



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS (FMEA)
NA PRODUÇÃO DE TINTAS DECORATIVAS**

ALINE DE LIRA SILVA FERREIRA

Recife, PE

2024

ALINE DE LIRA SILVA FERREIRA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS (FMEA)
NA PRODUÇÃO DE TINTAS DECORATIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Química.

Orientador: Prof. Felipe Pedro da Costa Gomes

Recife, PE

2024

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE**

Ferreira, Aline de Lira Silva.

Aplicação da análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA) na produção de tintas decorativas / Aline de Lira Silva Ferreira. - Recife, 2024.

40 p.

Orientador(a): Felipe Pedro da Costa Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2024.

Inclui apêndices.

1. Análise de falhas. 2. FMEA. 3. Gestão da qualidade. 4. Melhoria contínua. 5. Tinta. I. Gomes, Felipe Pedro da Costa. (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

ALINE DE LIRA SILVA FERREIRA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS (FMEA)
NA PRODUÇÃO DE TINTAS DECORATIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Química.

Aprovado em: 09/10/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Felipe Pedro da Costa Gomes (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Luciano Costa Almeida (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Naiana Santos da Cruz Santana Neves (Examinador Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a minha jornada durante a minha graduação. Primeiramente, quero agradecer aos meus pais, Fátima e Agildo, por todo o amor, encorajamento e apoio incondicional ao longo da minha vida, e a toda a minha família.

Ao meu namorado, Gabriel Lucas, pela sua compreensão, paciência e incentivo, que foram cruciais para manter minha motivação e equilíbrio emocional durante essa fase intensa, sendo um verdadeiro pilar de força e conforto para mim.

A todos do meu convívio diário no trabalho, em especial a Caio, Júlia, Renata, Jaciana, a equipe de tecnologia e processos, aos supervisores, operadores de produção, químicos do laboratório de controle de qualidade e do laboratório de desenvolvimento e aos técnicos de manutenção/automação.

Aos meus amigos de faculdade, especialmente Alexandre Klaubber, Gabriel Henrique, Gabriel Ourem, Graziela Leite, Thiago Antonio e Thiago Francisco, por tornarem esses 5 anos de graduação cada vez mais leve.

Aos meus professores do ensino médio, Rodolfo Luna e Luiz Manoel, por terem sido os responsáveis por intensificar minha paixão pelas ciências exatas. Por fim, agradeço ao Professor Felipe, meu orientador acadêmico, cujo conhecimento e experiência foram essenciais para a minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

Diante dos desafios enfrentados pela indústria de tintas imobiliárias, onde a necessidade de garantir a conformidade com elevados padrões de qualidade, minimizar desperdícios e assegurar a confiabilidade do processo produtivo são fatores críticos. Se faz necessário adotar ferramentas robustas de análise de risco para otimizar o processo e prevenir falhas que possam comprometer o produto final. O presente trabalho aborda a aplicação da ferramenta FMEA (Análise dos Modos de Falha e Efeitos) no processo de produção de tintas decorativas, com o objetivo de identificar e mitigar riscos, além de melhorar a qualidade e a eficiência produtiva. O modelo adotado neste trabalho segue o modelo do AIAG & VDA, duas importantes organizações internacionais da indústria automotiva. O AIAG (*Automotive Industry Action Group*) e a VDA (*Verband der Automobilindustrie*) colaboraram para desenvolver uma abordagem de FMEA, que é composta por sete etapas. Essa estrutura oferece uma metodologia abrangente para avaliar e gerenciar riscos em processos industriais, sendo uma referência em diversas indústrias além da automotiva. O estudo realizado abrangeu todo o processo produtivo de uma fábrica de tintas imobiliárias, desde o fracionamento das matérias-primas até o envase do produto final. Através da aplicação do FMEA, foram identificados os possíveis modos de falha em cada etapa do processo, sendo suas causas e efeitos analisados detalhadamente. A partir dessa análise, foram estabelecidas ações corretivas e preventivas, com foco nas falhas de maior impacto para a qualidade e a segurança do produto. Os resultados do uso do FMEA demonstraram que a ferramenta auxilia na implementação de melhorias nos controles de prevenção e detecção, elevando a confiabilidade do processo produtivo e garantindo a conformidade com os padrões de qualidade exigidos pelo mercado, além de proporcionar um processo com menor retrabalho e menos desperdícios de materiais.

Palavras-chave: Análise de falhas. FMEA. Gestão da qualidade. Melhoria contínua. Tinta.

ABSTRACT

In view of the challenges faced by the real estate paint industry, where the need to ensure compliance with high quality standards, minimizing waste and ensuring the reliability of the production process are critical factors. It is necessary to adopt robust risk analysis tools to optimize the process and prevent failures that could compromise the final product. The present work addresses the application of the FMEA (Analysis of Failure Modes and Effects) tool in the production process of decorative paints, with the objective of identifying and mitigating risks, in addition to improving quality and production efficiency. The model adopted in this work follows the model of AIAG & VDA, two important international organizations in the automotive industry. The AIAG (Automotive Industry Action Group) and VDA (Verband der Automobilindustrie) collaborated to develop an FMEA approach, which consists of seven steps. This framework offers a comprehensive methodology for assessing and managing risks in industrial processes and is a benchmark in a variety of industries beyond automotive. The study covered the entire production process of a real estate paint factory, from the fractionation of raw materials to the packaging of the final product. Through the application of FMEA, the possible failure modes in each step of the process were identified, and their causes and effects were analyzed in detail. Based on this analysis, corrective and preventive actions were established, focusing on the failures with the greatest impact on the quality and safety of the product. The results of the use of FMEA demonstrated that the tool helps in the implementation of improvements in prevention and detection controls, increasing the reliability of the production process and ensuring compliance with the quality standards required by the market, in addition to providing a process with less rework and less waste of materials.

Keywords: Failure analysis. FMEA. Quality management. Continuous improvement. Paint.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fluxograma do processo de produção de tinta.	14
Figura 2 -	Diagrama de Ishikawa.	17
Figura 3 -	Diagrama de dispersão.	17
Figura 4 -	Exemplo de aplicação do diagrama de árvore.	18
Figura 5 -	Exemplo de aplicação da matriz GUT.	19
Figura 6 -	Critérios para avaliação da severidade do processo (S).	25
Figura 7 -	Critérios para avaliação do potencial de ocorrência para o processo (O).	26
Figura 8 -	Critérios para avaliação do potencial de detecção (D).	27
Figura 9 -	Critérios para determinação da prioridade de ação (PA) - Parte 1.	28
Figura 10 -	Critérios para determinação da prioridade de ação (PA) - Parte 2.	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Listagem das etapas do processo e seu respectivo item de processo.	31
Quadro 2 -	Construção do FMEA: análise de estrutura e análise da função.	32
Quadro 3 -	Aplicação do FMEA para a etapa de fracionamento de matéria-prima.	33
Quadro 4 -	Aplicação do FMEA para a etapa de pré-mistura.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APR	Análise Preliminar de Risco
CEP	Controle Estatístico de Processo
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	TINTAS	13
2.2	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TINTAS	14
2.3	GESTÃO DA QUALIDADE	15
2.4	FERRAMENTAS/METODOLOGIAS DA QUALIDADE	16
2.5	MÉTODOS DE ANÁLISE DE FALHAS	19
2.5.1	FMEA de processo	20
2.5.2	Aplicação do FMEA no setor de tintas	21
3	METODOLOGIA	23
3.1	PLANEJAMENTO E PREPARAÇÃO	23
3.2	ANÁLISE DA ESTRUTURA	23
3.3	ANÁLISE DA FUNÇÃO	24
3.4	ANÁLISE DA FALHA	24
3.5	ANÁLISE DO RISCO	25
3.6	OTIMIZAÇÃO	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	38
	APÊNDICE A - FMEA	40

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos 5 países com maior mercado mundial para tintas. No ano de 2023 foram produzidos 1,871 bilhão de litros, nos quais 75,2% deste volume corresponde a tintas imobiliárias. A indústria de tintas tem desempenhado um papel significativo na economia, refletindo o crescimento do setor de construção civil e de infraestrutura. Nas últimas décadas, o país experimentou um aumento constante na produção e consumo de tintas, impulsionado pelo crescimento populacional, urbanização e desenvolvimento econômico (ABRAFATI, 2024).

A produção de tintas exige um controle minucioso dos parâmetros de qualidade em todas as fases do processo, que incluem desde a seleção das matérias-primas até o envase ou enlatamento do produto final. O controle dos processos durante a fabricação de tintas é fundamental para assegurar a qualidade dos produtos, minimizar custos, prevenir retrabalhos e desperdícios, além de promover uma melhoria contínua (CANAUDE, 2007).

