

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

BRUNA DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE MANUTENÇÃO
CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM NOVA FÁBRICA DE CAFÉ
SOLÚVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

LONDRINA

2021

BRUNA DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE MANUTENÇÃO
CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM NOVA FÁBRICA DE CAFÉ
SOLÚVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo José Pitelli

LONDRINA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM NOVA FÁBRICA DE CAFÉ SOLÚVEL

por

BRUNA DE OLIVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 06 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eduardo José Pitelli
Prof. Orientador

Prof. Dr. Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Membro titular

Prof. Dr. Roger Nabeyama Michels
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para nunca desistir de meus sonhos. Em segundo lugar a minha família, que sempre esteve presente e me deu apoio para que fosse possível chegar até aqui.

Agradeço também aos professores pelos ensinamentos, em especial ao professor, Eduardo José Pitelli, por ter proporcionado ser possível a realização desse trabalho.

Agradeço aos meus amigos que me apoiaram e não me deixaram desistir.

Agradeço aos colegas de trabalho pelos ensinamentos, tão importantes para minha formação.

Enfim, meu sincero agradecimento a todos que de certa forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

OLIVEIRA, Bruna. **Proposta de implementação de sistema de manutenção centrada em confiabilidade em nova fábrica de café solúvel**. 2021. 45 fl. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

Ao longo do último século a visão das empresas a respeito da manutenção mudou consideravelmente, passando a ser parte importante do planejamento estratégico das empresas. Essa mudança de mentalidade levou o surgimento da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), um sistema gestão de manutenção moderno que faz uso de ferramentas de análise de falha como FMECA, e tem como principal objetivo diminuir ao máximo as paradas de produção. Com isso, o presente trabalho busca apresentar modelo de implementação de MCC em fábrica ainda em fase de projeto. O planejamento da manutenção antes de etapa operacional evita perdas de informação e diminui paradas produtivas comuns em fase de início de operação, além de trazer maior segurança aos colaboradores.

Palavras-chave: Gestão da manutenção, confiabilidade, planejamento, FMECA.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Bruna. **A reliability centered maintenance system implementation propose in a new soluble coffee facility.** 2021. 45 f. Course Conclusion Paper (Bachelor in Mechanical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2021.

Over the last century, maintenance companies' view has changed considerably, becoming a strategic planning companies' important part. This change in mindset led to the emergence of Reliability Centered Maintenance (RCM), a modern maintenance management system that makes use of failure analysis tools such as FMEA / FMECA, and whose main to minimize production stoppages. Thus, the present work seeks to present the RCM implementation model in a factory in project phase. Maintenance planning before the operational stage avoids loss of information and production stoppages that are common in the start-up phase, in addition to bringing greater safety to employees.

Keywords: Maintenance management, reliability, planning, FMECA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Técnicas de manutenção ao longo dos anos.	12
Figura 2 – Curvas características de padrão de falhas de equipamentos.	20
Figura 3 – Exemplo de Curva PF.	20
Figura 4 – Árvore estrutural de ativos.	22
Figura 5 – Estrutura comum de tag.	22
Figura 6 – Exemplo de ficha técnica de equipamento.	23
Figura 7 – Fluxograma para definição de ponto crítico de controle.	27
Figura 8 – Etapas de processo de produção de café solúvel.	28
Figura 9 – Etapas para aplicação da MCC.	30
Figura 10 – Representação de processo produtivo de café solúvel.	32
Figura 11 – Fluxograma para decisão de tipo de manutenção.	38
Figura 12 – Sistema de transporte de café cru.	39
Figura 13 – Imagem ilustrativa de rosca transportadora e elevador de canecas.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Tipos de análises preditivas e principais defeitos que podem ser diagnosticados.	15
Tabela 2 – Grandes perdas da manutenção produtiva total.....	16
Tabela 3 – Questões básicas da MCC.....	17
Tabela 4 – Classificação dos fluidos conforme NR-13.	25
Tabela 5 – Categorização de vasos de pressão segundo a NR-13.	25
Tabela 6 – Metodologia para definição de criticidade de equipamento.....	35
Tabela 7 – Planilha de análise de falhas, efeitos e criticidade.	37
Tabela 8 – Matriz de criticidade de sistema de transporte de café cru.....	39
Tabela 9 – FMECA para sistema de transporte de café cru.....	41
Tabela 10 – Resumo do Modelo.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABICS	Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
APPCC (HACCP)	Análise de Perigos e Pontos críticos de controle
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FMEA	Análise de modos de falha e efeitos
FMECA	Análise de modos, efeitos e criticidade de falha
ISO	Organização Internacional de Padronização
MCC (RCM)	Manutenção Centrada em Confiabilidade
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCM	Planejamento e controle de manutenção
PCC	Ponto Crítico de Controle
P-F	Potencial – Funcional (falha)
SGSA	Sistema de Gestão de Segurança de Alimentos
TPM	Manutenção produtiva total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO	14
2.2	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC).....	16
2.2.1	APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA/FMECA NA MCC.....	18
2.3	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO (PCM).....	21
2.3.1	CADASTRAMENTO DE ATIVOS	21
2.4	NORMAS IMPORTANTES	24
2.4.1	NR-13: CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO (2019).....	24
2.4.2	ISO 22000: GESTÃO DE SEGURANÇA DE ALIMENTOS.....	26
2.5	A INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL NO BRASIL	28
3	METODOLOGIA	31
3.1	CONTEXTO OPERACIONAL	31
3.2	ORGANIZAÇÃO DE DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA	33
3.3	ANÁLISE DE CRITICIDADE DO EQUIPAMENTO.....	33
3.4	APLICAÇÃO DO FMECA PARA O ESTUDO DE CASO	36
3.5	PLANOS DE MANUTENÇÃO	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS.....	39
4.2	RESULTADO DE APLICAÇÃO DA FMECA ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

