:

Quadro 1 - Configuração dos produtos para o teste de centrifugação acelerada

Produto	Modelo	Quantidade de parafusos	Torque de aperto dos parafusos [Nm]
Produto 1	Baixa capacidade	5 parafusos	Máxima
Produto 2	Baixa capacidade	5 parafusos	Máxima
Produto 3	Baixa capacidade	5 parafusos	Máxima
Produto 4	Baixa capacidade	5 parafusos	Mínima
Produto 5	Baixa capacidade	5 parafusos	Mínima
Produto 6	Alta capacidade	5 parafusos	Máxima
Produto 7	Alta capacidade	5 parafusos	Máxima
Produto 8	Alta capacidade	5 parafusos	Máxima
Produto 9	Alta capacidade	5 parafusos	Mínima
Produto 10	Alta capacidade	5 parafusos	Mínima

Fonte: Autor (2025).

3.2.2. Resistência a frenagem

Outro modo de falha mapeado nas etapas iniciais do projeto foi a quebra de um parafuso por conta dos esforços sofridos na frenagem do produto. Para verificar essa ocorrência, realiza-se o teste de resistência à frenagem que, assim como o teste de centrifugação acelerada, busca não apenas a aprovação de um produto individualmente, mas a aprovação do modelo. Novamente, utilizam-se 10 produtos para que se tenha uma quantidade de amostras suficientes para realização de análises. Optou-se por selecionar todas as máquinas do modelo com maior capacidade (17kg), o que faz com que ele seja identificado como o mais crítico da plataforma.

O teste de resistência à frenagem assemelha-se ao de aceleração contínua pelo fato de que ambos rodam continuamente ciclos de centrifugação. Este, porém, utiliza apenas cargas balanceadas mais altas e não utiliza mantas de borracha para representá-las, mas sim tecidos padronizados. Outra diferença é que, mesmo que o ciclo também seja iniciado com o enchimento e esvaziamento do tanque, agora o objetivo dessa etapa é molhar os tecidos, portanto deve-se manter o tanque cheio por um período de 5 minutos para as cargas absorverem a água. Logo após rodam-se as consecutivas centrifugações, e repete-se o processo de enchimento do tanque a cada um tempo pré-determinado, até atingir o número de ciclos de objetivo.

Repete-se a preparação para o início do teste utilizada no teste descrito anteriormente, isto é, removeu-se os parafusos do suporte do tanque no tanque vindos da manufatura e inseriu-

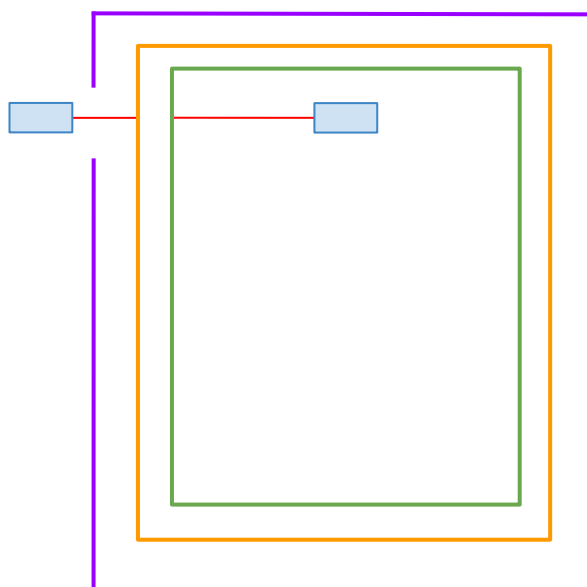
se apenas 5 deles com torque controlado, e realizaram-se marcações em caneta entre a cabeça do parafuso e o suporte do tanque. Com todas essas etapas finalizadas, iniciam-se os ciclos.

3.2.3. Teste de verificação da distância entre o cesto e o tanque

Como descrito anteriormente no presente documento, um fenômeno que ocorre em lavadoras de roupas de eixo vertical durante a centrifugação é a aproximação do cesto e do tanque que acontece pelo erro de batimento e pela rigidez do sistema, que impede que o tanque permaneça estático em relação à sua posição de repouso. Esse problema torna-se crítico, porém, quando a aproximação é tão grande que observa-se contato entre os componentes, podendo levar a falhas no funcionamento do produto e insatisfação do consumidor.

