UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EMANUELA PINHEIRO QUIRRENBACH

ANÁLISE DE FALHA EM TREMPE DE COOKTOP

PONTA GROSSA

2023

EMANUELA PINHEIRO QUIRRENBACH

ANÁLISE DE FALHA EM TREMPE DE COOKTOP

Failure Analysis of Cooktop Grate

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Curso Superior em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Edenei Mainginski

PONTA GROSSA

2023

4.0 Internacional

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

EMANUELA PINHEIRO QUIRRENBACH

ANÁLISE DE FALHA EM TREMPE DE COOKTOP

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Curso Superior em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 12/Dezembro/2023

Fábio Edenei Mainginski
Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Sandra Mara Kaminski Tramontin
Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Nelson Ari Canabarro de Oliveira
Mestre em Engenharia de Produção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

PONTA GROSSA

2023

AGRADECIMENTOS

À minha família, por ter me dado todo suporte e pela paciência e compreensão que sempre me ofereceram.

À meu orientador, Prof. Dr. Fábio Edenei Maiginski, por me dar todo auxílio necessário para elaboração desse trabalho.

À meus amigos por sempre acreditarem em mim. Que sempre viram em mim qualidades que muitas vezes eu própria não fui capaz de enxergar. Não me deixei desistir pois jamais poderia deixar essa confiança ser desperdiçada.

À meu namorado por ter tido paciência de me acompanhar durante esses anos de graduação, oferecendo parceria, auxílio e compreensão todos os dias dos útimos sete anos.

À todos os servidores e funcionários da UTFPR que trabalham todo dia para manter o funcionamento dessa instituição.

Agradeço a todos que de alguma manerira me ajudaram durante esses anos de curso e especialmente durante o período de elaboração desse trabalho.

RESUMO

Na análise de ocorrências de falhas em produtos é necessário uma abordagem estruturada para encontrar os principais contribuintes, de forma a reduzir a incidência de forma eficiente. Nesse trabalho foi feito um estudo de caso de falha em trempe de fogões de bancada - *cooktop*. Utilizando de métodos como o Diagrama de Ishikawa, 5W1H, análise 4M1D, simulação computacional e experimentos físicos, foi encontrado uma melhoria de projeto e alteração da peça em estudo que levou a um aumento de 70% na força necessária para quebra da peça.

Palavras-chave: cooktop; trempe; projeto; qualidade; análise de falha.

ABSTRACT

On the analysis of failure modes in products, it's necessary to have a structured approach to find the most relevant factors, so as to reduce the failure rate in an efficient manner. This work is a case study for the failure of the grate on a cooktop. Using methods such as the Ishikawa Diagram, 5W1H, 4M1D analysis, computational simulations and physical experiments, an improvement in the design of the part was found that improved by 70% the force to break the part.

Keywords: cooktop; grate; design; quality; failure analysis.

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**6**
1.1	**CONTEXTUALIZAÇÃO**	**6**
1.2	**JUSTIFICATIVA**	**7**
1.3	**OBJETIVOS**	**8**
1.3.1	Objetivo Geral	8
1.3.2	Objetivos Específicos	8
2	**REFERENCIAL TEÓRICO**	**9**
2.1	**CONCEITOS DE QUALIDADE**	**9**
2.2	**GESTÃO DE QUALIDADE**	**9**
2.3	**FERRAMENTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE**	**10**
2.3.1	Diagrama de Causa e Efeito	10
2.4	**MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS**	**12**
2.5	**PROJETO DE EXPERIMENTOS**	**13**
3	**MATERIAIS E MÉTODOS**	**15**
3.1	**IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E OBSERVAÇÃO**	**15**
3.2	**ANÁLISE**	**15**
3.3	**PLANO DE AÇÃO**	**17**
4	**RESULTADOS**	**18**
4.1	**IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E OBSERVAÇÃO**	**18**
4.2	**ANÁLISE**	**19**
5	**CONCLUSÃO**	**32**
	REFERÊNCIAS	**33**

1 INTRODUÇÃO

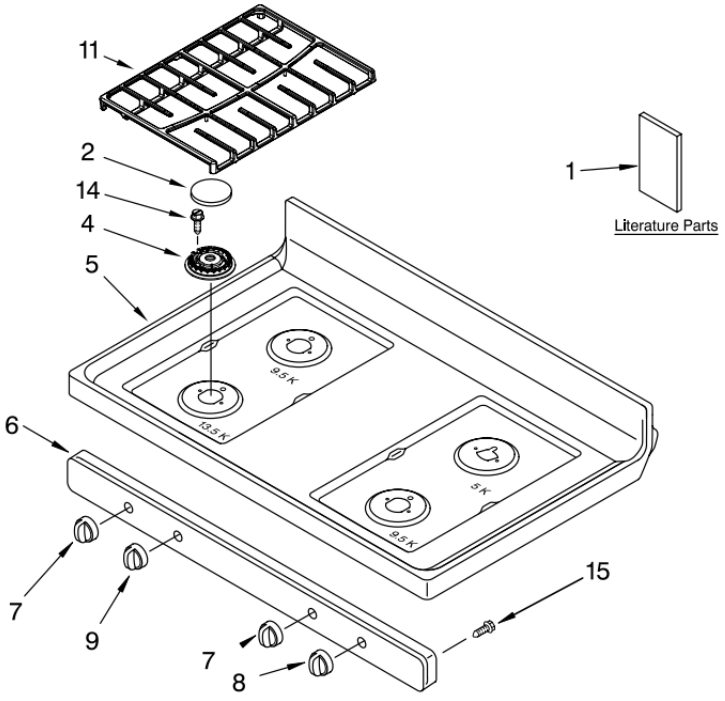
Nesta seção serão apresentados contextualização, justificativa e os objetivos deste trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria de eletrodomésticos dos Estados Unidos movimentou em 2020 mais de 420 bilhões de dólares em vendas, com previsão desse valor aumentar para 500 bilhões até 2023 (HOLST, 2021a). Aproximadamente 20% dessas vendas são compostas por eletrodomésticos de grande porte para cozinha, como, por exemplo, fogões, *cooktops*, e geladeiras. Destes eletrodomésticos, os aparelhos para cocção como fogões e fornos estão presentes na maioria das casas em diversos países, sendo encontrados em mais de 90% das casas de países como Brasil, Espanha, Reino Unido, Itália, Rússia, Alemanha, Turquia e Argentina (HOLST, 2021b).

Cooktops são aparelhos embutidos em bancadas utilizados para cocção, geralmente contem quatro elementos quentes (COOKTOP. . . ,), e podem ser classificado em três categorias: i) de indução, ii) radiantes, e iii) a gás; sendo os dois primeiros elétricos (MAYTAG, s.d.). Alguns dos componentes mais importantes de um *cooktop* à gás estão evidenciados na figura 1: queimadores (2 e 4), manípulos (7, 8 e 9), mesa (5), tubos, válvulas, regulador de pressão, base inferior, e trempes (11).

Figura 1 – Partes de um Cooktop



Fonte: (WHIRLPOOL. . . , 2006).

As trempes, também conhecidos como grades, são responsáveis por proporcionar superfície de apoio para as panelas durante o cozimento, bem como por manter a distância adequada das panelas em relação às chamas. Além da questão funcional, os trempes são componentes importantes em questão de estética do eletrodoméstico *cooktop*, pois é peça proeminente à vista do consumidor. Assim, para que esta peça possa desempenhar seu papel de maneira ideal, é necessário que ela seja: i) resistente, sendo capaz de suportar o peso das panelas e o esforço causado durante a utilização; ii) regular e nivelada, para que a superfície de cocção se mantenha estável, sem balançar; e iii) esteticamente agradável, sendo essa última característica avaliada por meio de pesquisas de mercado.

1.2 **JUSTIFICATIVA**

A ocorrência de falhas em um produto gera custos à empresa, como o custo de não qualidade, que é atrelado ao preço da peça e sua substituição, o custo do serviço de atendimento ao consumidor (atendentes, manutenção do sistema), da assistência técnica (visita do técnico à casa dos consumidores, estrutura de assistências autorizadas), entre outras atividades envolvidas no processo. Além disso, a perda de credibilidade e confiança do consumidor geradas por ocorrência de falhas é geralmente considerada mais grave do que o custo do reparo (DIAMANDESCU, 2012).

Desta forma, a investigação de problemas de qualidade em eletrodomésticos de cocção se mostra relevante, pois busca evidenciar possíveis perdas atreladas ao produto. Esse trabalho analisa uma das possíveis falhas de trempes - a quebra de um dos dedos da peça, como evidenciado na figura 2.

Figura 2 – Foto de *Cooktop* com Trempe Quebrada

Fonte: (LOWE'S, s.d.).

O modelo de cooktop analisado nesse trabalho é produzido e comercializado no mercado norte americano por uma empresa também de origem norte americana.

1.3 **OBJETIVOS**

1.3.1 Objetivo Geral

- Analisar o modo de falha da trempe do *cooktop* visando melhoria de qualidade do produto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o problema;
- Identificar as possíveis causas de falhas utilizando 5W1H e Ishikawa;
- Desenvolver procedimentos de teste para análise das possíveis causas se baseando no método de Delineamento de Experimentos;
- Propor soluções para o problema;
- Implementar solução proposta e propor padronização a fim de evitar a falha no futuro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Seção destinada a desenvolvimento de fundamentação teórica. Nessa seção é desenvolvida a fundamentação para conceitos utilizados durante o trabalho. São abordados conceitos de qualidade e gestão de qualidade, assim como ferramentas para controle de qualidade utilizadas, como Diagrama de Causa e Efeito. Também são abordados Métodos de Análise e Solução de Problemas e Projeto de Experimentos.

