

O FMEA E SEU PAPEL NA MELHORIA DOS PROCESSOS: proposição de aplicação da metodologia em uma empresa do setor alimentício

FMEA AND ITS ROLE IN PROCESS IMPROVEMENT: preposition for applying the methodology in a company in the food sector

Grazielle de Lima Oliveira – grazielelimaoliveira22@gmail.com
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) –Taquaritinga–SP–Brasil

Diego José Casagrande – diego.casagrande@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) –Taquaritinga–SP–Brasil

DOI: 10.31510/infa.v21i2.2053

Data de submissão: 24/09/2024

Data do aceite: 23/11/2024

Data da publicação: 20/12/2024

RESUMO

A Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*) é uma metodologia sistemática empregada no planejamento e controle de manutenção para reconhecer, avaliar e mitigar riscos relacionados a produtos, processos ou sistemas. Uma das primeiras formas de análise de falhas foi desenvolvida pela Força Aérea dos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial, sendo o FMEA formalizado e documentado inicialmente na norma militar MIL-P-1629 em 1949. Com o passar dos anos, o método foi melhorado. O objetivo deste artigo é propor a aplicação da metodologia de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) na área de manutenção numa empresa do setor alimentício a fim de identificar, priorizar e otimizar o desempenho dos processos por ele desenvolvidos. Neste sentido, a abordagem adotada nesta investigação envolveu uma revisão bibliográfica que possibilitou investigar as origens dessa técnica, sua utilização em setores específicos e as táticas para aprimoramento. Os resultados revelaram que a adoção do FMEA na indústria estudada trouxe uma melhoria considerável na gestão da qualidade e na segurança dos produtos. Proporcionou-se a detecção precoce de falhas potenciais e seus impactos, permitindo a implementação de ações corretivas e preventivas mais eficazes. Como consequência, a empresa observou uma redução de não-conformidades e aumento na satisfação dos clientes.

Palavras-chave: FMEA. Manutenção. Melhoria de processos.

ABSTRACT

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is a systematic methodology used in maintenance planning and control to recognize, evaluate and mitigate risks related to products, processes or systems. One of the first forms of failure analysis was developed by the United States Air Force during World War II, with FMEA being formalized and initially documented in the military standard MIL-P-1629 in 1949. Over the years, the method was improved. The objective of this article is to propose the application of Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) tools in the

maintenance area of a company in the food sector in order to identify, prioritize and optimize the performance of their processes. The approach adopted in this investigation involved a thorough literature review, investigation of the historical origins of this technique, its use in specific sectors and innovative tactics for improvement. The study revealed that the adoption of FMEA in the industry brought a considerable improvement in quality management and product safety. Providing early detection of potential failures and their impacts, allowing the implementation of more effective corrective and preventive actions. As a result, the company saw a decrease in non-compliance incidents and an increase in customer satisfaction.

Keywords: FMEA. Maintenance. Process improvement.

1 INTRODUÇÃO

Na transição da manufatura manual para processos industriais mecanizados durante a Revolução Industrial, observa-se a ocorrência de mudanças significativas nas práticas de produção. A importância da manutenção de máquinas e equipamentos foi ressaltada nesse período iniciado no final do século XVIII, visando assegurar a eficiência e continuidade das operações fabris (CALVACANTE; SILVA, 2011). Durante a Segunda Guerra Mundial, a demanda por produções maiores e mais eficientes gerou a necessidade de monitorar máquinas e equipamentos levando em conta o tempo, o que deu origem ao que hoje chamamos de manutenção preventiva (BRANCO, 2008).

De acordo com a ASQ - A Global Leader in Quality Improvement & Standards (2014), o FMEA teve seu surgimento na década de 1940. Inicialmente, seu uso era voltado para o exército dos Estados Unidos, sendo apenas posteriormente que passou a ser incorporado pelo setor aeroespacial e, em sequência, pela indústria automobilística. Com o passar do tempo, essa metodologia foi aperfeiçoada e se disseminou, possibilitando a identificação e a avaliação antecipada de diferentes tipos de falhas em equipamentos e sistemas.