No contexto do projeto, preocupa-se com a diminuição da distância entre essas peças durante a centrifugação do produto que pode ocorrer pela redução da rigidez do sistema devido à redução de um parafuso do suporte do tanque no tanque. Para avaliar se realmente há diferença significativa entre o modelo atual (6 parafusos) e o proposto (5 parafusos), portanto, um teste comparativo foi realizado para que o máximo deslocamento de cada rodada fosse medido e, posteriormente, os resultados fossem analisados.

Figura 13 - Esquemático do teste de verificação da distância entre cesto e tanque



Fonte: Autor (2025).

A Figura 13 esquematiza uma vista em corte do setup necessário para a realização das medições. Representam-se na imagem os componentes envolvidos, sendo estes o gabinete, em roxo, o tanque, em laranja, e o cesto, em verde. Dois lasers são utilizados para a identificação

dos deslocamentos ao longo do teste, representados na imagem pelos blocos azuis e pelas linhas vermelhas, um posicionado internamente e apontado para o anel do cesto, e o outro localizado externamente e apontado para o tanque. Ambos localizam-se na mesma altura e com mesmo sentido, porém com direções opostas. Para que a medição desejada seja possível para o tanque, faz-se um furo no gabinete do produto, de modo que o laser alcance diretamente o lado externo da peça. A partir da diferença dos valores obtidos para cada um dos lasers, obtém-se a distância entre o tanque e o cesto para cada intervalo de tempo determinado e, com isso, pode-se determinar a máxima aproximação ocorrida na rodada.

O teste foi definido como um DOE (*Design of Experiments*), um método estatístico utilizado para planejar e analisar experimentos para identificar e otimizar os fatores que afetam um processo ou produto. Apenas um produto foi utilizado, porém com dois tanques diferentes e, para cada um deles, realizou-se ambas as configurações de parafuso. Além disso, outros fatores que foram variados no teste foram a carga balanceada, sua altura em relação a base do cesto e sua fase, conforme indica a Tabela 1.

Tabela 1 - Configuração dos produtos para o teste de verificação da aproximação

Fatores a serem estudados	Nível -1	Nível 1
Tanque	1	2
Número de parafusos	5	6
Carga balanceada	Sem carga	Com carga
Altura da carga	Baixa	Alta
Fase da carga	0°	180°

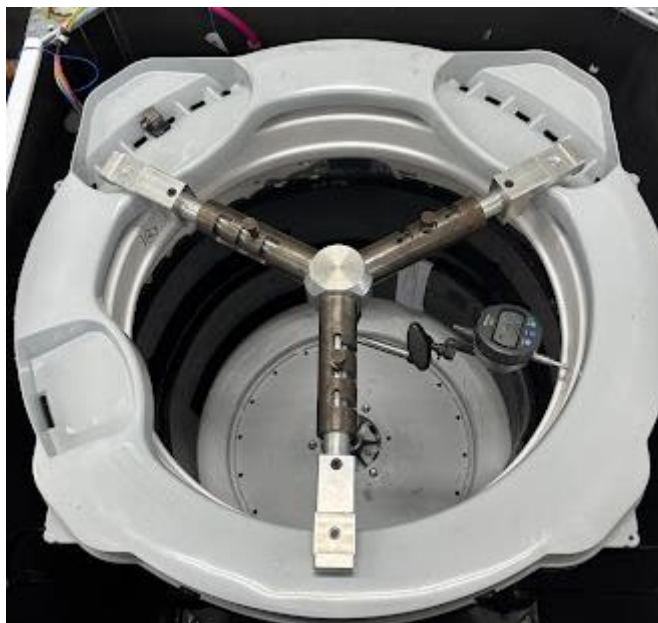
Fonte: Autor (2025).

Desses, os dois primeiros são fatores diretamente relacionados à configuração do produto, enquanto os demais especificam as cargas utilizadas no teste. Cargas balanceadas são adicionadas proporcionalmente ao redor do cesto, de modo que a carga seja distribuída uniformemente ao longo do mesmo. As cargas desbalanceadas, também utilizadas nesse teste porém sem variação de peso, por outro lado, são concentradas e localizadas em locais específicos do produto, representando pontos onde algumas roupas mais pesadas podem se localizar. Em testes, sua especificação se dá pelo seu peso e sua localização em relação ao cesto, sendo identificadas sua altura em relação à base e sua posição horizontal (a fase).