2.1 CONCEITOS DE QUALIDADE

Qualidade é um conceito que apresenta inúmeras definições, variando com o período histórico e com o entendimento de cada autor. Antes da Segunda Guerra Mundial, essa noção era percebida a partir da perspectiva do produtor, baseado em características físicas do produto, e era considerada muitas vezes como sinônimo de perfeição técnica. Essa visão é conhecida como *product-out*, e se sustentou bem o bastante até a década de 50, visto que nesse período a produção era mais monopolista, havendo demanda muito superior à oferta (CARPINETTI; GEROLAMO, 2016; LOBO, 2019). A partir da década de 50, viu-se necessário um maior interesse nas necessidades do mercado, visto que o consumidor desenvolveu comportamento de questionar mais profundamente a utilidade dos produtos que adquire, devido ao aumento da oferta.

Assim, realizam-se os primeiros estudos de mercado, e com isso instaura-se o conceito de qualidade como o quão bem um produto satisfaz os requisitos dos consumidores. Além disso, foi nessa época que grandes nomes da qualidade, como Deming, Juran, Ishikawa e Feigenbaum publicaram suas obras básicas. Na década de 80 cria-se o conceito de que qualidade é satisfazer necessidades latentes dos consumidores, ou seja, aquelas das quais o clientes ainda não tem consciência, conseguindo assim por um curto espaço de tempo um “monopólio”, obtendo alta rentabilidade (TOLEDO *et al.*, 2020; CARPINETTI; GEROLAMO, 2016; LOBO, 2019) .

2.2 GESTÃO DE QUALIDADE

Para garantir que um produto atinja a qualidade desejada para um projeto, é necessário um conjunto de práticas e ações ligadas a um Sistema de Gestão de qualidade (TOLEDO *et al.*, 2020). A norma ABNT (2015) define qualidade como uma característica que pode ser determinada pela capacidade dos produtos e serviços de satisfazerem os clientes, e também pelos impactos (pretendidos ou não) que eles causam nas partes interessadas.

Assim, a norma define um Sistema de Gestão de Qualidade como o conjunto de atividades identificadas pela organização que são necessárias para garantir o cumprimento dos objetivos definidos. Visto a importância de um bom sistema de gestão da qualidade, surgiu a necessidade de teorias e práticas mais desenvolvidas.

No Japão na década de 60, surge o movimento da qualidade conhecido como *Total Quality Control* (TQC), ou Controle de Qualidade Total. Esse conceito é difundido pela JUSE (*Union of Japanese Scientists and Engineers* em inglês, ou União Japonesa de Cientistas e Engenheiros). O movimento japonês começa a ser difundido no ocidente sob o nome de *Total Quality Management* (TQM), ou Gestão de Qualidade Total, baseada em princípios de melhoria contínua. Esse sistema apresenta uma abordagem de qualidade mais abrangente do que a qualidade *stricto sensu* do produto, levando em consideração também aspectos como custos, entrega, e serviços pós-vendas (CARPINETTI; GEROLAMO, 2016; TOLEDO *et al.*, 2020).

2.3 **FERRAMENTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE**

A teoria do TQM difundiu diversos métodos e ferramentas visando a melhoria da qualidade. Algumas dessas ferramentas são genéricas o bastante para serem aplicadas sob diferentes situações. Existem sete ferramentas básicas da qualidade, conhecidas também como ferramentas para melhoria da qualidade. São elas: Histograma, Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Pareto, Diagrama de Dispersão-Correlação, Gráfico de Controle, e Folha de Verificação (LILIANA, 2016).

2.3.1 Diagrama de Causa e Efeito

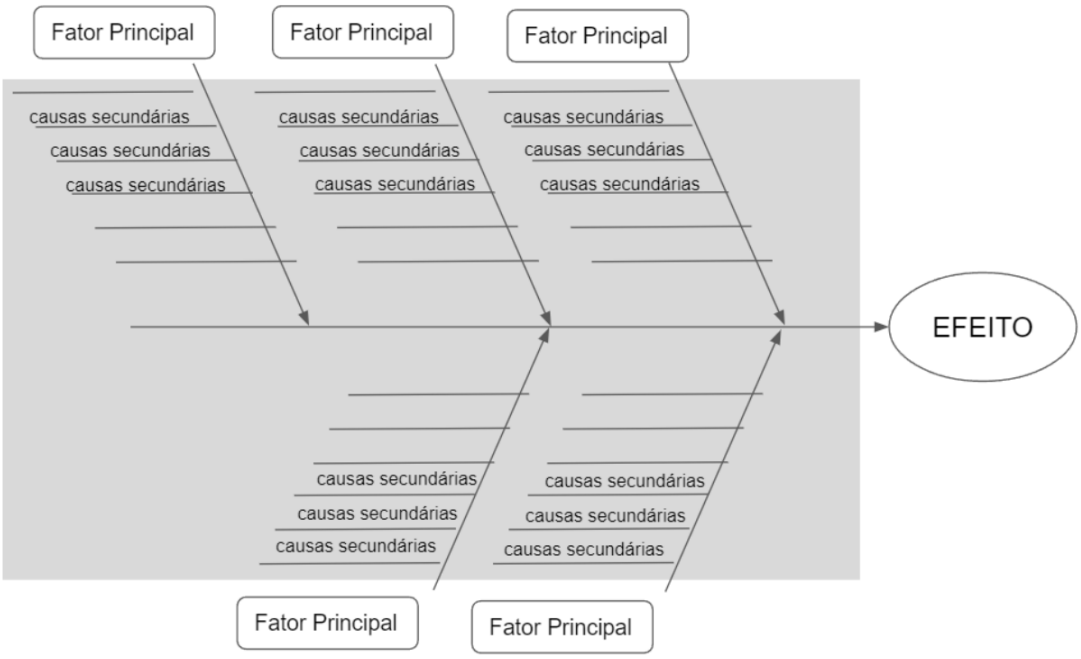
O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe, é uma ferramenta desenvolvida por Kaoru Ishikawa utilizada para a identificação e representação de relações entre um efeito ou problema e suas possíveis causas. Consiste em um diagrama simples de ser desenhado, onde o efeito a ser analisado é colocado à direita, com os contribuidores para esse efeito sendo listados à esquerda. Os fatores principais são divididos em diferentes “galhos” ligados a uma linha central, que por sua vez é conectada ao efeito ou problema estudado, conforme pode ser visto na Figura 3. Essa disposição é o que confere ao diagrama o nome de espinha de peixe, devido a seu formato (TOLEDO *et al.*, 2020; LOBO, 2019) .

Existem várias maneiras de classificar os “galhos” do diagrama de causa e efeito, sendo comum utilizar fatores genéricos 4M, 5M, ou 6M, sendo esses Ms iniciais para Material, Método, Mão de Obra, Máquina, Meio ambiente e Medida, respectivamente. Há ainda modelos que adotam outros fatores, como o método 4M1D, no qual utiliza os mesmos 4M dos modelos mais comuns, mas adiciona o D para problemas de *Design*, ou seja, o que é relacionado a engenharia do produto (QUEIROZ; OLIVEIRA, 2018; LILIANA, 2016) .

Existem oito passos propostos por Ishikawa para a montagem de um diagrama de causa e efeito (TOLEDO *et al.*, 2020) :

1. Identificar o problema ou efeito a ser eliminado;

Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Ishikawa



Fonte: Adaptado de (TOLEDO *et al.*, 2020).

2. Colocá-lo na parte direita do diagrama, com uma seta horizontalmente apontada para ele;

3. Definir os fatores ou causas principais que são parte contribuinte para o problema analisado. Esses fatores podem ser mudados de acordo com o que for mais adequado para cada situação;

4. Colocar os fatores determinados nos galhos principais com setas ligadas à linha horizontal;

5. Reconhecer as causas secundárias, ou seja, as que são relacionadas a cada fator principal;

6. Escrever as causas secundárias como “galhos” do correspondente fator principal; o processo desce a terceiro nível, quarto nível, e assim por diante, até todas as causas mais prováveis serem listadas;

7. Examinar o diagrama montado, tomando cuidado para analisar se foram identificadas todas as causas relevantes, e entregar às considerações das pessoas envolvidas para checar se há necessidade de alguma mudança, ou melhoria;

8. Escolher as causas mais prováveis e avaliar a influência e frequência que cada uma delas tem sobre o problema. Com isso podem ser tiradas conclusões e propostas para a resolução do problema sendo estudado.

É interessante levar algumas coisas em consideração durante a elaboração deste diagrama. A identificação dos fatores deve ser feita de preferência com o auxílio de várias pessoas. Uma ferramenta que pode ser utilizada nessa etapa é o *Brainstorming*. É importante expressar os efeitos e causas de maneira mais concreta possível, e também listar os fatores sobre os quais há possibilidade de atuação (TOLEDO *et al.*, 2020).

2.4 MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Uma grande parte dos problemas encontrados dentro de uma empresa não podem ser resolvidos por meio de ferramentas quantitativas ou *softwares* específicos, visto que muitas vezes eles não são estruturados o suficiente para tal. Assim, para analisar esse tipo de problema pode-se utilizar o MASP (Método para Análise e Solução de Problemas), que é como uma adaptação do método científico para o ambiente de produção, e pode ser utilizado por profissionais de diferentes áreas, como médicos, psicólogos e engenheiros. Pode-se aplicar esse método durante a rotina de um processo, ou também para melhoria deste. A análise a esses problemas deve ser feita de maneira a impedir o reaparecimento de suas causas.

