

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS, ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

CAROLINE KAMIMURA KIKUGAVA
ISABELA DE PAULA SOBREIRA

APLICAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA ANÁLISE DE
PARÂMETROS EM UMA LINHA DE PERFUMES EM UMA EMPRESA DE
COSMÉTICOS

ITUIUTABA
2022

CAROLINE KAMIMURA KIKUGAVA
ISABELA DE PAULA SOBREIRA

APLICAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA ANÁLISE DE
PARÂMETROS EM UMA LINHA DE PERFUMES EM UMA EMPRESA DE
COSMÉTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção, da Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social (FACES) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Ricardo Batista Penteado

APLICAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA ANÁLISE DE
PARÂMETROS EM UMA LINHA DE PERFUMES EM UMA EMPRESA DE
COSMÉTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção, da Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social (FACES) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção avaliado pela banca examinadora formada por:

Ituiutaba, 24 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora:

Ricardo Batista Penteado (Orientador),
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Luís Fernando Magnanini de Almeida,
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Fernando Costa Malheiros,
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

*Dedicamos este trabalho aos nossos pais, mães e irmãs,
por sempre nos apoiarem em alcançar nossos objetivos.*

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais nós agradecemos:

Ao professor orientador, que durante meses nos acompanhou pontualmente dando todo auxílio necessário para a elaboração do projeto.

Ao coordenador e professores do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Uberlândia que através dos seus ensinamentos permitiram que nós pudéssemos hoje concluir esse trabalho com louvor.

A todos que participaram das pesquisas, em especial a gestora Karina, pela colaboração e disposição no processo de obtenção de dados.

Aos nossos pais que nos incentivaram a cada momento e não permitiram que desistíssemos de nossos objetivos durante o período acadêmico.

Aos nossos amigos e pessoas próximas pela compreensão das ausências e pelo afastamento temporário.

“O impossível é apenas o começo de todas as possibilidades.”

Luiz Seabra

RESUMO

Em uma empresa de cosméticos, os apontamentos realizados pelos clientes de defeitos em decorrência de vazamento do produto geraram a necessidade de uma investigação para melhoria do processo. Para encontrar a causa-raiz e definir um plano de ação, foram aplicados: o Diagrama de Ishikawa e o 5W2H. Além disso, o estudo tem como centro a aplicação da técnica do Planejamento de Experimentos para análise e proposta de melhoria de parâmetros nessa linha de perfumes. Foram utilizados três parâmetros de fechamento: velocidade de rosqueamento, torque de aplicação e velocidade da linha em comparação com a variável de saída: torque de remoção, usado como indicador de bom fechamento do frasco. Assim, é apresentada a equação de regressão que demonstra matematicamente a relação das variáveis de entrada e saída, além das análises estatísticas em relação aos efeitos principais e as iterações entre as variáveis e depois é aplicada a função de Otimização com o intuito de obter os melhores valores para os parâmetros de acordo com o valor de saída desejado. Com a análise é possível confirmar que houve relevância dos parâmetros escolhidos com a variável de saída, com o valor de R^2_{aj} em 77%. Ao final, a otimização sugerida a partir desses dados, utilizando o tipo “Nominal é Melhor”, demonstra quais os valores devem ser colocados em máquina para obter um melhor resultado com o valor do torque de remoção em 3lbpol, de acordo com esses dados analisados.

Palavras-chave: Planejamento de Experimentos; Otimização; Cosméticos; Gestão da Qualidade; Ferramentas da Qualidade.

ABSTRACT

In a cosmetics company, the complaints made by customers of defects due to product leakage generated the need for an investigation to improve the process. To find the root cause and define an action plan, the Ishikawa Diagram and 5W2H were applied. In addition, the study focuses on the application of the Design of Experiments technique for analysis and proposal of improvement of parameters in this line of perfumes. Three closure parameters were used: threading speed, application torque and line speed in comparison with the output variable: removal torque, used as an indicator of good bottle closure. Thus, the regression equation is presented that mathematically demonstrates the relationship of the input and output variables, in addition to the statistical analyzes in relation to the main effects and the iterations between the variables and then the Optimization function is applied to obtain the best values for the parameters according to the desired output value. With the analysis it is possible to confirm that there was relevance of the parameters chosen with the output variable, with the value of R^2_{aj} at 77%. In the end, the suggested optimization from these data, using the “Nominal is Better” type, demonstrates which values should be placed in the machine to obtain a better result with the value of the removal torque in 3lbpol, according to these analyzed data.

Keywords: Design of Experiments; Optimization; Cosmetics; Quality management; Quality tools.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de Estrutura do Diagrama de Ishikawa.....	21
Figura 2: Mapa de Fluxo dos Procedimentos Metodológicos.....	31
Figura 3: Gráfico Principais Manifestações Miniatura H.....	34
Figura 4: Diagrama de Ishikawa Vazamento da Miniatura H.....	36
Figura 5: Demonstração Visual do Torque de Aplicação e Remoção.....	38
Figura 6: Mapa do processo de envase da Miniatura H.....	39
Figura 7: Mapa do processo de rosqueamento da Miniatura H.....	39
Figura 8: Gráfico de Pareto dos Efeitos Padronizados.....	44
Figura 9: Gráfico Normal dos Efeitos Padronizados.....	45
Figura 10: Gráfico de Efeitos Principais para o Torque de Remoção.....	46
Figura 11: Gráfico de Interação para o Torque de Remoção.....	47
Figura 12: Gráfico de Otimização dos Parâmetros.....	49
Figura 13: Escalas para decodificação de variáveis.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das Etapas do Método 5W2H.....	22
Tabela 2: Resultado da ANOVA para avaliar efeitos dos fatores.....	25
Tabela 3: Resumo das classificações da pesquisa.....	28
Tabela 4: Aplicação dos 6m's com os colaboradores.....	35
Tabela 5: Fluxograma do 5W2H para análise de vazamento da Miniatura H.....	36
Tabela 6: Parâmetros de controle na linha de envase.....	37
Tabela 7: Faixa de Valores dos Parâmetros.....	40
Tabela 8: Arranjo Experimental para aplicação do Planejamento de Experimentos no processo de envase da Miniatura H.....	41
Tabela 9: Resultados obtidos com a aplicação do Planejamento de Experimentos na Miniatura H.....	42
Tabela 10: Descrição das Variáveis de entrada.....	42
Tabela 11: Análise de Experimento Fatorial – Sumário do Modelo.....	42
Tabela 12: Resultado da Análise de Variância.....	43
Tabela 13: Otimização de Variáveis a partir da aplicação da função <i>Desirability</i>	49
Tabela 14: Variáveis Decodificadas.....	51

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

ABIPPEC — Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos

HPPC — Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos

Comb. — Combinação

V_d — Variável decodificada

V_c — Variável codificada

Δ — Diferença entre o valor maior e o valor menor de parametrização

P_{med} — Valor intermediário entre os valores máximo e mínimo de cada parâmetro real

P_{max} — Valor máximo utilizado neste parâmetro

P_{min} — Valor mínimo utilizado neste parâmetro

USP — Universidade de São Paulo

SAC — Serviço de Atendimento ao Consumidor

5W2H — Ferramenta para elaboração de plano de ação

DoE — *Design of Experiments*

FFD — *Full Factorial Design*

6m's — Materiais, métodos, mão-de-obra, máquinas, meio ambiente e medidas

TQT — *Total Quality Control*

TQM — *Total Quality Management*

n^k — Número de níveis elevado ao número de variáveis

ANOVA — Análise de Variância

rpm — Rotações por minuto

pç/min — Peças por minuto

lbxpol — Libras por polegadas

TR — Torque de Remoção

Comb. — Combinação

$R^2_{(aj)}$ — Porcentagem de variação na resposta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Contextualização.....	13
1.2. Objetivos de pesquisa	15
1.2.1. Objetivo geral	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificativa	16
1.4. Delimitação do trabalho.....	17
1.5. Estrutura do trabalho	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. Gestão da Qualidade	19
2.2. Diagrama de Ishikawa	20
2.3. 5W2H.....	22
2.4. Planejamento de Experimentos – DoE	23
2.4.1. Análise de variância – ANOVA	25
3. METODOLOGIA	27
3.1. Caracterização da pesquisa	27
3.2. Técnicas de coleta de dados	28
3.3. Técnicas de análise de dados	29
3.4. Procedimentos metodológicos.....	30
4. RESULTADOS.....	32
4.1. Caracterização da empresa	32
4.2. Realidade empresarial.....	33
4.3. Elaboração do Plano de Ação	34
4.4. Aplicação do Planejamento de Experimentos.....	40
4.5. Otimização.....	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1. Conclusões do trabalho	52
5.2. Limitações do estudo	52
5.3. Trabalhos futuros	53
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Uma das áreas da Engenharia de Produção é a Qualidade, não é possível apontar uma definição única para o termo qualidade, mas segundo Feigenbaum (1994), um dos pioneiros na área, “Qualidade é um conjunto de características do produto ou serviço em uso as quais satisfazem as expectativas dos clientes”. Entre os tópicos que a Qualidade engloba, a melhoria de processos é muito valorizada por ser um dos principais focos das organizações, uma vez que é essencial para a melhoria de resultados e redução de custos da operação, sendo uma necessidade presente na rotina de todas as organizações. Dessa forma, é preciso que ocorram melhorias de forma contínua, para que as organizações sobrevivam e evoluam em um mercado de intensiva concorrência (MESQUITA; ALLIPRANDINI, 2003; DELBRIDGE; BARTON, 2002).

A melhoria de processos engloba não somente o produto, mas também as pessoas que participam de sua produção, desse modo um ponto que deve ser mencionado é a importância de incorporar nas discussões de melhoria de processos os colaboradores que participam ativamente da operação. Usualmente são esses indivíduos que trazem os principais pontos de oportunidade de melhoria. Para que haja o comprometimento e a ação coordenada de todos os indivíduos das organizações frente aos programas de melhoria é necessário o desenvolvimento de uma cultura que valorize a aprendizagem (MURRAY; CHAPMAN, 2003).

A principal motivação para este estudo foi o alto índice de reclamações nessa categoria de produto feitas no SAC (Serviço de Atendimento ao Consumidor) em um curto período de tempo, que apontou, em grande parte, reclamações para defeitos de processo, confirmando a necessidade de trabalhar em melhorias para essa plataforma. Neste contexto a pesquisa foi focada em aplicar conceitos e metodologias de qualidade alinhado as acepções do Planejamento de Experimentos, a fim de analisar parâmetros de envase da linha da miniatura específica estudada e verificar se estes parâmetros estão configurados de forma a garantir a qualidade do produto final.

Para a realização do trabalho, foram utilizadas ferramentas da qualidade que auxiliaram a esclarecer qual era a causa raiz para que o produto apresentasse não conformidade com o esperado. Com esse contexto, foram selecionadas para aplicação as seguintes ferramentas: Diagrama de Ishikawa e 5W2H. Neste momento, foi feita a averiguação sobre qual eram os

pontos chave que culminava no vazamento nos frascos e, desta forma, chegar nas verdadeiras causas raiz.

Foi primordial a busca por uma forma de melhoria de processo, com bom embasamento técnico, sem necessidade de alto investimento e com resultados rápidos, por ser um produto considerado novo no catálogo e que acabava de entrar em seu período de alta demanda. Em conformidade a isso, a aplicação do Planejamento de Experimentos ou *Design of Experiments* (DoE) foi escolhido como técnica por cumprir esses requisitos. Os benefícios do projeto de experimentos incluem a possibilidade da melhoria do desempenho no processo, evitando o método de tentativa e erro para a busca de soluções (KLEIJNEN et al., 2005).

O *Design of Experiments* (DoE), é usado para definir quais dados serão usados, suas variáveis e quantidades a coletar visando obter precisão estatística e baixo custo, ou seja, otimizar os processos. Os experimentos planejados são o escopo deste trabalho, sendo definidos como “um experimento é um procedimento no qual alterações propositas são feitas nas variáveis de entrada de um processo ou sistema, de modo que se possa avaliar as possíveis alterações sofridas pela variável resposta, como também as razões destas alterações” (WERKEMA; AGUIAR, 1996, p. 15).

Existem alguns tipos de Planejamentos de Experimentos, que se diferenciam conforme o tipo de processo a ser estudado. De acordo com Jankovic et al. (2021), um experimento fatorial cujo design consiste em todas as combinações possíveis dos fatores e níveis escolhidos é chamado de Planejamento Fatorial Completo ou *Full Factorial Design* (FFD). Por possuir apenas 3 (três) fatores e 2 (dois) níveis o Planejamento Fatorial Completo é o melhor indicado para esse estudo.

Neste ponto, para que fosse aplicado o Planejamento de Experimentos foram determinados os parâmetros utilizados no processo da miniatura H que mais possuíam necessidade de ajuste, a análise deles foi agregada a uma variável de saída compatível com a causa raiz. Segundo Alves (2019) no Planejamento de Experimentos todas as variáveis controladas são modificadas simultaneamente e analisam-se os resultados das variáveis de saída, bem como as interações entre tais variáveis, sendo assim o Planejamento de Experimentos busca mostrar, com embasamento estatístico, se as variáveis observadas são influentes sobre o resultado analisado, qual o nível de influência de cada uma separadamente, em conjunto e de que forma elas interagem. Feito isso, é possível aplicar uma função de Otimização e propor uma combinação de parâmetros otimizados para o objeto de estudo, de acordo com o cenário avaliado.

Ao englobar todas essas características da qualidade para maior satisfação do cliente, este trabalho teve como objeto de estudo a análise dos parâmetros utilizados em uma linha de envase de miniaturas de perfume com a aplicação do Planejamento de Experimentos do tipo Planejamento Fatorial Completo, visando a melhoria dos parâmetros de envase do produto em questão.

1.2. Objetivos de pesquisa

1.2.1. Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é aplicar o Planejamento de Experimentos para analisar e propor melhorias para os parâmetros de uma linha de envase.