Definem-se a fase e a contra-fase de um produto a partir do batimento composto do mesmo: um instrumento foi desenvolvido no laboratório com objetivo de medir o batimento

composto do cesto, isto é, o batimento do cesto em relação ao anel do tanque do tanque. Este é composto por três pernas de mesmo tamanho e espaçadas radialmente igualmente entre si, com um relógio comparador acoplado a ele. A peça foi desenvolvida de maneira que suas três pernas fiquem apoiadas no anel do tanque do produto e a ponta do relógio comparador encoste no anel hidro perpendicularmente a uma reta tangencial ao anel.

Figura 14 - Instrumento de medição de batimento



Fonte: Autor (2025).

Posicionado o instrumento, realiza-se a medição do batimento. Para isso, deve-se rotacionar o cesto lentamente para visualizar e marcar qual é o batimento máximo observado a partir do relógio comparador. O ponto de batimento máximo localizado no anel é a fase, enquanto o ponto localizado contrariamente a ele (exatamente 180° em relação a fase) é a contra-fase do produto. Deve-se posicionar, portanto, a carga de maneira alinhada com o ponto marcado de fase ou contra-fase.

Como fez-se o experimento com 5 fatores como um fatorial completo, ou seja, medem-se respostas em todas as combinações dos níveis de fatores, e cada configuração foi realizada duas vezes, tem-se no total 64 rodadas. Com o produto montado e o setup pronto, roda-se o teste.

3.2.4. Teste de verificação de contatos em condições estressadas

Ainda nesse contexto, um teste com cargas mais críticas foi rodado para avaliar os efeitos da aproximação do cesto e do tanque quando os produtos são postos em situações mais

extremas. Para esse teste, foi mapeado um modelo que utiliza água quente em sua lavagem como o mais crítico devido à maior tendência de deformação no tanque, já que o aumento de temperatura pode causar perda de rigidez em componentes plásticos.

O teste foi rodado de maneira comparativa, de modo que se utilizaram 5 produtos com o modelo atual (6 parafusos) e outros 5 com o modelo proposto (5 parafusos). Definiu-se como critério de sucesso, além dos critérios específicos do teste e da avaliação comparativa, a ausência de problemas de qualidade percebidos pelo consumidor (por exemplo, ruído) e ausência de contatos indevidos entre peças.

Por padrão, cada produto deve rodar uma ciclagem pré-determinada de acordo com o critério de sucesso do teste com uma carga de roupas comuns também pré definida de acordo com sua capacidade, isto é, itens como calças jeans, camisetas, meias, entre outros. Caso sejam observados contatos indevidos entre peças após a finalização desses ciclos, os produtos em questão devem rodar mais 50% da quantidade inicial de ciclos, de modo que seja possível observar se o contato evolui ou estagna. Para que essa verificação seja possível, deve-se marcar os cortes nos tanques à caneta preta para que, se houver toque novamente nos ciclos adicionais a ponto de remover mais material, a ocorrência fique visível. Definiu-se como métrica de aprovação do teste a verificação de cortes com um valor máximo de referência.

Por fim, assim como nos demais testes, marcações em caneta foram feitas entre a cabeça do parafuso e o suporte do tanque para visualização de eventuais rotações dos mesmos em relação a sua posição inicial. Sendo finalizadas todas as etapas de preparo dos 10 produtos, inicia-se o teste.

4. RESULTADOS

Com a finalização do planejamento e desenvolvimento dos testes, deve-se realizar a análise dos resultados obtidos para tomada de decisão sobre aprovação ou reprovação dos mesmos e, conseqüentemente, do modelo proposto. É essencial compreender que alguns testes apresentam um critério de sucesso bem definido e direto, porém outros necessitam um pós processamento dos dados mais detalhado, com estudos estatísticos e comparativos.

4.1. Centrifugação acelerada

Com a finalização das duas vidas de todos os 10 produtos, observou-se que não houveram falhas relacionadas ao projeto. Ademais, mediu-se o torque residual dos parafusos de cada produto (numerados de 1 a 5 na Tabela 2), de modo a compreender quais seus torques finais em relação aos iniciais.