Na indústria de fabricação de tintas decorativas, onde a excelência do produto é fundamental para a fidelização do cliente e a posição competitiva no mercado, a adoção de ferramentas/técnicas de gestão da qualidade é de suma importância. Isso se deve ao fato de que sua aplicação não apenas assegura a produção de produtos confiáveis e seguros, mas também promove o aprimoramento da eficiência operacional, a estimulação da inovação e o reforço da competitividade, gerando vantagens concretas tanto para a empresa quanto para sua base de clientes (CETESB, 2008).

Existem diversas ferramentas/técnicas de gestão da qualidade, algumas são utilizadas para identificar e priorizar os principais problemas que ocorrem, como o Diagrama de Pareto; para identificar causas raízes dos problemas de qualidade, como o Diagrama de Ishikawa; para a identificação de desvios de processo, como o Controle Estatístico de Processo (CEP), com o uso de gráficos de controle; para a realização de uma análise de riscos, como o FMEA (CAVALCANTE, 2022).

O FMEA (Análise dos Modos de Falha e Efeitos, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*) tem se destacado como uma ferramenta crucial em várias indústrias ao redor do mundo. Desde a automotiva até a farmacêutica, passando pela aeroespacial e alimentícia, sua

aplicação tem sido fundamental para identificar e mitigar riscos em processos críticos. Essa técnica, quando aplicada ao processo, permite uma análise detalhada dos potenciais modos de falha em todas as etapas do processo, ajudando a identificar proativamente os riscos. Com base nessa análise, as ações corretivas e preventivas podem ser priorizadas, o que contribui para a redução de custos, evitando retrabalho, desperdício de materiais e recalls de produtos defeituosos (PARANHOS, 2016).

No contexto da produção de tintas decorativas, com o uso do FMEA é possível antecipar e corrigir potenciais falhas em cada etapa do processo de produção, desde a formulação das tintas até o transporte e aplicação. Assim, sua aplicação não só garante a qualidade e segurança das tintas, mas também contribui para a eficiência dos processos produtivos, a conformidade com normas e regulamentações e a satisfação dos clientes, promovendo um resultado final de alta qualidade e confiabilidade (PARANHOS, 2016).

Este estudo tem o objetivo de abordar os fundamentos teóricos do FMEA de processo na fabricação de tintas, suas fases e aplicação específica na indústria de tintas. Foram identificados e analisados os principais modos de falha e seus respectivos impactos na produção, juntamente com a investigação de estratégias para reduzir esses riscos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TINTAS

A história da tinta remonta a milhares de anos, com evidências de seu uso desde tempos pré-históricos. No Egito antigo os egípcios se destacaram nas artes decorativas, como pinturas em paredes e sarcófagos. No período clássico, os romanos tinham conhecimento de uma variedade maior de pigmentos, tanto naturais quanto artificiais, como chumbo branco, zarcão e verdete. Desde a Renascença Europeia, a técnica de suspender pigmentos em água, com ou sem ligante, era comum e foi adquirida pelos europeus (FAZENDA, 2021).

A indústria de tintas e vernizes passou por mudanças significativas no século XX devido aos avanços científicos e tecnológicos. Novos pigmentos, óleos secativos melhorados, resinas celulósicas e sintéticas, e agentes modificantes, foram desenvolvidos em laboratórios e linhas de produção industriais. A introdução de emulsões aquosas e tintas à base de soluções aquosas expandiu ainda mais a variedade, uso e complexidade das tintas (POLITO, 2006).

Conforme destacado por Barrios (2017, p.15), a composição básica da tinta envolve quatro componentes principais: resina, pigmento, aditivos e solvente. A resina desempenha o papel de aglutinar as partículas de pigmento, influenciando diretamente o tipo de acabamento proporcionado pela tinta. Os pigmentos, substâncias sólidas, conferem cor, opacidade e resistência ao produto final. Os aditivos são responsáveis por conferir propriedades específicas à tinta, tais como espessamento, controle de espuma e dispersão de pigmentos. Quanto ao solvente, trata-se de um líquido empregado para dissolver a resina, facilitando sua aplicação e secagem.

Durante o processo de formulação de tintas, a seleção da resina exerce influência significativa sobre diversos parâmetros de desempenho, incluindo dureza, tempo de secagem, resistência à abrasão e adesão. A resina acrílica, classificada como uma resina termoplástica, destaca-se por sua capacidade de secagem rápida, facilidade de aplicação e relação custo-benefício favorável (FAZENDA, 2021). Devido a essas características, a resina acrílica é amplamente empregada na formulação de tintas decorativas.

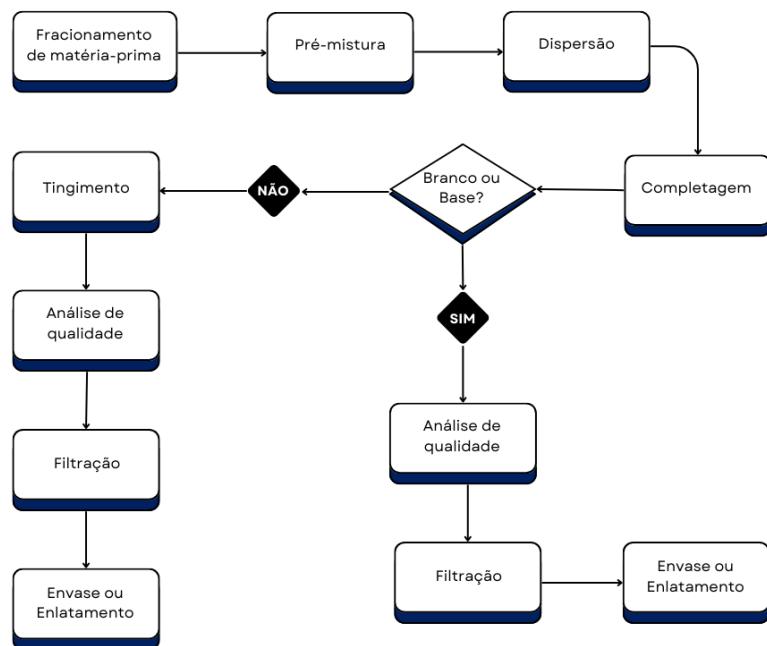
Para a seleção do solvente, o ponto chave é a análise da sua volatilidade. Para selecionar os pigmentos e as cargas utilizadas, deve-se levar em consideração o tamanho das partículas e

as propriedades de cada matéria prima utilizada, tais como o poder de tingimento, a cobertura e a dispersibilidade (ABRAFATI, 2024).

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TINTAS

O processo de fabricação de tintas, conforme ilustrado na Figura 1, consiste em várias etapas: fracionamento de matéria-prima, pré-mistura, dispersão, completagem, tingimento (quando necessário), análise de qualidade, filtração e envase. Entretanto, existem 4 principais: pré-dispersão, dispersão/moagem, completagem e envase/enlatamento.

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção de tinta.



Fonte: Autora, 2024.

A pré-dispersão ou pré-mistura se refere a inserção dos pigmentos/cargas em um tanque com agitador em movimento. Segundo Fazenda (2021, p.628) “o objetivo da dispersão de pigmentos é a incorporação de partículas de pó em um veículo líquido, gerando uma mistura com certas propriedades como homogeneidade e estabilidade”. A dispersão é geralmente realizada em um equipamento específico, como um moinho de esferas ou de rolos. A eficiência do processo é influenciada por vários fatores, como a escolha do equipamento de dispersão, o

tipo e tamanho das partículas de pigmento, a viscosidade do veículo líquido e a presença de aditivos dispersantes.

Na etapa da completagem há a inserção da resina e dos aditivos restantes da tinta, com a finalidade de obter as características específicas da tinta, como cor, viscosidade, brilho, cobertura e teor de não voláteis. Para a obtenção de uma completagem eficiente, é necessário que haja um bom processo de dispersão (CETESB, 2008). Caso seja necessário, a tinta é submetida a um processo de tingimento, que envolve a incorporação de corantes no lote para atender aos requisitos específicos de cor ou tonalidade.

Após a finalização do processo de completagem, a tinta é submetida a algumas análises no laboratório de controle de qualidade, visando a avaliação da cor e das características específicas do lote por meio de testes. Posteriormente, o produto é submetido ao processo de envase ou enlatamento, que envolve a transferência da tinta dos tanques de armazenamento para as embalagens finais destinadas à distribuição aos clientes. Esta fase compreende operações de filtração, separação, enchimento e selagem das embalagens (CANAUDE, 2007).

2.3 GESTÃO DA QUALIDADE

A gestão da qualidade é um conceito fundamental em qualquer indústria, especialmente na produção de bens de consumo como tintas decorativas. Este enfoque estratégico visa garantir que os produtos e processos atinjam padrões de excelência consistentes, alinhados com as expectativas dos clientes e com as normas regulatórias (SOUZA, 2019).

Na indústria de tintas, onde a qualidade é determinante para a durabilidade, segurança e estética dos produtos finais, a gestão da qualidade desempenha um papel crucial. Ela engloba desde o controle rigoroso das matérias-primas e processos de fabricação até a implementação de sistemas de garantia de qualidade e melhoria contínua. Ao adotar uma abordagem voltada para a qualidade em todos os aspectos do negócio, as empresas podem assegurar a satisfação do cliente e a competitividade no mercado (RABAOLI *et al.*, 2016).