Carlson (2012) destaca a importância crítica da Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) como uma metodologia valiosa para lidar com riscos, fornecendo insights sobre as ameaças que sistemas complexos podem enfrentar. Esta análise inicial fornece à PCM informações valiosas que ajudam a desenvolver estratégias de manutenção preventiva ou preditiva direcionadas para mitigar os riscos identificados. Além disso, o sistema prioriza as atividades de manutenção levando em consideração a gravidade do impacto da falha, a probabilidade de ocorrência e as capacidades de detecção.

A indústria alimentícia exige rígidos controles de qualidade e segurança, pois falhas no processo produtivo podem gerar sérios problemas como contaminação dos alimentos e impacto

na saúde do consumidor. A manutenção de equipamentos e sistemas é, portanto, um aspecto importante para garantir a continuidade operacional e o cumprimento das normas regulatórias. O objetivo desse trabalho é explorar como o FMEA pode ser implementado para otimizar a manutenção em empresas do setor alimentício, enfatizando o impacto positivo nas operações e na qualidade dos produtos.

O trabalho está dividido em cinco partes principais. A primeira parte, “Introdução”, apresenta a importância do FMEA, suas origens e sua relevância para a manutenção dos processos industriais, especialmente na indústria alimentícia. A Parte II, “Planejamento e Controle de Manutenção”, explica conceitos básicos sobre diferentes estratégias de manutenção e a importância do planejamento para a eficiência operacional. A Seção 3, “Métodos de Pesquisa”, descreve a abordagem adotada pelas empresas alimentícias para aplicar o FMEA, incluindo técnicas de coleta e análise de dados. A Seção 4, “Resultados e Discussão”, apresenta os resultados da aplicação FMEA em uma indústria alimentícia, detalhando os modos de falha identificados e ações corretivas recomendadas. Finalmente, a Parte Cinco, “Reavaliação, Documentação e Monitoramento”, discute o processo contínuo de revisão do FMEA, enfatizando a importância da documentação e do monitoramento para melhoria contínua.

2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO: UMA VISÃO GERAL

Em um serviço de manutenção, a função planejamento é particularmente trabalhosa e delicada, os seus trabalhos são variados e a noção de urgência é mais frequente e com maiores consequências que na produção (MONCHY, 1987).

Para Slack, Chambers e Johnston (2008), o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) consiste em uma série de medidas para preparar, organizar e monitorar o desempenho da execução das atividades de manutenção com base em critérios pré-estabelecidos e tomar ações corretivas para alcançar os objetivos e a missão da empresa.

A eficiência da gestão de manutenção é um ponto crucial em qualquer organização para garantir a confiabilidade e disponibilidade de seus ativos. O processo de Planejamento e Controle de Manutenção desempenha um papel fundamental nesse cenário, objetivando a otimização dos recursos, a redução de custos e a maximização da eficiência operativo.

2.1 Definições e categorias de manutenção

É a essência de garantir que máquinas e estruturas continuem operando de forma eficaz e segura. Existem muitos tipos de manutenção, cada um dentro de seus objetivos e formas.

Segundo Slack, Chambers & Johnston (2008), manutenção é o termo adotado pelas empresas para sua abordagem na prevenção de falhas potenciais em seus ativos e equipamentos. Os autores também enfatizam que existem várias estratégias de manutenção, as principais incluem: corretiva, preventiva, preditiva.

2.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é a operação que envolve a reparação de equipamentos quando há uma falha. Segundo Corrêa e Corrêa (2010), tais imperfeições resultam não só em impactos financeiros significativos para a empresa, mas também em uma série de consequências adicionais, como a perda de clientes devido a atrasos na entrega de produtos, variações na qualidade final, entre outros efeitos colaterais relacionados. A corretiva não planejada é quando ocorre uma falha inesperada e a corretiva planejada quando a manutenção é agendada após uma falha conhecida.

2.1.2 Manutenção Preventiva

De acordo com o estudo de Slack, Chambers e Johnston (2002), a manutenção preventiva tem como objetivo diminuir as chances de falhas através de atividades de manutenção, como limpeza, lubrificação, substituição e verificação, realizadas em períodos previamente planejados. A manutenção preventiva inclui inspeções, reparos e substituições de peças em intervalos regulares, seguindo cronogramas predeterminados ou critérios específicos. A finalidade é prevenir falhas e otimizar a vida útil dos bens.

2.1.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva envolve o uso de tecnologias e monitoramento contínuo para prever falhas e desgastes em ativos. Takahashi e Osada (2000) relata que a manutenção preditiva é definida como uma abordagem que visa evitar excessos na manutenção e reparos, comumente observados em métodos tradicionais.