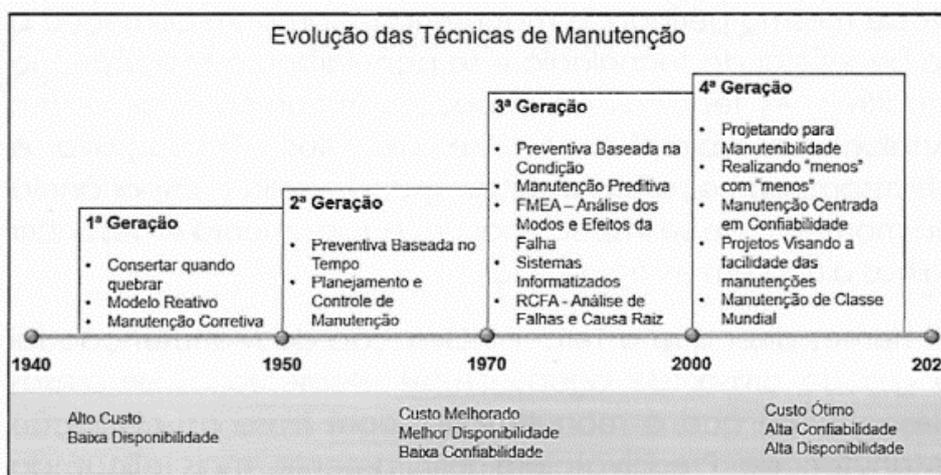
1 INTRODUÇÃO

A manutenção é definida como “um conjunto de ações técnicas e administrativas com o objetivo de manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”, em outras palavras, eliminando falhas e/ou defeitos (NBR 5462, 1994). No entanto, a visão da indústria em torno da manutenção mudou consideravelmente nos últimos 100 anos. No início do século XX, ela era vista apenas como uma atividade a ser desempenhada nos momentos de falha dos equipamentos (AMARAL, 2016). Atualmente, é vista como uma parte importante do planejamento estratégico da empresa para que seus produtos tenham um preço competitivo, sendo pensada desde a etapa de compra do equipamento até o seu descarte (ISO 55000, 2014).

A ideia de planejamento da manutenção surgiu na década de 1920, nos Estados Unidos, por conta do início da produção do automóvel (AMARAL, 2016). Após a segunda guerra mundial, essa ideia ganhou destaque na indústria, pois o novo cenário mundial trazia maior competitividade e equipamentos mais complexos, por conta dos avanços tecnológicos, de modo que o antigo hábito de esperar o momento da falha se tornou financeiramente insustentável (GREGÓRIO, 2018).

Teles (2019) apresenta a evolução da manutenção em 4 gerações, resumidas na Figura 1. Nela, é possível observar que ao longo dos anos, com o desenvolvimento de técnicas de manutenção, buscou-se principalmente: diminuir os custos e aumentar a disponibilidade das máquinas. Tais objetivos, levaram o surgimento do conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade (TELES, 2019; KARDEC, NASCIF, 2013).

Figura 1– Técnicas de manutenção ao longo dos anos.



Fonte: Teles (2019).

Dentre os diversos modelos de manutenção existentes, a Manutenção Centrada na Confiabilidade destaca-se por ser um dos mais rentáveis por envolver estudo aprofundado de análise de modos de falha e suas consequências. Pode ser definida como uma política de manutenção estruturada com o objetivo de selecionar as atividades de manutenção necessárias para manter a disponibilidade e confiabilidade de qualquer processo produtivo, e reduzir ao máximo, o custo de vida do ativo (FOGLIATTO, RIBEIRO, 2009; TELES, 2019).

Este trabalho apresenta a efetivação de um sistema de gestão de manutenção com foco em Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma nova unidade de fabricação de café solúvel, sendo esta a segunda unidade da empresa, que já é tradicional no segmento. O início da implementação se deu com a fábrica ainda em fase de projeto gerando benefícios como, por exemplo, certificações de qualidade de procedimento logo no início da operação.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo geral a criação de modelo de implementação para estudos posteriores a respeito de proposta de implantação de sistema de gestão da manutenção com foco em manutenção centrada em

confiabilidade (MCC), aplicando desde a etapa de projeto, em nova unidade de fábrica de café solúvel.

Para isso, definem-se como objetivos específicos:

- i. Apresentação do estudo de caso e contextualização;
- ii. Apresentação de metodologia para implementação de sistema de manutenção centrada em confiabilidade, baseado em estudo de análise de falhas;
- iii. Discussão de melhorias na implementação do modelo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Uma pesquisa feita pela ABRAMAN em 2013, mostrou que a indústria brasileira gasta, em média, 4,69% de seu faturamento bruto com manutenção de ativos, o que representa aproximadamente 20% de seu custo fixo (ABRAMAN, 2013). Paralelo a isso, Teles (2019) afirma que 69% das indústrias brasileiras realizam apenas manutenção não-planejada. Esses dados mostram o quanto a gestão da manutenção tem potencial de melhoria no Brasil.

A ISO 55000:2014, a respeito de gestão de ativos, traz uma abordagem mais integrada da administração dos diversos setores da empresa, tratando de todo o ciclo de vida do equipamento (ativo), desde a sua compra até o seu descarte (pensando na sustentabilidade). A busca pela certificação fez com que algumas empresas buscassem melhorar seu sistema de gestão de manutenção, agora chamado gestão de ativos. A Gestão de Ativos diz respeito a confiabilidade, uma vez que quanto menos confiável um sistema, maior o seu risco operacional e financeiro.

O presente trabalho busca contribuir para esse cenário que ainda tem muito a se desenvolver. Melhorias na gestão da manutenção trazem excelentes resultados à empresa, como redução de custos, aumento do ciclo de vida do equipamento, segurança operacional e sustentabilidade; o que permitiria maior competitividade da indústria brasileira frente a concorrência e desafios impostos (VIANA, 2002; AMARAL, 2016).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A NBR 5462/1994 classifica a manutenção em três categorias: corretiva, preventiva e preditiva. A forma de aplicação destas constitui uma estratégia de manutenção (NBR 5462, 1994).

A manutenção corretiva consiste em reparar o equipamento apenas após a falha. É o primeiro tipo de manutenção existente, por não demandar planejamento, no entanto, é o mais custoso (GREGÓRIO, 2018). A manutenção é dita corretiva planejada, quando é realizada para corrigir uma situação detectada por inspeções ou outras técnicas preditivas (NASCIF, DORIGO, 2010). Segundo dados da Engeteles (2019), 69% das empresas brasileiras ainda realizam apenas manutenção corretiva, apesar de ser em torno de sete vezes mais cara que as demais. Apesar disso, é aceitável que seja utilizada como estratégia de manutenção em equipamentos de criticidade C (criticidade mais baixa, numa escala ABC), o que geralmente corresponde a aproximadamente 10% do maquinário (TELES, 2019).