A gestão da qualidade também se concentra na prevenção de defeitos e na identificação proativa de oportunidades de aprimoramento. Ao invés de apenas corrigir problemas após sua ocorrência, as empresas buscam antecipar e evitar falhas, adotando medidas preventivas e sistemas de monitoramento eficazes. Nesse sentido, é possível promover uma cultura

organizacional voltada para a excelência, onde todos os colaboradores são incentivados a contribuir para a identificação e solução de problemas, independentemente de sua posição hierárquica. Isso não apenas aumenta a eficiência e a eficácia dos processos, mas também fortalece o compromisso da organização com a qualidade e a satisfação do cliente (JURAN E GRYNA, 1991).

Além disso, a gestão da qualidade está intrinsecamente ligada à inovação e ao desenvolvimento de novos produtos e processos. Ao buscar constantemente novas formas de melhorar a qualidade e a performance dos produtos, as empresas de tintas podem se destacar no mercado e superar as expectativas dos clientes. Isso requer investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como em tecnologias e práticas de produção de última geração (FAZENDA, 2021).

Sendo assim, este é um pilar fundamental para o sucesso e a sustentabilidade das empresas. Ela envolve o estabelecimento de padrões elevados de qualidade, a prevenção de defeitos, a promoção da inovação e o compromisso com a melhoria contínua. Ao adotar uma abordagem centrada na qualidade em todos os aspectos do negócio, as empresas podem garantir a confiança dos clientes, a conformidade com as regulamentações e a liderança no mercado (MATOS, 2017).

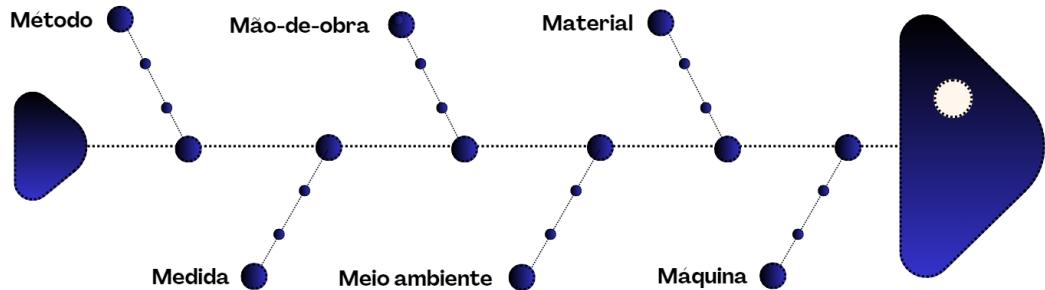
2.4 FERRAMENTAS/METODOLOGIAS DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade são utilizadas para melhorar processos, identificar problemas e alcançar melhores resultados em organizações de diversos setores. As 7 ferramentas básicas da qualidade são: Folha de Estratificação, Diagrama Ishikawa, Folha de Verificação, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Dispersão e Cartas de Controle (PALADINI, 2007).

A Folha de Estratificação é uma ferramenta da qualidade que permite analisar e comparar dados de um processo, dividindo-os em grupos ou categorias. Ela é útil para identificar padrões, tendências e diferenças entre os dados estratificados. O Diagrama de Ishikawa (Figura 2), também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe, é essencial para identificar e visualizar as possíveis causas de um problema, categorizando-as em grupos do 6M: método, mão de obra, máquina, meio ambiente, medida e matéria-prima. A

Folha de Verificação é uma ferramenta simples usada para coletar dados de maneira organizada e sistemática, facilitando a análise posterior (GIOCONDO, 2011).

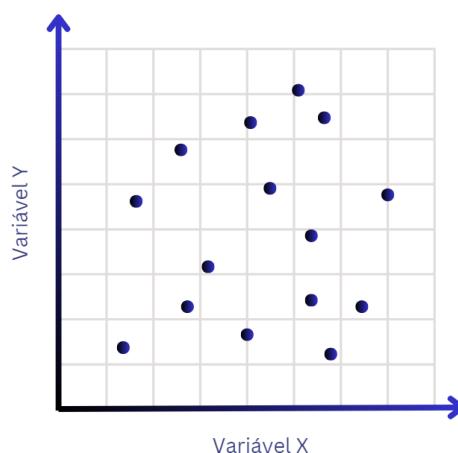
Figura 2 – Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Autora, 2024.

O Diagrama de Pareto é outra ferramenta importante, baseada no princípio de Pareto, que prioriza problemas ou causas, identificando os poucos fatores vitais que contribuem significativamente para a maioria dos problemas. O Histograma, por sua vez, é uma representação gráfica de uma distribuição de frequência, útil para entender a variação em um processo e identificar padrões ou tendências. O Diagrama de Dispersão, ilustrado na Figura 3, é utilizado para investigar a relação entre duas variáveis, permitindo visualizar se existe alguma correlação entre elas. As Cartas de Controle permitem acompanhar a variabilidade de um processo ao longo do tempo, identificando se o processo está sob controle estatístico ou não (GIOCONDO, 2011).

Figura 3 – Diagrama de dispersão.

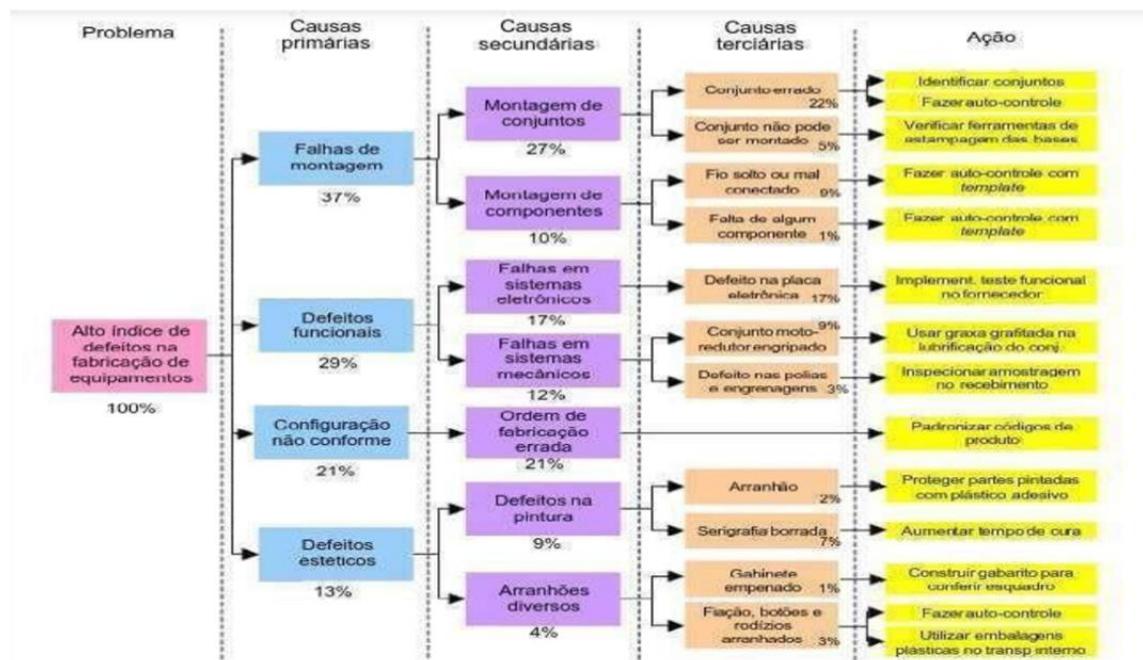


Fonte: Autora, 2024.

Além das ferramentas básicas, existem também outras ferramentas ou metodologias da qualidade, que foram criadas em 1979 pelo Dr. Yoshinobu Nagatani com o objetivo de facilitar a aplicação da gestão da qualidade. Entre elas, houve o surgimento do Diagrama de Árvore, do Diagrama de Matriz de Priorização e do Diagrama de Relações.

O Diagrama de Árvore, ilustrado na Figura 4, é uma ferramenta da qualidade que ajuda na organização e na visualização hierárquica de informações. É especialmente útil para decompor um problema complexo em partes menores e mais gerenciáveis, identificando suas inter-relações e hierarquia. Um exemplo de utilização deste diagrama é na aplicação do FMEA (ORIBE, 2004).

Figura 4 – Exemplo de aplicação do diagrama de árvore.



Fonte: LABDGE, 2024.

Já o Diagrama de Matriz de Priorização é utilizado para classificar e priorizar itens com base em critérios predefinidos. Essa ferramenta permite comparar diferentes opções ou alternativas, avaliando sua importância e impacto em relação aos objetivos estabelecidos. Ao destacar os itens mais relevantes ou urgentes, ajuda as equipes a concentrarem seus esforços nos aspectos que trarão o maior benefício ou resolução de problemas. Uma exemplificação

desta metodologia é a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), ilustrada na Figura 5 (LUCINDA, 2010).