Tabela 2 - Torque final dos parafusos para o teste de centrifugação acelerada

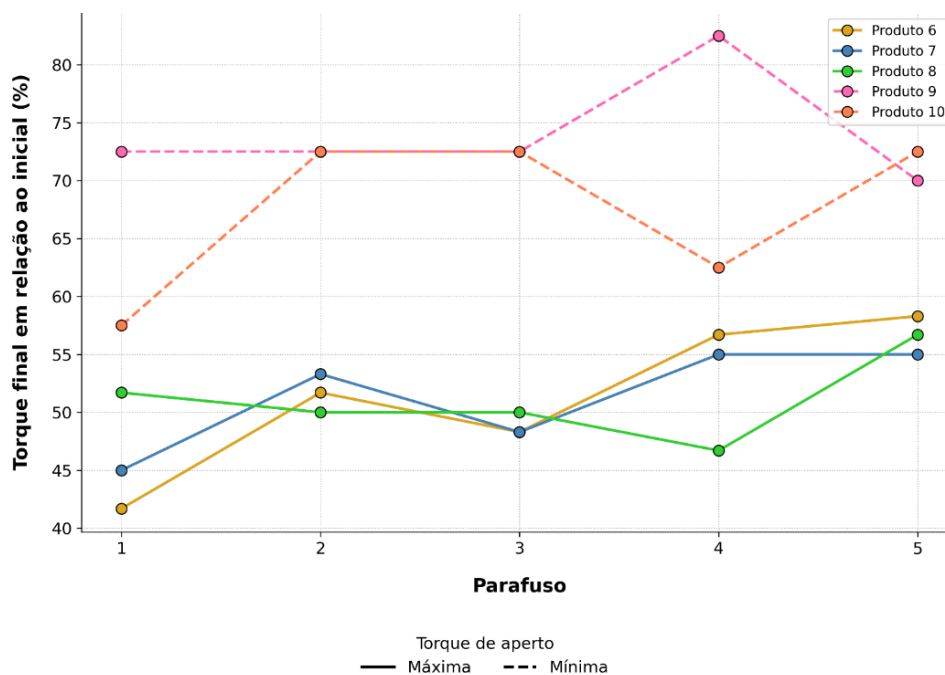
Produto	Modelo	Torque de aperto dos parafusos	Torque final dos parafusos em relação ao inicial [%]				
			1	2	3	4	5
Produto 1	Baixa capacidade	Máxima	58,3	50	53,3	50	50
Produto 2	Baixa capacidade	Máxima	43,3	50	45	40	50
Produto 3	Baixa capacidade	Máxima	56,7	45	46,7	48,3	41,7
Produto 4	Baixa capacidade	Mínima	72,5	60	60	70	62,5
Produto 5	Baixa capacidade	Mínima	62,5	70	62,5	57,5	60
Produto 6	Alta capacidade	Máxima	41,7	51,7	48,3	56,7	58,3
Produto 7	Alta capacidade	Máxima	45	53,3	48,3	55	55
Produto 8	Alta capacidade	Máxima	51,7	50	50	46,7	56,7
Produto 9	Alta capacidade	Mínima	72,5	72,5	72,5	82,5	70
Produto 10	Alta capacidade	Mínima	57,5	72,5	72,5	62,5	72,5

Fonte: Autor (2025).

Após a análise dos dados coletados, percebeu-se que todos os parafusos perderam parte de seu torque, independentemente do seu torque de aperto inicial. Uma observação interessante é que, tanto para os produtos de alta quanto de baixa capacidade, a perda de torque percentual