O MASP também é conhecido como Método de Solução de Problemas, Diagnóstico e Solução de Problemas, QC *Story*, Método PDCA de Melhoria, 8 passos, etc. Esse método define um problema como o resultado indesejado de um processo, e pode ser separado nas seguintes 8 etapas (TOLEDO *et al.*, 2020):

1. Identificação do problema: nessa etapa o problema deve ser definido de maneira clara, assim como sua relevância e os critérios utilizados para a sua seleção;

2. Observação: investigar características do problema a partir de diferentes pontos de vista, quantitativamente e qualitativamente. Observar e coletar informações, entender as especificidades do problema;

3. Análise: levantar as possíveis causas do problema;

4. Plano de Ação: elaborar um plano a fim de eliminar ou minimizar as causas identificadas anteriormente. Uma ferramenta que pode ajudar nessa etapa é o 5W2H, que vem do inglês *What*, *When*, *Who*, *Where*, *Why*, *How* e *How Much*, ou em português: o quê, quando, quem, onde, por quê, como, e o quanto custa. Deve-se definir as metas que pretende-se alcançar;

5. Ação: atuar sobre o plano elaborado na etapa anterior. É importante a colaboração de todos os envolvidos;

6. Verificação: verificar se as ações tomadas foram efetivas, até ter certeza de que o problema não irá se repetir. Caso esse não seja o caso, deve-se voltar à etapa 2. É importante checar se efeitos indesejados foram gerados;

7. Padronização: eliminar a causa do problema de maneira definitiva para evitar sua ocorrência novamente. Padronizar a solução, identificar e realizar alterações necessárias para impedir o problema. Os envolvidos devem ser treinados nesse procedimento;

8. Conclusão: analisar a experiência completa e verificar onde existiu dificuldades, de maneira a aperfeiçoar o método para aplicações subsequentes. Verificar os problemas associados ao que foi estudado, e planejar como eles serão abordados. Discutir o que pode ser melhorado no método, no problema, e naqueles problemas relacionados.

2.5 **PROJETO DE EXPERIMENTOS**

O Projeto de Experimentos, conhecido também como Delineamento de Experimentos ou DOE (do inglês *Design of Experiments*), é um método utilizado para testes e otimização de desempenho de produtos ou processos, e permite testar de maneira controlada diferentes parâmetros (entradas ou variáveis) , de maneira a avaliar a influência deles na saída determinada.

Assim, o planejamento experimental baseia-se em realizar testes nos quais variações propositais são feitas nas entradas de um determinado processo, a fim de identificar as mudanças decorrentes dessas variações. Um processo pode ser definido como uma combinação de métodos, mão de obra e máquinas, que transformam uma entrada (materiais, insumos) em uma saída (produto, serviço). As variáveis de um processo podem ser classificadas entre controláveis, geralmente indicadas pela letra X, e as variáveis não controláveis ou fatores de ruído (TOLEDO *et al.*, 2020; MONTGOMERY, 2016).

Os objetivos de experimentos realizados de acordo com o método de planejamento experimental podem ser:

- Determinar quais são as variáveis (Xs) com maior influência na resposta analisada (Y);
- Determinar qual valor esses Xs devem apresentar para atingir um determinado Y exigido;
- Determinar os valores dos Xs de maneira a proporcionar uma pequena variedade a Y;
- Determinar os valores atribuídos aos Xs para diminuir o efeito de variáveis não controláveis.

Assim, esses métodos podem ser utilizados tanto durante o desenvolvimento de produtos/processos quanto para solução de problemas, melhoramento de desempenho, ou obtenção de processo menos sensível a fontes externas de variação. O procedimento recomendado para o planejamento de experimentos pode ser dividido nas seguintes etapas (MONTGOMERY, 2016) :

1. Reconhecimento e relato do problema: uma contribuição substancial para melhor compreensão do processo e possível solução do problema é ter um relato claro e aceito

por todos sobre ele, assim como os objetivos que planeja-se alcançar com os experimentos.

2. Escolha dos fatores e dos níveis: Os fatores que devem variar, assim como seus respectivos intervalos de variação deverão ser escolhidos. Em geral, quando o objetivo é a caracterização do processo, é interessante manter o número de fatores baixos.

3. Seleção da variável resposta: Essa etapa pode ser realizada simultaneamente à etapa dois, ou também anteriormente a ela. Deve-se ter certeza de que a variável resposta escolhida realmente irá fornecer informação útil para o estudo.

4. Escolha do planejamento experimental: Nesta etapa ocorre a consideração sobre o tamanho da amostra, ordem de execução de rodadas para tentativas experimentais, e formação de blocos de aleatorização.

5. Realização do experimento: Nesta etapa é importante a monitorização do processo, a fim de garantir que ele está sendo executado de acordo com o planejado. Erros no procedimento, nesse estágio, destruirão a validade do experimento.

6. Análise dos dados: Deve-se utilizar métodos estatísticos para analisar os dados obtidos. Pode-se utilizar desde métodos gráficos simples até *softwares* dedicados para esse tipo de análise.

7. Verificação: verificar se as ações tomadas foram efetivas, até ter certeza de que o problema não irá se repetir. Caso esse não seja o caso, deve-se voltar à etapa 2. É importante checar se efeitos indesejados foram gerados;

8. Conclusões e recomendações: Após análise de dados, o experimento deverá levar a conclusões práticas sobre os resultados e recomendar um plano de ação.

É importante notar que a experimentação faz parte de um processo de aprendizagem, em que por tentativa formulam-se hipóteses, realiza-se experimentos para averiguar as hipóteses levantadas, e com base nos resultados destes formulam-se novas hipóteses e assim sucessivamente. Esse processo de experimentação é então iterativo, de modo que é geralmente um erro planejar apenas um grande experimento singular, visto que no começo de um estudo não têm-se toda a informação necessária para chegar em uma conclusão definitiva. Esse conhecimento é alcançado à medida que um programa experimental avança (MONTGOMERY, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi realizada uma análise de falha em uma trempe de ferro fundido de um *cooktop* com quatro queimadores, produzido por uma empresa de grande porte do ramo de eletrodomésticos. Os testes e simulações foram realizados com equipamento da empresa, dentro de suas dependências. Para essa análise foi utilizada como guia as seguintes etapas do MASP (Método de Análise e Solução de Problemas): Identificação do problema, Observação, Análise, e Plano de ação. As etapas posteriores apresentadas no MASP (como ação e verificação) estão fora do escopo deste trabalho.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E OBSERVAÇÃO

Nesta etapa são coletadas informações sobre o problema estudado, para poder atacá-lo de maneira efetiva. Algumas perguntas a serem feitas nessa etapa são:

- Qual é o problema?
- Onde ele ocorre?
- Quando ele ocorre?
- Como foi identificado?

As informações coletadas nessa etapa são de grande importância para o desenvolvimento das etapas subsequentes deste trabalho.

3.2 ANÁLISE

Depois de coleta de dados, é feito um levantamento das possíveis causas do problema com ajuda do diagrama de Ishikawa. Essa etapa contou com o auxílio de membros da equipe de engenharia de tecnologia de cocção da empresa, incluindo especialistas de diferentes áreas. As causas são divididas em cinco galhos no diagrama de Ishikawa, conforme o modelo 4M1D. As categorias são as seguintes:

- Máquina;
- Método;
- Mão de Obra;
- Matéria Prima;
- *Design*.

Cada uma das categorias que apresentam possíveis causas e possibilidade de atuação são investigadas ou repassadas para os times responsáveis por tais características.

O modelo de trempe analisado nesse trabalho trata-se de um modelo utilizado em *cooktops* de tampo em aço inoxidável, de quatro queimadores e possuindo mecanismo de dobradiças fixadas na parte posterior do tampo para que as trempes possam ser levantadas ao redor do eixo de pivotamento, de maneira a facilitar a limpeza.

O método de DOE é utilizado como base para planejamento dos experimentos a serem realizados.

Os seguintes testes físicos foram realizados:

- Queda de Trempe ao redor do seu ponto de pivotamento: Em uma bancada de testes, é fixado o tampo de metal do modelo estudado. Ao tampo de metal, as dobradiças que fazem interface com a trempe são parafusadas. As trempes são encaixadas às dobradiças que ficam na parte posterior do produto, e levantadas, pivotando em torno do eixo das dobradiças, até ficarem perpendiculares ao tampo do *cooktop*. Então deixa-se que as trempes caiam no produto sob a ação apenas do próprio peso.

- Força máxima para quebrar: Esses testes são realizados com auxílio de máquina de ensaios universais no laboratório de materiais da empresa onde esse trabalho foi realizado. Os testes são realizados fixando as peças à superfície da máquina de ensaios, de forma que força de compressão seja exercida diretamente sobre o local desejado. A velocidade de ensaio utilizada foi de 25,2mm/min.

Para análise dos dados foi utilizado o *software* Google Planilhas. Todos os dados encontrados nos testes foram convertidos para o Sistema Internacional de Medidas.

- Simulações: Todas as simulações desse trabalho foram executadas pelo departamento de simulação da empresa onde o trabalho foi desenvolvido. As simulações foram realizadas com o *software* CREO, o critério de falha utilizado foi o método Rankine para matérias frágeis, e as propriedades utilizadas para o material estão descritas na Figura 4:

Figura 4 – Propriedade de materiais usada em simulação

Material	Densidade [kg/m³]	Módulo de Young [GPa]	Coeficiente de Poisson	Limite de Resistência à Tração [MPa]	Limite de Resistência à Compressão [MPa]
Ferro Fundido	7200	130	0,26	200	600

Fonte: Autoria própria.

O *software* de CAD utilizado para desenhos, modelos 3d, e algumas análises foi o CREO *Parametrics* 11.

3.3 **PLANO DE AÇÃO**

Depois de realizada a análise, um plano de ação para correção da falha é montado. Esse plano é dependente dos resultados obtidos nas etapas anteriores, e pode abranger mais do que uma causa do problema.