Figura 5 – Exemplo de aplicação da matriz GUT.

Risco	Gravidade	Urgência	Tendência	Total
Incêndio	4	2	1	8
Falta de energia	5	3	2	30
LGPD em vigor	5	5	5	125
Cancelamento de cliente	5	3	4	60
Atraso dos fornecedores	5	3	3	45
Acidente de trabalho	5	4	2	40

Fonte: DOO, 2022.

O Diagrama de Relações, também conhecido como Diagrama de Redes, é utilizado para representar as relações entre diferentes elementos de um sistema ou processo. Ele mostra como os elementos estão conectados e como influenciam uns aos outros, proporcionando uma compreensão mais profunda das interações complexas dentro de um sistema. Essa ferramenta é valiosa para identificar pontos de falha, entender causas e efeitos, e otimizar a eficiência e a eficácia do sistema como um todo (MIZUNO, 1993).

2.5 MÉTODOS DE ANÁLISE DE FALHAS

Conforme estabelecido pela norma NBR 5462, a falha é definida como a incapacidade de um item em cumprir sua função requerida. Uma vez ocorrida a falha, o item torna-se inapto para desempenhar sua função específica. Diversos métodos de análise de falhas são utilizados, incluindo a Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*) e a Análise da Árvore de Falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*).

O FMEA é um método de análise de confiabilidade criado nos Estados Unidos, que opera de forma qualitativa. Ele examina os diferentes modos de falha possíveis de um processo ou produto/projeto, avaliando os efeitos de cada modo de falha tanto nos outros componentes quanto na função específica do conjunto, além de se prevenir dessas falhas (NBR 5462). Existem diferentes setores de aplicação do FMEA, como processo, projeto, sistema e serviço (STAMATIS, 1995)

O FTA é uma metodologia empregada na identificação das causas fundamentais de uma falha, utilizando uma representação gráfica em forma de árvore. Geralmente realizada de maneira qualitativa, a análise busca identificar as vulnerabilidades do sistema. No entanto, também pode ser conduzida de forma quantitativa para avaliar a probabilidade de ocorrência de falhas em componentes críticos do sistema (AMBERKAR, 2001). Essa técnica é bastante útil em sistemas críticos, onde a prevenção de falhas desempenha um papel essencial.

A seleção entre FMEA e FTA depende da complexidade do sistema ou processo analisado e dos objetivos específicos. O FMEA é preferível para sistemas simples e específicos, onde a prioridade é identificar e analisar modos de falha e seus efeitos. Para entender detalhadamente as causas de falhas em sistemas complexos, tendo uma visão mais ampla do sistema, o FTA é mais apropriado (HELMAN, 1995).

A Análise Preliminar de Risco (APR) é uma ferramenta utilizada para identificar e avaliar os riscos potenciais associados às atividades da empresa. Embora a APR possa ajudar a identificar falhas, suas causas e consequências, ela não é tão abrangente e detalhada quanto o FMEA. Diferentemente da APR, o FMEA permite uma análise mais aprofundada dos riscos envolvidos no processo, garantindo uma identificação mais precisa das potenciais falhas (HELMAN, 1995).

2.5.1 FMEA de processo

O FMEA de processo é uma ferramenta sistemática que visa identificar potenciais falhas em processos de produção, montagem ou serviços, analisando seus modos de falha, efeitos e causas. Ele é uma extensão do FMEA tradicional, que se concentra nos produtos, e é especialmente útil em indústrias onde a segurança e a qualidade são críticas, como na fabricação de automóveis, tintas, alimentos (AIAG & VDA, 2019).

Uma das principais características do FMEA de processo é a ênfase na análise de risco ao longo de todo o ciclo de vida do processo. Isso significa considerar não apenas as falhas potenciais durante a produção, mas também durante a inicialização do processo, manutenção, e até mesmo no descarte ou reciclagem de produtos. Essa abordagem holística ajuda a garantir uma compreensão completa dos riscos envolvidos e a implementação de medidas preventivas e de contingência adequadas (AIAG & VDA, 2019).

Antes de iniciar a elaboração do FMEA de processo, é essencial compreender os conceitos de "modo", "falha" e "efeito". Conforme definido pelo dicionário Michaelis (2024), "modo" refere-se à forma ou maneira específica de algo, "falha" representa uma alteração ou interrupção do funcionamento normal, como um defeito, desarranjo, enguiço ou falência, e "efeito" é o resultado produzido por uma causa, ou seja, uma consequência. Sendo assim, entende-se que "modo de falha" é a maneira na qual o defeito se apresenta, e os "efeitos" são as consequências dos modos de falha percebidos pelos clientes.

Este tipo de FMEA busca promover uma maior consistência e eficácia na aplicação da ferramenta. Isso inclui uma estrutura mais abrangente para a identificação e avaliação de riscos, bem como diretrizes claras para a classificação e priorização das falhas. Além disso, a metodologia incentiva a colaboração entre diferentes áreas funcionais.

2.5.2 Aplicação do FMEA no setor de tintas

A aplicação do FMEA em uma indústria de tintas pode ajudar a identificar os principais modos de falha no processo de formulação de tintas ou no processo produtivo, avaliar os riscos associados a esses modos de falha e priorizar ações de melhoria. Alguns exemplos de modos de falha em uma indústria de tintas incluem a falta de controle de qualidade no processo de formulação, a utilização inadequada de matérias-primas, falha de equipamentos de mistura e formulação, entre outros.

No estudo realizado por Salehi, Peikari e Shahin (2020), foi explorada a utilização da ferramenta FMEA para aprimorar a formulação de tintas industriais. Os autores empregaram o FMEA para identificar os principais modos de falha no processo de formulação, analisar os riscos associados e estabelecer ações de melhoria prioritárias, algo que contribui para elevar a qualidade e confiabilidade das tintas industriais. A aplicação desta metodologia resultou em

uma redução nos custos, visto que houve um menor desperdício de matérias-primas devido a menor necessidade de correções no produto final. Além disso, houve um aumento de produtividade devido a redução da incidência de falhas e retrabalho durante o processo.

O estudo de Santos (2014) aborda a aplicação do FMEA como uma ferramenta essencial para aprimorar a qualidade no processo de produção de tintas em uma indústria química. A pesquisa teve como objetivo avaliar o FMEA como uma ferramenta ideal para aprimorar a qualidade no processo de produção de tintas, sugerindo ações viáveis financeiramente e ágeis na implementação. Os resultados destacaram a eficiência do FMEA em estudar as possíveis falhas no processo de produção de tintas, evitando desperdícios e garantindo maior controle de qualidade.

Apesar de não ser aplicado em uma indústria de tintas, o estudo de Campos e Ferro (2018) destaca a utilização do FMEA como uma ferramenta estratégica para melhorar a eficiência e produtividade em processos industriais, especificamente na manutenção de uma linha de galvanização a quente. A pesquisa visa aprimorar a manutenção da linha de galvanização e, consequentemente, aumentar a produtividade.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi elaborado um FMEA, que foi aplicado no processo de produção de tintas imobiliárias, considerando todas as etapas do processo, desde o fracionamento de matéria-prima até o envase do produto final. Cada uma das etapas do processo desempenha um papel crucial na qualidade e na consistência das tintas produzidas, e a identificação de potenciais modos de falha em cada uma delas é fundamental para garantir a eficácia e a confiabilidade do processo como um todo.

3.1 PLANEJAMENTO E PREPARAÇÃO

A fase de planejamento e preparação da Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) envolve etapas para evitar a omissão de possíveis modos de falha e garantir a determinação efetiva dos modos e causas de falha. Essa fase se concentrou na decomposição de processos em unidades de trabalho, determinando fatores de desempenho e identificando possíveis modos de falha com base em fatores de perturbação para o sistema.

Nesta etapa foi definido o objetivo e o escopo do estudo. Também foi elaborado um fluxograma com as etapas do processo, fazendo com que fosse possível visualizar de maneira sistemática todas as etapas envolvidas.

3.2 ANÁLISE DA ESTRUTURA

Na Análise da Estrutura ocorreu a decomposição do processo com base no fluxograma elaborado na Figura 1. Foram definidos os itens do processo, que correspondem aos elementos do sistema, subsistema, peça ou nome do processo. Também foram determinadas as etapas do processo, que se referem às etapas consideradas no fluxograma; e os elementos de trabalho do processo para cada item.

Os elementos de trabalho foram avaliados considerando os 4M: mão de obra, referente às pessoas envolvidas no processo; máquina, envolvendo equipamentos, máquinas e ferramentas utilizados no processo; material, englobando todos os materiais utilizados no

processo, como matérias-primas, componentes e produtos intermediários; e meio ambiente, referente às condições ambientais em que o processo ocorre.

3.3 ANÁLISE DA FUNÇÃO

Na Análise da Função foram identificadas claramente as funções principais de cada item do processo, bem como as características associadas a cada uma delas. Isso incluiu a identificação das funções que são críticas para atender aos requisitos do cliente e atingir os objetivos do processo.