Segundo Amaral (2016), a manutenção preventiva sistemática foi a primeira forma de manutenção planejada a surgir. Ela consiste na substituição periódica de componentes de desgaste, realizadas a partir de estudo do tempo de desgaste dessas peças. Sendo assim, não espera a falha para ser realizada, diminuindo assim paradas de máquinas devido a falhas. Uma crítica feita a esse tipo de manutenção é que, muitas vezes, as trocas ocorriam muito antes do final de vida da peça (AMARAL, 2016).

Teles (2019) destaca que a manutenção preventiva sistemática apenas traz bons resultados apenas nos equipamentos em que as falhas estão relacionadas diretamente com a idade do equipamento, o que geralmente corresponde, em torno de 11% do maquinário. Para aplicação desta, como estratégia de manutenção, é necessária realização de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA): levantar hipóteses de falha do equipamento, como cada uma se manifesta e quais seus possíveis efeitos (TELES, 2019).

Manutenção preditiva é a manutenção realizada com base em parâmetros de desempenho e operacionais, que são acompanhados ao longo do tempo. As inspeções são utilizadas como forma de prever falhas, minimizando custos e tempo de parada de manutenção. Para isso, devem formar um histórico representativo, um banco de dados confiável e fornecer informações para as atividades de planejamento e manutenção (NASCIF, DORIGO, 2010). Além disso, ela demanda de instrumentos específicos capazes de registrar alterações ocorridas nos equipamentos. Entre as técnicas mais utilizadas, estão: análise de vibrações, termografia, análise de óleos, ultrassom. Os principais defeitos possíveis de se encontrar com a aplicação de cada uma delas são apresentados na Tabela 1. (TELES, 2019).

Tabela 1– Tipos de análises preditivas e principais defeitos que podem ser diagnosticados.

Análise	Falha prevista
Análise de vibrações	Prever falhas em equipamentos móveis por alterações nas taxas de vibração. Indispensável em máquinas rotativas.
Termografia	Prever falhas com base em alterações nos níveis de temperatura de um componente. Eficiente para componentes elétricos.
Análise de óleos	Identifica contaminações no óleo e desgaste de metais, podendo prever falhas por desgastes mecânicos e má lubrificação.
Ultrassom	Detecta vazamentos em sistemas de transporte de ar comprimido, vapor e outros gases, fuga de corrente elétrica e defeitos mecânicos.

Fonte: Teles (2019).

Após a Segunda Guerra Mundial, empresas japonesas criaram várias ferramentas administrativas para reestruturar o país, entre elas, a TPM (manutenção produtiva total) uma manutenção que tem como modelo as manutenções preventiva e preditiva, além de participação ativa dos operadores de máquinas (ALMEIDA, 2016). Nessa modalidade de manutenção, os operadores executam tarefas simples de manutenção e enxergam os equipamentos como se fossem o dono deles Segundo a TPM existem 6 grandes perdas que devem ser evitadas, apresentadas na Tabela 2, podendo ser evitadas com um sistema de gestão eficiente, conforme proposto pelo modelo (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018).

Tabela 2 – Grandes perdas da manutenção produtiva total.

6 grades perdas segundo a TPM	
Perda por quebras	Falha repentina de equipamento ou degeneração gradativa.
Perda por mudança de linha	Interrupção da linha de produção; ajuste em máquina para produção de diferentes produtos.
Perdas por operação em vazio e pequenas paradas	Interrupções momentâneas na linha de produção que exigem intervenção imediata (exemplo: sobrecarga de equipamento, entupimento de sistema)
Perdas por queda de velocidade produtiva	Provocada por condições que exigem redução da velocidade (exemplo: desgaste, superaquecimento, vibração excessiva).
Perda por produtos defeituosos	Causada por necessidade de retrabalho, descarte de produtos defeituosos e de superprodução.
Perdas por queda de rendimento	Não aproveitamento da capacidade nominal do equipamento, causadas por instabilidade operacional ou falta de matéria-prima.

Fonte: Gregório e Silveira, 2018.

2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

Define-se confiabilidade como a probabilidade de um item manter-se em funcionamento durante um determinado período futuro (NBR 5462/1994). Fogliato e Ribeiro (2009) definem manutenção centrada em confiabilidade (MCC ou RCM, sigla inglesa) como a aplicação de várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta continuarão realizando as funções especificadas, permitindo assim que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção (FOGLIATTO, RIBEIRO, 2009). Dessa forma, se diferencia do enfoque tradicional da gestão da manutenção que tratava toda falha como indesejada. Na MCC, as falhas são tratadas de maneira distinta, conforme seu potencial de geração de risco para a produção, pois seria impossível evitar todas as falhas (CERVEIRA, SELLITO, 2015).

Um requisito indispensável para a aplicação da MCC é a disponibilidade de informações. Logo, ter um banco de dados confiável é essencial. Fogliatto e Ribeiro (2009) definem como pilares básicos do programa de MCC: envolvimento de toda a equipe de manutenção; ênfase no estudo das consequências das falhas; análises abrangentes (considerando segurança, meio ambiente, operação, custo), atividades proativas (manutenções preditivas e preventivas); eliminação de falhas escondidas (FOGLIATTO, RIBEIRO, 2009).

De acordo com Moubray (1997), existem sete questões básicas que devem ser contempladas pelos programas de MCC. Elas são apresentadas na Tabela 3. Todas essas questões referem-se a forma como cada falha ocorre e suas consequências.

Tabela 3 – Questões básicas da MCC.

1 - Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris?
2- De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
3- O que causa cada falha funcional?
4 - O que acontece quando cada falha ocorre?
5 - De que forma cada falha interessa?
6 - O que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha?
7 - O que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade pró-ativa pertinente?

Fonte: Adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2009).