1.2.2. Objetivos específicos

Este trabalho aplica as ferramentas da qualidade em uma linha de envase de uma empresa de cosméticos que pretende obter melhoria no processo de fechamento do frasco da miniatura H. Os seguintes procedimentos foram desenvolvidos para atingir os objetivos específicos:

1. Aplicar a ferramenta Diagrama de Ishikawa para identificar os principais fatores que provocam inconformidades relacionadas ao processo;
2. Aplicar a ferramenta 5W2H para organizar e gerenciar um plano de ação que procura entender de forma abrangente qual é a causa raiz que resulta nos defeitos do produto final;
3. Aplicar o Planejamento de Experimentos utilizando algoritmos estatísticos através de ferramentas como: análise de variância; gráfico normal; gráfico de Pareto; gráfico de efeitos e interações; e, por fim, a equação de regressão, no intuito de observar o comportamento dos dados;
4. Propor um modelo matemático do referido processo para apontar um conjunto de valores estatisticamente adequados para a configuração analisada no experimento;
5. Aplicar a função de Otimização com a finalidade de encontrar parâmetros compatíveis com a análise do Planejamento de Experimentos.

1.3. Justificativa

De acordo com Chauvel e Cianni (2007), o SAC não é somente um canal de reclamações, é preciso fazer com que a informação que chega por este canal seja vista como algo relevante e possa auxiliar na geração de ideias e ações. Nesse sentido, fazer uso das reclamações como recurso passa a ser uma grande oportunidade, não somente com o objetivo de resolver o problema do cliente que a fez, mas também usar desse processo como um impulsionador na melhoria da qualidade. A partir disso a empresa pode aproveitar este recurso, que por vezes é um indicador que se deseja evitar, com uma perspectiva positiva.

Em uma época em que a concorrência nunca foi tão intensa, um importante fator para a sobrevivência das organizações é a entrega de produtos ou serviços com o menor custo, aliados a padrões de qualidade compatíveis aos exigidos pelo mercado consumidor, que vem se tornando cada vez mais exigente (RAISSI; FARSANI, 2009). O presente estudo foi desenvolvido com o intuito de analisar os parâmetros utilizados no processo alvo a fim de propor melhorias. Essa necessidade foi observada a partir do alto índice de reclamações feitas no SAC da empresa em um curto período de tempo em relação à miniatura H.

O trabalho demonstra como ferramentas da qualidade e análise estatística podem ser aplicadas em uma linha de envase de perfumes. O Diagrama de Ishikawa atrelado ao 5W2H são ferramentas da qualidade usadas com o intuito avaliar a complexidade do problema e determinar a sua causa raiz. Ao utilizar o Planejamento de Experimentos é possível avaliar estatisticamente o comportamento da causa raiz encontrada e definir o impacto desta para a variável de saída definida em conformidade com a causa raiz. Segundo Antunes (2006), a melhoria de processos é uma necessidade intrínseca para que as organizações respondam às mudanças que ocorrem constantemente em seu ambiente de atuação, bem como mantenham o nível competitivo de seus serviços.

Adicionalmente, o Planejamento de Experimentos foi escolhido por ser uma técnica que não necessita de grande investimento financeiro para sua aplicação, no caso deste estudo a coleta de dados foi feita a partir de amostras retiradas durante o envase, elas retornaram para a linha e não foi necessário o descarte. Em complemento, o Planejamento de Experimentos apresenta resultados sustentados tecnicamente pela teoria estatística, com isso, essa metodologia torna-se muito atrativa para ser aplicada em ambientes fabris, alcançando a melhoria no processo de produção de forma prática e bem fundamentada.

Ao aplicar o Planejamento de Experimentos no processo de produção de uma linha de envase, busca-se o aprimoramento desse processo. É importante que as metodologias sejam

executadas nos mais variados cenários para que sejam avaliados seus resultados e observados os ganhos, dificuldades e pontos de melhoria. Neste estudo, a aplicação do Planejamento de Experimentos possibilitou a avaliação do processo de produção observando os parâmetros colocados em máquina, velocidade de rosqueamento, torque de aplicação e velocidade da linha, e o quanto eles eram influentes no resultado da variável de saída. Em conformidade a isto, este trabalho é justificado tanto por sua relevância para a empresa quanto em relação ao seu estudo para fins acadêmicos

1.4. Delimitação do trabalho

Este estudo tem como objetivo realizar uma análise e validação dos parâmetros utilizados em uma linha de produção para melhorá-los, aplicando a técnica do Planejamento de Experimentos. Em uma campanha anual periódica da marca foi constatado um aumento preocupante nas reclamações dos clientes referentes às miniaturas de perfumaria em decorrência de vazamento ou defeito na válvula. Este apontamento da falha representa mais de 80% das reclamações realizadas no SAC para essa família de produtos.

Na primeira etapa, considerando que as miniaturas são produtos utilizados em estratégias específicas e com volumes altos, foi definido que a família de produto que mais se destacava em números de reclamações em um curto período de tempo seria o escopo deste trabalho, propondo melhorias para os itens críticos que mais impactavam os resultados da empresa naquele momento.

A partir disso, a estratégia utilizada foi coletar dados e informações para avaliar o cenário daquele momento, partindo de um roteiro de investigação utilizando ferramentas da qualidade. Seguiu-se conforme descrito na sequência: como primeiro passo foi necessário entender o problema complexo e realizar uma investigação das causas gerais, com este objetivo foi desenvolvida uma tabela com as principais causas utilizando a ferramenta 6m's do Diagrama de Ishikawa, na qual a equipe de colaboradores envolvida na operação foi consultada. Então, em decorrência dos pontos levantados anteriormente, foi construído o Diagrama de Ishikawa para facilitar a visualização das oportunidades. Com o Diagrama em mãos, para investigar mais a fundo a causa raiz levantada aplicou-se a ferramenta dos 5W2H, com o intuito de chegar em um plano de ação focado na resolução do problema e sustentação dos resultados.

São objetos deste estudo: a busca pela causa raiz das reclamações em SAC de um produto foco, a proposta de melhoria do processo, a aplicação do Planejamento de

Experimentos, a identificação de parâmetros ótimos para o fechamento do frasco a partir das variáveis determinadas e a avaliação dos resultados estatísticos obtidos.

O estudo será feito no ambiente da referida empresa, sendo aplicado em condições específicas da mesma, logo os resultados podem conter variações com mudanças de ambiente. Não é o intuito desse trabalho abordar todas as questões possíveis sobre o tema, entretanto, as limitações dessa pesquisa servirão como indicações de trabalhos futuros.

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 5 (cinco) capítulos, que foram organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1: Introdução; são abordados os tópicos de contextualização, os objetivos da pesquisa, a justificativa sobre a necessidade da pesquisa e a delimitação do trabalho;
- Capítulo 2: Fundamentação Teórica; são apresentados os conceitos utilizados para a condução deste estudo;
- Capítulo 3: Metodologia; apresenta-se a caracterização da pesquisa, a técnica de coleta de dados, a técnica de análise de dados e os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento dessa pesquisa;
- Capítulo 4: Resultados; é feita a contextualização da empresa em questão, juntamente com a definição do problema, levantamento e coleta dos dados, etapas de implementação, análises estatísticas e, por fim, a avaliação dos resultados;
- Capítulo 5: Considerações Finais; são novamente apresentados os resultados, as avaliações sobre os resultados, a conclusão do estudo, as limitações encontradas durante a pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Gestão da Qualidade

Com a Revolução Industrial, no século XVIII, se instalou uma nova ordem produtiva onde o foco deixava de ser atender a necessidade de cada cliente, através da customização, e passou a ser uma produção padronizada e em larga escala. Esse período foi marcado pelo modelo de administração desenvolvido por Frederick W. Taylor, dessa maneira o controle de qualidade limitava-se a inspeções e a atividades restritas como contagem, classificação pela qualidade e reparos. A solução de problemas era vista como fora das responsabilidades do departamento de inspeção (MARSHAL et al., 2006, p. 22).

Segundo Marshal et al. (2006) o engenheiro Walter Shewhart foi considerado um marco da nova era da qualidade quando em 1931 publicou o artigo “*Economic control of quality of manufactured product*” no qual apresentou os primeiros métodos de controle de qualidade, utilizando procedimento estatísticos. Surgiu então o controle estatístico da qualidade baseado no controle de processos, uma vez que ao estruturar as atividades envolvidas no processo produtivo torna-se mais fácil o controle, monitoramento e aperfeiçoamento dele.

Após a Segunda Guerra Mundial, os países se viam devastados e sua reconstrução era baseada na produção. As empresas japonesas, que eram conhecidas por produtos baratos e sem qualidade, precisaram aperfeiçoar e administrar a qualidade. Na década de 1950, Armand Feigenbaun formulou o sistema de controle de qualidade total (TQT – *Total Quality Control*), que pode ser descrita como:

O princípio que se assenta a visão de qualidade total [...] é que, para se conseguir uma verdadeira eficácia, o controle precisa começar pelo projeto do produto e só terminar quando o produto tiver chegado às mãos de um freguês satisfeito [...] o primeiro princípio a ser reconhecido é o de que a qualidade é um trabalho de todos. (MARSHAL, 2006).

O conceito de qualidade no campo da gestão, desenvolvido pelos japoneses a partir de 1950, pode ser definido segundo Arruda et al. (2016) como “um conjunto de propriedades e características de um produto, processo ou serviço que lhe fornece a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas e implícitas do cliente”. Esse olhar da qualidade tem como princípios básicos: foco no cliente, trabalho em equipe, decisões bem embasadas e busca constante pela melhoria.

Sendo assim, a gestão da qualidade muito utilizada nas empresas atualmente consiste em agregar produtos e serviços com qualidade, o que inclui alta conformidade às especificações, baixos defeitos, tempo curto de manufatura e tecnologia em processos, com o objetivo de aumentar a produtividade, melhorar a competitividade e satisfazer as necessidades implícitas e explícitas do cliente.

Arelado a gestão da qualidade está a aplicação das sete ferramentas da qualidade, que são eficientes nos processos de melhoria na qualidade e na busca da excelência nesses produtos e serviços. Estas ferramentas são usualmente utilizadas em métodos de gerenciamento de processos tendo em vista a melhoria contínua da qualidade. Dentre as ferramentas, destacam-se as definidas segundo Freitas (2005): Histograma, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Carta de Controle, Fluxograma de Processos, Diagrama de Dispersão e Folha de Verificação.

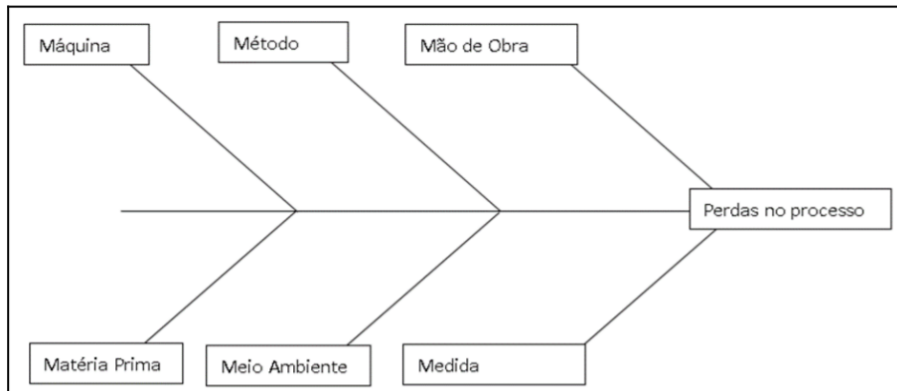
2.2. Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, uma das ferramentas da qualidade, simplifica processos considerados complexos dividindo-os em etapas mais simples e, portanto, mais controláveis (TUBINO, 2000). Esta ferramenta é um método bastante efetivo na busca das causas raízes do problema (SLACK, 2009).

Segundo Werkema (1995), o diagrama de Ishikawa é uma ferramenta utilizada para expor a relação existente entre o resultado de um processo e as causas que tecnicamente possam afetar esse resultado. O número de causas encontradas pode ser extenso, por esse motivo elas podem ser divididas em famílias ou categorias de causas. De acordo com Campos (1999), as categorias mais usuais são: materiais, métodos, mão-de-obra, máquinas, meio ambiente e medidas.

A Figura 1 exemplifica a estrutura da montagem de um Diagrama de Ishikawa. O diagrama lembra a imagem de uma espinha de peixe e é organizado dessa forma com a intenção de facilitar a visualização de todas as categorias, que ficam nas pontas da estrutura. Adicionalmente, o diagrama também mostra qual o resultado do processo que está sendo observado, posicionado no eixo central do Diagrama em no mesmo quadro.

Figura 1: Exemplo de Estrutura do Diagrama de Ishikawa



Fonte: Hermogenes et al. (2019)

Hermogenes (2019) afirma que o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta muito útil para permitir que um grupo identifique, explore e exiba graficamente e em detalhe todas as possíveis causas de um problema ou condição, para se descobrir sua verdadeira raiz. Em complemento, Almeida et al (2017) afirmam que cada processo em questão tem uma peculiaridade, à vista disso, em alguns casos não se aplicam todos os 6m's. Para ter uma descrição mais detalhada das possíveis causas deve se fazer um novo nível de probabilidades.

Segundo Bazoni (2015) devem ser seguidas as etapas enumeradas abaixo:

1. Definir o problema a ser estudado e o que se deseja obter;
2. Estudar o processo que gera o problema através de observação, documentação e troca de ideias com pessoas envolvidas;
3. Fazer uma reunião com as pessoas envolvidas no processo para discutir o problema, levantando ideias e informações para solucioná-lo (utilizar o “*brainstorming*”);
4. Organizar as ideias e informações em causas principais, secundárias, terciárias, eliminando as que não tiverem importância;
5. Montar o diagrama de Ishikawa, conferindo com todos os participantes a representação da situação problemática atual;
6. Marcar aquilo que é mais importante para obtenção do objetivo que se pretende alcançar.

2.3. 5W2H

A ferramenta 5W2H é de simples aplicação e eficiência, atualmente, não existe uma concordância sobre quem a desenvolveu. O objetivo da ferramenta é que a partir de perguntas simples seja possível coletar informações a respeito de um problema que se deseja solucionar. Segundo Gomes e Barcelos (2019), o 5W2H é uma ferramenta prática que, a qualquer momento, permite ao gestor identificar dados e rotinas mais importantes dentro do projeto, definindo de forma clara quem será responsável por cada atividade a ser realizada.

Nakagawa (2014) descreve o passo a passo para aplicação da ferramenta, para ele:

What? Significa uma ação ou atividade que deve ser executada ou o problema ou o desafio que deve ser solucionado; *Why?* Caracteriza-se pela justificativa dos motivos e objetivos daquilo estar sendo executado ou solucionado; *Who?* define quem será (serão) o(s) responsável(eis) pela execução do que foi planejado; *Where?* configura a informação sobre onde cada um dos procedimentos será executado; *When?* vem ser o cronograma sobre quando ocorrerão os procedimentos; *How?* deve explicar como serão executados os procedimentos para atingir os objetivos pré-estabelecidos; e *How much?* representa a limitação de quanto custará cada procedimento e o custo total do que será feito (NAKAGAWA, 2014).