Além disso, destaca-se por promover práticas econômicas de manutenção preventiva, fundamentadas em estudos de engenharia sobre otimização de ciclos de manutenção. Ela se baseia em dados, medições e análises para determinar quando a manutenção é necessária, minimizando o tempo de inatividade não planejado.

2.2 Plano de manutenção: características e aplicações

O plano de manutenção é um documento detalhado que descreve as estratégias e procedimentos a serem seguidos para garantir que os ativos de uma organização, como máquinas, equipamentos, veículos e infraestruturas, permaneçam em boas condições de funcionamento ao longo do tempo. Conforme Costa (2013) o plano deve ser criado utilizando ferramentas que ajudem na gestão de atividades e projetos em curso.

Um plano de manutenção bem elaborado proporciona a eficácia das operações, contribui para a gestão eficaz dos ativos, economia de recursos, redução de falhas, aumento da vida útil dos ativos e aprimoramento geral do desempenho operacional de uma organização com o intuito de alcançar as metas e objetivos previamente estabelecidos.

2.3 Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

O FMEA é uma metodologia da qualidade que tem como objetivo analisar as falhas que possa a vir ocorrer na indústria ou de maneira específica em um equipamento. Após a análise das falhas esta metodologia avalia os efeitos, as causas e como evitar a ocorrência dessas falhas (SILVA; CASAGRANDE, 2022).

Segundo Palady (1997), é um método usado para identificar e avaliar potenciais falhas que podem ocorrer dentro do projeto ou processo em estudo e seus efeitos, identificando quais ações podem ser tomadas ou executadas para reduzir as chances de tais falhas. Ele tem três objetivos principais: prever os problemas mais importantes, prevenir ou minimizar os impactos dos problemas e maximizar a qualidade do sistema e a confiabilidade geral.

2.3.1 Identificação de Modos de Falha na Manutenção

A FMEA dentro do PCM pode ser utilizada para identificar modos de falha específicos relacionados às atividades de manutenção. Detectar antecipadamente potenciais falhas nas práticas de manutenção permite a implementação de ações corretivas ou preventivas, melhorando a eficácia do PCM.

Segundo Silva e Casagrande (2022) para o desenvolvimento de um FMEA, é importante identificar as etapas de todo o processo ou projeto. Para encontrar a falha, é verificado todas as possibilidades de erro, bem como suas fontes e consequências. Após isso, usamos pontuações para classificar o RPN. Em seguida, realizar a interpretação e o monitoramento. Isso inclui a análise de procedimentos de inspeção, substituição de peças, lubrificação, entre outros.

Segundo Spicher et al (2000) antes de desenvolver um conjunto de critérios de decisão, é importante identificar os problemas existentes, pois estes são a base para a geração do conjunto. Isso significa que as ações corretivas e preventivas podem ser direcionadas para áreas críticas, maximizando o impacto positivo na confiabilidade dos equipamentos.

2.4 Processo de construção de um FMEA

Para cada tipo de falha identificado, é importante analisar as causas que levaram a sua ocorrência e os impactos resultantes. Identificar a origem da falha significa descobrir o fator responsável. Após a identificação das falhas, efeitos e medidas de controle, é essencial estabelecer a gravidade.

Segundo Teoh e Case (2004) o processo de construção do FMEA começa com a formação de uma equipe multidisciplinar composta por membros com conhecimento técnico do sistema que está sendo analisado. Esta diversidade de perspectivas ajuda a avaliar e identificar de forma abrangente potenciais lacunas em múltiplas áreas. A construção da FMEA é um processo importante para gerenciamento de riscos e busca de melhoria contínua de um projeto, produto ou processo.