Para a implementação da MCC em uma empresa, Fogliatto e Ribeiro (2009), consideram nove etapas, sendo elas: (i) escolha da equipe; (ii) capacitação em MCC; (iii) estabelecimento dos critérios de confiabilidade; (iv) estabelecimento da base de dados; (v) aplicação da FMEA e classificação dos componentes; (vi) seleção das atividades de manutenção preventiva pertinentes; (vii) documentação das atividades de manutenção preventiva; (viii) estabelecimento de metas e indicadores; (ix) revisão do programa de MCC.

As etapas (i) e (ii) mostram que a base do programa deve ser uma equipe bem capacitada, com sólidos conhecimentos em engenharia de manutenção e confiabilidade. A etapa (iii) consiste no estabelecimento de metas para a

confiabilidade. Essas metas, no geral, devem ter como objetivos principais: impedir acidentes e danos ambientais, atendimento à legislação, impedir danos materiais significativos e assegurar a confiabilidade de equipamentos que se enquadram como gargalo de produção (FOGLIATO, RIBEIRO, 2009).

A etapa (iv) consiste no estabelecimento de base de dados, requisito essencial para a MCC. O banco de dados deve registrar e classificar as falhas observadas na planta, sendo assim, é recomendado que esteja dentro de software de gestão integrada a fim de facilitar o registro e acesso a informações (FOGLIATO, RIBEIRO, 2009).

A etapa (v), diz respeito da aplicação da carta FMEA. A partir dela, classificam-se os componentes em: críticos, potencialmente críticos ou não-críticos (criticidade A-B-C), servindo assim de base para a etapa (vi) seleção das atividades de manutenção. Os componentes críticos e potencialmente críticos devem apresentar plano de manutenção preventiva/preditiva. Esse item não é obrigatório para os componentes não-críticos (aqueles cuja falha não possui consequência grave), que normalmente, passam apenas por corretiva. A elaboração de planos de manutenção também será descrita com mais detalhes a seguir, o que também diz respeito a etapa (vii). As etapas (viii) e (ix) remetem a avaliação e melhoria contínua da implementação da MCC (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009).

2.2.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA/FMECA NA MCC

Define-se FMEA (*“Failure mode and effect analysis”*, em português, análise de modos de falha e efeitos) como uma abordagem que identifica falhas potenciais (que existe a possibilidade de ocorrer) em equipamentos, classifica e fornece recomendações de ações preventivas, com o objetivo de servir de guia para tomada de decisões. (FOGLIATO, RIBEIRO, 2009; KARDEC, NASCIF, 2013; TELES, 2019).

Além de FMEA, é comum o uso de termo FMECA (*“Failure mode effects and critically analysis”*, em português, análise de modo, efeito e criticidade de falha). Enquanto a FMEA apresenta um foco qualitativo, a FMECA, por incluir a análise de criticidade, apresenta tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos. A análise de criticidade classifica as falhas, de acordo com: frequência (probabilidade de

ocorrência), gravidade (como ela afeta as pessoas e o ambiente em volta) e detectabilidade (facilidade de detecção da falha) (KARDEC, NASCIF, 2013).

Os planos de manutenção com base na MCC são construídos a partir do FMEA ou FMECA. Teles (2019) enumera os passos para elaboração de planos de manutenção com base na FMEA. São eles:

1 – Cadastro de ativos: Cadastro de principais informações do equipamento em banco de dados da empresa. O equipamento (ou ativo) cadastrado deve estar contido em árvore estrutural e apresentar um “tag” (código de identificação que representa o local onde o equipamento se encontra).

2 – Mapa de processos: Elaboração de fluxograma de processo de cada área, identificando equipamentos por “tag”, mostrando assim a relação entre eles.

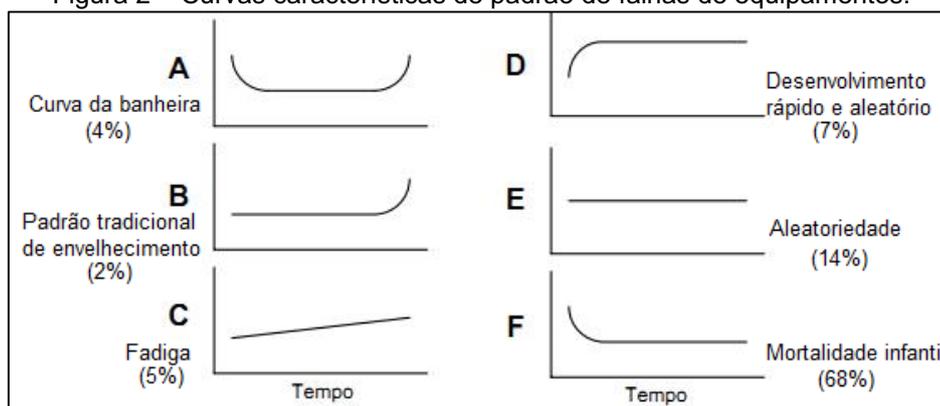
3 – Análise de processos: Aplicação do FMEA. Levantamento de possíveis falhas, e como elas podem surgir e se apresentar, e qual o efeito delas no processo.

4 – Planejamento de ações preventivas: Com base nas informações levantadas nas etapas anteriores, são elaborados: plano de manutenção preventiva, plano de manutenção preditiva, plano de lubrificação e plano de inspeção.

5 – Execução e controle: Após etapa de planejamento, elas são executadas e gerenciadas de acordo com programa de PCM (planejamento e controle de manutenção) da empresa.

Na MCC, a vida dos equipamentos pode ser caracterizada por seis curvas diferentes, conforme mostrado na Figura 2, onde o eixo vertical representa a quantidade de falhas e o eixo horizontal representa o tempo. Essas curvas foram levantadas pela United Airlines ao longo de 30 anos (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018). Desses, é possível observar que apenas os padrões A-B-C são relacionados ao tempo; 89% das falhas (D-E-F) ocorrem de forma aleatória e sem frequência conhecida, o que indica que planejar as atividades de manutenção apenas com base no tempo não trará bons resultados, fundamentando ainda mais a importância do FMEA (TELES, 2019).