4 RESULTADOS

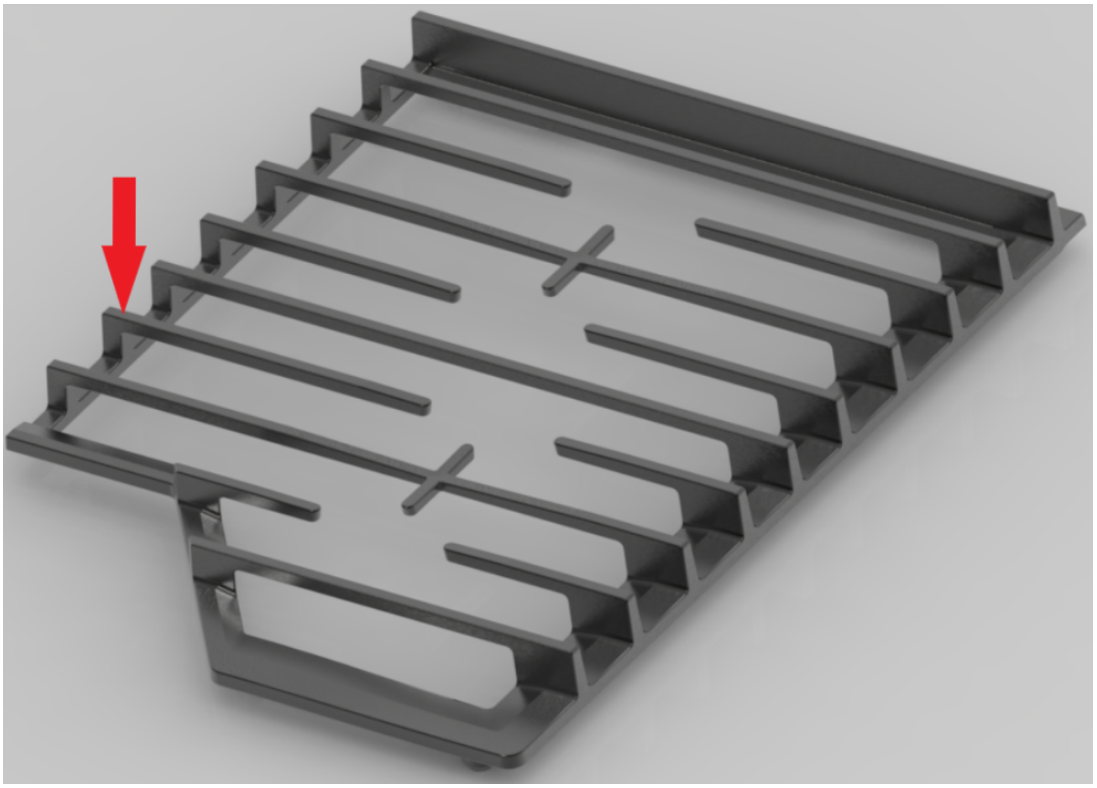
Nessa seção do trabalho são discutidas as ações tomadas para análise do problema, assim como resultados dos testes e simulações realizados.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E OBSERVAÇÃO

A primeira ação tomada para atacar o problema foi angariar maiores informações a seu respeito. Com base no método *5W + 1H*, foram feitas as seguintes perguntas: Qual é o problema; Onde foi achado; Quem achou; Quando foi achado; Por que isso é um problema; e o quão severo ele é. Para cada uma dessas perguntas, seguem as considerações feitas e as informações coletadas. Um sumário dessas informações é apresentado na figura 6.

1. Qual é o problema? Algumas trempes de um modelo do *cooktop* quebram frequentemente em uma seção específica, indicada na figura 5:

Figura 5 – Alvo do estudo de caso - Trempe

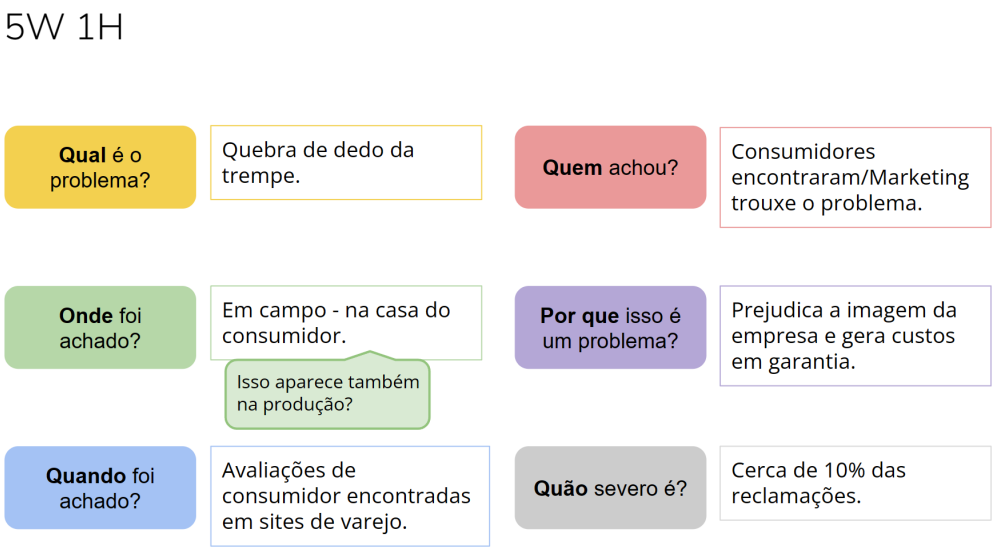


Fonte: Autoria própria.

2. Onde foi achado? A presença desse modo de falha foi documentada em campo, em casas de consumidores e em revendedores. Foi investigado se esse problema aparece também em produção, antes que essas peças sejam embaladas junto ao produto, mas não foi encontrado evidências suficientes para corroborar com essa possibilidade.

3. Quem achou? O problema foi notado por consumidores.
4. Quando foi achado? De acordo com avaliações deixadas por consumidores em sites de varejo, o modo de falha pode ser observado tanto em produtos novos, saindo da caixa, até em produtos com alguns meses de uso.
5. Por que isso é um problema? Produtos que apresentam essa falha exigem troca da peça afetada, o que gera custos para a empresa. Além disso, isso prejudica a imagem da empresa como fornecedora de produtos de qualidade.
6. O quão severo ele é? Cerca de 10% das avaliações negativas são devidos a essa falha.

Figura 6 – Sumário 5W1H - Quebra da trempe



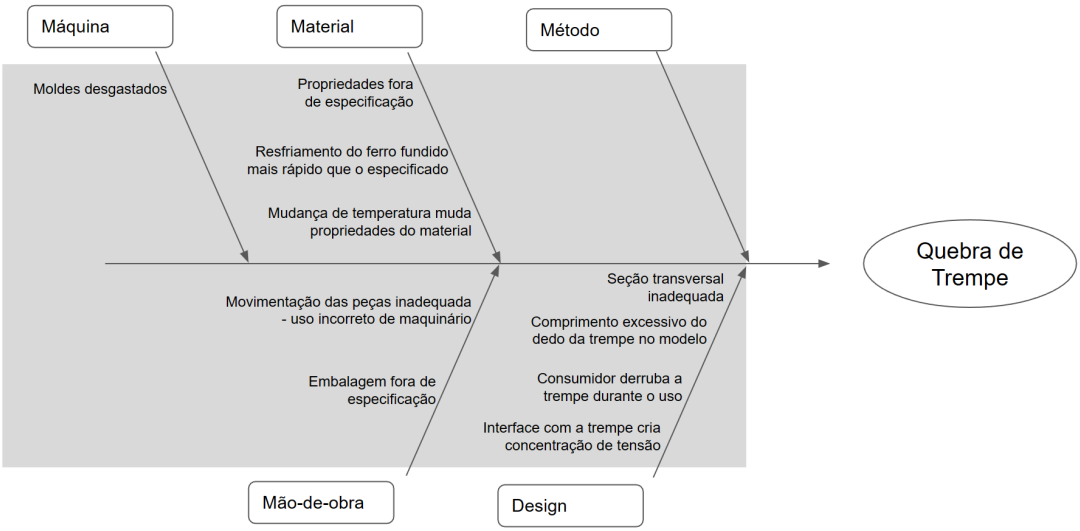
Fonte: Autoria própria.

4.2 ANÁLISE

Com informação angariada na etapa anterior e com contribuição de membros da equipe de desenvolvimento de produto, foram levantadas prováveis causas raízes, de acordo com o método de Ishikawa. O diagrama montado pode ser encontrado na Figura 7.

Método: A análise do método foi dificultada pelo fato do fornecedor da peça em ferro fundido não compartilhar com o time de engenharia de produto da empresa o funcionamento do seu processo. No entanto, foi levantada a hipótese de resfriamento mais rápido do que o que foi utilizado durante o processo de *PPAP* ((Processo de Aprovação da Peça de Produção ou *Production Part Approval Process* em inglês), visto que já houve histórico dessa ocorrência anos atrás e isso poderia estar acontecendo novamente. A checagem dessa hipótese é de

Figura 7 – Ishikawa para o estudo de quebra da trempe



Fonte: Autoria própria.

responsabilidade do time de qualidade de fornecedores, portanto ela não foi investigada neste trabalho;

Máquina: Foram levantadas algumas hipóteses quanto ao processo de fundição das peças, baseado no histórico do fornecedor e em análise visual de amostras. Novamente devido à falta de informação e impossibilidade de aferir o processo completo do fornecedor, não foi possível averiguar o estado do maquinário, mas baseado nas amostras recebidas havia a possibilidade dos moldes utilizados pelo fornecedor estarem desgastados, causando os erros de geometria observados nas amostras de produção.