Segundo Barbosa et al. (2016), o método 5W2H é útil na análise das situações em que há necessidade de verificar a ocorrência de um problema e no desenvolvimento de um plano de ação, com o objetivo de agregação de valor aos produtos, garantia da qualidade, aumento de vendas e desenvolvimento geral dos setores.

A Tabela 1 demonstra quais são as perguntas que devem ser feitas para a aplicação do 5W2H. As perguntas devem ser respondidas em sequência, juntas elas delimitam e definem quais ações devem acontecer e todas as suas especificações. Isso ajuda no alinhamento de todos os envolvidos para que cada um saiba seu papel e o que vai ser executado. É possível fazer vários ciclos de 5W2H em um mesmo projeto ou problema a ser solucionado. As perguntas servem para garantir que não haja indefinição na ação que se pretende executar.

Tabela 1: Resumo das etapas do Método 5W2H

Método do 5W2H			
5W	<i>What</i>	O que?	Que ação será executada?
	<i>Who</i>	Quem?	Quem irá executar/ participar da ação?
	<i>Where</i>	Onde?	Onde será executada a ação?
	<i>When</i>	Quando?	Quando a ação será executada?
	<i>Why</i>	Por quê?	Por que a ação será executada?
2H	<i>How</i>	Como?	Como será executada a ação?
	<i>How Much</i>	Quando custa?	Quanto custará para executar ação?

Fonte: Adaptado de Meira (2003)

2.4. Planejamento de Experimentos – DoE

O Planejamento de Experimentos tem sua origem a partir da metodologia *Lean Six Sigma*. É importante ressaltar que diferente do foco do *Lean* puramente dito, o principal propósito do *Six Sigma* é diminuir a variabilidade do processo. Segundo Walter e Paladini (2019), o *Six Sigma* é uma melhoria orientada, com o principal propósito de reduzir a variabilidade do processo através do uso de ferramentas estatísticas, focado no que é importante pelo ponto de vista do cliente. Eles ainda complementam que essas metodologias, *Lean* e *Six Sigma*, são complementares na melhoria de processos, pois ambas possuem como prioridade atender melhor ao cliente, ênfase na visão de processo orientado e redução de custos.

O Planejamento de Experimentos é uma técnica estatística originalmente difundida nas áreas da engenharia e amplamente utilizada em projetos *Lean Six Sigma*. Organizações que aplicam técnicas estatísticas, como o Planejamento de Experimentos nos processos de tomadas de decisões, em geral têm apresentado significantes vantagens competitivas sobre seus concorrentes (STARKEY; AUGHTON; BREWIN, 1997).

O conceito de Planejamento de Experimentos foi introduzido pela primeira vez no início da década de 1920, em uma pequena Estação de Pesquisa em Agricultura na Inglaterra, por um cientista chamado Sir. Ronald Fisher. Ele mostrou como um experimento válido poderia ser conduzido na presença de muitas condições naturais variáveis, tais como: temperatura, condições do solo e chuva. Os princípios do projeto de experimentos inicialmente empregado na agricultura foram adaptados com êxito nas indústrias e nas aplicações militares, desde 1940 (JOHN; JAMES, 1996).

Como afirmam Jankovic et al. (2021), o Planejamento de Experimentos, ou *Design of Experiments* (DoE), engloba a aplicação de uma série de ferramentas estatísticas utilizadas para classificar e quantificar sistematicamente as relações de causa e efeito entre variáveis de resultados de um processo ou fenômeno estudado, que podem resultar na descoberta das configurações e condições sob as quais o processo se torna otimizado. Com o Planejamento de Experimentos espera-se avaliar o processo estudado pelo ponto de vista das variações que o próprio apresenta, desta forma os resultados por si só mostrarão os pontos críticos a serem tratados.

O Planejamento de Experimentos é classificado quanto ao tipo de acordo com a forma que é aplicado, O Planejamento Fatorial completo é um desses tipos. Jankovic et al. (2021) aponta que um Experimento fatorial que contém sua análise voltada para todas as combinações possíveis entre os fatores e níveis é chamado Planejamento Fatorial Completo ou *full factorial design* (FFD). Nesta categoria se os fatores variáveis k tiverem o mesmo número de níveis n

então n^k nos indica qual é o número de combinações que serão necessárias para fazer a análise. O presente estudo faz uso desse tipo de Planejamento de Experimentos e utiliza 2 (dois) níveis para a análise.

A técnica do DoE possui passos essenciais para ser aplicada. Para uma boa aplicação do DoE é necessário definir claramente qual é o alvo da análise e o tipo da investigação, pois somente dessa forma é possível definir quais variáveis devem ser escolhidas para compor o estudo. Caso as variáveis não sejam relevantes em relação aos valores do fenômeno observado o DoE não terá força suficiente para otimizar o resultado, e neste caso é necessário procurar outras variáveis que tenham uma maior influência no sistema.

Rajalingam e Bono (2012) afirmam que, diferente de outras técnicas de controle estatístico de processos que focam em melhorar a qualidade através de gráficos de controle e inspeção contínua, o DoE tem ênfase em melhorar processos e operações focando em desenvolver produtos e processos que já são bem projetados. Neste sentido a aplicação desta técnica na indústria é bastante atrativa, pois com a escolha de variáveis influentes no processo o resultado pode ser conquistado de forma rápida e positiva, agregando alto valor e diminuindo gastos.

Após coletadas as amostras conforme indica a técnica, também faz parte da análise a aplicação das ferramentas estatísticas como equação de regressão, ANOVA e Pareto e Normal dos efeitos padronizados para garantir a interdependência dos valores coletados, e checar sua variância, para facilitar a visualização dos resultados. Além disso, pode ser aplicada uma função de otimização para as variáveis analisadas. O gráfico de Pareto vai determinar a magnitude e a importância dos parâmetros usados na amostra.

Segundo Abrão e Cardoso (2020), o Gráfico de Pareto é um gráfico de barras que coloca em ordem decrescente a frequência de ocorrências e de forma crescente a frequência acumulada, no eixo vertical esquerdo se tem a quantidade de vezes que determinado fato ocorreu e no eixo vertical direito é apresentada a porcentagem acumulada dos fatos. É muito útil para se priorizar as ocorrências que merecem maior atenção, pois o gráfico ilustra de forma clara qual a maior ocorrência e o quanto a mesma é impactante em relação às outras.

A otimização é uma parte importante da aplicação da técnica, pois a aplicação de um Planejamento de Experimentos visa a investigação de variáveis em relação a uma resposta, dessa forma, a otimização complementa essa análise. Segundo Booker (2003), as técnicas de planejamento e otimização de experimentos são incorporadas nos procedimentos de validação,

podem gerar melhor conhecimento do processo e propiciar a exploração de toda sua potencialidade.

Enquanto a Análise de Variância irá comparar a interação entre essas amostras, Canbolat et al (2019) define que o objetivo principal da Análise de Variância – ANOVA é determinar as taxas de contribuição de cada parâmetro em relação ao seu desempenho. Na Análise ANOVA, o nível de significância das análises estatísticas é de 0,05, o que corresponde a um nível de confiança de 95%.

2.4.1. Análise de variância – ANOVA

A análise de variância, também conhecido como ANOVA, é uma técnica estatística utilizada para realizar comparações entre 3 (três) ou mais grupos de amostras independentes. A aplicação da ANOVA auxilia na identificação da natureza do processo e em relacionar causa e efeito entre as variáveis. De acordo com Jankovic et al. (2021) a ANOVA quantifica o impacto dos fatores e as interações entre eles, de acordo com os valores das variáveis obtidos e estimando o valor da variância que não pode ser explicada e atribuída aos fatores e suas interações.

Segundo Rajalingam e Bono (2012), se a magnitude do efeito de um fator for grande quando comparada com o erro experimental, pode-se determinar que as mudanças na resposta selecionada não podem ocorrer por acaso e essas mudanças podem ser consideradas efeitos dos fatores. Os fatores que causam uma variação na resposta são chamados de significativos. Desta forma, busca-se encontrar os parâmetros para avaliação que sejam identificados como os mais significativos, de forma a impactar mais fortemente no valor do resultado, para conseguir otimizar o processo estudado. A fim de ilustrar o descrito sobre a ANOVA, a Tabela 2 foi construída utilizando dois fatores A e B, bem como sua respectiva interação:

Tabela 2: Resultado da ANOVA para avaliar efeitos dos fatores

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F_o
A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_o = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_o = \frac{MS_B}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_o = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Erro	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	SS_T	$abn - 1$		

Fonte: Zhou et. al. (2010)

Assim, de acordo com Zhou et. al. (2010) é possível escrever as equações de SS_A , SS_B e SS_{AB} pela equação 1, onde p representa os fatores ou interação entre os tratamentos a serem analisados, t representa o número de repetições da variável resposta em cada nível dos fatores, q o número de níveis de cada fator e $E_{p,i}$ o efeito dos fatores p para cada nível i a ser estudado.

$$SS_p = t \cdot \sum_{i=1}^q (E_{p,i} - \bar{\bar{Y}})^2 \quad (1)$$

A soma de quadrados devido ao erro experimental (SS_E) pode ser descrita pela equação 2, onde $\bar{y}_i$ é representado pela média das respostas para cada condição experimental, j sendo o número mínimo de fatores a serem analisados e k o número máximo de fatores e interações a serem analisados.

$$SS_E = \sum_{i=1}^q (\bar{y}_i - \bar{Y})^2 - \sum_{j=1}^k SS_p \quad (2)$$

A soma dos quadrados referente aos tratamentos de linha (SS_A), soma dos quadrados referente aos tratamentos da coluna (SS_B), soma dos quadrados devido a interação AB (SS_{AB}) e a soma dos quadrados devido ao erro experimental (SS_E) é representada pela Soma dos Quadrados Total do Arranjo na equação 3.

$$SS_T = \sum_{j=1}^k SS_p + SS_E \quad (3)$$

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois sua estrutura está pautada no uso de metodologias e conceitos da gestão da qualidade para obtenção de melhoria no processo de envase do produto foco. O problema é abordado de forma quantitativa utilizando dados coletados na produção para análise e cálculo. De acordo com Pereira et al. (2018), a pesquisa quantitativa gera conjuntos ou massas de dados que podem ser analisados por meio de técnicas matemáticas, como é o caso das porcentagens, estatísticas e probabilidades, métodos numéricos, métodos analíticos e geração de equações e/ou fórmulas matemáticas aplicáveis a algum processo.

Dito isto, os objetivos são explicativos, pois ao utilizar de tratamento estatístico dos dados do processo, com o foco na qualidade, é verificado como os parâmetros interagem e impactam na qualidade do produto final. A pesquisa explicativa preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, “aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas” (GIL, 2002).

Dessa forma, é utilizado o procedimento experimental para controlar e analisar as variáveis do processo estudado para levantar e coletar as informações dentro da linha de envase.

A maioria das pesquisas explicativas utiliza o método experimental, que possibilita a manipulação e o controle das variáveis, no intuito de identificar qual a variável independente que determina a causa da variável dependente, ou o fenômeno em estudo (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Alinhado a isso, a pesquisa experimental propõe novos parâmetros para serem utilizados pelo maquinário por meio da observação de variáveis, análises estatísticas, gráficos e otimização. Com isso, deseja-se uma melhoria dos parâmetros utilizados em linha. Portanto, visa-se melhorar o processo de fechamento dos frascos deste produto e, dessa forma, fazer com que ele chegue ao cliente final de maneira adequada. Essencialmente, a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2002).

Adicionalmente, Bertrand e Fransoo (2002) descrevem quatro modelos de pesquisa quantitativas baseadas em Modelagem e Simulação que são: Axiomática Normativa,

Axiomática Descritiva, Empírica Normativa e Empírica Descritiva. Pesquisas essas que desenvolvem um modelo para averiguação da existência de relação entre variáveis de controle e variáveis de desempenho em um processo. Este estudo está classificado como Empírica Normativa, uma vez que tem sua análise por meio de experimentação, verificação e ajustes, para melhoria do processo observado.

Na Tabela 3 são mostradas as etapas de caracterização desta pesquisa. Foram destacadas em negrito as classificações que se enquadram nesse trabalho, passando pelas categorias: natureza do trabalho, problemática do trabalho, objetivos do trabalho e por fim procedimentos da pesquisa.

Tabela 3: Resumo das classificações da pesquisa

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA			
Natureza	Problema	Objetivos	Procedimentos
Básica Aplicada	Quantitativa Qualitativa	Exploratória Explicativa Descritiva	- Bibliográfica - Documental - Experimental - Levantamento - Estudo de caso - Ex-post-Facto - Pesquisa-ação - Participante - Modelagem e Simulação { Axiomática Normativa Axiomática Descritiva Empírica Normativa Empírica Descritiva

Fonte: Adaptado de Penteado, 2015

Assim, essa pesquisa tem natureza Aplicada, trata o problema de maneira Quantitativa, tem objetivo Explicativo e seus procedimentos são Experimentais e de Modelagem e Simulação na categoria Empírica Normativa.

3.2. Técnicas de coleta de dados

O presente trabalho tem como técnica de coleta de dados a medição, por meio de torquímetro digital, do troque de remoção nas válvulas dos frascos de miniaturas de perfumes. Foram medidos e registrados os parâmetros do maquinário de envase dos frascos, velocidade

de rosqueamento, torque de aplicação e velocidade da linha, em conjunto com os resultados do torque de remoção para que fosse desenvolvida a análise do Planejamento de Experimentos. Algumas etapas importantes podem ser evidenciadas, são elas: a seleção dos parâmetros relacionados ao fechamento dos frascos, a identificação do nível dos fatores da análise, a definição das combinações entre parâmetros disponíveis e, em complemento, a observação, registro e acompanhamento de amostras na linha de envase do produto estudado para posterior aplicação de ferramentas estatísticas.

Para realizar a análise do processo, são colhidos os dados dos parâmetros de: velocidade de rosqueamento, toque de aplicação e velocidade da linha. Esses parâmetros realizam o fechamento do frasco e determinam a velocidade da passagem do produto pelo equipamento em diferentes combinações, conforme indica o Planejamento de Experimentos.