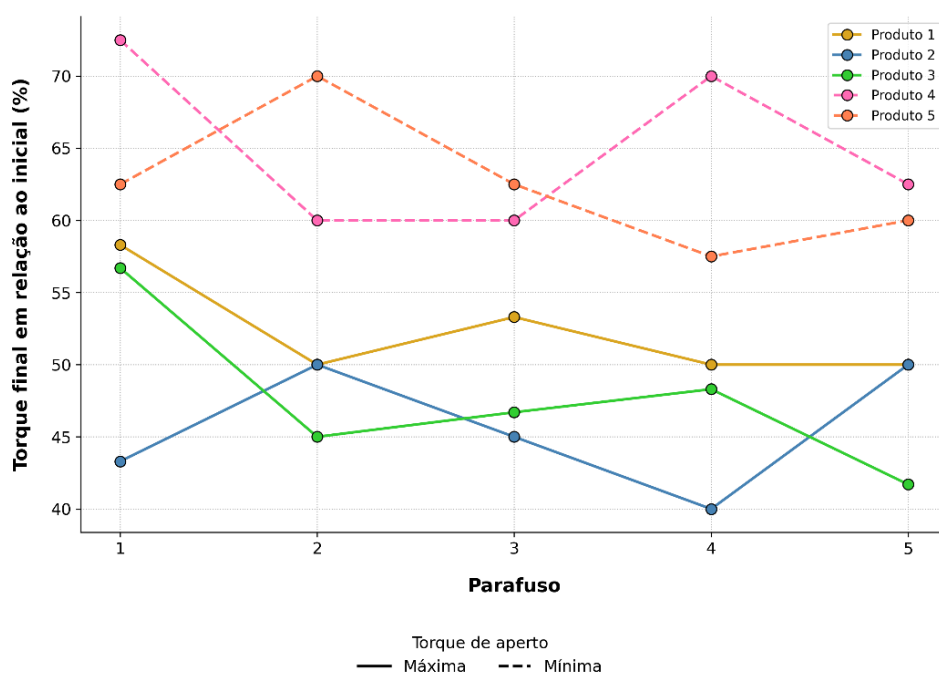
foi menor para os parafusos que iniciaram o teste com o torque de aperto mínimo em relação a especificação de projeto. Essa diferença pode ser visualizada nos Gráficos 1 e 2, e se justifica pelo fato de que, para todos os fixadores, o torque residual foi muito similar, porém a perda foi maior nos que tiveram o torque de aperto inicial na máxima especificação.

Gráfico 1 - Torque final dos parafusos nos produtos de alta capacidade



Fonte: Autor (2025).

Gráfico 2 - Torque final dos parafusos nos produtos de baixa capacidade



Fonte: Autor (2025).

Essa perda de torque, no entanto, era esperada por tratar-se de uma união em um componente de material plástico (tanque), e não foi problemática visto que não houve rotação em nenhum dos fixadores. Desse modo, já que manteve-se a posição e a fixação do suporte do tanque em relação ao tanque e não foram percebidos ruídos e vibrações adicionais nos produtos, concluiu-se que o teste foi aprovado.

4.2. Resistência à frenagem

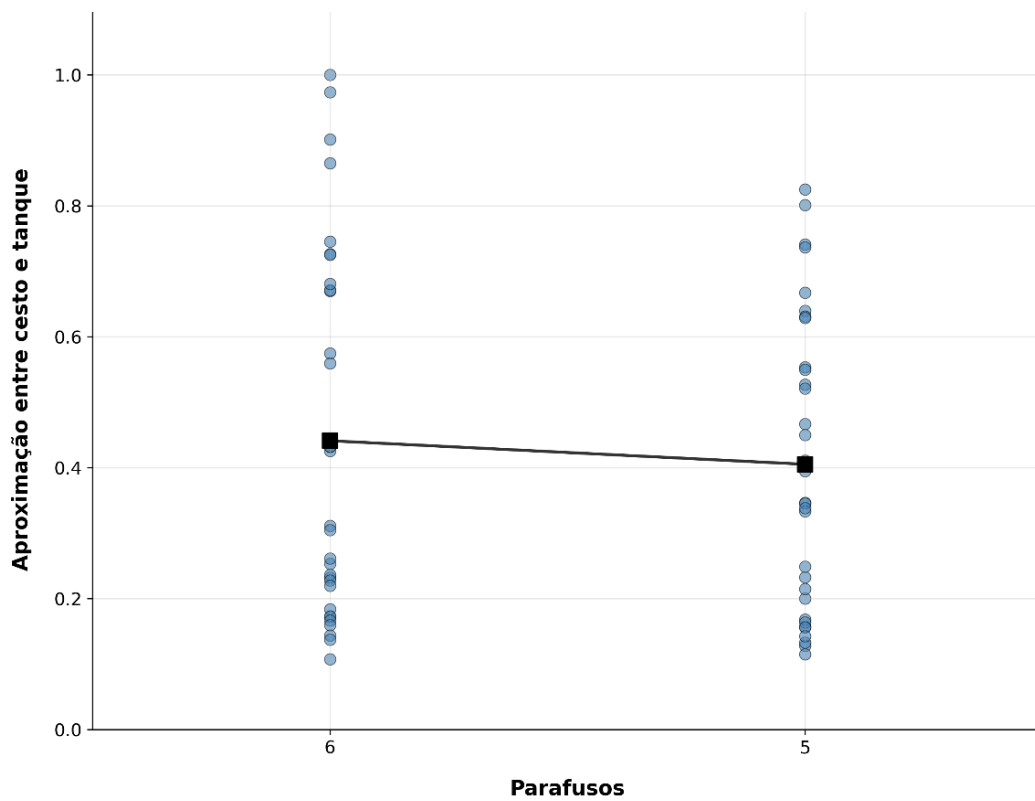
Com a finalização da ciclagem dos produtos, pôde-se verificar que não houveram rotações nos parafusos marcados à caneta inicialmente, falhas nos componentes decorrentes da mudança proposta, ou ruídos e vibrações adicionais nos produtos. Dessa maneira, conclui-se que o teste foi aprovado.