Além disso, a Análise da Função também englobou a identificação das funções específicas de cada etapa do processo, descrevendo a sua funcionalidade e o seu papel no contexto geral do processo. Também incluiu a descrição da função de cada elemento de trabalho, definindo o objetivo e a contribuição desse elemento para o processo produtivo como um todo.

3.4 ANÁLISE DA FALHA

Durante a etapa de Análise de Falhas cada função do processo previamente identificada foi examinada, levando em consideração os possíveis modos de falha associados a cada uma delas. Para cada modo de falha identificado, foram determinadas as possíveis causas, além da avaliação dos potenciais efeitos de cada falha no produto final ou no desempenho do processo.

Além disso, foi realizada uma avaliação da severidade (S) para cada efeito de falha identificado. A determinação do valor da severidade é feita de forma numérica, utilizando uma escala de 1 a 10, em que o número 1 representa um efeito de falha classificada como muito baixa e o número 10 indica um efeito de falha alto. A escolha do número é feita a partir de uma tabela com os critérios adotados, representada na Figura 6, levando em consideração o impacto na planta ou no cliente final.

Figura 6 - Critérios para avaliação da severidade do processo (S).

Critérios Gerais de Avaliação da Severidade do Processo (S)					
Efeitos Potenciais de falha pontuadas de acordo com os critérios abaixo					Em branco até ser preenchido pelo usuário
S	Efeito	Impacto para sua planta	Impacto para a planta de entrega (quando conhecido)	Impacto para o Usuário Final (quando Conhecido)	Exemplos corporativos ou de linha de produto
10	Alto	A falha pode resultar em um risco grave à saúde e/ou segurança do trabalhador da manufatura ou montagem.	A falha pode resultar em um risco grave à saúde e/ou segurança do trabalhador da manufatura ou montagem.	Afeta a operação segura do veículo e/ou outro veículo, a saúde do motorista ou passageiro(s) ou usuários da estrada ou pedestre.	
9		A falha pode resultar em não conformidade da planta com regulamentações.	A falha pode resultar em não conformidade da planta com regulamentações.	Não conformidade com regulamentações.	
8	Moderado Alto	100% da produção afetada pode ter que ser descartada. A falha pode resultar em não conformidade da planta com regulamentações ou risco grave para a saúde e/ou segurança da manufatura ou montagem.	Parada de linha maior que o turno total de produção; parada nos embarques possíveis; necessário reparo ou substituição (Montagem até Usuário Final), exceto para não conformidade regulamentar. A falha pode resultar em não conformidade da planta com regulamentações ou risco grave para a saúde e/ou segurança da manufatura ou montagem.	Perda da função primária do veículo, necessária para a condução normal, durante a vida útil esperada.	
7		O produto pode ter que ser selecionado e uma parte (menos de 100%) ser descartada; desvio do processo primário; velocidade da linha reduzida ou mão de obra adicional.	Parada de linha de 1 hora até um turno total de produção; parada de embarque possíveis; necessidade de reparo ou substituição em campo (montagem até usuário final), exceto para não conformidade regulamentar.	Degradação da função primária do veículo, necessária para a condução normal, durante a vida útil esperada.	
6	Moderado Baixo	100% da produção pode ter que ser retrabalhada fora da linha e aceita.	Parada de linha por até 1 hora.	Perda de função secundária do veículo.	
5		Uma parte da produção pode ter que ser retrabalhada fora da linha e aceita.	Menos de 100% dos produtos são afetados; é grande a possibilidade de produtos defeituosos adicionais; seleção é requerida; sem parada de linha.	Degradação de função secundária do veículo.	
4		100% da produção pode ter que ser retrabalhada na estação antes de ser processada.	O produto defeituoso desencadeia plano de reação significativo; produtos defeituosos adicionais não são prováveis; seleção não é requerida.	Aparência, ruído, vibração, rugosidade ou sentido haptico muito desagradável .	
3	Baixo	Uma parte da produção pode ter que ser retrabalhada na estação antes de ser processada.	Produto defeituoso desencadeia plano de reação pouco significativo; produtos defeituosos adicionais não são prováveis; seleção não é requerida.	Aparência, ruído, vibração, rugosidade ou sentido haptico moderadamente desagradável .	
2	Baixo	Leve inconveniência ao processo, operação ou operador.	O produto defeituoso não desencadeia plano de reação; produtos defeituosos adicionais não são prováveis; seleção não é requerida. É requerida realimentação ao fornecedor.	Aparência, ruído, vibração, rugosidade ou sentido haptico ligeiramente desagradável .	
1	Muito Baixo	Nenhum efeito perceptível.	Nenhum efeito perceptível ou nenhum efeito.	Nenhum efeito perceptível.	

Fonte: AIAG & VDA, 2019.

3.5 ANÁLISE DO RISCO

Durante a Análise do Risco, foi atribuída uma classificação numérica a cada modo de falha com base em dois critérios: Probabilidade de Ocorrência, referente à frequência estimada com que um modo de falha específico pode ocorrer ao longo do processo; e Detecção, referente

à capacidade do sistema para identificar e corrigir um modo de falha antes que ele afete o produto ou serviço final.

Assim como a Severidade, a classificação da Ocorrência e da Detecção se deu a partir de uma escala de 1 a 10 com critérios tabelados, representados pelas Figuras 7 e 8. Para a ocorrência, o número 1 se refere a uma previsão de ocorrência extremamente baixa e o 10 a uma extremamente alta, considerando o tipo de controle de prevenção existente. Já para a detecção, o 1 corresponde a uma capacidade de detecção muito alta e o 10 a uma muito baixa, levando em consideração a maturidade e a confiabilidade do método utilizado para detecção.

Figura 7 - Critérios para avaliação do potencial de ocorrência para o processo (O).

Potencial de Ocorrência (O) para o Processo				
(O)	Previsão da Ocorrência da Causa da Falha	Tipo de Controle	Controle Preventivo	Exemplos corporativos ou de linha de produto.
				Em branco até ser preenchido pelo usuário.
10	Extremamente Alta	Nenhum	Nenhum controle de prevenção.	
9	Muito Alta	Comportamental	Controles de prevenção terão pouco efeito na prevenção da causa da falha.	
8				
7	Alta	Comportamental ou Técnico	Controles de prevenção pouco eficazes na prevenção da causa da falha.	
6				
5	Moderada		Os controles de prevenção são eficazes na prevenção da causa da falha.	
4				
3	Baixa	Melhores práticas; Comportamental ou Técnico	Os controles de prevenção são altamente eficazes na prevenção da causa da falha.	
2	Muito baixa			
1	Extremamente baixa	Técnico	Os controles de prevenção são extremamente eficazes para evitar que a causa da falha ocorra devido ao projeto (por exemplo, geometria da peça) ou processo (por exemplo, projeto de fixação ou ferramental). Intenção dos controles de prevenção - O Modo de Falha não pode ser fisicamente produzido devido à Causa da Falha.	

Fonte: AIAG & VDA, 2019.

Figura 8 - Critérios para avaliação do potencial de detecção (D).

Potencial de detecção (D) para a validação do projeto do processo				
Controles de detecção pontuados de acordo com a maturidade do método de detecção e oportunidade para detecção.				Em branco até ser preenchido pelo usuário
D	Capacidade para Detectar	Maturidade do Método de Detecção	Oportunidade para Detecção	Exemplos corporativos ou de linha de produto
10	Muito baixo	Nenhum método de teste ou inspeção foi estabelecido ou é conhecido.	O modo de falha não será ou não pode ser detectado.	
9		É improvável que o método de teste ou inspeção detecte o modo de falha.	O modo de falha não é facilmente detectado através de auditorias aleatórias ou esporádicas.	
8	Baixo	O método de teste ou inspeção não tem comprovação de eficácia e confiabilidade (por exemplo, a fábrica tem pouca ou nenhuma experiência com o método, os resultados de R&R de medição são marginais no processo comparável ou nesta aplicação etc.).	Inspeção humana (visual, tátil, audível) ou uso de dispositivo de controle manual (atributo ou variável) que deveria detectar o modo de falha ou a causa da falha.	
7			Detecção baseada em máquina (automática ou semi-automática com notificação através de lâmpadas, alarme sonoro etc.) ou uso de equipamento de inspeção, como uma máquina de medição por coordenadas que deveria detectar o modo de falha ou a causa da falha.	
6	Moderado	O método de teste ou inspeção tem comprovação de eficácia e confiabilidade (por exemplo, a fábrica tem experiência com o método; os resultados de R&R de medição são aceitáveis no processo comparável ou nesta aplicação etc.).	Inspeção humana (visual, tátil, audível) ou uso de dispositivo de controle manual (atributo ou variável) que irá detectar o modo de falha ou a causa da falha (incluindo inspeções de produto por amostragem).	
5			Detecção baseada em máquina (semi-automática com notificação através de lâmpadas, alarme sonoro etc.) ou uso de equipamento de inspeção como máquina de medição por coordenadas que irá detectar o modo de falha ou a causa da falha (incluindo inspeções de produto por amostragem).	
4	Alto	Sistema tem comprovação de eficácia e confiabilidade (por exemplo, a fábrica tem experiência com o método em processo idêntico ou nesta aplicação); os resultados de R&R de medição são aceitáveis etc.	Método de detecção automático baseado em máquina que irá detectar o modo de falha nas operações seguintes , prevenir o processamento posterior ou o sistema identificará o produto como discrepante e permitirá que automaticamente avance no processo até a área designada de rejeição para ser descartado. Produtos discrepantes serão controlados por um sistema robusto que irá prevenir a saída do produto das instalações.	
3			Método de detecção automático baseado em máquina que irá detectar o modo de falha na estação , prevenir o processamento posterior ou o sistema identificará o produto como discrepante e permitirá que automaticamente avance no processo até a área de designada de rejeição para ser descartado. Produtos discrepantes serão controlados por um sistema robusto que irá prevenir a saída do produto das instalações.	
2		Método de detecção tem comprovação de eficácia e confiabilidade (ex.: a fábrica tem experiência com o método, verificações de prova de erros etc.).	Método de detecção baseado em máquina que irá detectar a causa e prevenir o modo de falha (peça discrepante) de ser produzido.	
1	Muito Alto	O modo de falha não pode ser fisicamente produzido conforme projetado ou processado, ou os métodos de detecção comprovados sempre detectam o modo de falha ou a causa da falha.		