As combinações foram previamente definidas de acordo com o Planejamento de Experimentos e realizadas em ordem aleatória, para evitar desvios por repetição ou tendências que comprometam o estudo estatístico. De acordo com Divis et al. (2020), a randomização é uma prática padrão no DoE e nas Técnicas de Teste e Análise Científica, pois garante que os pressupostos estatísticos necessários para resultados generalizáveis sejam atendidos. Isso evita contratempos potenciais e produz projetos que permanecem sob escrutínio.

Além disso, realizou-se reuniões com a equipe de colaboradores que participam da operação. Essas reuniões foram conduzidas no formato de *brainstorm*, uma técnica que visa o estímulo à criatividade e interação, com o foco principal na quantidade de alternativas levantadas pela operação, sem censura de ideias e de forma colaborativa. O *brainstorm* é aplicado para entender qual era a percepção dos colaboradores em relação ao problema apontado e o que eles entendiam como causa raiz.

3.3. Técnicas de análise de dados

Para análise de dados é utilizada uma ferramenta de análise estatística chamada MiniTab 19[®], com este instrumento serão implementadas as técnicas estatísticas atreladas ao Planejamento de Experimentos para determinar se o processo está estável e se os parâmetros são suficientemente importantes em relação ao resultado. É também realizada a análise de variância (ANOVA) com o propósito de apontar se os dados coletados nas amostras possuem grau de causa e efeito significativo suficiente para sustentar valores que otimizem o processo de fechamento da válvula dos frascos.

O objetivo final do trabalho é a validação de parâmetros que serão adequados para o fechamento do frasco do produto em foco, através da análise estatística das amostras retiradas da linha de produção a partir do Planejamento de Experimentos. A implementação desses valores na linha, que será realizado no próximo período de produção, pretende diminuir o índice de refugos durante o processo e melhorar a confiabilidade de qualidade do produto final.

3.4. Procedimentos metodológicos

Essa pesquisa tem como objetivo aplicar o Planejamento de Experimentos para analisar e propor melhorias para os parâmetros de uma linha de envase. Foi identificado a necessidade de um plano de melhoria na produção a partir de um número considerável de apontamentos de vazamento da miniatura H. Com esse crescimento, em um curto período de tempo, foram necessárias ações imediatas de melhoria, visto que esses produtos são vendidos de forma sazonal e tem demandas específicas durante o ano, que acabavam de entrar em alta. Nesse sentido, para descobrir verdadeiramente a causa raiz, algumas ferramentas da qualidade foram aplicadas para buscar o entendimento sobre o processo, são elas: Diagrama de Ishikawa e 5W2H.

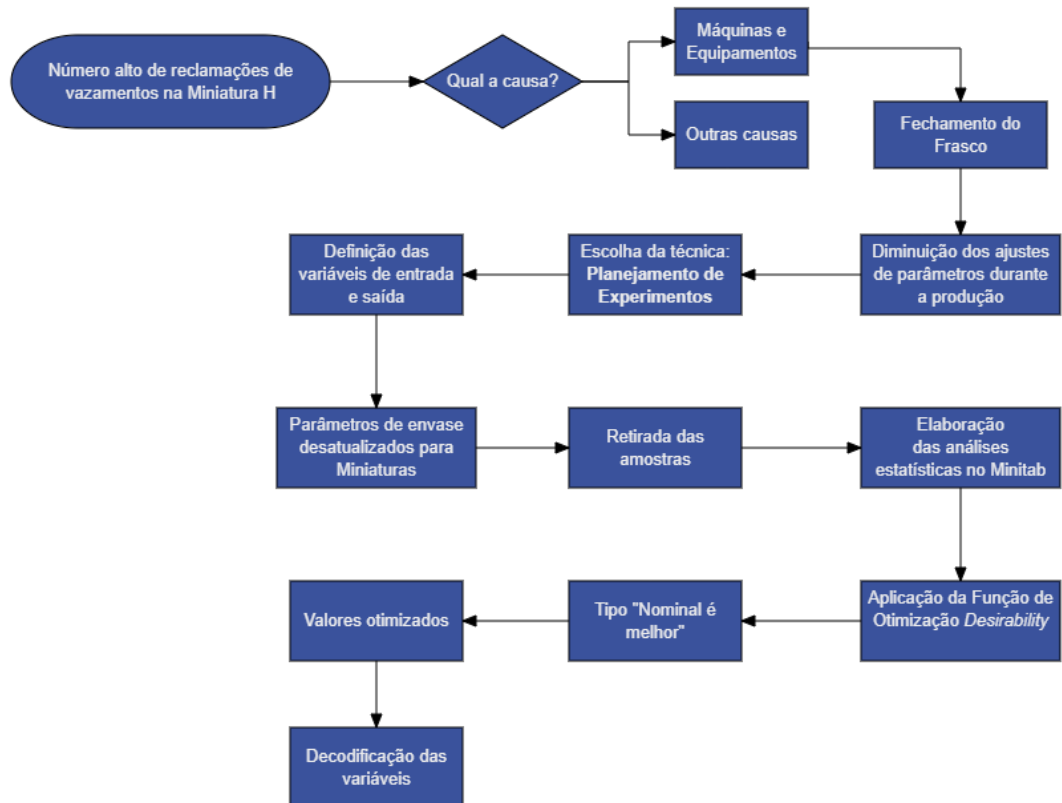
Constatada que a causa do vazamento é relacionada ao fechamento do produto, foi iniciada a análise dos parâmetros de fechamento do frasco e velocidade da linha de envase. Com isso, foi escolhido o Planejamento de Experimentos (DoE) para analisar a interação entre os valores utilizados nos parâmetros de máquina e velocidade da linha com fechamento dos frascos e, a partir disso, otimizar os valores encontrados.

Para a aplicação do Planejamento de Experimentos foram determinadas 3 (três) variáveis utilizadas no fechamento dos frascos da miniatura H que mais sofriam ajustes durante o processo produtivo, são elas: velocidade de rosqueamento; torque de aplicação; e velocidade da linha. A partir das variáveis, foram definidos os seus limites de ajuste de máquina, a fim de formar combinações entre os máximos e mínimos. Com isso, foram medidos os valores de torques de remoção para todas as combinações.

Foram aplicadas as análises estatísticas do Planejamento de Experimentos em ambiente Minitab 19[®], sendo elas: a análise de variância (ANOVA), o gráfico de Pareto, o gráfico dos efeitos padronizados, o gráfico de efeitos principais para o torque de remoção e, por fim, o gráfico de interação para o torque de remoção. A partir do comportamento das variáveis pode ser avaliado e identificado quais delas são significantes para obter um torque de remoção

adequado para a miniatura H. É esperado que as análises estatísticas mostrem um bom resultado de influência e o nível de interação entre as variáveis. Após isso, foram encontrados os valores otimizados e realizada a conversão de escalas de cada uma das variáveis, para que o ajuste pudesse ser feito na máquina.

Figura 2: Mapa de Fluxo dos Procedimentos Metodológicos



Fonte: Elaboração própria, 2021

A Figura 2 mostra como foi feita a sequência metodológica deste trabalho, como cada etapa foi decidida e o que é feito em seguida. É mostrado desde o problema macro até a última etapa de decodificação das variáveis.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises e os processos realizados para que esta pesquisa pudesse ser executada de modo a trazer benefícios ao produto estudado. A seguir serão apresentados todos os passos do projeto, desde os problemas que motivaram a procura pela melhoria na linha de produção, a busca das causas raízes do problema, até a procura de características do produto ou mesmo do maquinário utilizado na produção que seriam interessantes para análise. A partir disso, desenvolver a aplicação do método analítico, entender e estudar o comportamento estatístico dos dados e, por fim, aplicar uma função otimizadora para visualizar qual seria a alteração dos parâmetros em valores de configuração da máquina.

4.1. Caracterização da empresa

Este trabalho tem como objeto de estudo uma empresa de beleza constituída de 4 (quatro) grandes marcas que juntas atuam em mais de 110 (cento e dez) países globalmente, considerada a maior empresa de modelo de negócio social e ambiental no Brasil. Em 2020, mesmo com o cenário de pandemia, a organização conseguiu aproveitar da urgência de mudança nos métodos de trabalho e utilizar este cenário como catalizador dos planos de digitalização de seus processos. De acordo com o seu Relatório Anual de 2020, ao final do ano comercial a empresa como um todo obteve 165% de crescimento em relação ao ano anterior, o que demonstra a agilidade em responder às adversidades causadas pelo cenário mundial. A empresa anteriormente dependia do contato entre suas representantes e clientes finais o que não foi totalmente possível durante o isolamento social.

Para foco deste trabalho foi proposto o projeto em apenas uma dessas marcas, que hoje está entre os líderes no mercado de beleza no Brasil. Desde sua criação a marca possui como característica de seus produtos o uso de ingredientes naturais e tipicamente brasileiros, fato este que perdura até os dias de hoje. A empresa desenvolve, fábrica, distribui e vende produtos de beleza, além disso possui marcas que vão de higiene pessoal, perfumes até cosméticos de tratamento e cuidado com a pele. No Brasil é considerada uma das companhias mais relevantes no mercado de cosméticos e perfumaria.

A empresa tem como aspiração a inovação constante em seus produtos, portanto a busca de novas formas de melhoria de seus processos e adequação a novas tecnologias é realizada de maneira periódica sempre com foco em promover impacto social, econômico e ambiental

positivo. Essa necessidade de constante inovação é um de seus pilares, em conjunto com a alta variedade de produtos resulta em uma grande complexidade produtiva em suas plantas industriais.

De acordo com o Relatório Anual de 2020, a perfumaria representa mais de 60% das vendas, demonstrando alta importância para o negócio. As fábricas da perfumaria desta empresa produziram em 2020 aproximadamente 59 (cinquenta e nove) agrupamentos de produtos diferentes. Em decorrência deste fato seus processos necessitam de alta personalização para comportar todos os produtos fabricados e, simultaneamente, necessitam de um maquinário preciso para trabalhar com produtos com características diferentes.

O mercado de cosméticos no Brasil é representado pela ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos), uma entidade privada que tem como finalidade representar nacional e internacionalmente as indústrias do setor de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos do Brasil. No painel de dados da ABIHPEC (2021), o setor de HPPC (Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos) obteve em 2020 um crescimento de 5,8% em vendas em relação a 2019. O mercado global de HPPC registrou queda de 1,3%, mas o Brasil manteve a quarta posição no ranking mundial e, juntamente com a China, foram os únicos países que tiveram resultado positivo nas vendas em 2020 entre os cinco maiores mercados globais. De acordo com a ABIHPEC a categoria de perfumaria obteve bons resultados, com crescimento de 8,4% em 2020, apesar dos períodos em que os pontos de vendas ficaram fechados ou funcionando com restrições durante a pandemia. Esses dados mostram a relevância desse mercado e categoria de produtos para o Brasil.

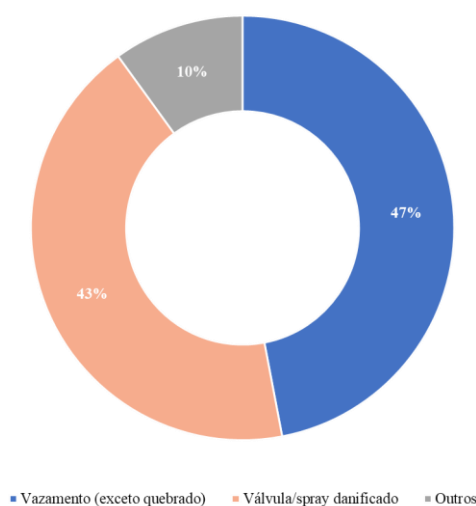
4.2. Realidade empresarial

Em 2018, com o foco estratégico de captar novos clientes, foi lançado no mercado versões em miniatura das principais fragrâncias da empresa. O objetivo deste novo modelo de produto foi facilitar o acesso dos consumidores que tivessem interesse em conhecer e testar novos perfumes ou, para aqueles que já conheciam a marca, experimentar outras fragrâncias. Como as miniaturas são representações do produto regular, possuem alto valor agregado e, por estratégia, são produzidas e vendidas em conjunto com outras miniaturas ou outros produtos do catálogo e em datas especiais do ano. As miniaturas hoje são produzidas a partir de 6 (seis) diferentes marcas.

Em maio de 2021 houve a necessidade de trabalhar na plataforma de miniaturas da marca H. Isso deu-se a partir de um alerta para o Brasil gerado nessa plataforma com desvios de embalagem, que apresenta como descritivo: vazamento e válvula danificada. O produto em questão tem sua venda e produção de forma sazonal, dessa forma o alerta gerado estava fora dos resultados esperados para a plataforma do produto nesse período, portanto fez-se necessário tomar medidas urgentes de melhoria e contenção.

A Figura 3 descreve em um gráfico de rosca as porcentagens dos principais causadores de reclamações para os clientes que compraram a miniatura H. As principais manifestações sobre esse produto, como mostrado na Figura 3, são de vazamentos (exceto os quebrados) somando 47% e a questão da válvula/spray danificado somando 43% das reclamações entre janeiro e maio de 2021.

Figura 3: Gráfico Principais Manifestações Miniatura H



Fonte: Elaboração própria, 2021

Os lotes que receberam reclamações foram recebidos e analisados, comprovando em sua maioria a evidências de válvula aberta (sem torque) em um volume de vendas de 209.311 (duzentos e nove mil, trezentos e onze) unidades desta miniatura neste período. Este fato teve um impacto imediato nos resultados das reclamações da empresa.

4.3. Elaboração do Plano de Ação

O alto índice de reclamações direcionadas para esta linha de produtos resultou em uma necessidade de estudá-la. As reclamações dos clientes são uma importante fonte de informações

para a empresa, no sentido de ser um indicador significativo de que algo em sua cadeia produtiva precisa de atenção.

Por sua vez, a melhoria de processos tem como objetivo garantir que os processos atendam às expectativas dos clientes e do negócio e, dessa forma, tragam os resultados esperados. Nesse sentido, fez-se necessário um estudo capaz de apontar pontos de melhoria imediatos, visto que esta miniatura tem sua demanda e produção sazonal e acabava de entrar em alta. A ação é importante para que a empresa, ao aplicar as melhorias sugeridas, consiga manter o índice de reclamações deste produto controlado e baixo, pois o produto tem alta importância estratégica.