Franceschini e Galetto (2001) explicam que, para realizar a FMEA, a equipe encarregada precisa identificar o componente, o possível modo de falha desse componente, o potencial efeito da falha e seu nível de severidade (S), a causa possível do fracasso e a frequência com que ocorre (O), as medidas de verificação do projeto e o nível de detecção (D), usando esses 3 dados para determinar o RPN. Em seguida, medidas devem ser sugeridas, priorizando os modos de falha com maior RPN.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

O artigo realiza um estudo de caso, em que foi realizado entrevistas, observações diretas e revisão de registros, analisando o processo de produção com o intuito de detectar eventuais modos de falha e áreas de risco. A metodologia foi utilizada como intuito de oferecer uma compreensão abrangente do método e analisar sua utilização em um cenário industrial particular. O estudo de caso foi realizado em uma empresa alimentícia selecionada onde se trata de uma técnica utilizada para coletar dados de um ambiente ou fenômeno específico, e tem como objetivo propor a aplicação do FMEA dentro da empresa para a melhor a segurança do alimento, reduzir custos e cumprir regulamentações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de identificar possíveis erros e os seus efeitos antes que se tornem um problema grave, para que possam ser feitas correções precoces, apresentamos a proposta de aplicação da análise FMEA em uma empresa com segmento alimentício.

A empresa estudada está localizada em Taquaritinga, São Paulo, e se destaca na indústria alimentícia no ramo de produção e exportação de amendoim. A empresa atua no setor de oleaginosas e enfrenta desafios na qualidade dos produtos e na segurança alimentar, aspectos fundamentais para atender aos rigorosos padrões internacionais e garantir a aceitação nos mercados de exportação.

O FMEA inicia-se com a formação de uma equipe interdisciplinar, composta por experts de várias áreas, como produção, controle de qualidade e logística. Essa equipe colabora para o planejamento integral do processamento do amendoim. Durante esse processo, os membros identificam possíveis modos de falha em cada fase, incluindo contaminações, defeitos nas embalagens e questões relacionadas à conformidade para exportação.

Posteriormente, cada modo de falha é analisado em relação à sua gravidade, frequência e visibilidade. Aqui, se avalia o impacto do defeito no produto final e na satisfação do cliente, a probabilidade de o defeito ocorrer e a eficácia na detecção de falhas antes que estas aconteçam. Com essa análise em mãos, é possível calcular o índice de risco para cada modo de falha.

Os benefícios de aplicar o FMEA são bastante relevantes. Em primeiro lugar, essa metodologia possibilita que a empresa identifique e resolva problemas potenciais antes que estes impactem a qualidade do produto ou causem interrupções nos processos, reduzindo assim o risco de não conformidades e insatisfações dos clientes. Além disso, a adoção de ações corretivas e melhorias proativas favorece a eficiência operacional, diminuindo desperdícios e aprimorando o uso de recursos. A abordagem estruturada do FMEA também incentiva uma cultura de melhoria contínua, envolvendo a equipe na vigilância constante e na análise de riscos, o que fortalece o compromisso com a qualidade e a conformidade.

Atualmente, o departamento de manutenção da empresa está lidando com vários desafios que afetam significativamente a eficiência e a qualidade dos processos de processamento e exportação de amendoim. Os principais pontos de preocupação incluem:

- Elevada Incidência de Quebras e Falhas e Altos Custos de Manutenção: A equipe tem observado um aumento no número de quebras de equipamentos e falhas em máquinas essenciais. Essas interrupções não programadas levam a

paradas inesperadas na linha de produção, ocasionando atrasos e redução da produtividade. Os gastos com manutenção têm crescido, principalmente por causa da necessidade de consertos de emergência e da troca frequente de componentes.

- Efeito na Qualidade do Produto: A falta de uma manutenção adequada pode comprometer a qualidade do amendoim processado, resultando em produtos que não atendem aos padrões exigidos pelo mercado europeu. Essa situação pode acarretar a rejeição de lotes e problemas relacionados à conformidade regulatória.
- Contratempos na implantação da Manutenção Preventiva: Apesar de a empresa ter tentado instituir programas de manutenção preventiva, a eficácia desses esforços tem sido limitada devido à falta de uma abordagem organizada e à dificuldade de prever falhas antes que elas ocorram.

Abaixo, no quadro 1, exibe-se o FMEA que foi realizada na investigação sobre a adoção desta metodologia em uma empresa do ramo alimentício. Este infográfico é fundamental para entender como essa metodologia influencia a gestão da qualidade e a segurança dos alimentos.