Fonte: AIAG & VDA, 2019.

Com base nessas classificações, foi determinada a Prioridade de Ação (PA), categorizada com prioridade alta, média e baixa. Essa determinação ocorreu através de tabelas, expostas nas Figuras 9 e 10, com critérios de avaliação que relacionam os valores de Severidade, Ocorrência e Detecção. Os modos de falha com PA alta são considerados como prioridades para a implementação de ações corretivas ou preventivas.

Figura 9 - Critérios para determinação da prioridade de ação (PA) - Parte 1.

Prioridade de Ação (PA) para PFMEA							
Prioridade de Ação é baseado em combinações das pontuações de Severidade, Ocorrência e Detecção ordem para priorizar ações de redução de riscos.						Em branco até ser preenchido pelo usuário	
Efeito	S	Previsão de Ocorrência da Causa da Falha	0	Capacidade para Detectar	D	Prioridade da Ação	Comentários
Efeito Muito Alto na Planta ou no Produto	9-10	Muito Alta	8-10	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	A	
				Alta	2-4	A	
				Muito Alta	1	A	
		Alta	6-7	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	A	
				Alta	2-4	A	
				Muito Alta	1	A	
		Moderada	4-5	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	A	
				Alta	2-4	A	
				Muito Alta	1	M	
		Baixa	2-3	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	M	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
		Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito Baixa	1-10	B	
Efeito Alto na Planta ou no Produto	7-8	Muito Alta	8-10	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	A	
				Alta	2-4	A	
				Muito Alta	1	A	
		Alta	6-7	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	A	
				Alta	2-4	A	
				Muito Alta	1	M	
		Moderada	4-5	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	M	
				Alta	2-4	M	
				Muito Alta	1	M	
		Baixa	2-3	Baixa – Muito Baixa	7-10	M	
				Moderada	5-6	M	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
		Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito Baixa	1-10	B	

Fonte: AIAG & VDA, 2019.

Figura 10 - Critérios para determinação da prioridade de ação (PA) - Parte 2.

Prioridade de Ação (PA) para PFMEA							
Prioridade de Ação é baseado em combinações das pontuações de Severidade, Ocorrência e Detecção ordem para priorizar ações de redução de riscos.							Em branco até ser preenchido pelo usuário
Efeito	S	Previsão de Ocorrência da Causa da Falha	O	Capacidade para Detectar	D	Prioridade da Ação	Comentários
Efeito Moderado na Planta ou no Produto	4-6	Muito Alta	8-10	Baixa – Muito Baixa	7-10	A	
				Moderada	5-6	A	
				Alta	2-4	M	
				Muito Alta	1	M	
		Alta	6-7	Baixa – Muito Baixa	7-10	M	
				Moderada	5-6	M	
				Alta	2-4	M	
				Muito Alta	1	B	
		Moderada	4-5	Baixa – Muito Baixa	7-10	M	
				Moderada	5-6	B	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
		Baixa	2-3	Baixa – Muito Baixa	7-10	B	
				Moderada	5-6	B	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
	1	Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito Baixa	1-10	B	
Efeito Baixo na Planta ou no Produto	2-3	Muito Alta	8-10	Baixa – Muito Baixa	7-10	M	
				Moderada	5-6	M	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
		Alta	6-7	Baixa – Muito Baixa	7-10	B	
				Moderada	5-6	B	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
		Moderada	4-5	Baixa – Muito Baixa	7-10	B	
				Moderada	5-6	B	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
		Baixa	2-3	Baixa – Muito Baixa	7-10	B	
				Moderada	5-6	B	
				Alta	2-4	B	
				Muito Alta	1	B	
	1	Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito Baixa	1-10	B	
Nenhum Efeito Perceptível	1	Muito Baixa - Muito Alta	1-10	Muito Alta – Muito Baixa	1-10	B	

Fonte: AIAG & VDA, 2019.

3.6 OTIMIZAÇÃO

A etapa de otimização foi crucial para a melhoria contínua dos processos. Esta fase visou implementar medidas corretivas e preventivas para mitigar os riscos identificados durante as análises anteriores e aprimorar a qualidade e a eficiência do processo (AIAG & VDA, 2019).

Durante a etapa de otimização foi realizada uma revisão das conclusões e recomendações geradas nas fases anteriores do FMEA, especialmente aquelas relacionadas aos modos de falha de alta prioridade. Com base nessas conclusões, foram desenvolvidos planos de ação para reduzir ou eliminar os riscos identificados, melhorar a confiabilidade do processo e garantir a conformidade com os requisitos do cliente (AIAG & VDA, 2019).

Esses planos de ação podem incluir uma variedade de atividades, como a implementação de controles adicionais, o aprimoramento de processos, melhoria de sistemas de detecção, treinamentos e capacitações. Também foram determinados os prazos planejados para a finalização das ações e os responsáveis por cada uma delas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para iniciar a análise de estrutura, os itens de processo foram listados, de acordo com cada etapa do processo. As etapas do processo incluíram o Fracionamento de matéria-prima, a Pré-mistura, a Dispersão, a Completagem, o Tingimento, a Análise de Qualidade, a Filtração e o Envase, conforme determinado no fluxograma de processo de produção de tinta (Figura 1). A listagem dos itens e etapas do processo foi detalhada no Quadro 1.

Quadro 1 - Listagem das etapas do processo e seu respectivo item de processo.

Etapa do Processo	Item do Processo
Fracionamento de matéria-prima	Pesagem das matérias primas.
Pré-mistura	Adição das matérias-primas para a pré-mistura.
Dispersão	Homogeneização das matérias-primas líquidas e sólidas durante a etapa de dispersão.
Completagem	Homogeneização das matérias-primas líquidas e sólidas durante a etapa de completação.
Tingimento	Adição de corantes.
Análise de qualidade	Realização de análise de parâmetros de qualidade.
Filtração	Filtração do produto final.
Envase	Fracionamento do produto final.

Fonte: Autora, 2024.

Os itens do processo foram listados indicando resumidamente o que é feito em cada etapa. Na etapa tingimento o item do processo se refere a adição de corantes, já na etapa envase o item se trata do fracionamento do produto final. Com isso, a análise da estrutura permite que uma base sólida seja estabelecida para a identificação e avaliação dos potenciais modos de falha em cada etapa específica do processo.

Na seção de análise de função, foram inseridas as descrições para as funções de cada item de processo, de cada etapa do processo e de cada elemento do processo, vinculados aos itens determinados na seção anterior (análise de estrutura). Para cada item do processo foram selecionados dois elementos do trabalho para desenvolver suas respectivas falhas. A elaboração desse segundo passo do FMEA foi descrita no Quadro 2.

Quadro 2 - Construção do FMEA: análise de estrutura e análise da função.