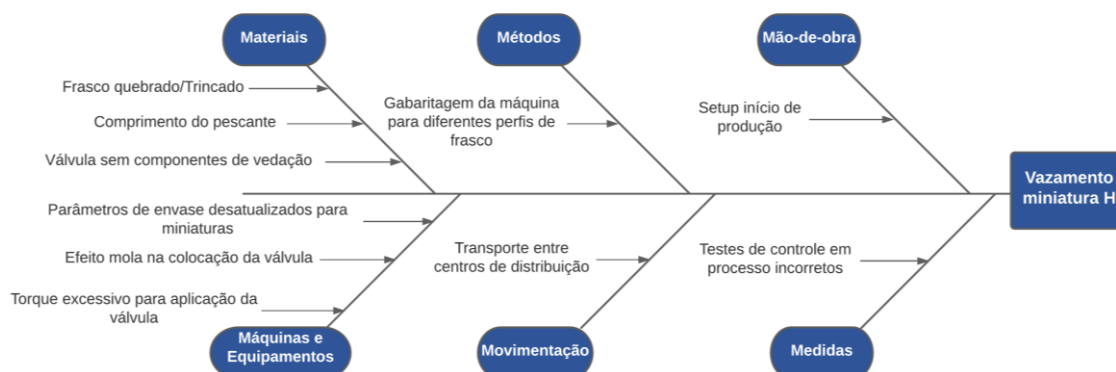
Para iniciar a análise da miniatura H, que apresentou desvios de qualidade nos meses de janeiro a maio de 2021, foi decidido aprofundar as análises para identificar as causas raízes desses desvios. Inicialmente, buscando entender o problema complexo foram realizadas conversas, no formato de *brainstorm*, com os colaboradores que atuam diretamente no processo estudado, conduzidas a partir da ferramenta 6M's, do Diagrama de Ishikawa. A proposta para aplicação da ferramenta foi reunir um grupo de pessoas para que pudessem chegar em um denominador comum, a fim de abranger todas as possíveis causas do problema. O resultado é ilustrado conforme Tabela 4:

Tabela 4: Aplicação dos 6m's com os colaboradores

Causas relacionadas com Materiais	Causas relacionadas aos Métodos	Causas relacionadas à Mão-de-obra	Causas relacionadas às Máquinas e Equipamentos	Causas relacionadas ao Movimentação	Causas relacionadas à Medida
Frasco quebrado/trincado	Gabaritagem de máquina para diferentes perfis de frasco	<i>Set-up</i> início de produção	Torque excessivo para aplicação de válvula	Transporte entre centros de distribuições	Testes de controle em processo incorreto
Comprimento do pescante			Efeito mola na colocação da válvula		
Válvula sem componente de vedação			Parâmetros de envase desatualizados para miniaturas		

Fonte: Elaboração própria, 2021

Na Tabela 4 são mostradas as conclusões das discussões sobre o processo, realizadas com o time. Foi possível levantar possíveis causas em todas as 6 categorias, para melhorar e facilitar a visualização dessas causas os pontos levantados nos 6m's foram apresentados no formato de um Diagrama de Ishikawa. O resultado é apresentado na Figura 4:

Figura 4: Diagrama de Ishikawa Vazamento da Miniatura H

Fonte: Elaboração própria, 2021

A Figura 4 mostra a estrutura do Diagrama de Ishikawa de acordo com o resultado das discussões com o time. Pode-se observar que as categorias “Materiais” e “Máquinas e Equipamentos” são as que mais apresentam pontos de atenção, comparadas às demais categorias da estrutura. Tendo em vista que para este momento a estratégia era escolher a causa raiz com oportunidade de ser estudada de forma mais rápida, a opção escolhida foi dar foco nas causas relacionadas ao tópico de “Máquinas e Equipamentos”, essa decisão foi tomada para agilizar a investigação e propostas de melhoria dentro do processo de envase, antes de trabalhar em áreas de maior complexidade e possíveis investimentos.

A fim de identificar a causa raiz e definir as ações corretivas para eliminá-la, foi aplicada a ferramenta 5W2H com os envolvidos no processo de envase do produto em questão. Os resultados estão descritos no fluxograma da Tabela 5:

Tabela 5: Fluxograma do 5W2H para análise de vazamento da Miniatura H

Descrição inicial do problema	Vazamento Miniatura H
O que?	Avaliação dos parâmetros de envase para a plataforma de embalagem;
Quem?	Responsável pelo projeto, Engenheiro da linha, operadores da linha, manutentor da linha;
Onde?	Linha de envase da miniatura H;
Quando?	Durante a produção do item;
Por quê?	Buscando melhoria do processo e diminuição dos ajustes dos parâmetros durante a produção;
Como?	Será conduzida a partir da aplicação do Planejamento de Experimentos;
Quanto custa?	Não será necessário investimento.

Fonte: Elaboração própria, 2021

A Tabela 5 ilustra qual foi o 5W2H desenvolvido para delimitar o plano de ação para avaliação dos parâmetros de envase para essa plataforma de produtos. Como o método indica, foram feitas as perguntas de acordo com a problemática para definir de forma que todas as

partes fossem abordadas. Assim é possível ter o plano de ação de forma resumida em uma só tabela.

Nesse momento é estabelecido como ponto focal de melhorias de processos a revisão e validação de novos parâmetros para essa plataforma de produto, com objetivo de diminuir a ocorrência de vazamento. É importante lembrar que a miniatura estudada é produzida em uma linha compartilhada com vários outros produtos de perfumaria. Neste contexto, o maquinário utilizado possui vários parâmetros de controle. Para cada um dos produtos existe uma lista de parâmetros padrão, definidos por especificação da empresa na validação dessa plataforma de produtos, porém durante o processo os operadores têm liberdade para alterá-los, caso necessário.

Diante disso foram levantados todos os parâmetros personalizáveis na linha de envase, eles foram listados e explicados na Tabela 6:

Tabela 6: Parâmetros de controle na linha de envase

	Linha 16	Função
Etapa Pré- Roscar I	Rotação rosqueamento – 1	Velocidade de rosqueamento
	Tempo de retenção de torque – 1	Tempo que o torque é aplicado após chegar ao fim da rosca
	Tempo din gradativo – 1	Tempo máximo para fim do torque
	Tol. Mom deslig. – 1	Tolerância máxima de torque
	Tol. posição tempo parada – 1	Tolerância máxima de posição do mandril
	Rotação max tempo parada – 1	Rotações máximas após o torque
	Momento desligado – 1	Torque
	Cab. aplic / Recravagem desl – 1	Abre mandril do torque
	Cab. aplic / Recravagem lig. – 1	Fecha mandril do torque
	Início do rosqueamento – 1	Ângulo de início de torque
Etapa Torque Final	Rotação rosqueamento – 2	Velocidade de rosqueamento
	Tempo de retenção de torque – 2	Tempo que o torque é aplicado após chegar ao fim da rosca
	Tempo din gradativo – 2	Tempo máximo para fim do torque
	Tol. Mom deslig. – 2	Tolerância máxima de torque
	Tol. posição tempo parada – 2	Tolerância máxima de posição do mandril
	Rotação max tempo parada – 2	Rotações máximas após o torque
	Momento desligado – 2	Torque
	Cab. aplic / Recravagem desl – 2	Abre mandril do torque
	Cab. aplic / Recravagem lig. – 2	Fecha mandril do torque
	Início do rosqueamento – 2	Ângulo de início de torque

Fonte: Registro da empresa, 2021

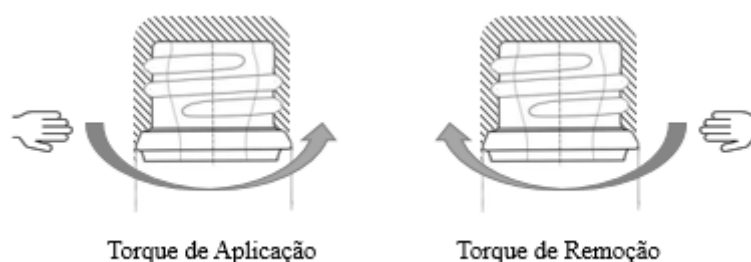
A Tabela 6 descreve os parâmetros alteráveis envolvendo as etapas de Pré-Roscar I e de Torque Final. São listados todos os parâmetros mutáveis dessas 2 (duas) etapas, contendo o nome do parâmetro e a sua função.

Diante disso foram levantados os dados do historiador do maquinário da linha. O historiador é o equipamento responsável por registrar os parâmetros utilizados nos envases dessa plataforma e registrar os dados inferidos naquela produção. Os dados referentes à Miniatura H foram separados para análise. Este levantamento foi realizado com o objetivo de colher as variações de parâmetros que poderiam influenciar no resultado final de torque de remoção. O torque de remoção mede qual a força necessária para desrosquear a válvula do frasco e é um indicador importante para a empresa pois garante que o produto chegará fechado ao consumidor final.

Segundo Bócoli e Jaime (2014), no Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens, o torque é definido como o momento de uma força ou sistema de forças (força x distância radial) que tende a causar a rotação de uma tampa sobre a terminação de uma determinada embalagem. Segundo a norma ASTM D 3198-97 (2002), quando o torque é realizado com o objetivo de fechar a embalagem, é denominado torque de aplicação e quando realizado no sentido contrário, causando a abertura da embalagem, é denominado torque de remoção.

Na Figura 5 é possível observar as diferenças entre o torque de aplicação e remoção. O torque de aplicação é realizado pressionando a válvula, representada pela área tachada, e girando-a no sentido da última rosca. Já o torque de remoção a força é ao contrário, a válvula é pressionada e movimentada no sentido da primeira rosca. A primeira rosca é o menor ponto de contato entre a válvula e o frasco, então o movimento é no sentido de abri-lo, a última rosca é o maior ponto de contato entre a válvula e o frasco, então o movimento é no sentido de fechá-lo.

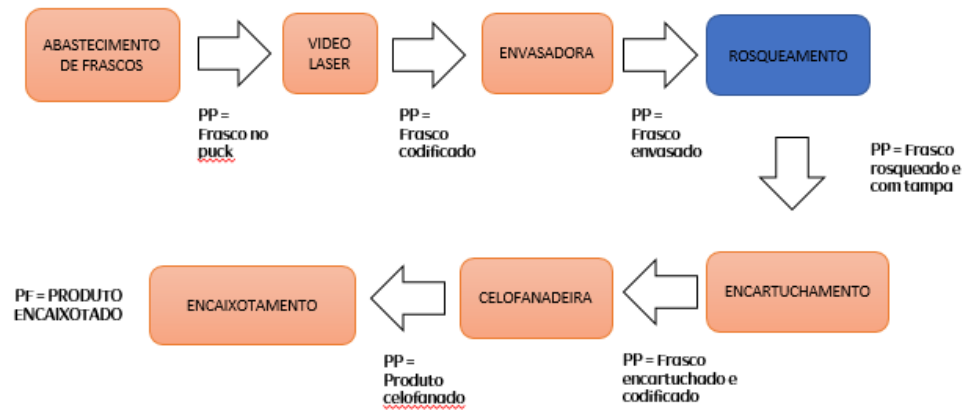
Figura 5: Demonstração Visual do Torque de Aplicação e Remoção



Fonte: Elaboração própria, 2021

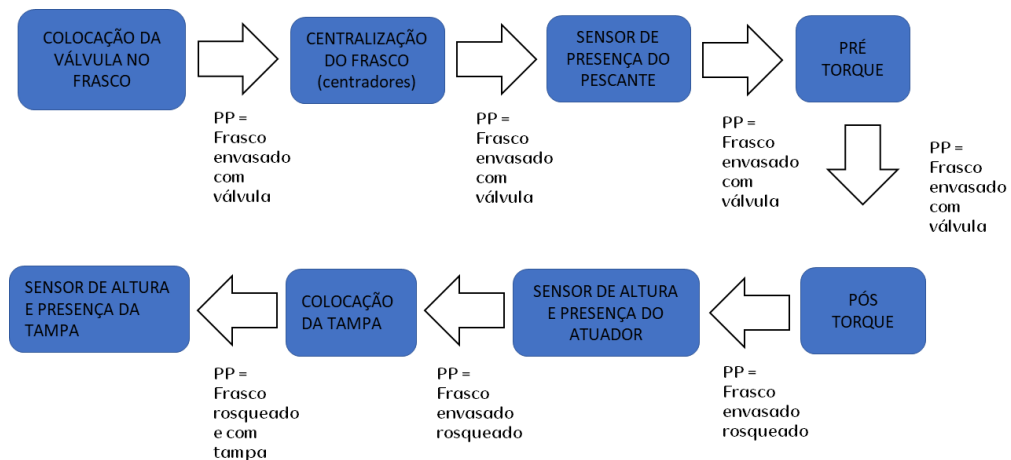
Para que seja possível o entendimento das próximas ações é necessário apresentar o processo de envase, de colocação da válvula e fechamento do frasco do produto em questão, para isso foi construído um fluxograma das etapas nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Mapa do processo de envase da Miniatura H



Fonte: Elaboração própria, 2021

Figura 7: Mapa do processo de rosqueamento da Miniatura H



Fonte: Elaboração própria, 2021

O fluxograma das etapas gerais do processo de envase, Figura 6, se inicia no abastecimento dos frascos nos *pucks*, material responsável pelo acondicionamento do frasco para que seja possível passar por todas as etapas da linha, seguido pela codificação do frasco com as informações legais, lote e validade pela *laser jet*, passando para etapa de envase na “envasadora” para enchimento dos frascos com o perfume, seguido pela etapa de rosqueamento da válvula, colocação dos produtos na sua embalagem secundária (“encartuchamento”), celofanagem e, por fim, o “encaixotamento” nas caixas de produto final.

Detalhando melhor o processo de rosqueamento dos frascos, vide a Figura 7, cada um dos frascos já cheios de perfume passam pela etapa de colocação da válvula no frasco, seguido da etapa de centralização do frasco no *puck* para garantir o rosqueamento centralizado da válvula, passando por um sensor de presença de pescante, eliminando casos de pescante ausente, seguido pela primeira etapa de torque, logo após a segunda etapa de torque, passando por um sensor de altura da atuador, parte superior da válvula onde é feito o acionamento do produto. A seguir passa-se pela etapa de colocação da tampa e por um sensor de altura e presença da tampa. Esses sensores são de grande importância para mitigar os desvios dos produtos na etapa de “encartuchamento”.