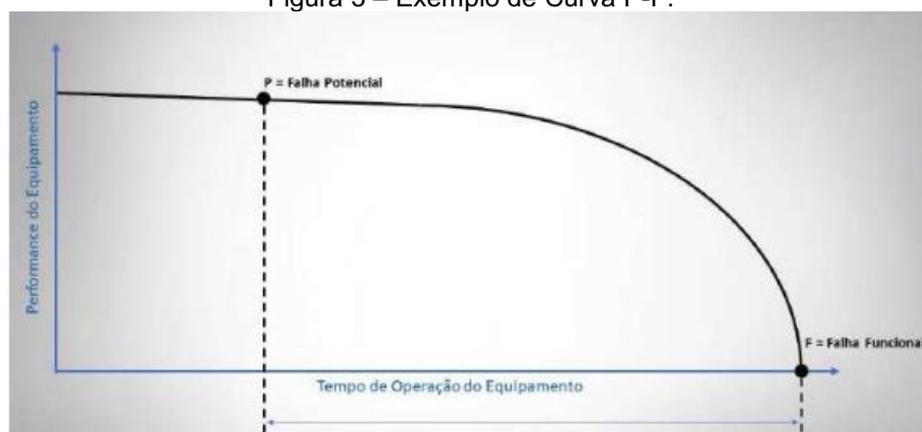
Figura 2 – Curvas características de padrão de falhas de equipamentos.



Fonte: Adaptado de: <https://blog.engeman.com.br/manutencao-confiabilidade/>. Acesso em novembro/2021.

O desempenho de um equipamento ao longo do tempo pode ser representado pela curva P-F, que mede o intervalo entre a falha potencial (“*potencial failure*”) e falha funcional (“*funcional failure*”) conforme apresentado na Figura 3. O eixo x representa o tempo de operação de um equipamento, e o eixo y, a performance. A partir desse gráfico, é possível identificar o tempo entre a falha potencial (momento em que a falha se inicia, marcado pela perda de desempenho) e a falha funcional (equipamento não consegue mais desempenhar certa função). Com base nesse tempo entre falhas, é possível definir a estratégia de manutenção mais apropriada (TELES, 2019).

Figura 3 – Exemplo de Curva P-F.



Fonte: Teles, 2019.

2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO (PCM)

O setor de PCM (planejamento e controle de manutenção) é o setor responsável por gerenciar e controlar todas as atividades de manutenção de determinada empresa. Tem como principal objetivo “promover, participar e garantir e elevação da qualidade e disponibilidade dos ativos, otimizando todos os recursos de manutenção” (TELES, 2019). São atividades do PCM:

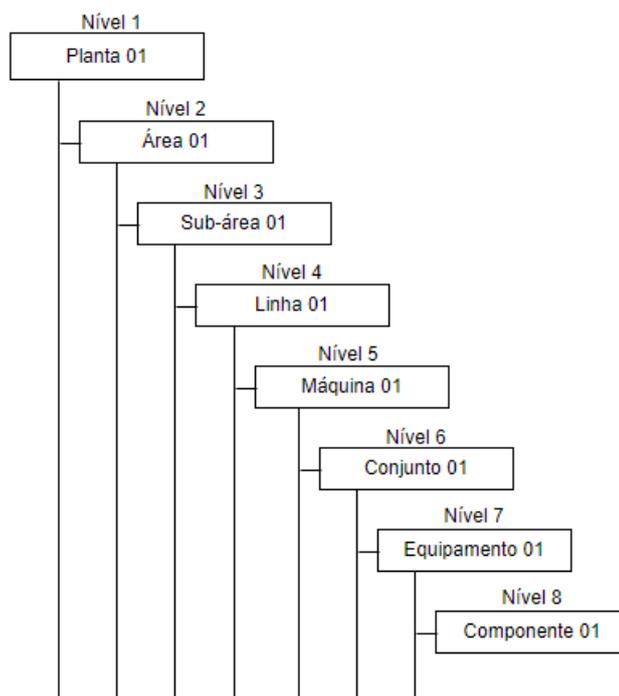
- i. Planejamento: reuniões e treinamentos, planos de manutenção, previsão de mão-de-obra, peças de reposição, ferramentas, materiais, e custos envolvidos;
- ii. Programação: calendário do planejamento. Priorizar atividades de acordo com: grau de urgência, disponibilidade dos recursos, viabilidade de parada e ordem das solicitações;
- iii. Controle: análise de informações e dados relacionados a manutenção (PRODUTTIVO, 2021).

2.3.1 CADASTRAMENTO DE ATIVOS

O cadastramento de ativos é considerado item essencial para a gestão da manutenção. Oferece uma visão ampla a respeito dos ativos presentes na empresa, recursos necessários para operação e riscos existentes a saúde dos colaboradores e meio ambiente. Segundo Teles (2019), um bom cadastro é composto por: árvore estrutural, matriz de criticidade, “tagueamento” e ficha técnica (TELES, 2019).

A árvore estrutural é a representação hierárquica dos ativos e tem como objetivo evidenciar a interligação e interdependência entre eles. Dessa forma, é possível obter informações desde sistemas principais até peças individualizadas. A Figura 4 apresenta representação esquemática dela (TELES, 2019).

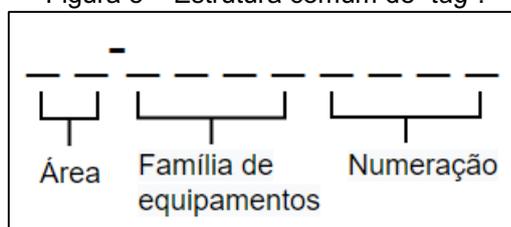
Figura 4 – Árvore estrutural de ativos.



Fonte: Adaptado de Teles (2019).

Viana (2002) destaca a importância de se adotar um sistema de “tagueamento” para identificação de equipamentos e organização de informações a respeito deles. Os “tags” normalmente seguem estrutura conforme apresentado na Figura 5, podendo sofrer pequenas modificações para adaptar-se a realidade da empresa (VIANA, 2002). São alguns exemplos de “tag”: 01-0ELC0001 (elevador de canecas 01 da área 01), 07-0RHD0002 (rosca transportadora helicoidal 02 da área 07), 03-0BBC0001-0MOT0001 (motor 01 da bomba centrífuga 01 da área 03).

Figura 5 – Estrutura comum de “tag”.

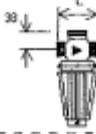


Fonte: Autor (2021).