ANÁLISE DE ESTRUTURA			ANÁLISE DA FUNÇÃO		
1 - Item do Processo	2 - Etapa do Processo	3 - Elemento do Trabalho do Processo	1 - Função do Item de Processo	2 - Função da Etapa do Processo	3 - Função do Elemento do Trabalho do Processo
Pesagem das matérias primas.	Fracionamento de matéria-prima	Material	Realizar o fracionamento das matérias-primas de acordo com a quantidade orientada para a produção de um lote.	Assegurar que o lote seja produzido com a quantidade correta de cada matéria-prima.	Garantir a qualidade especificada para o produto final.
		Máquina			Garantir o fracionamento correto para o lote.
Adição das matérias-primas para a pré-mistura.	Pré-mistura	Mão de obra	Adicionar e misturar as matérias primas da etapa de dispersão.	Assegurar que os pigmentos/cargas sejam misturados.	Garantir a adição das matérias-primas na etapa de pré-mistura.
		Máquina			Garantir a agitação das matérias-primas.
Homogeneização das matérias-primas líquidas e sólidas durante a etapa de dispersão.	Dispersão	Mão de obra	Garantir incorporação de materiais particulados em um veículo líquido, de maneira homogênea e estável.	Assegurar que o produto final possua as especificações determinadas no plano de controle.	Garantir uma dispersão eficiente para a produção do lote.
		Material			Garantir a qualidade especificada para o produto final.
Homogeneização das matérias-primas líquidas e sólidas durante a etapa de completação.	Completagem	Meio ambiente	Adicionar resina e aditivos na tinta, de maneira homogênea e seguindo as quantidades determinada para o lote.	Assegurar que o produto final possua as especificações determinadas no plano de controle.	Garantir a homogeneização das matérias-primas sólidas e líquidas.
		Máquina			Garantir início e fim das dosagens no tanque.
Adição de corantes.	Tingimento	Mão de obra	Conferir a cor desejada ao produto final, conforme orientação para o lote.	Assegurar que a cor do produto final esteja em conformidade com o plano de controle.	Garantir a adição de corantes conforme especificado para o lote.
		Material			Garantir um tingimento eficiente.
Realização de análise de parâmetros de qualidade.	Análise de qualidade	Meio ambiente	Realizar testes laboratoriais para analisar os parâmetros de controle determinados para o lote.	Assegurar que o produto final seja entregue ao cliente seguindo os parâmetros de qualidade dentro do especificado no plano de controle.	Garantir que não haja contaminação cruzada na amostra em análise.
		Máquina			Garantir confiabilidade nos resultados das análises laboratoriais.
Filtração do produto final.	Filtração	Mão de obra	Realizar a filtração do produto final.	Assegurar a remoção de impurezas e partículas que possam afetar o produto final.	Garantir que o filtro seja substituído quando colmatado.
		Material			Garantir que o filtro possua as características necessárias para o processo.
Fracionamento do produto final.	Envase	Máquina	Fracionar o produto final conforme especificado na embalagem.	Assegurar ao cliente o armazenamento e fracionamento correto.	Garantir o fracionamento correto conforme o rótulo da embalagem envasada.
		Mão de obra			Garantir a realização de setup entre lotes na máquina de envase.

Fonte: Autora, 2024.

Na seção de filtração, cujo item é o fracionamento do produto final, foram determinados dois tipos de elemento do trabalho: mão de obra e material. Já na seção do envase como etapa do processo, cujo item é o fracionamento do produto final, os elementos do trabalho definidos foram máquina e mão de obra. Cada um desses elementos foi relacionado a falhas específicas que são frequentemente observadas na indústria de tintas.

A etapa seguinte, referente a Análise de Falhas, desempenhou um papel fundamental na identificação e compreensão dos potenciais modos de falha no processo, sendo crucial para assegurar a qualidade e a confiabilidade do produto final. Esse processo possibilitou uma compreensão mais aprofundada dos elementos que podem contribuir para a ocorrência de problemas no processo.

Durante a etapa da análise de falha, foram elaboradas a descrições do efeito, do modo e da causa da falha, além da determinação da severidade do efeito de falha (S), que avaliou o impacto potencial de uma falha no produto, processo ou sistema. Esse parâmetro, que foi determinado através da Figura 6, desempenhou um papel fundamental na priorização dos modos de falha que necessitavam de ações corretivas mais urgentes.

Para a etapa de fracionamento de matéria-prima (Quadro 3), um dos elementos do trabalho definido foi máquina. Para esse elemento, o modo de falha foi definido como a pesagem incorreta de pigmentos/cargas, tendo como efeito o desvio de qualidade no produto final causada pela balança descalibrada. Neste caso a severidade foi determinada como 4, classificada como moderada baixa, pois se trata de uma falha que pode causar um retrabalho na estação em 100% da produção.

Quadro 3 – Aplicação do FMEA para a etapa de fracionamento de matéria-prima.

ANÁLISE DE ESTRUTURA			ANÁLISE DA FUNÇÃO			ANÁLISE DA FALHA			
1 - Item do Processo	2 - Etapa do Processo	3 - Elemento do Trabalho do Processo	1 - Função do Item de Processo	2 - Função da Etapa do Processo	3 - Função do Elemento do Trabalho do Processo	1 - Efeito da Falha (EF)	Severidade (S) do EF	2 - Modo de falha (MF) da Etapa do Processo	3 - Causa de falha (CF) do elemento do trabalho
Pesagem das matérias primas.	Fracionamento de matéria-prima	Máquina	Realizar o fracionamento das matérias-primas de acordo com a quantidade orientada para a produção de um lote.	Assegurar que o lote seja produzido com a quantidade correta de cada matéria-prima.	Garantir o fracionamento correto para o lote.	Desvio de qualidade no produto final.	4	Pesagem incorreta de pigmentos/cargas.	Balança descalibrada

Fonte: Autora, 2024.

Para a etapa de pré-mistura (Quadro 4), tendo mão-de-obra como elemento, o modo de falha foi definido como a incompatibilidade de matérias-primas causada pela adição fora da ordem correta. Com isso, o efeito da falha foi determinado como a formação de resíduo na tinta. A severidade foi categorizada como moderada alta, com classificação numérica em 7, uma vez que parte do produto pode ser descartado e pode haver uma parada de linha com tempo superior a 1 hora.

Quadro 4 - Aplicação do FMEA para a etapa de pré-mistura.

ANÁLISE DE ESTRUTURA			ANÁLISE DA FUNÇÃO			ANÁLISE DA FALHA			
1 - Item do Processo	2 - Etapa do Processo	3 - Elemento do Trabalho do Processo	1 - Função do Item de Processo	2 - Função da Etapa do Processo	3 - Função do Elemento do Trabalho do Processo	1 - Efeito da Falha (EF)	2 - Modo de falha (MF) da Etapa do Processo	3 - Causa de falha (CF) do elemento do trabalho	
Adição das matérias-primas para a pré-mistura.	Pré-mistura	Mão de obra	Adicionar e misturar as matérias primas da etapa de dispersão.	Assegurar que os pigmentos/cargas sejam misturados.	Garantir a adição das matérias-primas na etapa de pré-mistura.	Formação de resíduos.	7	Incompatibilidade de matérias-primas.	Adição de matéria-prima fora da ordem correta.

Fonte: Autora, 2024.

Durante a etapa de análise de risco, foram estabelecidos os parâmetros de potencial de ocorrência (O) e detecção da falha no processo (D). O potencial de ocorrência refere-se à probabilidade de uma falha ocorrer, levando em consideração diferentes fatores. A detecção representa a capacidade do processo de identificar a falha antes que ela cause um impacto negativo no produto.

Na etapa de filtração, o modo de falha relacionado ao elemento mão-de-obra foi definido como a ausência de substituição de filtro colmatado. A colmatação do filtro é um termo utilizado para descrever a obstrução de um filtro devido ao acúmulo de partículas. A consequência dessa falha é o aumento do tempo de filtração da tinta, devido a um processo de filtração mais lento. Com isso, a ocorrência e a detecção foram categorizadas numericamente como 2 e 6.

A determinação do valor do potencial de ocorrência como 2 é justificada pelo fato de ter como controle eficiente ações comportamentais. Para o potencial de detecção, o valor 6 é

justificado pela forma de detecção ser por inspeção humana ou com o uso de um dispositivo de controle manual.

Após a determinação dos três parâmetros - severidade, ocorrência e detecção – foram determinados os valores da prioridade de ação (PA), nos quais foram estabelecidos os níveis de alta, média ou baixa priorização. A prioridade de ação tem como objetivo identificar quais falhas identificadas no processo necessitam de ação imediata e priorizada para mitigar os riscos associados. Para uma probabilidade alta, por exemplo, deve-se tomar ações imediatas.

Para o exemplo citado da etapa da filtração, a PA foi baixa. Isso porque se trata de um efeito baixo na linha de produção e no produto final, uma previsão de ocorrência da causa da falha baixa e uma moderada capacidade para detecção. Sendo assim, não há a necessidade de incluir ações imediatas no plano.

Após a análise realizada, foi verificado que as prioridades de ação identificadas no processo em estudo foram classificadas como baixas e médias. Diante dessa avaliação, o plano de ação para o processo baseia-se na implementação de melhorias nos controles de prevenção e detecção já existentes. Essa abordagem visa fortalecer os mecanismos de prevenção e detecção de falhas, aprimorando a eficiência e a eficácia do processo, além de minimizar riscos potenciais, reduzir a ocorrência de falhas e aumentar a confiabilidade do processo como um todo.