Com o entendimento do processo, foi necessário analisar os parâmetros utilizados para o fechamento dos frascos da miniatura da marca H. O processo de fechamento da válvula conta com 10 parâmetros de pré-torque e 10 parâmetros de pós-torque. A partir dos parâmetros passíveis de alteração na linha de envase, foram determinados 3 parâmetros, velocidade de rosqueamento, torque de aplicação e velocidade da linha, para serem analisados dentro do Planejamento de experimentos (DoE), esses parâmetros foram selecionados, pois eram os mais ajustados durante o processo de envase. O objetivo é avaliar se esses parâmetros têm correlação com o resultado de torque de remoção e definir estatisticamente o melhor conjunto para eles.

4.4. Aplicação do Planejamento de Experimentos

Neste momento, foi necessário planejar as configurações para a realização da coleta de amostras para posterior análise estatística. De acordo com a técnica do DoE são necessárias 8 (oito) correlações entre os parâmetros, uma vez que são 3 (três) parâmetros analisados, considerando as especificações de máximo e mínimo. A Tabela 7 mostra as faixas de valores dos parâmetros em análise, sendo o sinal negativo o parâmetro tendendo para o seu limite inferior de especificação e o sinal positivo o parâmetro tendendo pra o seu limite superior de especificação.

Tabela 7: Faixa de Valores dos Parâmetros

	Velocidade de rosqueamento	Torque de aplicação	Velocidade da linha
-	150 rpm	2 lbxpol	50 pç/min
+	260 rpm	4 lbxpol	60 pç/min

Fonte: Elaboração própria, 2021

Adicionalmente a essa configuração, para cada uma das correlações é necessária a inferência de torque de remoção de 10 (dez) amostras, que estão descritas na Tabela 8:

Tabela 8: Arranjo Experimental para aplicação do Planejamento de Experimentos no processo de envase da Miniatura H

	Velocidade de rosqueamento	Torque de aplicação	Velocidade da linha
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Fonte: Elaboração própria, 2021

Na Tabela 8 são apresentadas as diferentes combinações que precisarão ser amostradas para que seja observada a interação com a variável de saída. Seguindo a técnica do DoE era necessário variar entre a configuração de máximo e de mínimo para cada um dos parâmetros de forma que teremos todas as combinações possíveis entre eles.

Para cada um dos parâmetros a serem analisados foram definidos limites de especificação ou limites usuais utilizados historicamente, sendo eles: a partir da velocidade de rosqueamento foi definido os limites utilizados historicamente nessa plataforma de 150 rpm até 260 rpm. O torque de aplicação foi definido no limite de especificação de 2lbp até 4lbp, esse valor não pode ser alterado devido à resistência dos outros componentes de embalagem que participam do processo de aplicação de torque. A velocidade da linha foi definida baseado nos valores utilizados historicamente de 50 pps/min até 60 pps/min.

O objetivo do planejamento de experimentos é avaliar uma variável de saída, neste caso a variável escolhida foi o torque de remoção. Neste DoE foram utilizadas 3 (três) variáveis de controle, portanto o número de combinações entre os parâmetros e suas especificações é igual a 8 (oito). Todas essas combinações foram testadas e, para cada *set up*, 10 (dez) amostras foram recolhidas e registradas quanto ao torque de remoção (TR), os resultados são avaliados no ambiente Minitab 19[®] utilizando as técnicas de planejamento fatorial, DoE e ANOVA. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados obtidos com a aplicação do Planejamento de Experimentos na Miniatura H

Núm. amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TR comb.1	2,78	2,33	2,87	2,46	2,18	2,6	1,6	2,44	2,17	2,52
TR comb.2	1,55	2,61	1,94	2,19	2,47	1,78	1,83	2,18	1,86	1,73
TR comb.3	3,42	3,34	3,4	3,36	3,8	3,4	3,48	3,6	3,44	3,44
TR comb.4	5,08	4,92	4,92	4,98	4,9	4,94	4,64	5,02	4,9	4,92
TR comb.5	3,44	1,88	2,42	3,12	2,17	2,67	2,74	4,6	1,96	2,36
TR comb.6	1,91	1,61	2,73	2,45	1,41	2,39	2,15	2,18	2,33	2,32
TR comb.7	4,06	3,78	3,76	3,78	3,84	3,74	3,84	3,84	3,84	3,66
TR comb.8	5,07	4,38	5,38	3,89	3,15	4,54	3,19	2,91	5,18	5,66

Fonte: Elaboração própria, 2021

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos das amostras de todas as 10 (dez) combinações disponíveis. É interessante salientar que as combinações foram inseridas de forma aleatória no intuito de garantir que os resultados generalizáveis fossem atendidos.

A partir da coleta dos torques de remoção, a variável de saída que se quer otimizar, pode-se iniciar a análise dos dados através da aplicação do experimento fatorial no *software* Minitab 19[®], ele atua na aplicação estatística para auxiliar na análise de dados. Dessa forma, as variáveis são consideradas como descrito na Tabela 10:

Tabela 10: Descrição das Variáveis de entrada

Variável	Dado
A	Velocidade de rosqueamento
B	Torque de aplicação
C	Velocidade da linha

Fonte: Elaboração própria, 2021

A Tabela 10 contém as 3 (três) variáveis de entrada definidas para serem utilizadas na técnica do Planejamento de Experimentos. Essas variáveis foram escolhidas a partir dos parâmetros de máquina da etapa de pré-torque.

Tabela 11: Análise de Experimento Fatorial – Sumário do Modelo

S	R ²	R ² _{aj}	R ² _{pred}
0,537789	79,15%	77,12%	74,26%

Fonte: Elaboração própria, 2021

Na Tabela 11 pode-se observar os coeficientes codificados obtidos com os dados das amostras. O R^2_{aj} é o coeficiente que identifica em porcentagem o quanto da alteração das variáveis analisadas escolhidas em conjunto é influente sobre a variável de saída. No caso desse estudo, mostra o quanto a velocidade de rosqueamento, o torque de aplicação e a velocidade de linha influenciam no torque de remoção, esse coeficiente foi de 77,12%. Esse valor indica que estatisticamente a análise feita nesse estudo é relevante e cobre parte significativa do resultado em torque de remoção.

A partir dos dados coletados e aplicação da equação de regressão foi possível determinar uma equação cuja incógnita é o torque de remoção (TR) e as variáveis são velocidade de rosqueamento (A), torque de aplicação (B) e velocidade da linha (C). A equação (4) descreve a relação entre a resposta e os termos do modelo:

$$TR = 3,2290 + 0,1870A + 0,9058B + 0,0292C + 0,3068 A * B - 0,0812 A * C - 0,0895 B * C - 0,1520 A * B * C \quad (4)$$

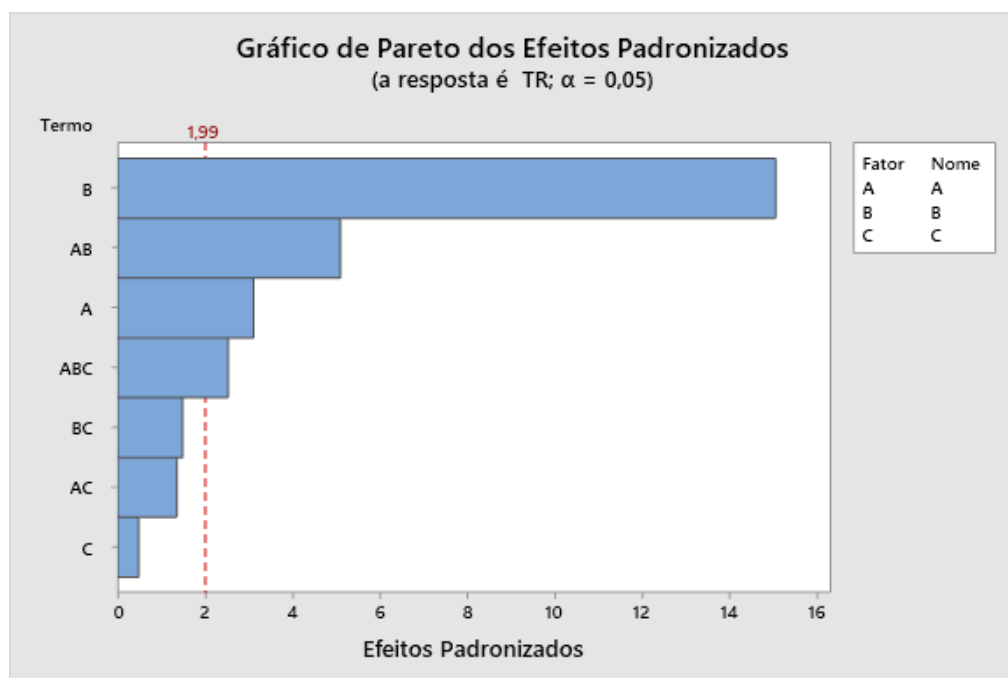
Tabela 12: Resultado da Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	7	79,0415	11,2916	39,04	0,000
Linear	3	68,4966	22,8322	78,94	0,000
A	1	2,7975	2,7975	9,67	0,003
B	1	65,6306	65,6306	226,93	0,000
C	1	0,0684	0,0684	0,24	0,628
Interações de 2 fatores	3	8,6966	2,8989	10,02	0,000
A*B	1	7,5276	7,5276	26,03	0,000
A*C	1	0,5281	0,5281	1,83	0,181
B*C	1	0,6408	0,6408	2,22	0,141
Interações de 3 fatores	1	1,8483	1,8483	6,39	0,014
A*B*C	1	1,8483	1,8483	6,39	0,014
Erro	72	20,8236	0,2892		
Total	79	99,8651			

Fonte: Elaboração própria, 2021

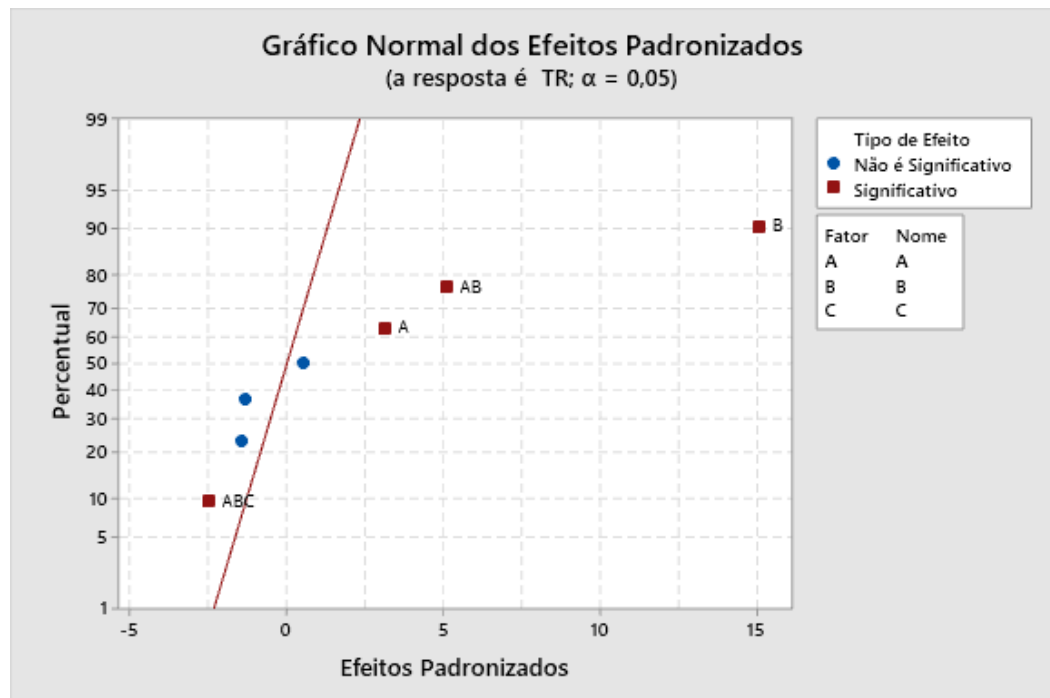
Em relação à Tabela 12, o P-Valor é o coeficiente que nos mostra o grau de influência de cada variável separadamente sobre a de saída e o ideal é que, para uma variável influente, este valor seja menor que 0,05, o que indica ter nível de confiança maior que 95%. Na Tabela 12, pode-se observar que os itens que apresentam nível de confiança maior que 95% são: A (0,003), B (0,000), AB (0,000) e ABC (0,014). Portanto, neste trabalho as variáveis mais importantes para análise são: B – Toque de aplicação, seguida pela A – Velocidade de Rosqueamento. Veja que as iterações AB e ABC também são mostradas como influentes pela análise do P-Valor.

Figura 8: Gráfico de Pareto dos Efeitos Padronizados



Fonte: Elaboração própria, 2021

O Gráfico de Pareto utiliza 95% de confiança, seus dados são organizados horizontalmente de forma decrescente para facilitar a visualização de quais são mais influentes sobre o Torque de Remoção (TR), que é a variável de saída. A análise de quais são as variáveis significativas neste experimento ficam claras quando se observa a Figura 8, que mostra o Pareto desses resultados. De acordo com o gráfico de Pareto, com esse grau de significância, as variáveis consideradas influentes em relação à variável de saída são, assim como mostra a Análise de Variância, as seguintes: B – Toque de aplicação, seguida pela iteração AB e A – Velocidade de Rosqueamento.

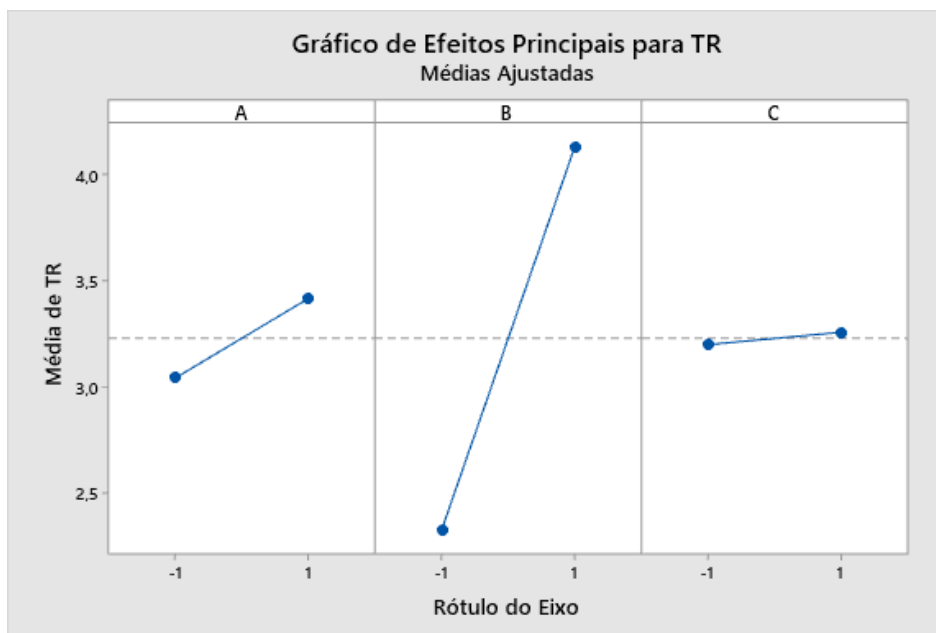
Figura 9: Gráfico Normal dos Efeitos Padronizados

Fonte: Elaboração própria, 2021

A Figura 9 “Normal dos Efeitos padronizados” mostra o percentual de significância versus os efeitos padronizados em relação à variável de saída. O gráfico apresenta também quais desses parâmetros e suas interações são significativos para o Planejamento de Experimentos, observa-se então que: o B – Torque de aplicação é novamente o parâmetro mais influente com aproximadamente 90%, seguida pela interação AB com pouco mais de 75% e A – Velocidade de Rosqueamento com pouco mais de 60% e a interação ABC com 10%. Este gráfico demonstra que dentre os parâmetros observados, o B – Torque de aplicação é aquele que mais representa os efeitos sobre a variável de saída.