Material: Quanto ao material, foram levantadas duas possíveis causas - a primeira relacionada às suas propriedades estarem diferentes daquelas que foram especificadas, e a segunda de que as próprias especificações não seriam suficientes para garantir robustez do material durante o uso.

Mão de Obra: Foi relatado pelos responsáveis pela esmaltação das peças que as embalagens contendo as grades de ferro fundido estavam chegando em más condições, com amassados e claramente não adequadas para o transporte. Isso pode ser devido a mau uso do maquinário por parte do operador,

Design: Tendo em vista que esse é o ponto que mais poderia ser abordado pelo time de engenharia, foram levantadas diversas hipóteses para elementos de *design* que possam estar contribuindo para a falha, como seção transversal muito esbelta, comprimento exagerado da parte da peça em que a falha ocorre, manejo diário pelo consumidor não previsto pelo time de projeto, interfaces entre diferentes partes do material podem estar causando concentração de tensão não previstas anteriormente.

A respeito de Método, Máquina, e Mão de Obra, as hipóteses levantadas foram passadas para os times de qualidade, manufatura e qualidade de fornecedores, e sua verificação ficou a cargo dos respectivos times, estando fora do escopo desse trabalho. O presente trabalho aborda

os passos tomados a respeito das hipóteses referentes a Material e *Design*. Isso foi feito com o auxílio de testes desenvolvidos para verificar as hipóteses levantadas, juntamente do uso de simulações estruturais e dinâmicas para auxiliar na tomada de decisões.

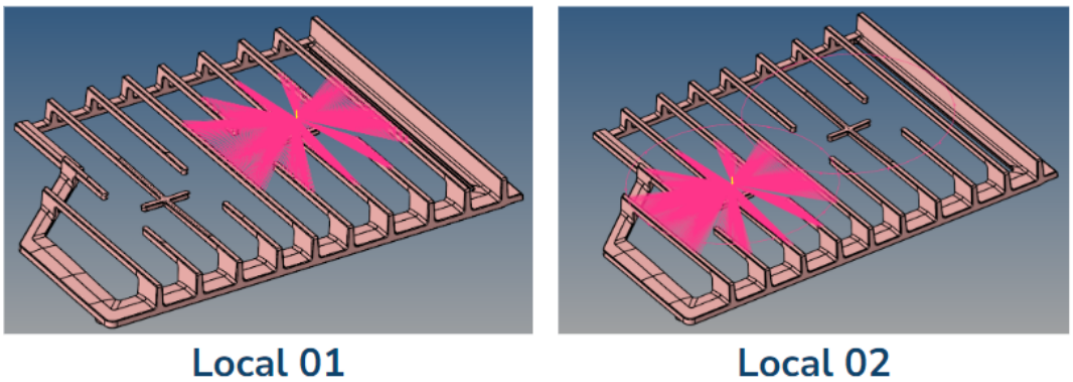
Junto ao time de engenharia, foram propostas diferentes situações que poderiam aparecer durante o manuseio das peças que tem a possibilidade de levar ela à falha: quedas da trempe a partir do sistema de pivotamento desse modelo, queda de utensílios como panelas, formas e outros objetos pequenos, utilização de panelas com peso ou dimensões acima do especificado, e diferentes modos de queda da peça, incluindo a queda pivotante. Dessas situações propostas, decidiu-se realizar fisicamente o teste de queda pivotante, por ser um teste onde as condições iniciais são mais fáceis de controlar do que os listados anteriormente. Também será realizado testes de força máxima para quebra, a fim de melhor caracterizar o problema.

Foram então requisitadas amostras de produção para poder realizar esses testes. Simultaneamente, foram requisitadas análises com auxílio de *software* de simulação para averiguar as outras situações que seriam muito custosas ou demoradas de realizar fisicamente, assim como os mesmos testes que seriam realizado fisicamente, a fim de correlacionar os resultados encontrados em simulação com os encontrados em laboratório.

Referente à simulação, foram propostos 4 casos distintos para caracterizar o problema, e simulados no modelo de produção. Para isso foram enviados para a equipe de simulação modelos 3D da peça, do *cooktop* em que ela é utilizada, e de utensílio padrão de cozinha (simulando uma panela ou frigideira, por exemplo). Também foram enviadas as especificações do material conforme descritas no desenho da peça. A seguir segue uma descrição dos casos simulados:

Caso 1: Aplicar força sobre a trempe, a fim de simular uma panela de massa equivalente a 6kgf e diâmetro de 9,6 polegadas. A força foi aplicada em dois locais, para representar o uso dos queimadores frontal e traseiro, conforme a figura 8.

Figura 8 – Localização de Aplicação de Força



Fonte: Autoria própria.

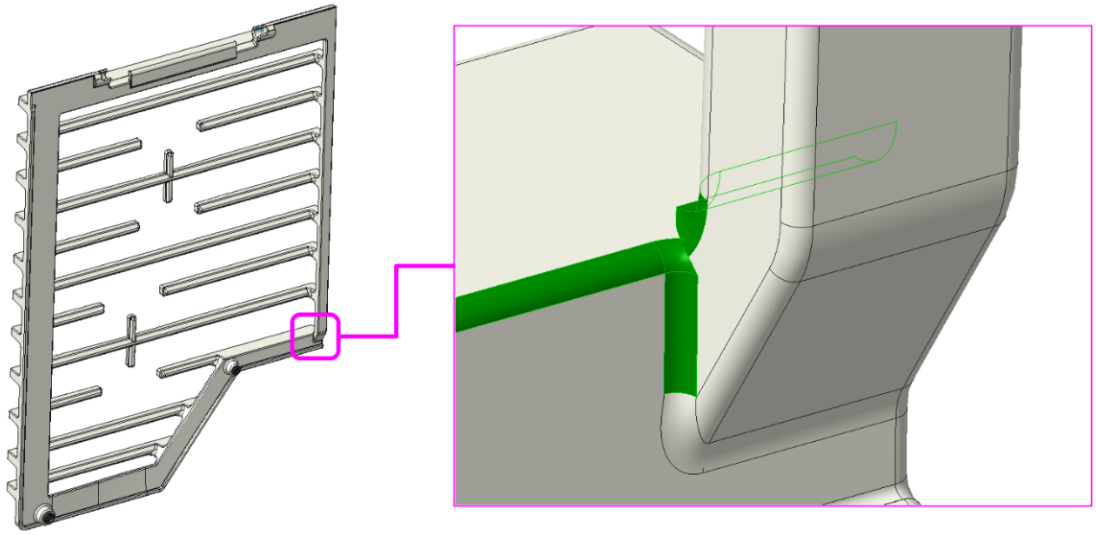
Para esse caso, nenhuma tensão acima do limite de falha foi detectada. De fato, as tensões se mantiveram em valores baixíssimos, e concentradas em lugares diferentes do lugar em que a falha estudada ocorre.

Caso 2: Deixar a trempe cair de diversas alturas para entender sua robustez. Foram simulados 3 modos de queda que poderiam ocorrer: Queda paralela ao chão, queda com impacto em quina, e queda pivotante.

Para as duas primeiras possibilidades, a altura de queda foi aumentada gradativamente até a falha ocorrer, o que aconteceu na queda de 700mm de altura. No entanto, ela ocorreu em um local diferente do que o encontrado em campo, e mesmo aumentando a altura de queda não foi possível replicar a falha analisada nesse trabalho.

Quanto à falha econtrada, foi notado uma falta de fluidez na transição entre diferentes partes da trempe, o que causava concentração de tensão no local devido aos cantos e geometria não otimizada, conforme pode ser observado na figura 9. Assim, a fim de evitar que esse modo de falha ocorra no futuro, foi proposto suavizar essa parte da geometria.

Figura 9 – Recomendação de melhoria de fluidez no *design*



Fonte: Autoria própria.

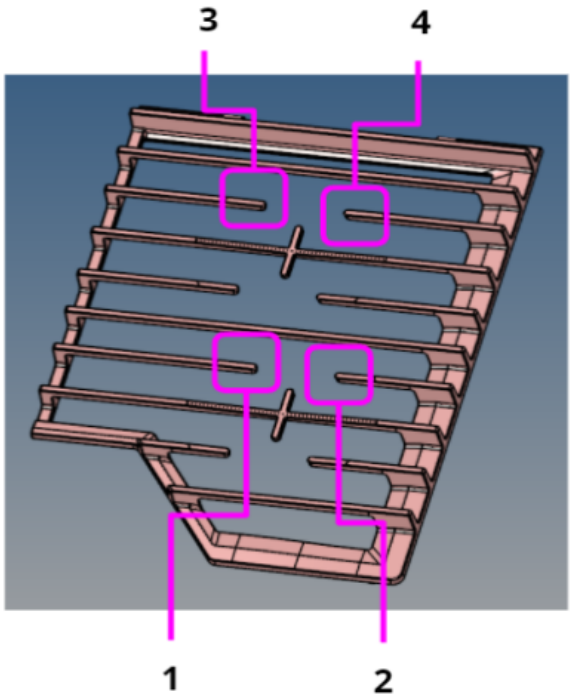
Similarmente, não foi possível reproduzir a falha ao analisar a queda ao redor do eixo de pivotamento da peça, e as tensões encontradas nesse caso foram também muito inferiores ao limite de falha do material.

Caso 3: Deixar uma panela de diâmetro de 9,6 polegadas e peso equivalente a 6kgf cair de uma altura específica, de duas maneiras distintas: paralela à trempe, e em ângulo, com o contato primeiramente na parte da peça que apresenta a falha.

Similar ao caso 1, nenhuma das maneiras de queda de panela gerou tensões suficientes para causar a falha. De fato, as tensões foram magnitudes mais de 10 vezes menores do que o necessário para a falha.