A matriz de criticidade representa o quão crítico o equipamento é em relação ao processo, classificando em A-B-C, sendo A, a classificação mais crítica e C, a menos crítica (TELES, 2019). Metodologia para a classificação de ativos será

discutida no capítulo 3. A Figura 6 apresenta um exemplo de ficha técnica proposto por Viana (2002) que deve ser elaborado para cada equipamento, compondo assim, parte importante da documentação técnica do mesmo, por resumir informações importantes para posterior consulta (VIANA, 2002).

Figura 6 – Exemplo de ficha técnica de equipamento.

FOLHA DE ESPECIFICAÇÃO Nº 1153		EQUIPAMENTO: VAT-0001
GRUPO DE MÁQUINA	GM 6	PÁGINA 1/1
DESCRIÇÃO: VÁLVULA TERMOSTÁTICA QUE ABRE COM TEMPERATURA EM ELEVAÇÃO.		
APLICAÇÃO: CONTROLADORA DE TEMPERATURA COM RANGE DE 0 A 100°C, PARA FLUIDOS GASOSOS ATÉ 140°C, E LÍQUIDOS E VAPORES ATÉ 185°C.		
FABRICANTE: XXXXXXXXXX		
MODELO: MMMMMMMMMMM		
DADOS TÉCNICOS:		
DN BSP		1/2"
Valor Kvs		1/2/3,2
PN		16 bar
MÁXIMA PRESSÃO DIFERENCIAL		10 bar
MÁXIMA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO		140°C
FAIXAS DE CONTROLE		AJUSTÁVEL EM 0...35, 25...70, 40...100°C
TUBO CAPILAR		2m
TEMPERATURA SOBRECARGA		40°C ACIMA DA FAIXA
TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA		80°C
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:		
CORPO		LATÃO CuZn37 Pb
SEDE		AÇO INOXIDÁVEL WN 1.4571
OBTURADOR		LATÃO CuZn40 COM VEDAÇÃO ELÁSTICA
FOLE DE BALANCEAMENTO		BRONZE CuSn8
MOLA		AÇO INOXIDÁVEL WN 1.4310
SENSOR CAPILAR		COBRE LATÃO NIQUELADO
TUBO CAPILAR		2m
DISPOSITIVO DE REGULAGEM		FIBRA DE VIDRO
DIMENSÕES:		
DNR		1/2"
COMP.		L65 mm
PESO APROX.		1,5 Kg
		
ITENS	REF. FABRICANTE	CÓDIGO ESTOQUE
SEDE	XXXXX	234520-1
OBTURADOR	YYYYYY	234521-2
MOLA DA VÁLVULA	ZZZZZZZ	248921-0
TUBO CAPILAR	WWWWW	202345-1

Fonte: Viana (2002).

2.4 NORMAS IMPORTANTES

Dentre as regulamentações importantes para classificação da criticidade de um ativo, destacam-se: NR-13 (para indústrias que possuem equipamentos classificados na norma, como é o caso) e ISO 22000 (para indústria alimentícia). Essas normas tratam de fatores como segurança (NR-13) e qualidade do produto (ISO 22000), fatores estes, que se sobrepõem ao econômico.

A NR-13 trata de requisitos obrigatórios, exigidos pelo ministério do trabalho brasileiro, para caldeiras, vasos de pressão, tubulações, entre outros, a serem especificados no próximo capítulo. O não cumprimento da regulamentação resulta em sanções gravíssimas para a empresa (NR-13, 2019). Já a ISO 22000, que trata de segurança alimentar, é requisito indispensável para a exportação de produtos alimentícios (ISO 22000, 2018).

2.4.1 NR-13: CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO (2019)

A Norma Regulamentadora n° 13, ou NR-13, instituída em 1978, teve sua última revisão em 2019, estabelecendo os “requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando à segurança e à saúde dos trabalhadores” (NR-13, 2019). A norma deve ser aplicada a:

- Caldeiras: definidas como “equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares”;
- Vasos de pressão: cujo produto entre pressão máxima de operação (em KPa) e volume (em m³) seja maior que oito; contendo fluido de classe A independente do produto pressão-volume; recipiente móveis com produto pressão-volume superior a oito ou fluido de classe A (Tabela 4);

- Tubulações ou sistemas de tubulação: ligados a caldeiras ou vasos de pressão, contendo fluido de classe A ou B;
- Tanques metálicos de armazenamento: não enterrados e com fundo apoiado sobre o solo, com diâmetro externo maior do que três metros, volume maior do que vinte mil litros, e que contenham fluidos de classe A ou B (NR-13, 2019).

A Tabela 4 apresenta a classificação dos fluidos segundo a NR-13 e a Tabela 5, a classificação dos vasos de pressão de acordo com potencial de risco estabelecido pela norma. É com base na categoria dos vasos de pressão que são estabelecidos os prazos máximos para inspeção interna e externa.

Tabela 4 – Classificação dos fluidos conforme NR-13.

Classe	Fluido
A	Fluidos inflamáveis; fluidos combustíveis com temperatura superior ou igual a 200 °C; fluidos tóxicos com limite de tolerância igual ou inferior a 20 ppm; hidrogênio; acetileno.
B	Fluidos combustíveis com temperatura inferior a 200 °C; fluidos tóxicos com limite de tolerância superior a 20 ppm.
C	Vapor de água, gases asfixiantes simples ou ar comprimido.
D	Outros fluidos.

Fonte: Adaptado de NR-13 (2019).

Tabela 5 – Categorização de vasos de pressão segundo a NR-13.

Fluido	Potencial de risco				
	1	2	3	4	5
A	I	I	II	III	III
B	I	II	III	IV	IV
C	I	II	III	IV	V
D	II	III	IV	V	V

Fonte: Adaptado de NR-13 (2019).

Para determinação do potencial de risco apresentado na Tabela 5 deve-se calcular o produto pressão-volume, onde a pressão, neste caso, deve ser a pressão máxima de operação dada em MPa, e o volume do vaso de pressão, em m³ (NR-13, 2019):

- a) Potencial de risco 1: produto pressão volume maior que 100;
- b) Potencial de risco 2: produto pressão volume entre 30 e 100;
- c) Potencial de risco 3: produto pressão volume entre 2,5 e 30;
- d) Potencial de risco 4: produto pressão volume entre 1 e 2,5;
- e) Potencial de risco 5: produto pressão volume menor que 1.