4.3. Teste de verificação da distância entre o cesto e o tanque

Obtiveram-se, com a finalização do teste, os valores de aproximação entre o cesto e o tanque de cada uma das rodadas. A partir desses valores, obteve-se a média dos resultados de cada um dos modelos, de modo que fosse possível comparar a aproximação média observada dos modelos com 5 parafusos e com 6 parafusos. Por questões de confidencialidade, os dados foram normalizados, de modo que ainda seja possível observar a diferença entre eles.

Uma observação interessante dos resultados é a resposta contra intuitiva obtida, já que as configurações com 6 parafusos tiveram em média aproximações maiores do que aquelas com 5, ao contrário do que era esperado já que o modelo com maior número de parafusos é teoricamente mais rígido. Como pode-se visualizar no Gráfico 3, no entanto, essa diferença foi pequena e não foi estatisticamente significativa, e provavelmente se deu por conta de ruídos experimentais. Conclui-se, portanto, que o teste foi aprovado.

Gráfico 3 - Resultados do teste de verificação da distância entre cesto e tanque



Fonte: Autor (2025).

4.4. Teste de verificação de contatos em condições estressadas

Com a finalização da ciclagem dos produtos, pôde-se perceber que não foram observados atritos significativos entre os cestos e os tanques das amostras. Ademais, observou-se que a variação entre os dez produtos foi maior do que as variações entre a proposta e o modelo atual, o que permite concluir que não há diferença significativa entre os mesmos. Desse modo, aprovou-se o teste.

5. CONCLUSÃO

A definição dos testes necessários para a aprovação de um modelo é uma etapa fundamental no desenvolvimento de produtos. No caso de um mercado tão dinâmico quanto o de eletrodomésticos, é essencial buscar métodos otimizados e econômicos, que permitam realizar os testes em menor tempo e com o uso eficiente dos recursos disponíveis. Por isso, sempre que possível, é altamente recomendável optar por testes acelerados aplicados a amostras representativas de um lote ou plataforma de produtos, pois essa abordagem oferece resultados confiáveis em prazos reduzidos, facilitando a tomada de decisões e a aprovação rápida do projeto.

O presente documento concentrou-se na aprovação técnica do projeto ao avaliar o modelo em questões de segurança do produto, qualidade e percepção do consumidor, principalmente em relação a vibração e ruído. Após a realização de estudos dos componentes envolvidos no sistema, entendimento dos possíveis modos de falha e desenvolvimento de testes, foi possível aprovar o projeto tecnicamente. Adicionalmente, considerando que o projeto tem como objetivo principal a redução de custos por meio da eliminação de um parafuso em todas as máquinas da plataforma, conclui-se que sua viabilidade está assegurada sob a ótica da engenharia de produto.

Para qualquer projeto, no entanto, é essencial atentar-se a outras áreas da empresa que podem trazer outros requisitos de aprovação e custos adicionais de infraestrutura que não incluem apenas a análise do produto em si, mas sim do processo como um todo. Uma área de extrema pertinência no mercado de eletrodomésticos é o marketing, já que deve-se entender o que, na visão do cliente, é esteticamente agradável e enquadra-se na identidade visual da marca. No caso do presente projeto, por tratar-se de um componente invisível aos olhos do consumidor, não há implicações que inviabilizem a ideia.