Adicionalmente, ainda sobre a Figura 9, pode ser observado que as variáveis B, AB e A possuem um efeito padronizado positivo, ou seja, quando o processo muda de um nível baixo para um nível alto do fator, a resposta aumenta. Enquanto para a variável ABC, o efeito padronizado é negativo, porém por ainda estar bem próximo à linha de ajuste, sua magnitude é inferior comparada aos demais efeitos, que bate com a informação mostrada anteriormente no gráfico de Pareto.

Figura 10: Gráfico de Efeitos Principais para o Torque de Remoção

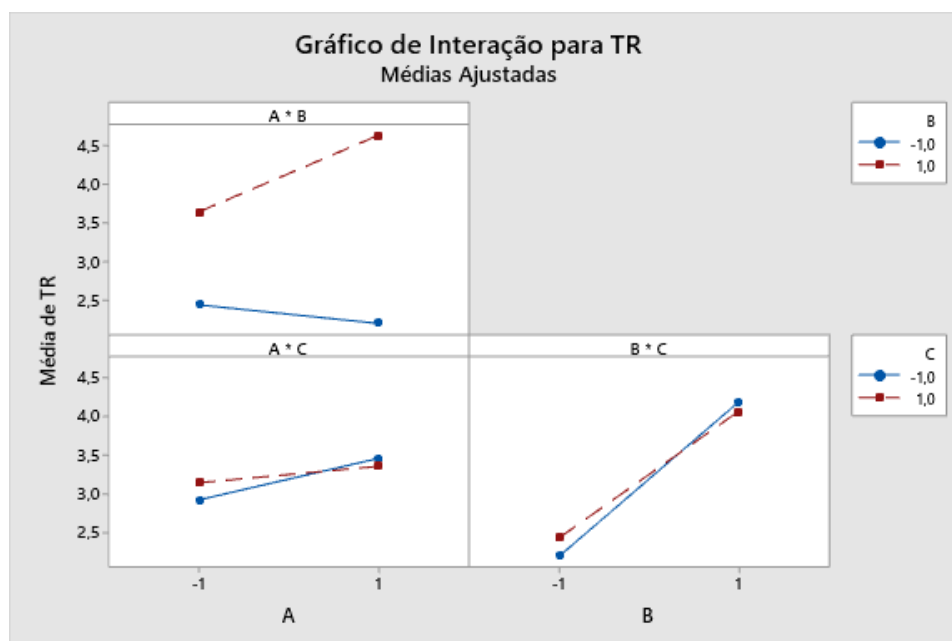


Fonte: Elaboração própria, 2021

A Figura 10 demonstra como cada uma das 3 variáveis (A – velocidade de rosqueamento, B – torque de aplicação e C – velocidade da linha) alteram o valor do Torque de Remoção separadamente, enquanto estão em sua configuração de valor mínimo e máximo. Nesta visualização pode-se comparar a diferença entre os parâmetros sobre a variável de saída, neste sentido a variável que apresentar maior inclinação de sua reta, ou seja, a que mais altera o valor da variável de saída, será a mais influente sobre o resultado.

Como nas demais análises, a variável “B – Torque de aplicação” se destaca por ter uma grande influência no Torque de saída ao ser alterada. Quando o Torque de Aplicação é ajustado para o valor mais baixo, o valor da variável de saída (Torque de Remoção) também se mostra mais baixo, em oposição quando é ajustado para um torque de aplicação mais alto, de modo que a variável de saída resultante tende a ser mais alta. Dessa forma, fica evidente a importância de um estudo aprofundado sobre este ponto do processo.

A variável “A – Velocidade de Rosqueamento” apresenta certa influência, porém é menor, se comparada ao da variável “B – Torque de aplicação”. Quando a Velocidade de rosqueamento é ajustado em seu valor menor, o Torque de remoção tende a ser menor e, em contraposição, quando ajustado em seu valor maior, o Torque de remoção tende a ser maior. Ao alterar o valor da variável “C – Velocidade da linha” quase não se altera o Torque de remoção, mostrando que sua influência sobre esse efeito é mínima.

Figura 11: Gráfico de Interação para o Torque de Remoção

Fonte: Elaboração própria, 2021

A Figura 11 “Interação para o Torque de Remoção” mostra a comparação entre os efeitos das variáveis observadas e se há interação entre elas. De forma geral, uma variável terá influência sobre a outra se a projeção de suas retas, que representam seus efeitos sobre a variável de saída, se cruzarem em algum ponto. Ao observar a interação entre as variáveis, pode-se concluir que todas elas apresentam algum grau de interação, pois em todos os gráficos a projeção das retas se cruzam, mesmo que em um ângulo pequeno. A Figura 11 ainda reforça o que a análise de variância (ANOVA) demonstra, mostrada anteriormente na Tabela 12. A interação AB dentre as interações dos parâmetros é a que mais se destaca, demonstrando ser a mais influente sobre o fechamento dos frascos da miniatura H.

Com estas análises pode-se afirmar que a aplicação do Planejamento de Experimentos neste processo obteve êxito, pois foi possível identificar quais das variáveis observadas são influentes sobre a variável de saída e quais são os níveis dessas influências. Além disto, também é apresentado graficamente quais são as interações entre essas variáveis estudadas. Todo esse estudo estatístico é de grande importância para a melhoria no processo deste produto, pois demonstra de forma técnica quais parâmetros são mais influentes para se obter um torque de remoção adequado que resulta em um melhor fechamento do frasco, que é a causa raiz do problema reportado inicialmente.

4.5. Otimização

Com os pontos anteriores apresentados, inicia-se a análise de otimização. Ainda no *software* Minitab 19®, foi aplicada a ferramenta de otimização com o propósito de demonstrar quais são os melhores parâmetros para se utilizar que potencializem o resultado da variável de saída de acordo com o que é considerado ótimo.

O modelo otimizador que o Minitab 19® utiliza é a Função *Desirability*. Essa função proposta inicialmente por Harrington (1965), e aprimorado por Derringer e Suich (1980), é uma técnica útil para a análise de experimentos em que várias respostas podem ser otimizadas simultaneamente (MONTGOMERY et al., 1996). Essa função avalia em que medida uma combinação de variáveis satisfaz as metas definidas para as respostas. O valor D representa a função *Desirability* que abrange uma amplitude de 0 (zero) a 1 (um), onde 1 (um) representa o caso ideal enquanto 0 (zero) indica que uma ou mais respostas estão fora dos seus limites aceitáveis.

Derringer e Suich (1980) modificaram a função *Desirability* definindo três funções que resultam em três diferentes tipos de variáveis de saída: Nominal é Melhor, Menor é Melhor e Maior é Melhor. A Equação “Nominal é Melhor” (5) possui as restrições de máximo e mínimo para se atingir um valor alvo, sendo s e t valores entre 0,01 e 10, que são influentes na função *Desirability*; L_i e L_s são limites inferiores e superiores, respectivamente, e T_i é o valor alvo:

$$d_i = \begin{cases} \left[\frac{\hat{Y}_i - L_i}{T_i - L_i} \right]^s, & L_i \leq \hat{Y} \leq T_i \\ \left[\frac{\hat{Y}_i - L_s}{T_i - L_s} \right]^t, & T_i \leq \hat{Y} \leq L_s \\ 0, & \hat{Y} < L_i \text{ ou } \hat{Y} < L_s \end{cases} \quad (5)$$

Para a condição “Menor é Melhor”, onde o foco é minimizar a variável de saída, a função *Desirability* é definida pela equação (6) onde a é o menor valor possível para a variável resposta:

$$d_i = \begin{cases} 0, & \hat{Y}_i > L_s \\ \left[\frac{\hat{Y}_i - L_s}{a - L_s} \right]^t, & a \leq \hat{Y}_i \leq L_s \\ 1, & \hat{Y}_i > L_s \end{cases} \quad (6)$$

Por fim, para a condição “Maior é Melhor”, o foco é maximizar a variável de saída, a função *Desirability* é definida pela equação (7):

$$d_i = \begin{cases} \left[\frac{\hat{Y}_i - L_i}{L_s - L_i} \right]^s & \hat{Y}_i < L_i \leq \hat{Y} \leq L_s \\ 0, & \hat{Y}_i < L_i \leq \hat{Y} \leq L_s \\ 1, & \hat{Y}_i > L_s \end{cases} \quad (7)$$

Em concordância com os tipos de funções definidos para o *Desirability* o que mais se adequa para o presente estudo é o denominado “Nominal é Melhor”, pois no caso dessa análise a resposta esperada trata-se de um valor alvo. Ao observar o dado que representa o resultado utilizado como variável de saída neste estudo, que é o Torque de Remoção, espera-se atingir o valor de 3 lbxpol, com limite superior de 4 lbxpol e limite inferior de 2 lbxpol. Além disso utilizamos peso e importância 1 (um) para essa análise de otimização.

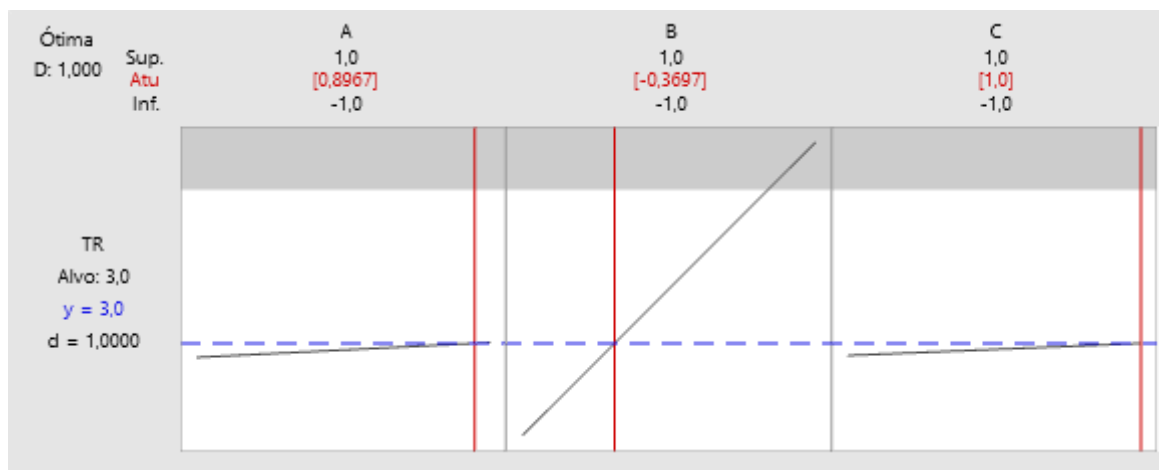
Tabela 13: Otimização de Variáveis a partir da aplicação da função *Desirability*

Variável	Configuração
A	0,896688
B	-0,369707
C	1

Fonte: Elaboração própria, 2021

Na Tabela 13 são mostrados os valores codificados em resposta à otimização realizada para as 3 (três) variáveis desta pesquisa, a otimização tem como alvo a variável de saída (Torque de Remoção) configurada em 3 lbxpol, de acordo com os dados utilizados na primeira parte do estudo. O *software* Minitab 19[®] disponibiliza o gráfico dessa otimização, representado pela Figura 12. Este gráfico pode ser alterado para diferentes visualizações de acordo com a configuração de valores para cada um dos parâmetros, dessa forma pode-se simular qual seria a reação da variável de saída, se alterarmos os valores das variáveis A, B e C.

Figura 12: Gráfico de Otimização dos Parâmetros

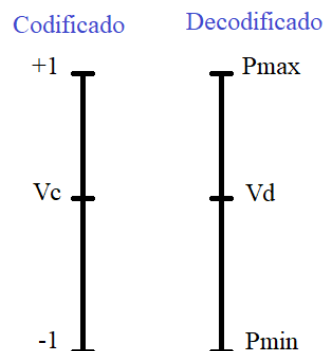


Fonte: Elaboração própria, 2021

A Figura 12 mostra o gráfico de otimização deste Planejamento de Experimentos. O valor de *Desirability* (D) neste estudo é igual a 1 (um), o que indica que foi possível encontrar valores ideais para as variáveis ajustáveis que apresenta a resposta ótima com estes dados. Nessa otimização a variável de saída a ser otimizada é o Torque de Remoção e o valor ideal de resposta é 3 lbxpol, representado por $y = 3,0$ (três) e pela linha horizontal azul no gráfico. Além disso, os valores ideais das variáveis apresentam-se no topo do gráfico na cor vermelha, entretanto os valores apresentados estão codificados, pois variam entre -1 (menos um) e 1 (um).

Com o objetivo de analisar os parâmetros que serão configurados em máquina, foi aplicada a decodificação dos valores ideais encontrados na otimização, uma vez que estão codificados entre -1 (menos um) e 1 (um). Para a decodificação foi realizada uma conversão de escalas, para que os valores das variáveis A, B e C voltassem a representar os valores de “Velocidade de rosqueamento”, “Torque de aplicação” e “Velocidade da linha”.