Caso 4: Aplicar força diretamente aos dedos da trempe, a fim de aferir a força necessária para ocasionar a quebra desse componente. Essa força foi aferida em diferentes sentidos e direções. Para conseguir correlação com os testes físicos, foi exercida força em direção perpendicular à superfície do *cooktop*, em quatro lugares distintos da trempe, como pode ser observado na Figura 10. As forças encontradas podem ser encontradas na Tabela 1.

Figura 10 – Caso 4: Força aplicada perpendicularmente para baixo



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 – Força para Quebra - Simulação - Modelo de Produção

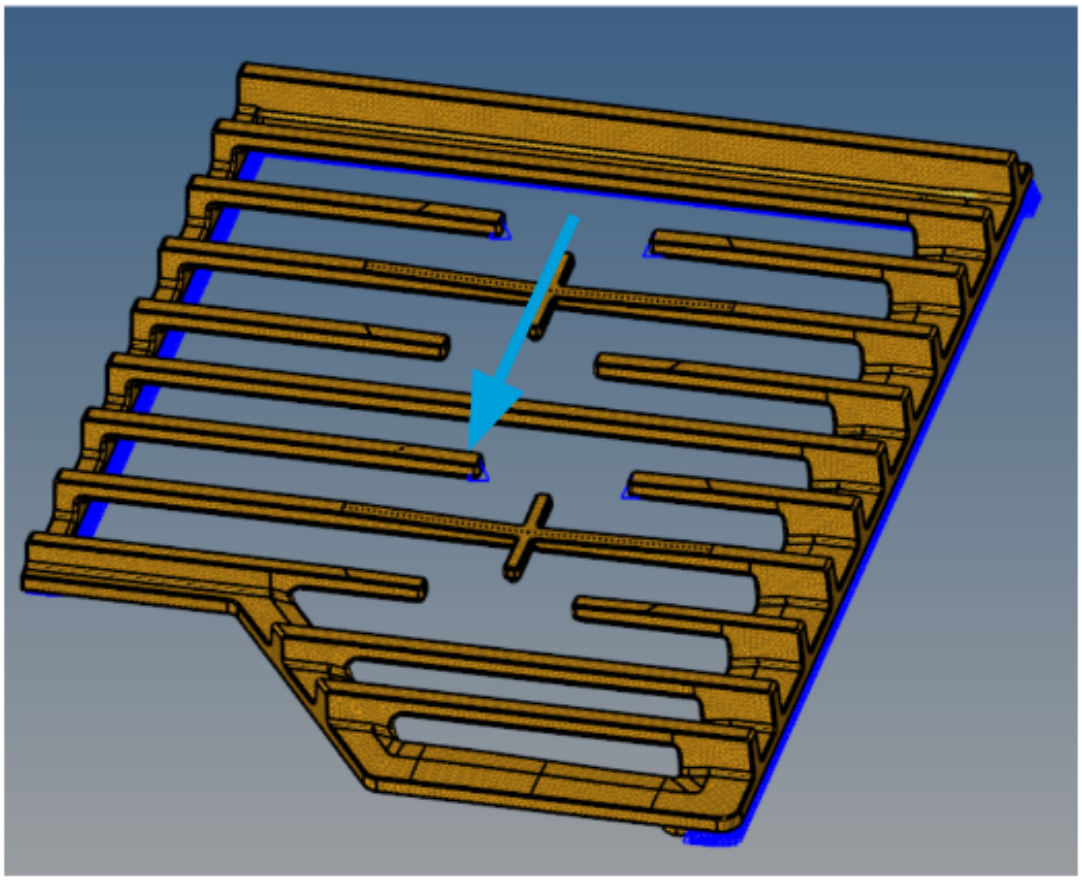
Local	Força para Falha (N)
1	487,705
2	1471,278
3	585,999
4	1024,524

Fonte: Autoria própria.

Também foi exercida força paralela à superfície do *cooktop*, a fim de simular um manuseio comum observado pelos consumidores, que é ”pinçar” a trempe ao levantá-la. Essa força foi exercida apenas no dedo mais comprido da trempe, onde ocorre a falha analisada, como pode ser visto na Figura 11. Para esse caso, a força necessária para quebra encontrada foi de 534N, força levemente mais alta do que o encontrado na situação anterior.

Trinta *kits* da trempe analisada (contendo o lado direito e esquerdo das grades) foram reservados para utilização em testes e análises. Essas amostras foram inspecionadas visualmente e catalogadas para testes subsequentes. Durante a inspeção visual foi constatado que muitas das amostras apresentava defeitos superficiais, como lascas, rebarbas e imperfeições.

Figura 11 – Caso 5: Força aplicada paralelamente à superfície



Fonte: Autoria própria.

A maioria desses defeitos eram pequenos e provavelmente não seriam notados pelos consumidores, mas duas apresentavam defeitos mais notáveis, como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Amostra de trempe coletada

Fonte: Autoria própria.

O teste de queda em pivotamento foi realizado em 24 das amostras requisitadas. A princípio, nenhuma das amostras deveria apresentar falha nesse teste, visto que é uma situação que pode ocorrer frequentemente durante o uso do produto e os resultados encontrados em simulação sugerem fortemente que isso não deveria ocorrer. A partir desse teste pode-se ver se há possibilidade significativa da quebra ocorrer dessa maneira nas amostras de produção.

Das peças testada, apenas uma apresentou quebra. Na peça onde a falha ocorreu, o local de quebra foi o mesmo local observado nas peças que apresentaram a falha em campo. Ao analisar a peça após a queda, pôde-se perceber que ela apresentava vazios e imperfeições superficiais e internas justamente na região em que a falha ocorreu.

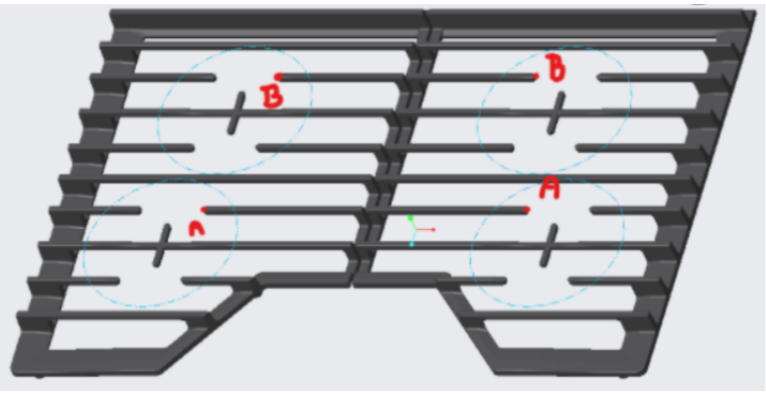
Outras 10 amostras dessas peças foram submetidas à testes de força necessária para quebra, conforme descrito na seção de métodos e materiais desse trabalho. Com as amostras em mão, as variações testadas foram as seguintes:

- Comprimento do dedo da trempe: Foram testados dois tamanhos diferentes para a seção analisada: o dedo da parte frontal da peça e o dedo da parte posterior.
- Lado da trempe: Como as peças são produzidas em dois formatos diferentes de moldes, foram testados ambos os lados de um *kit* de trempe;
- Outra variação cogitada foi variação no ângulo em que a força é exercida, mas devido ao número reduzido de amostras, outras direções de aplicação de força foram analisadas apenas por via de simulação.

A seguir pode-se observar a árvore de dados na Figura 13 e a tabela de resultados na tabela 2. A Figura 14 é um gráfico contendo os resultados apenas referentes ao dedo mais comprido da trempe.

Figura 13 – Árvore de amostras

Kit	1				2				3				4				5			
Lado	Esq.		Dir.		Esq.		Dir.		Esq.		Dir.		Esq.		Dir.		Esq.		Dir.	
Dedo	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Medição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Força para Quebra																				



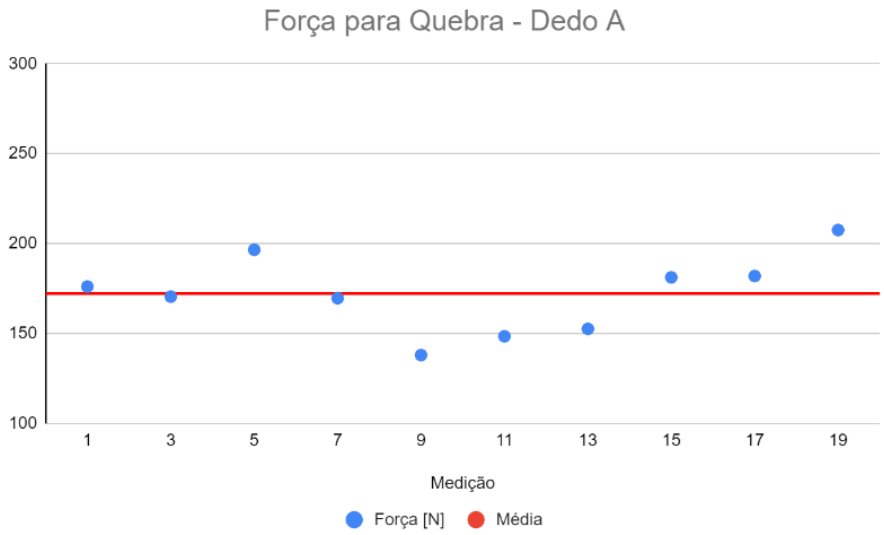
Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Resultados de teste - Força Máxima para Quebra *Kit* de Trempes - 4 bocas

Kit	Lado	Dedo	Execução	Força para quebrar [N]
1	A	A	1	176,02
2	A	A	5	196,49
3	A	A	9	137,91
4	A	A	13	152,48
5	A	A	17	181,88
1	B	A	3	170,44
2	B	A	7	169,56
3	B	A	11	148,35
4	B	A	15	181,15
5	B	A	19	207,48
1	A	B	2	229,01
2	A	B	6	261,95
3	A	B	10	188,70
4	A	B	14	171,68
5	A	B	18	240,25
1	B	B	4	227,73
2	B	B	8	218,93
3	B	B	12	190,45
4	B	B	16	229,19
5	B	B	20	277,02

Fonte: Autoria própria.