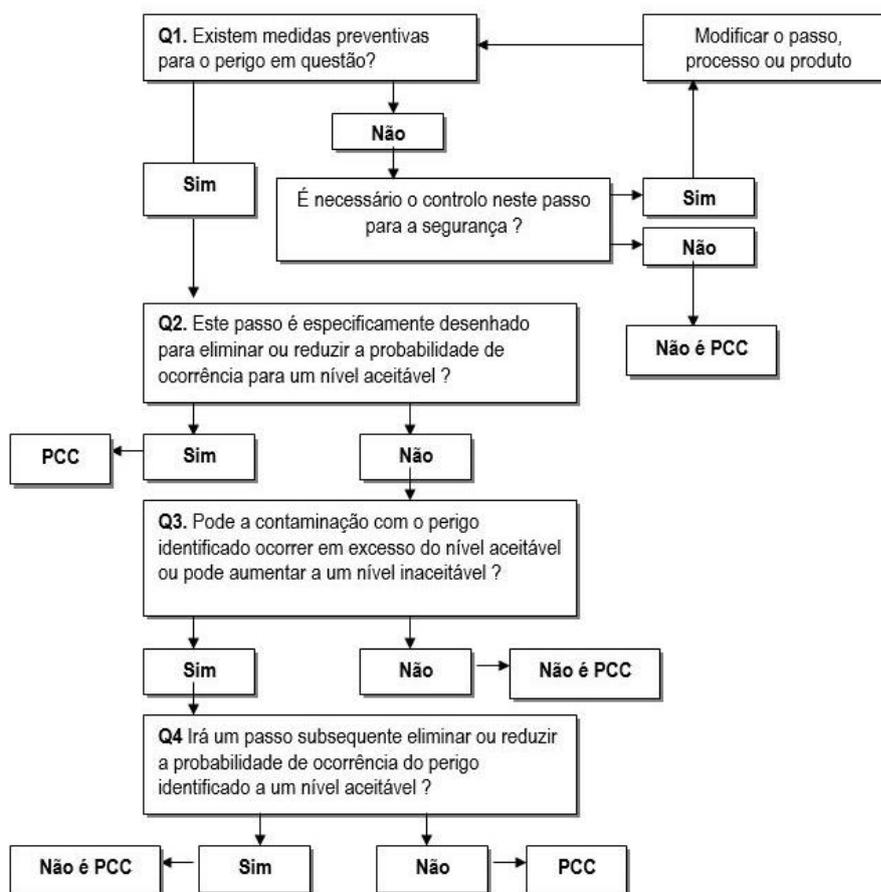
Todo vaso de pressão enquadrado na norma NR-13 (2019) deve apresentar, em seu local de instalação a seguinte documentação devidamente atualizada: prontuário do vaso de pressão (fornecido pelo fabricante); registro de segurança; projeto de alteração ou reparo; relatórios de inspeção; certificados de calibração dos dispositivos de segurança (NR-13, 2019).

2.4.2 ISO 22000: GESTÃO DE SEGURANÇA DE ALIMENTOS

A ISO 22000 é uma norma internacional que define os requisitos de um sistema de gestão com o intuito de garantir a segurança de alimentos abrangendo todas as organizações envolvidas na cadeia alimentar; é o sistema de gestão que visa definir padrões de trabalho que garantam que os alimentos não causarão nenhum tipo de dano à saúde do consumidor final. Sintetiza os métodos do sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC ou, em inglês, HACCP), além de aplicar os sistemas desenvolvidos pelo “*Codex Alimentarius*”, programa instituído pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) e OMS (Organização Mundial da Saúde) (ISO 22000, 2018).

Pontos críticos de controle (PCC) são pontos do processo que podem interferir fortemente na qualidade e segurança do produto. Os equipamentos e instrumentos que fazem parte de determinado ponto crítico de controle devem ter uma gestão de manutenção mais criteriosa, tendo sua criticidade definida pelo mesmo. A Figura 7 apresenta um modelo de fluxograma para definição de ponto crítico de controle (ALIMENTUS CONSULTORIA, 2021).

Figura 7 – Fluxograma para definição de ponto crítico de controle.



Fonte: <https://alimentusconsultoria.com.br/o-que-e-para-que-serve-tal-haccp/>. Acesso em: novembro/2021

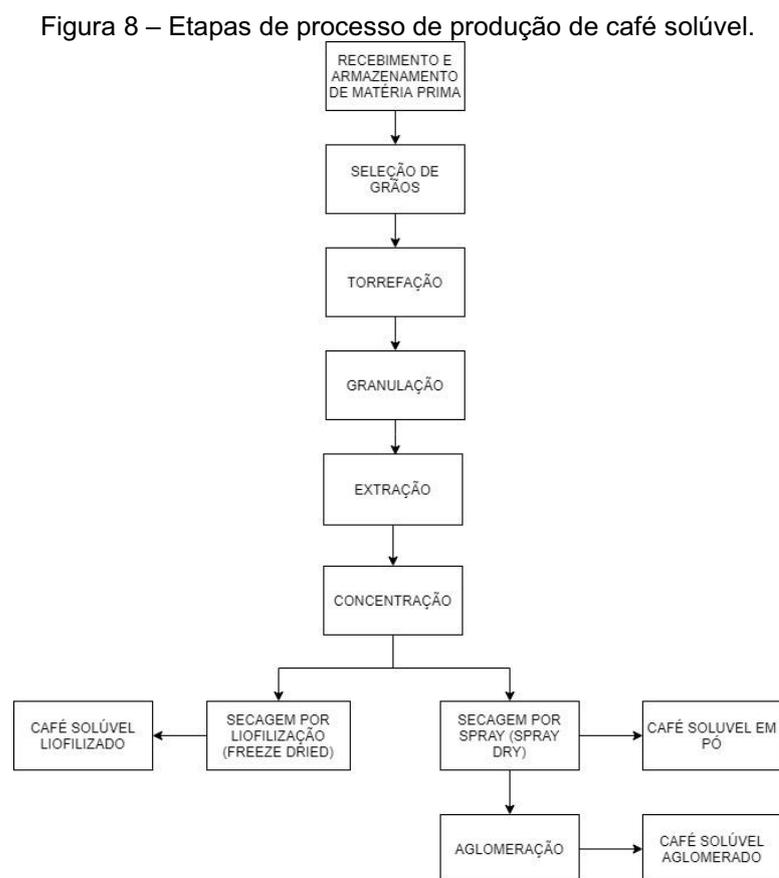
A ISO 22000 propõe os seguintes requisitos gerais e de documentação para o Sistema de Gestão de Segurança de Alimentos (SGSA):