Quadro 1: Análise de modos de falhas efeitos

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS										
Sistema	Componente	Função do componente	Análise da falha			Avaliação de risco			Ações recomendadas	
			Modos de falha	Efeitos de falha	Causa da falha	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Deteção (D)		
Classificação	Correia do elevador de canecas	Suportar as canecas	Correia rasgada	Indisponibilidade do equipamento	Falha por desgaste excessivo	2	5	2	20	Realizar a troca da correia imediatamente, revisar o plano de preventiva dos equipamentos.
Selecionadora eletrônica	Led/ lâmpada	Visualizar o produto corretamente	Problemas no funcionamento	Falha na seleção correta do amendoim	Desgaste causado pelo tempo de uso	9	2	8	144	Realizar o reprocesso dos lotes, abrir um plano de ação, verificar a calibração do equipamento e solicitar o técnico responsável pela verificação e manutenção.
Detector de metal	Corpo de prova	Detectar matérias de inox, ferro ou aço	Problemas no funcionamento	Falha na detecção	Equipamento sem atualização e a vibração de outros equipamentos tem causado uma instabilidade	10	3	1	30	Realizar o reprocesso dos lotes, abrir um plano de ação, verificar a calibração do equipamento e solicitar o técnico responsável pela verificação e manutenção.

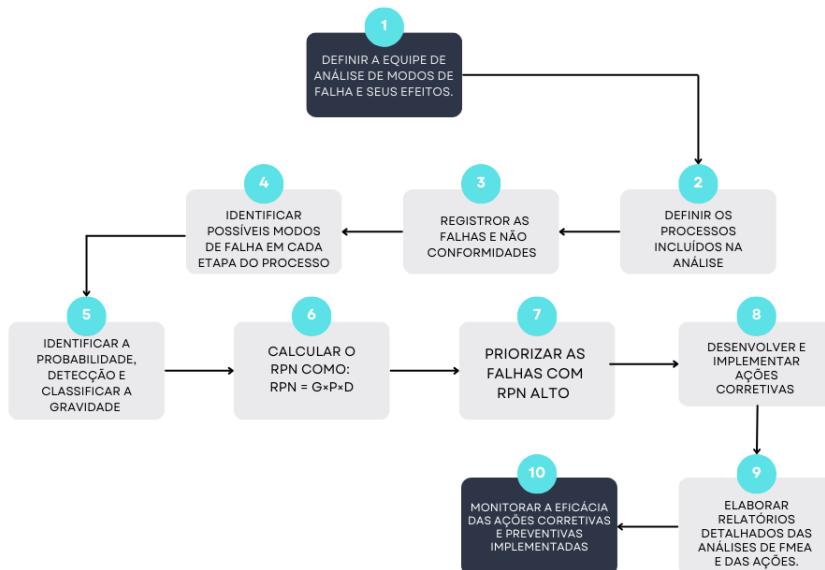
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.1 Formação da Equipe e formação do escopo do FMEA

Montaremos uma equipe multidisciplinar que inclui representantes de diversas áreas como produção, controle de qualidade, engenharia, segurança alimentar e manutenção. A

diversidade de perspectivas facilitará uma identificação e análise mais completa dos modos de falha. Definiremos o escopo do FMEA. Após a definição do escopo, o processo é analisado claramente definido. Conforme ilustrado na Figura 1, o escopo da FMEA abrange as etapas principais e os pontos críticos identificados para análise, isso oferece uma perspectiva mais abrangente sobre a implementação do FMEA e as adaptações feitas para atender às demandas da empresa do setor alimentício.

Figura 1: Escopo do FMEA



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.2 Mapeamento do Processo

Nesta etapa é criado um fluxograma detalhado dos processos envolvidos. Para uma empresa de amendoim, o fluxograma incluirá as etapas de recebimento do amendoim, limpeza, descascamento, processamento, blanqueamento e torra. Esse mapeamento possibilita uma visualização clara dos pontos de controle e das áreas de risco em potencial.

4.3 Identificação dos Modos de falha e Análise dos Efeitos das Falhas

Para cada etapa do processo, identificamos os possíveis modos de falha.

- Classificação: Correia do elevador rasgada.
- Ensaque do produto: Falha na detecção do corpo de prova no detector de metal.
- Seleção manual/eletrônica: Problema no funcionamento da lâmpada da selecionadora eletrônica

Para cada tipo de falha, identificamos os potenciais impactos no produto final e no consumidor.

- Correia do elevador rasgada: Ocasiona a parada na produção.
- Falha na detecção do corpo de prova no detector de metal: Afeta a qualidade e segurança do alimento.
- Problema no funcionamento da lâmpada da selecionadora eletrônica: Afeta a qualidade e segurança do alimento.