Figura 14 – Força para quebra - Quatro Queimadores



Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar que a força média necessária para ocasionar a falha é muito menor do que a força indicada pela simulação - 193,63N contra os 487,70N encontrados na simulação, apresentando uma diferença de 60%. Essa força poderia ser alcançada por exemplo com uma panela sendo derrubada, a queda da própria trempe, ou caso a trempe fosse levantada com movimentos bruscos.

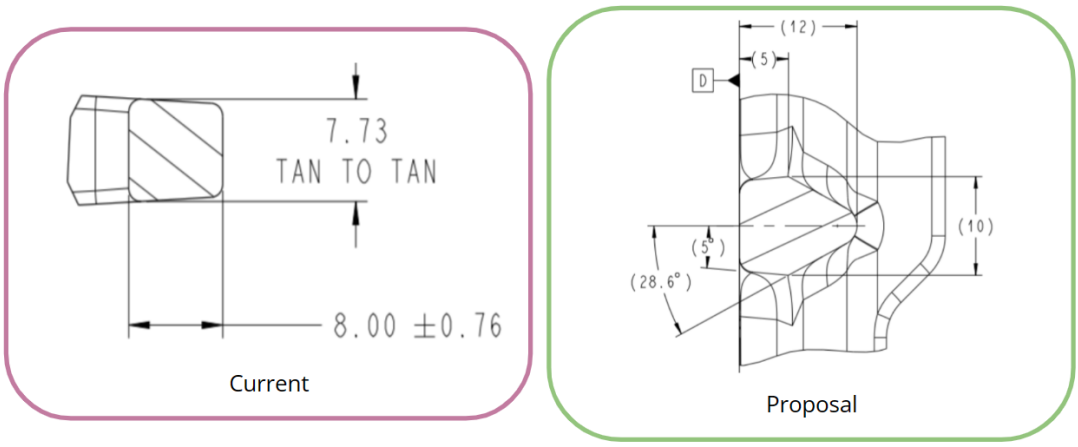
Analisando também as fontes de variação, observou-se que o lado da trempe (e portanto o molde) não exerce influência significativa na magnitude da força necessária para quebra, ao contrário do comprimento da peça, onde a correlação entre fator e resultado fica muito clara.

Visto que o comprimento do dedo da trempe mostrou grande influência na força necessária para quebra do componente, assim como o fato de que, de um ponto de vista de manufatura, é interessante evitar seções esbeltas em peças de ferro fundido como essa por questões de qualidade, foi cogitado diminuir o comprimento dessa parte da peça. No entanto, devido à restrições do *design* previamente estabelecidas e questões de segurança, principalmente no que toca estabilidade de panelas sobre a trempe, não foi possível diminuir o comprimento desse pedaço da peça.

Assim, com a impossibilidade de mudança no comprimento da seção, foi proposto mudar o formato dela nessa parte da peça. O formato da seção impacta o momento de inércia dela, o que afeta as tensões presentes na peça. Em geral, uma seção maior aumentaria o momento de inércia da seção, aumentando a força necessária para quebra. No entanto, um aumento de seção implica num aumento de massa, o que tornaria a peça ainda mais pesada, dificultando o manuseio pelo consumidor. Assim, esse aumento deve ser feito de maneira comedida para evitar esses problemas. Além disso, foi optado por mudar o formato da seção transversal, de modo a aumentar o momento de inércia da seção por causa de sua geometria, e não apenas seu tamanho. O formato escolhido para essa proposta é de um pentágono invertido. Isso é devido à necessidade de haver uma superfície reta na parte superior da peça, para que as panelas e demais utensílios de cozinha possam ser apoiados nas trempes de maneira firme, além de manter a aparência do produto quando visto por cima, requisito esse apresentado pelo time de *marketing*.

Com essas considerações, foi proposta a seguinte mudança de seção transversal, conforme pode ser visto na Figura 15. Os dados de área e momento de inércia constam na Tabela 3.

Figura 15 – Seção transversal - comparação



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Dados de Seção transversal

	Área [mm^2]	Momento de Inércia [mm^4]
Seção transversal antiga	5,85$\times$10	3,04$\times10^2$
Seção transversal proposta	7,06$\times$10	5,68$\times10^2$

Fonte: Autoria própria.

Assim, aproximando o dedo da trempe para uma viga engastada, há um aumento de 61% da força necessária para quebra, mantendo o mesmo comprimento do componente, decorrente do aumento do momento de inércia da seção.

Antes de requisitar amostras com essa nova seção, utilizou-se do auxílio da simulação para comparar a performance das duas seções diferentes. Os mesmos casos analisados para a peça de produção atual foram repetidos agora com a nova proposta de seção transversal.

Para os casos onde não foi encontrada falha no modelo atual, a proposta similarmente não apresentou chances de falha, além de diminuir as magnitudes das tensões sofridas pelo componente.

Para os testes de força para quebra, a tabela 4 mostra o resultado para força aplicada perpendicular à superfície do *cooktop*.

Tabela 4 – Força para Quebra - Simulação - Proposta com Nova Seção Transversal

Local	Força para Falha [N]
1	737,57
2	2630,98
3	1053,01
4	1725,24

Fonte: Autoria própria.

Assim, os resultados da simulação mostram uma melhora de 51% em relação ao modelo base. No entanto era necessário entender: (1) se esse aumento seria o suficiente para evitar que a falha continuasse ocorrendo; e (2) se a porcentagem de aumento sugerida pela simulação seria também achada nas peças físicas - visto que houve grande diferença entre as simulações e os testes com amostras.

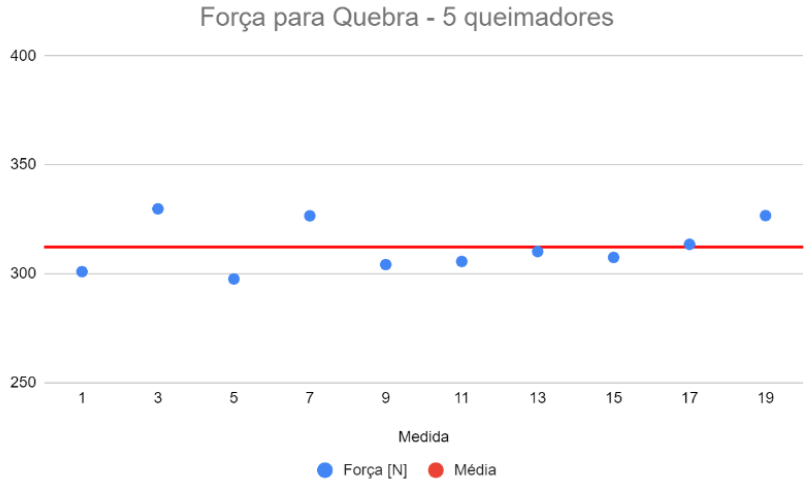
Para estipular um valor como alvo, foram analisadas todas as trempes pivotantes do mesmo grupo de produtos, e escolhida aquela que era similar geometricamente mas que não apresentava tantos casos de falha em campo quanto a trempe estudada nesse trabalho. Foi requisitado então que amostras dessa peça fossem submetidas ao teste de força para quebra, para que pudesse ser feita comparação entre os dois modelos. Visto que a trempe escolhida não apresenta índices elevados de falha em campo, o valor médio encontrado para essa força poderia ser então utilizado como base para determinar uma ”força aceitável” de quebra, visto que a peça era produzida com o mesmo material, pelo mesmo fornecedor, provavelmente usando os mesmos métodos para ambos os modelos. Os dados conseguidos nesse testes podem ser encontrados a seguir na Tabela 5. Na figura 16 são analisados apenas os dados referentes ao dedo mais comprido da trempe (de ambos os lados).

Tabela 5 – Resultados teste de Força - Kit de Trempes - 5 bocas

Kit	Lado	Dedo	Medição	Força para Quebra [N]
1	Direito	A	1	300,93
1	Direito	B	2	357,68
1	Esquerdo	A	3	329,77
1	Esquerdo	B	4	313,16
2	Direito	A	5	297,56
2	Direito	B	6	333,68
2	Esquerdo	A	7	326,56
2	Esquerdo	B	8	316,92
3	Direito	A	9	304,17
3	Direito	B	10	315,95
3	Esquerdo	A	11	305,6
3	Esquerdo	B	12	319,52
4	Direito	A	13	310,16
4	Direito	B	14	355,36
4	Esquerdo	A	15	307,46
4	Esquerdo	B	16	302,33
5	Direito	A	17	313,46
5	Direito	B	18	317,61
5	Esquerdo	A	19	326,65
5	Esquerdo	B	20	322,26

Fonte: Autoria própria.

Figura 16 – Força para quebra - Cinco Queimadores



Fonte: Autoria própria.

Analisando esses resultados, a melhora causada por mudança de seção transversal indicada na simulação chegaria perto de alcançar o valor estipulado como meta. No entanto, como discutido anteriormente, seria necessário realizar esses testes também fisicamente, a fim de validar os resultados encontrados na simulação.