Figura 13: Escalas para decodificação de variáveis



Fonte: Elaboração própria, 2021

A Figura 13 mostra 2 (duas) escalas que simbolizam a conversão e comparação de escalas que seriam diferentes: a escala dos valores codificados da otimização e a escala dos valores que seriam inseridos em máquina. A partir das escalas mostradas na Figura 13, é possível visualizar os pontos em que será aplicada a conversão, tais quais:

- $+1$ e -1 são os valores codificados usados na otimização;
- V_c é a variável codificada;
- V_d é a variável decodificada;
- P_{max} é o valor máximo utilizado neste parâmetro;
- P_{min} é o valor mínimo utilizado neste parâmetro.

A partir dessas escalas, foi possível converter os valores utilizando semelhança de triângulos para que os números voltassem a representar valores reais, colocados em máquina para o fechamento dos frascos. Portanto, a equação (8) é deduzida:

$$V_d = \frac{V_c * \Delta}{2} + P_{med} \quad (8)$$

- V_d é a variável decodificada;
- V_c é a variável codificada;
- Δ é a diferença entre o valor maior e o valor menor de parametrização
- P_{med} é o valor intermediário entre os valores máximo e mínimo de cada parâmetro real.

Dessa forma, os valores decodificados foram calculados, que são considerados como valores ótimos para serem utilizados no maquinário, nesse cenário de dados. Os valores são apresentados na Tabela 14:

Tabela 14: Variáveis Decodificadas

Variável	Configuração
Velocidade de rosqueamento	254 rpm
Torque de aplicação	2,63 lbxpol
Velocidade da linha	60 peças/min

Fonte: Elaboração própria, 2021

A Tabela 14 apresenta os valores otimizados decodificados de cada um dos parâmetros estudados, onde os valores são os que devem ser colocados em máquina para um melhor resultado. Em conclusão, os valores da Tabela 14 são considerados os valores ideais para conseguir um torque de remoção de 3lbxpol, se fabricados sobre essas mesmas circunstâncias. O valor de 3lbxpol para o Torque de Remoção é adotado, pelo fato de ser o valor alvo ideal para os testes de fechamento de frasco da Miniatura H. Ao comparar com o valor encontrado pelo Minitab 19[®], a função otimizadora conseguiu encontrar uma solução ajustada com o alvo e sem dispersão, visto que o valor da *Desirability* (D) é igual a 1 (um).

Em concordância a estes fatos, comparando os valores encontrados aos parâmetros utilizados em máquinas na ocasião do estudo, os ajustes a serem realizados são pequenos, o que indica que os valores já estão bons e que este estudo ajuda a incrementar a qualidade do produto. Portanto, o presente intento teve êxito em averiguar e analisar os parâmetros de fechamento de frascos por meio do Planejamento de Experimentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões do trabalho

Este trabalho teve como objetivo principal aplicar o Planejamento de Experimentos para análise e proposta de melhoria dos parâmetros de uma linha de envase de perfumes em uma empresa de cosméticos. Como resultado foi possível:

- Propor um conjunto de parâmetros estatisticamente adequados;
- Demonstrar que os parâmetros possuem 77% de relevância com a variável de saída;
- Afirmar que a aplicação das ferramentas estatísticas foi satisfatória e contribuirá para a melhoria do processo de envase;
- Determinar que a iteração AB é a mais influente sobre a variável de saída e que a variável B apresenta maior relevância;
- Encontrar resultados codificados que demonstram os melhores valores para potencializar a variável de saída.

Por fim, o presente estudo pode ser concluído com análises relevantes e bons resultados, além de aplicar a técnica do Planejamento de Experimentos em uma linha de envase com parâmetros de fechamento de frasco e variável de saída sendo Torque de remoção.

5.2. Limitações do estudo

O trabalho abrange uma das causas levantadas no Diagrama de Ishikawa, não sendo aprofundada para as demais causas encontradas. As outras causas demandavam alto investimento, análise com os fornecedores de insumos, estudo e mudança de layout logístico, além de um tempo longo de implementação.

Ademais, o estudo limita-se as análises estatísticas dos três parâmetros determinados, não analisando as correlações dos mesmos com os outros 17 (dezessete) parâmetros mapeados. Ou seja, o estudo está limitado ao produto estudado, seus resultados não podem ser replicados para os outros produtos envasados nessa linha ou para outras linhas de envase. O trabalho não analisa o resultado dos parâmetros em linha de envase e sua efetividade em redução de reclamações.

5.3. Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros faz-se necessário trabalhar as limitações deste estudo e melhorias dos componentes de embalagens junto aos fornecedores, buscando trazer mais robustez para o processo. Além disso, deve-se pensar na efetividade desses parâmetros em linha, previsto para o próximo período de produção, e a efetividade deles na redução de reclamações recebidas pelo SAC, analisando-se assim a melhoria da cadeia completa, desde a compra de insumos até o recebimento do produto final pelos consumidores.

Há também a oportunidade de realizar um estudo aprofundado quanto aos resíduos encontrados na análise deste trabalho. Os resíduos de um processo podem ser um ótimo estudo para melhorias, pois ao entender o porquê eles ocorrem é possível criar ações de correção e evitar que aconteçam, dessa forma melhorando a qualidade do processo.

Com o sucesso deste trabalho, o mesmo estudo poderá se estender para todos os parâmetros existentes e para todas as marcas que possuem miniaturas desta empresa. A partir dessa ação é possível reduzir perdas no processo e logística reversa, trazendo ganhos expressivos para a companhia. Este plano de ação também poderá ser replicado para todas as demais famílias de produtos que possuem parâmetros ajustáveis em suas linhas de envase, visto que o projeto é de rápida aplicação, baixo investimento financeiro e resultados adaptados ao processo específico.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, Odair José; CARDOSO, Álvaro Azevedo. Utilização do controle estatístico de processo atrelado às ferramentas da qualidade no monitoramento do peso das embalagens do produto final: um estudo de caso em uma indústria química. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 65241-65257, set. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/16161/13225>. Acesso em: 23 dez. 2021.

ABIHPEC (2021). **Panorama do Setor de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos**. APIHPEC – Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, 21 de novembro de 2021, São Paulo, disponível em: <https://abihpec.org.br/>. Acesso em 23 de março de 2022.

ARRUDA, Ana Izabelle Bezerra de; SANTOS, Ewerton Carlos de Amorim; MELO, Layla Sayara Sobral. Análise da gestão da qualidade em uma indústria de alimentos em Caruaru – PE: estudo sobre a utilização das ferramentas da qualidade. In: XXXIV Encontro Nacional de Engenharia De Produção, 2016, João Pessoa. **Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasi**. Paraíba: [N.I.], 2016. p. 1-18.

A.S. CANBOLAT; A.H. BADEMLIOGLU; N. ARSLANOGLUA; O. KAYNAKLI. Performance optimization of absorption refrigeration systems using Taguchi, ANOVA and Grey Relational Analysis methods. **Journal Of Cleaner Production**, [s. l], v. 229, p. 874-885, 20 ago. 2019.

ALMEIDA, Carlos Augusto de; VILELA, Daniel José Borges; SILVA, Juliana Moura da; RIBEIRO, Rosinei Batista; ROSA, Jorge Luiz. Aplicação de ferramentas de gestão de estoque em uma empresa de comunicação visual. **Revista H-Tec Humanidades e Tecnologia**, [N.I.], v. 1, n. 2, p. 29-46, dez. 2017.

ALVES, Gabriela de Paula Planejamento de experimentos. / Gabriela de Paula Alves. – Indaial: UNIASSELVI, 2019. 212 p. 91

ANTUNES, Jr. **Os paradigmas na Engenharia de Produção**. Capítulo 2, Gestão de Processos, COPPE/UFRJ, 2006.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D 3198-97 (Reapproved 2002)**: standard test method for application and removal torque of threaded or lug-style closures. Philadelphia, 1997. 3p.

BARBOSA, A. F., GEMENTE, G. B., SANCHES, M. N., RODRIGUES, F. M., & SABAA-SRUR, A.U. **Importance of Quality Management in the Processors of Fruit and Vegetable Industries**, 2016.

BANZONI, Anderson Acácio F.; ZENI, André; FRANÇA, Rafael T.; TORRICELLI, Telma Aline; DAOLIO, Raquel Pinton Geraldino. Implantação do diagrama de ishikawa em uma

empresa do segmento de tintas e materiais para construção, para solucionar problemas de estocagem e recebimento. **Gestão em Foco**, [N.I], n. 7, p. 227-238, 2017.

BERTRAND, Will; FRANSOO, Jan; Modelling and simulation - operations management research methodologies using quantitative modeling. 2002. **International Journal of Operations & Production Management**. V. 22, n.3, 241-264, 2002. doi:10.1108/01443570210414338

BÓCOLI, Paula F. Janetti; JAIME, Sandra Balan M. Influência do torque de fechamento no torque de remoção imediato de tampas plásticas. **Cetea: Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens**, [N.I], v. 26, n. 2, p. 1-7, jun. 2014. Mensal.

BOOKER, Julian D. Industrial practice in designing for quality. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 20(3), 288–303, 2003. Disponível em: doi:10.1108/02656710310461305

CAMPOS, V. F. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. Minas Gerais; **INDG Tecnologia e Serviços Ltda.**, 1999

CHAUVEL, Marie Agnes; GOULART, Vânia Cianni. Como gerar valor para os clientes por meio dos Serviços de Atendimento ao Consumidor: o que mostram as pesquisas. **Ebape**, São Paulo, v. 4, n. 5, p. 1-10, dez. 2007.

DELBRIDGE, Rick; BARTON, Harry. Organizing for continuous improvement. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 6, p. 680-692, 2002.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, p. 214-219, 1980.

DIVIS, E. BURKE, S. KEY, M, THORSEN, S. Randomization: A Core Principle of DOE. STAT Center of Excellence. Wright-Patterson AFB: **Air Force Institute of Technology**, Agosto de 2020. Acesso em 29 de novembro de 2021. Disponível em: https://www.afit.edu/stat/statcoe_files/1001AFIT2020ENS09115%201001divi%202-2.pdf

FEIGENBAUM, Armand V. **Controle da Qualidade Total: gestão e sistemas**. São Paulo: Makron, 1994.

FREITAS, André Luis Policani. **Emprego de Ferramentas da Qualidade na Melhoria dos Serviços de infraestrutura de Tecnologia da Informação na PETROBRAS**. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2005_enegep0201_044

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 192 p.

GOMES, J. C. C. BARCELOS, B. F. **Proposta de Melhoria no Layout de um Almoxarifado utilizando a ferramenta 5W2H**. DSpace JSPUI - Rede de Ensino DOCTUM João Monlevade, 2019. URI: <http://hdl.handle.net/123456789/2251>

HARRINGTON, E. The Desirability Function. **Industrial Quality Control**, v.21, p.494-498, 1965.

HERMOGENES, Lucas Ramon dos Santos; SANTOS, Marcos dos; WALKER, Rubens Aguiar. Utilização do Diagrama de Ishikawa como ferramenta de análise da causa raiz do alto índice de perdas em uma Indústria de plásticos no Rio de Janeiro. In: **Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística Da Marinha**, 19 [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

JANKOVIC, Aleksandar; CHAUDHARY, Gaurav; GOIA, Francesco. Designing the design of experiments (DOE) – An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. **Energy And Buildings**, [N.I], v. 250, n. 1, nov. 2021.

JOHN, S. K.; JAMES, W. K. Desing of Experiments an Overview and Application Example. **Medical Device & Diagnostic Industry**, [N.I], 1996.

KLEIJNEN, J.P.C.; SANCHES, S.M.; LUCAS, T.W.; CIOPPA, T.M. State-of-the-Art Review: **A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments**. Journal on Computing, v.17, n.3, p.263–289, 2005.

MARSHAL, Isnard Jr et al. **Gestão da Qualidade**. 8. ed Rio de Janeiro: FGV, 2006.

MESQUITA, Melissa; ALLIPRANDINI, Dário Henrique. Competências essenciais para melhoria contínua da produção: Estudo de caso em empresas da indústria de autopeças. **Revista Gestão & Produção**, v. 10, n. 1, p. 17-33, 2002.

MEIRA, R. C. **As ferramentas para a melhoria da qualidade**. Porto Alegre: SEBRAE, [N.I], 2003.

MONTGOMERY, D. C.; CASTILHO, E. Del McCarville, DANIEL, R. Modified Desirability Functions for Multiple Response Optimization. **Journal of Quality Technology**, Vol. 28, No. 3, p.337-345, July 1996.

MURRAY, Peter; CHAPMAN, Ross. From continuous improvement organizational learning: developmental theory. **The Learning Organization**, v. 10, n. 5, p. 272-282, 2003.

NAKAGAWA, Marcelo. **Ferramenta 5W2H – Plano de Ação para Empreendedores**. Globo, 2014.

PENTEADO, Ricardo Batista; **Utilização de Metaheurísticas Combinada a diferentes Métodos de Aglutinação para a Otimização de um Processo de Torneamento com Múltiplas Respostas**. 2015. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

PEREIRA, Adriana Soares. SHITSUKA, Dorlivete Moreira. PARREIRA, Fabio José. SHITSUKA, Ricardo. **Metodologia da pesquisa científica** [recurso eletrônico] e-book – 1. ed. – Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018. Acesso em 26 de novembro de 2021. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 277 p, 2013.

RAISSI, S.; FARSANI, R. E. F. Statistical Process Optimization Through MultiResponse Surface Methodology. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v.51, p.267-271, 2009.

RAJALINGAM, S; BONO, Awang and Sulaiman, Jumat bin. 2012. Determining optimal moulding process parameters by two level factorial design with center points. **Sri Lankan Journal of Applied Statistics**. 12: pp. 63-82. Acesso em 26 de novembro de 2021. Disponível em: https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/24316/190283_75911_10-45-1-PB.pdf?sequence=2&isAllo

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. Revisão técnica Henrique Corrêa, Irineu Gíaresi. São Paulo: Atlas, 2009.

STARKEY, M.; AUGHTON, J.; BREWIN, R. Extending process thinking design of experiments in sales and marketing. **The TQM Magazine**, v.6, p.434-439, 1997.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 2000. 187 p.

WALTER, Olga Maria Formigoni Carvalho; PALADINI, Edson Pacheco, Lean Six Sigma in Brazil: a literature review, **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 10 No. 1, pp. 435-472, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2017-0103>

WERKEMA, Cristina. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

WERKEMA, M.; AGUIAR, S. **Análise de regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996.

ZHOU, Jiancheng; WU, Dongfang; GUO, Dongsheng. Optimization of the production of thiocarbonylhydrazide using the Taguchi method. **Journal Chemical Technology and Biotechnology**, v. 85, Issue 10, p. 1402–1406, 2010.