4.4 Avaliação do Risco e Desenvolvimento de Ações Corretivas

Avaliamos o risco associado a cada modo de falha, geralmente utilizando três critérios: Severidade (S), Ocorrência (O), e Detectabilidade (D).

Para os casos em que os problemas tenham índices de prioridade de risco elevados, elaboraremos e colocaremos em prática medidas corretivas visando diminuir a gravidade, a frequência ou até mesmo aprimorar a capacidade de detecção. Um exemplo disso é o Modo de Falha 2, que apresenta um RPN elevado e resulta na falha na segurança do alimento. Essa descoberta é fundamental para prevenção de contaminações e conformidades com normas e regulamentos.

4.5 Reavaliação, documentação e Monitoramento

Uma vez implementadas as ações corretivas, revisaremos o FMEA para avaliar a eficácia das mudanças e atualizaremos o RPN conforme necessário. Os departamentos de manutenção e produção serão responsáveis por reavaliar regularmente o processo para identificar novas falhas potenciais. Cada fase do FMEA será devidamente registrada, abrangendo as decisões tomadas e as ações corretivas implementadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise e implementação do FMEA demonstram o forte compromisso da empresa com a excelência operacional e a qualidade do produto. A abordagem sistemática e proativa adotada no FMEA não apenas reduz o risco, mas também fornece uma base sólida para melhoria contínua. Os esforços contínuos para melhorar e adaptar o FMEA são fundamentais para sustentar e dimensionar os resultados alcançados, garantindo que a empresa continue atendendo e superando as expectativas dos clientes e do mercado.

A realização do estudo sobre a aplicação do FMEA na área de manutenção na empresa alimentícia mostrou avanços significativos na identificação e mitigação de riscos operacionais. Na prática, o FMEA ajuda a priorizar falhas potenciais e a alocar recursos de forma mais eficaz, melhorando assim a confiabilidade do equipamento e reduzindo o tempo de inatividade.

Contudo, existem alguns desafios na sua implementação, tais como: A necessidade de formação especial das equipes e resistência a alterações nos processos estabelecidos. Além disso, o impacto desta abordagem é significativo, pois reduz os custos de manutenção corretiva e melhora a qualidade do produto, embora exija um compromisso contínuo com a precisão e eficácia do sistema de manutenção.

REFERÊNCIAS

- ASQ - A Global Leader in Quality Improvement & Standards.** Disponível em: <http://asq.org/index.aspx>.
- BRANCO FILHO, G.** **A organização, o planejamento e o controle da manutenção.** Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna Ltda.; 2008.
- CARLSON, C.S.** **Effective FMEAs:** Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes using Failure Mode and Effects Analysis. 1. ed. [S. l.]: Publisher, 2012.
- CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. da.** **A importância da Revolução Industrial no mundo da Tecnologia.** In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO
- CORRÊA, C.A.; CORRÊA, H.L.** **Administração de Produção e Operações:** 2º ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- COSTA, M. de A.** **Gestão Estratégica da Manutenção:** Uma Oportunidade para Melhorar o Resultado Operacional. 2013. 104f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) –Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais, 2013.
- FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M.** A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. **International Journal of Production Research**, London, v. 39, n.13, p. 2991-3002, 2001.
- MONCHY, François.** **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial.** 1.ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987. 424 p.
- PALADY, P.** **FMEA:** Análises dos Modos de Falhas e Efeitos. São Paulo: IMAM, 1997.
- SILVA, I. M.; CASAGRANDE, D. J.** **A UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE DIAGRAMA DE ISHIKAWA E FMEA-ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS NAS EMPRESAS.** Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 961–973, 2022. DOI: 10.31510/infav19i2.1503. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1503>.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, N.; JOHNSTON, R.; CHAMBERS, S. **Administração da Produção: 4º ed.** São Paulo: Atlas, 2008

SPEICHER, D.; SCHWARTZ, M.; MAR, T. (2000). **Prioritizing major transportation improvement projects:** comparison of evaluation criteria. *Transportation Research Record* 1706. TRB. Washington, D.C. pp.38-45.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: Instituto Iman, 1993.

TEOH, P.C.; CASE, K. Failure Modes and Effects Analysis through knowledge modelling. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 153, p. 253-260, 2004.