Assim, foram requisitadas amostras com a seção transversal atualizada, e os mesmos testes de quebra de trempe foram realizados novamente seguindo o mesmo método dos testes anteriores. Seus resultados podem ser encontrados na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de Testes - Nova Seção Transversal

Kit #	Lado	Dedo	Medição	Força para Quebra [N]
3	Esquerda	A	9	256.81
3	Direita	A	11	310.69
4	Esquerda	A	13	287.70
4	Direita	A	15	308.05
3	Esquerda	B	10	399.75
3	Direita	B	12	413.08
4	Esquerda	B	14	404.74
4	Direita	B	16	419.98
5	Esquerda	A	17	278.21
5	Direita	A	19	284.27
6	Esquerda	A	21	321.64
6	Direita	A	23	277.40
5	Esquerda	B	18	450.12
5	Direita	B	20	396.04
6	Esquerda	B	22	387.55
6	Direita	B	24	394.54

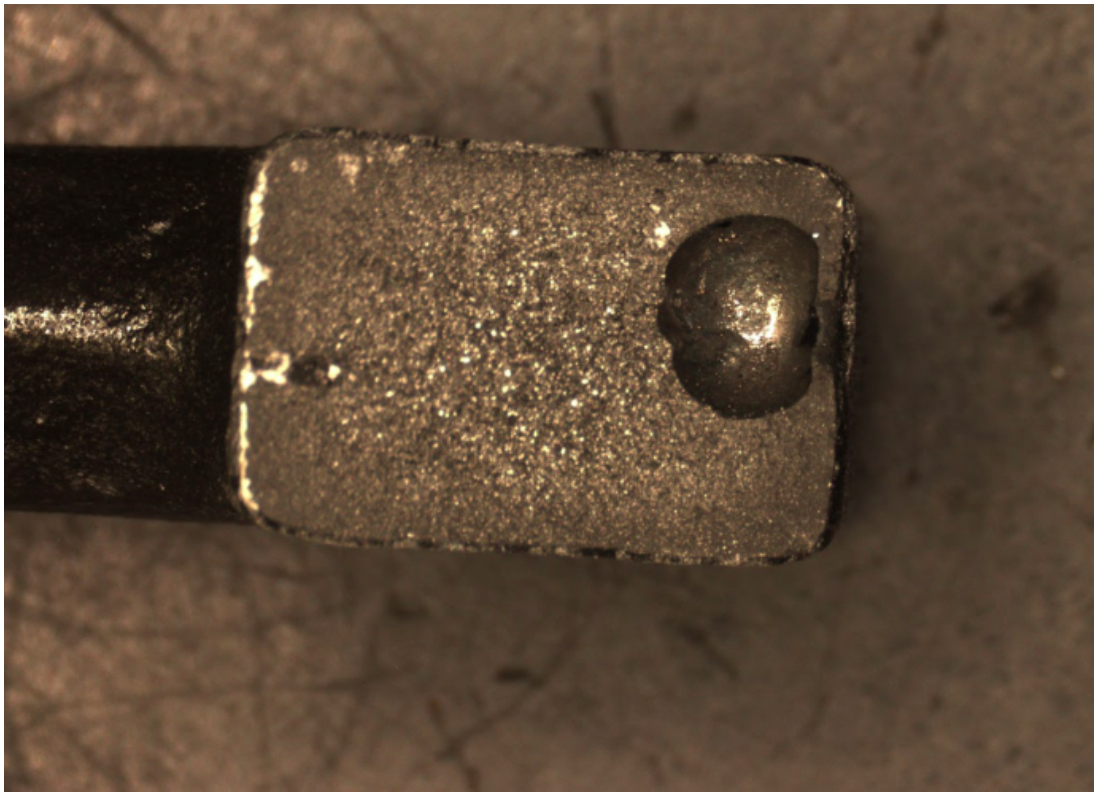
Fonte: Autoria própria.

Pode-se perceber que uma das amostras apresentou resultado muito abaixo do esperado. Após o teste de quebra, as trempes quebradas foram analisadas visualmente e foi possível notar que na amostra que apresentou força de quebra muito menor do que a média, também estavam presentes grandes vazios e bolhas, conforme a figura 17, que certamente contribuiram para a falha em uma magnitude menores que o esperado.

Esse problema de qualidade com a fundição foi repassada para a equipe de qualidade de fornecedores para que esses pontos possam ser resolvidos diratamente com o fornecedor, a fim de evitar defeitos semelhantes em peças de produção. No entanto, mesmo levando em consideração a amostra com performance inferior ao resto, a média da força necessária para quebra se mostrou 70% melhor do que as amostras de produção das trempes do modelo analisado, e muito próxima do valor estipulado como objetivo a ser alcançado.

Assim, o *design* na peça foi ajustado para a geometria proposta. A fim de confirmar de forma definitiva que a mudança realizada diminui as ocorrências de falha em campo, seria necessário um estudo de longa duração após a produção do novo *design* entrar em vigor. No que toca as falhas encontradas referentes à qualidade do processo do fornecedor, é necessária um acompanhamento contínuo a fim de evitar que essas imperfeições venham a aparecer novamente, sendo elas um grande contribuinte para as falhas encontradas em campo.

Figura 17 – Amostra da Medição 9 após a Quebra



Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

O trabalho realizado teve como objetivo de analisar a falha encontrada em campo, encontrar suas causas e propor soluções que pudessem ser aplicadas para evitar a sua futura ocorrência. Pelos métodos aplicados durante essa análise, foi descoberto que vários fatores estavam contribuindo para a falha analisada, como qualidade de armazenagem das peças, defeitos oriundos do processo de produção, assim como elementos do projeto do produto. Para esse trabalho, os fatores alheios ao *design* foram considerados fora do escopo e repassados para outras equipes dentro da empresa.

Foi essencial para desenvolvimento desse trabalho o acesso à tecnologias de simulação, a fim de agilizar as análises e averiguar mais situações do que seria possível de maneira física, de modo a diminuir de maneira significativa o custo total do projeto. Também foi de extrema importância o apoio oferecido pelo time de engenharia da empresa.

Usando o método *5W1H* e 4M1D, com o auxílio de times multifuncionais, foi possível ter uma visão holística da falha, o que resultou em diversas ações para evitar que ele ocorra no futuro. Do ponto de vista do projeto da peça, a análise feita com o auxílio de simulação e testes físicos deixou claro que a solução proposta apresentará significativa melhora nas taxas de falha encontradas em campo, no entanto por restrições de *design*, tempo, e orçamento, não foi possível fazer uma análise completa DOE, com variação de diversos fatores e de maneira física.

Esse tipo de análise seria útil principalmente para projetos futuros, e seria interessante que ela fosse feita para incorporá-la aos guias de *design* da empresa, como por exemplo delimitando tamanhos mínimos e máximos para seções transversais, comprimentos máximos dos dedos da trempe, e também explorar outros tipos de material e como diferentes tipos de interface entre a trempe e o *cooktop* podem influenciar nas taxas de falha do componente.

No entanto, para os objetivos estabelecidos no começo do trabalho, e visando evitar a falha nesse componente em específico, as análises feitas e solução proposta se mostraram o suficiente para diminuir as taxas de falha em campo, aumentando em 70% a magnitude da força necessária para a quebra do componente, ficando muito próximo da performance das trempes de outro modelo da mesma linha de *cooktops*, modelo esse que não apresenta as mesmas taxas de falha em campo do que o modelo estudado nesse trabalho.

Como sugestão de continuidade do trabalho, além da análise mais profunda sugerida nos parágrafos acima, seria interessante validar essas mudanças em peças de produção, em contraste às amostras pontuais mandadas pelo fornecedor. Também é necessário manter contato com o time de qualidade de fornecedores para garantir que os defeitos encontrados em algumas amostras durante os testes não se repitam nas amostras de produção, nem em outros modelos produzidos pelo mesmo produtor.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ISO 9000**. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

CARPINETTI, L. C.; GEROLAMO, M. C. R. **Gestão da Qualidade ISO 9001: 2015**. Grupo GEN, 2016. (Acesso em 22/11/2021). ISBN 9788597007046. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597007046.

COOKTOP Definition & Meaning - Merriam-Webster. Dicionário Merriam-Webster. Disponível em: https://www.merriam-webster.com/dictionary/cooktop. Acesso em: 25-10-2021.

DIAMANDESCU, A. Non-quality costs and their consequences in the organization. **Challenges of the Knowledge Society. Business Administration and Marketing**, p. P959, 2012.

HOLST, A. **Home & household appliances - statistics & facts | Statista**. 2021. (Acesso em 20/10/2021). Disponível em: https://www.statista.com/topics/1068/home-appliances/#dossierKeyfigures.

HOLST, A. **Major appliances ownership by country 2023 | Statista**. 2021. https://www.statista.com/statistics/1117972/major-appliances-ownership-selected-countries/#statisticContainer. (Acesso em 20/10/2021).

LILIANA, L. A new model of ishikawa diagram for quality assessment. *In*: IOP PUBLISHING. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. [*S.l.*], 2016. v. 161, n. 1, p. 012099.

LOBO, R. N. **GESTÃO DA QUALIDADE**. [*S.l.*]: Editora Saraiva, 2019.

LOWE'S. s.d. https://www.lowes.com/. (Acesso em 25/10/2021).

MAYTAG. **Choosing Different Types of Stovetops and Cooktops**. s.d. https://www.maytag.com/blog/kitchen/how-to-choose-different-types-of-cooktops.html. (Acesso em 25/10/2021).

MONTGOMERY, D. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Grupo GEN, 2016. ISBN 9788521631873. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=AlwMEAAAQBAJ.

QUEIROZ, A. B. de; OLIVEIRA, L. B. de. A ferramenta kaizen na solução de problemas em uma indústria automobilística. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 3, n. 2, 2018.

TOLEDO, J. C. d. *et al.* **Qualidade - Gestão e Métodos**. [*S.l.*]: Cengage Learning, 2020. ISBN 9786555581997.

WHIRLPOOL GS773LXSS0 USER MANUAL. [*S.l.*], 2006. Disponível em: https://www.coastparts.com/lookup/74530/439191.