Outra área que deve ser analisada é a de suprimentos: como o escopo do projeto envolve a remoção de um item comprado, alinhamentos com o fornecedor devem ser realizados para compreender se a redução da quantidade comprada por mês afeta o preço do parafuso por unidade. Em caso de alteração, os cálculos de economia deveriam ser feitos em cima do novo valor fornecido, porém nesse caso, já que o valor que foi considerado inicialmente foi mantido, faz-se a estimativa com a redução proporcional ao número de parafusos.

Adicionalmente ao assunto de redução de custos provindas do projeto, a avaliação da área da manufatura permite compreender se algum investimento deverá ser realizado para adaptar o processo à mudança, ou ainda se a mudança permite a obtenção de ainda mais economias a partir da redução de complexidade. Já que o escopo consiste na redução de um dos seis parafusos montados no suporte do tanque, tem-se a redução do tempo necessário para a

realização da montagem e, conseqüentemente, a otimização do processo. A quantidade de operários necessários, no entanto, se mantém a mesma, já que apenas uma pessoa é responsável por montar os seis fixadores.

Ainda em relação a manufatura, analisa-se se algum investimento será necessário para compra ou manutenção de máquinas e equipamentos. O processo de fixação de parafusos é realizado por meio de uma parafusadeira independentemente da quantidade envolvida, então caso a manutenção esteja em dia e os equipamentos operando normalmente, novas compras não serão necessárias. A verificação da quantidade de parafusos também é parte do processo e ocorre por meio de câmeras e sensores que bloqueiam a linha caso hajam menos parafusos do que pré-definido pela engenharia. Já que a quantidade será reduzida, deve-se adaptar sua programação para identificação de ao menos 5 parafusos, porém um novo sistema não será necessário pois o atual já é suficiente.

Por fim, é importante entender se as áreas de assistência técnica e logística sofrerão efeitos. Na perspectiva de assistência técnica, como tanto a montagem com 5 quanto com 6 parafusos está aprovada tecnicamente, não há impactos relevantes. Pode-se treinar os técnicos para que, em casos de manutenções que envolvam a troca de todos os parafusos, a nova montagem seja feita com a quantidade atualizada de fixadores, porém deve-se analisar se as economias são relevantes em relação à complexidade do treinamento. Do mesmo modo, para a área de logística a padronização e simplificação promovidas pela remoção do parafuso impactam positivamente o processo de movimentação e armazenagem de componentes, além de reduzir a complexidade no abastecimento da linha de produção.

Conclui-se, após a avaliação de todas as áreas que podem ser impactadas pelo projeto, a viabilidade da redução do número de parafusos que fixam o tanque no suporte do tanque em lavadoras de roupas de eixo vertical. Com isso, portanto, pode-se implementar a mudança a todos os modelos da plataforma assim que desejado para que as economias comecem a ser adquiridas pela empresa quanto antes.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY (ASQ). *FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)*. ASQ, 2024. Disponível em: https://asq.org/quality-resources/fmea?srsltid=AfmBOoq488jQ0eJxJ6v8_eBAT2YIVwMS9zgY3FZiGA16P5UJ5bD_uw6d-. Acesso em: 17 abr. 2025.

ANTUNES, Chrys Marcell. *Metodologia HALT no desenvolvimento de produtos em uma indústria de linha branca*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2025.

ANTUNES, Luiz Fernando Bisan. *Identificação de massas desbalanceadas em lavadoras de roupas com técnicas de redes neurais e visão computacional*. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

ASHBY, Michael F. *Materials Selection in Mechanical Design*. 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010.

BARCHA, Wladimir Alves Martins. *Modelo para avaliação da maturidade do processo de desenvolvimento de produtos em empresas de base tecnológica*. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BAXTER, Mike. *Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos*. 3. ed. London: Springer, 2003.

BRASTEMP. *Cesto Híbrido Superior 26" para Máquina de Lavar W10693530*. Brastemp, 2025. Disponível em: <https://www.brastemp.com.br/cesto-hibrido-superior-para-maquina-de-lavar-w10693530/p>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BRASTEMP. *Lavadora Brastemp 11 kg branca com super remoção de manchas - BNF11AB*. Brastemp, 2025. Disponível em: <https://www.brastemp.com.br/lavadora-brastemp-11kg-branca-com-super-remocao-de-manchas-bnf11ab/p>. Acesso em: 19 jul. 2025.