Durante a etapa de otimização, foram identificadas e implementadas ações para lidar com as falhas que foram classificadas com uma prioridade de ação (PA) média no FMEA. Para as ações de prevenção foram adotadas medidas proativas para evitar a ocorrência das falhas identificadas, enquanto para as ações de detecção foram implementados sistemas e mecanismos para identificar rapidamente qualquer desvio ou anomalia no processo.

A falha de adição de matéria-prima fora da ordem correta, com o modo de falha de incompatibilidade, foi classificada com prioridade de ação (PA) média. Para prevenir essa falha, foi determinada uma ação de prevenção que consiste na revisão dos procedimentos e no treinamento da equipe operacional, uma vez que o elemento de trabalho envolvido é a mão-de-obra. Para detectar precocemente possíveis falhas ou não conformidades, foi estabelecida a realização de inspeções visuais frequentes durante o processo produtivo como ação de detecção.

A ocorrência de transbordo no tanque devido a falhas no fechamento das válvulas foi classificada como uma prioridade de ação média. Como medida preventiva, foi avaliada a implementação de um programa de manutenção preventiva para as válvulas, a fim de garantir um funcionamento adequado. Além disso, como medida de detecção, foi sugerida a instalação de sensores de monitoramento de nível nos tanques para aumentar a confiabilidade do processo.

Foram definidas ações para a falta de setup na máquina de envase, com modo de falha de produto contaminado na máquina de envase, pois sua PA foi categorizada como média. Foi definido como ação preventiva a implementação de um sistema de setup automático na máquina de envase, com o objetivo de reduzir a possibilidade de ocorrência de falhas durante esse processo. Adicionalmente, como ação de detecção, foi estabelecido o uso de um checklist de verificação da máquina antes de cada envase, visando identificar possíveis problemas ou irregularidades que possam resultar em contaminação do produto.

Foi atribuído um responsável para cada ação, garantindo uma clara definição de quem seria responsável por executar as tarefas necessárias. Além disso, cada ação foi associada a um prazo definido, que estabelecia a data limite para sua conclusão. A determinação desse prazo levou em consideração a urgência e a importância de cada ação, bem como a disponibilidade de recursos e a viabilidade de implementação.

Após a implementação das ações corretivas, é fundamental realizar um acompanhamento por um período determinado para avaliar a efetividade dessas intervenções no modo de falha específico. Após essa avaliação, deve-se revisitar o FMEA focando no modo de falha em questão. Essa revisão permitirá a atualização dos valores de Severidade, Ocorrência e Detecção, considerando as ações implementadas. A partir dessas novas informações, será possível determinar a PA adequada para o cenário revisado. Esse ciclo de monitoramento e revisão deve ser aplicado a todo o processo, com o objetivo de promover a melhoria contínua e garantir a eficácia das intervenções realizadas.

5 CONCLUSÕES

Este estudo ressalta a importância da aplicação do FMEA na indústria de tintas decorativas, especificamente para a identificação e mitigação de riscos no processo de produção. A pesquisa evidencia que ao utilizar esta metodologia em cada etapa da fabricação de tintas, é possível antecipar e prevenir potenciais falhas que poderiam comprometer a qualidade do produto final.

A ferramenta FMEA permitiu não apenas identificar os modos de falha em várias etapas, mas também analisar os efeitos e as causas dessas falhas. Com base nessas análises, foram propostas ações corretivas e preventivas para minimizar os riscos associados, promovendo melhorias nos controles de prevenção e detecção. Além disso, a implementação dessas medidas contribui para a redução de desperdícios, retrabalhos e custos operacionais, garantindo a conformidade com os padrões de qualidade exigidos pelos clientes e reguladores.

O estudo também reforça a importância do uso sistemático de ferramentas de gestão da qualidade, como o FMEA, na melhoria da eficiência do processo produtivo, no aprimoramento da segurança dos produtos, no fortalecimento da posição competitiva da empresa no mercado, além da redução de custos financeiros na empresa. A análise realizada demonstrou que a prioridade das ações no processo estudado foi classificada como baixa ou média, sugerindo que o processo já conta com controles razoavelmente robustos, porém, ainda há oportunidades para a otimização contínua.

Além de contribuir para a compreensão teórica do FMEA, o estudo destaca sua aplicação prática na melhoria contínua dos processos produtivos. Isso promove a excelência operacional e impulsiona avanços no campo da gestão da qualidade na indústria de tintas, fornecendo insights valiosos para profissionais e acadêmicos interessados na otimização dos processos produtivos.

REFERÊNCIAS

ABRAFATI. Setor de tintas: Saiba mais sobre as tintas. Disponível em <https://abrafati.com.br/setor-de-tintas/saiba-mais-sobre-as-tintas/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

AIAG & VDA. **Manual FMEA: Análise de Modo e Efeitos da Falha.** 1 ed. Interaction Plexus. 2019.

AMBERKAR, S; CZERNY, B.J.; D`AMBROSIO, J.G.; DEMERLY, J.D.; MURRAY, B.T. **A Comprehensive Hazard Analysis Technique for Safety-Critical Automotive Systems.** SAE 2001 World Congress, Michigan, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: 1994. **Confiabilidade e Mantenabilidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BARRIOS, Silmar. **Manual descomplicado de tecnologia de tintas:** Um guia rápido e prático para formulação de tintas e emulsões. 1 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

CANAUDE, Cristine. **Dossiê técnico: Fabricação de tintas.** Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro (REDETEC), 2007.

CAVALCANTE, Giovanna R. **Aplicação do sistema de gestão qualidade na indústria de tintas imobiliárias.** 2022. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

CETESB. **Guia técnico ambiental tintas e vernizes – Série P+L.** São Paulo: CETESB, 2008.

DOO. **Utilizando a Matriz GUT na tomada de decisão.** 2022. Disponível em: <https://www.doo.com.br/utilizando-a-matriz-gut-na-tomada-de-decisao-05-22-34/> Acesso em: 17 set. 2024.

FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas: Ciência e Tecnologia.** 4 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2021.

GIOCONDO, F. I. C. **Ferramentas Básicas da Qualidade. Instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua.** São Paulo: Biblioteca24horas, 2011

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA).** UFMG, Escola de Engenharia, 1995.

JURAN, J.M & GRYNA, Frank M. **Controle Da Qualidade Handbook: Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade.** São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

LABDGE. **Diagrama de árvore.** Laboratório de design thinking, gestão e engenharia industrial. UFF, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda. Disponível em: <https://labdge.uff.br/diagrama-de-arvore/> Acesso em: 17 set. 2024.

LUCINDA, M. A. **Qualidade: fundamentos e práticas para cursos de graduação.** Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

MATOS, Mariana. **Uma visão química das Tintas Imobiliárias e sua questão ambiental.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química). Universidade Federal de São João del-Rei, 2017.

MIZUNO, S. **Gerência para Melhoria da Qualidade: As 7 Novas Ferramentas de Controle da Qualidade.** Editora LTC, 1993.

MODO. FALHA. EFEITO. In: Michaelis, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Editora Melhoramentos, 2024. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/> Acesso em: 10 abr. 2024.

ORIBE, Claudemir Y. **Diagrama de Árvore: a ferramenta para os tempos atuais.** Banas Qualidade, São Paulo: Editora EPSE, ano XIII, n. 142, março 2004, p. 78-82.

PALADINI, Edson P. **Gestão da Qualidade: teoria e prática.** 2 Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

PARANHOS, Mayara *et al.* Aplicação da análise de modo e efeitos de falha para o gerenciamento de riscos em novos projetos. **Sistemas & Gestão**, Goiás, volume 11, pp 444-454, 2016.

POLITO, G. **Principais sistemas de pinturas e suas patologias.** 2006. Apostila do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2006.

RABAOLI, Volmir *et al.* Falta de controle e padronização: estudo de caso em uma indústria de tintas imobiliárias. **Multitemas**, Campo Grande, MS, v. 21, n. 49, p. 33-58, jan./jun. 2016.

SALEHI, G., PEIKARI, H.R. & SHAHIN, A. **Improving the formulation of industrial paints using FMEA and Taguchi approaches**, Int. J. Productivity and Quality Management, Vol. 30, No. 3, pp.304–322, 2020.

SANTOS, Leandro D. **A utilização do FMEA como estratégia para melhoria da qualidade em uma indústria química da região das missões.** Encontro Nacional De Engenharia De Produção (ENEGET). Curitiba, PR, 2014.

SILVEIRA, Cristiano B. **FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos.** Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/fmea-processo-analise-modos-falhas-efeitos/> Acesso em: 18 maio 2024.

SOUZA, Tiago. **Aplicação das ferramentas de qualidade para elaboração de um plano de melhoria no processo de fabricação de tintas automotivas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade de São Paulo, Lorena, 2019.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution.** Wisconsin: ASQ Quality Press, 1995.

WESSIONI, N. A.; YOSHIO, F. **Failure mode effect analysis and fault tree analysis as a combined methodology in risk management.** International Conference on Industrial and System Engineering (IConISE), 2017.

APÊNDICE A - FMEA