BRASTEMP. *Máquina de lavar Brastemp 13 kg branca com ciclo Tira Manchas Advanced e ciclo Antibolinha - BWK13AB*. Brastemp, 2025. Disponível em: <https://www.brastemp.com.br/maquina-de-lavar-brastemp-13kg-branca-com-ciclo-tira-manchas-advanced-e-ciclo-antibolinha-bwk13ab/p>. Acesso em: 19 jul. 2025.

BRASTEMP. *Suporte para Máquina de Lavar W10771761*. Brastemp, 2025. Disponível em: <https://www.brastemp.com.br/suporte-para-maquina-de-lavar-w10771761/p>. Acesso em: 6 jun. 2025.

CALSPAN. *Tire Testing Equipment Solutions*. Calspan, [s.d.]. Disponível em: <https://calspan.com/automotive/tire-performance-testing/tire-testing-equipment>. Acesso em: 11 jul. 2025.

CLEANIPEDIA. *Qual a melhor máquina de lavar roupa?* Cleanipedia, [s.d.]. Disponível em: <https://www.cleanipedia.com/br/lavanderia/qual-a-melhor-maquina-de-lavar-roupa.html>. Acesso em: 19 jul. 2025.

DELLA MARCA (FDM). *Tire Stress Test Chamber*. FDM, 2022. Disponível em: <https://www.dellamarca.it/en/tire-stress-test-chamber/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

Eurofins MASER. *RT02 HTOL Test – Leaflet v2*. Maser, [s.d.]. Disponível em: <https://www.maserengineering.eu/static/default/files/media/leaflets/Eurofins%20MASER/RT02%20HTOL%20Test%20leaflet%20v2.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2025.

FOLHA DE S.PAULO; GFK. *Samsung e Consul são as grandes campeãs entre os eletroeletrônicos*. Top of Mind 2024. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://top-of-mind.folha.uol.com.br/2024/10/samsung-e-consul-sao-as-grandes-campeas-entre-os-eletroeletronicos.shtml>. Acesso em: 19 jul. 2025.

IORIATTI, Adriano Seolin. *Gestão de escopo e mudanças em projetos de desenvolvimento de produtos com base nos conceitos do PMI*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

KISTLER. *Sistemas para medição e testagem na indústria dos pneus*. Kistler, [s.d.]. Disponível em: <https://www.kistler.com/PT/pt/testes-aos-pneus/C00000072>. Acesso em: 13 jul. 2025.

MERCADO LIVRE. *Tanque Lavadora Brastemp Consul W10512776 22 polegadas*. Mercado Livre, 2025. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2056177959-tanque-lavadora-brastemp-consul-w10512776-22-polegadas-_JM. Acesso em: 6 jun. 2025.

PHAM, Hoang. *Handbook of reliability engineering*. London: Springer, 2003.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)*. 6. ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017.

ROY, Robin. Washing machines. In: ROY, Robin. *Consumer product innovation and sustainable design: the evolution and impacts of successful products*. 1. ed. London: Routledge, 2016. p. 19–46.

SARMENTO, Marilande Carvalho de Andrade Silva; SANTANA, Débora Viviane Albuquerque Granja; LIMA, Janaína Vanessa Laurindo Afonso de; SOARES, Marcelo Márcio. *Análise comparativa da usabilidade entre modelos de lavadora de roupa*. In: Congresso Nacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-tecnológicas (CONAERG), 3., 2016, Recife. Anais... São Paulo: Blucher, 2016. p. 1–12.

SAYER, J. *Tanque elevado para máquina de lavar*. BR 10 2020 018076 A2. Publicado em: 16 mar. 2021.

TUDO SOBRE LAVADORA. *Lavadora Brastemp 12kg BWK12AB - Remoção do Cesto*. YouTube, 19 jul. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zG2zWLUYHtU>. Acesso em: 6 jun. 2025.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. *Product design and development*. 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.

WHEELWRIGHT, Steven C.; CLARK, Kim B. *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*. New York: Free Press, 1992.

ZUP IT. *Teoria da tripla restrição: entenda o triângulo da gestão de projetos*. Zup Innovation, 11 mar. 2022. Disponível em: <https://zup.com.br/blog/teoria-da-tripla-restricao/>. Acesso em: 19 jul. 2025.