- Garantir a identificação, avaliação e controle dos riscos para a segurança alimentar, de maneira que os mesmos estejam dentro das suas expectativas e não prejudiquem o consumidor;
- Repassar os conhecimentos relevantes que estão relacionados às questões de segurança da mercadoria, além de toda a cadeia alimentar;
- Documentar corretamente a política de segurança de alimentos e todas as suas metas;
- Documentar os procedimentos e registros necessários ao padrão internacional (SEGURANÇA ALIMENTAR [blog], 2021).

2.5 A INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL NO BRASIL

O café é o segundo produto alimentício mais comercializado no mundo. O café solúvel foi desenvolvido pelo químico japonês Satori Kato, em 1901, em Chicago (EUA) e seu processo produtivo em larga escala foi implementado pelo químico inglês George Constant Washington, em 1906. O café solúvel liofilizado foi lançado em 1930, por empresa suíça, como parte do plano do governo brasileiro para resolver o excesso de oferta de matéria-prima no mercado. No entanto, o produto se popularizou no mercado apenas após a Segunda Guerra Mundial. Dados da Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel - ABICS, mostram a liderança mundial do Brasil em produção e exportação de café solúvel (ABICS, 2021).

O fluxograma simplificado apresentado na Figura 8 mostra as etapas genéricas para a produção de café solúvel.



Fonte: Autor (2021).

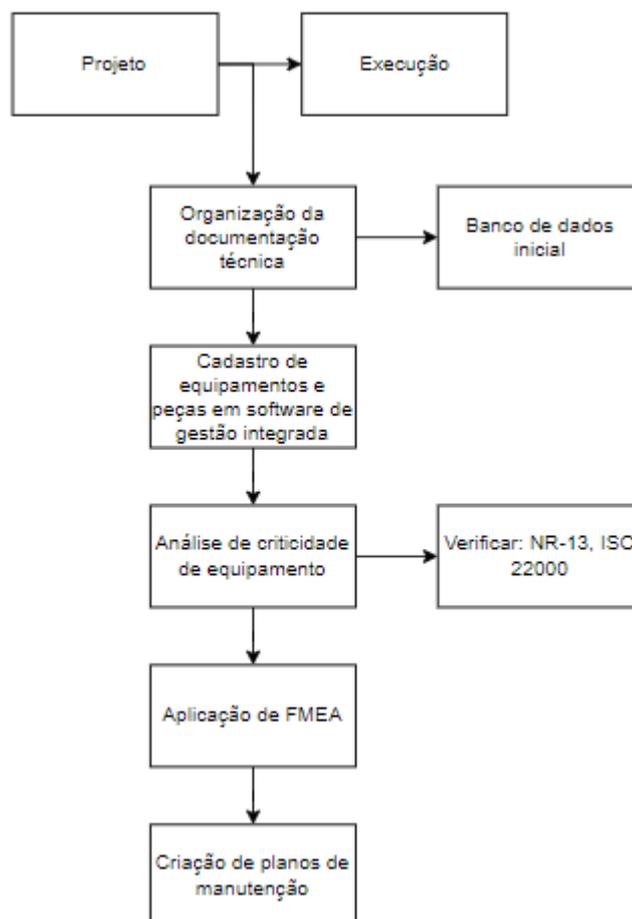
O café solúvel é produzido a partir da extração de sólidos solúveis e voláteis usando como solvente a água. Normalmente, o processo produtivo começa com a seleção de grãos, para que estes sigam um padrão, seguido pela etapa de torrefação, onde o grão de café é torrado. O transporte do grão de café do recebimento até a seleção e torra, é conhecido como sistema de transporte de café cru. Na etapa de extração, ocorre a produção de um resíduo denominado borra, que pode ser utilizada como biomassa para geração de vapor. Como, o teor de sólidos solúveis do extrato de café é relativamente baixo, é necessário concentrar o extrato obtido antes do processo de liofilização ou secagem por pulverização. Essa etapa é chamada de concentração. Em seguida ele vai para o processo de secagem (SILVA; PASQUIM, 2018).

A secagem pode ser realizada por dois processos principais: pelo sistema “*freeze drying*” ou “*spray drying*”. No primeiro caso, o extrato concentrado é congelado a uma temperatura de aproximadamente $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, triturado em moinhos especiais e em seguida conduzido a uma câmara de vácuo, onde ocorre a sublimação da água até a temperatura crítica de fusão. O produto final é conhecido como café solúvel liofilizado ou “*freeze dried*”. Já o processo “*spray drying*” consiste na atomização da mistura dentro de um sistema através do qual passa uma corrente de gás quente, obtendo-se uma grande área superficial de troca de calor e taxa de evaporação, resultando em um pó como produto final. Este pode ser considerado um produto final, café solúvel em pó ou “*spray dried*”, ou ir para a etapa de aglomeração para produzir o café solúvel aglomerado. Essa etapa, consiste na adição de vapor de água ao café previamente seco, resultando no café solúvel granular (SILVA; PASQUIM, 2018).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada metodologia para execução do presente trabalho. Para melhor organização, a Figura 9 mostra o fluxograma de etapas para proposta de implantação da MCC.

Figura 9 – Etapas para aplicação da MCC.



Fonte: Autor (2021).

No fluxograma, a aplicação da MCC localiza-se entre as fases de projeto e execução da nova fábrica de café solúvel, mas, na verdade, ocorre simultaneamente com as duas etapas. A aplicação da MCC em fase de projeto permite que a equipe de manutenção e confiabilidade possa fazer sugestões de alteração ainda na fase de projeto buscando:

- Reduzir a criticidade do equipamento ou sistema;
- Corrigir modos de falhas críticos de equipamentos, impedindo ou diminuindo a probabilidade de sua ocorrência;

- Padronização de peças a fim de facilitar gestão de estoques

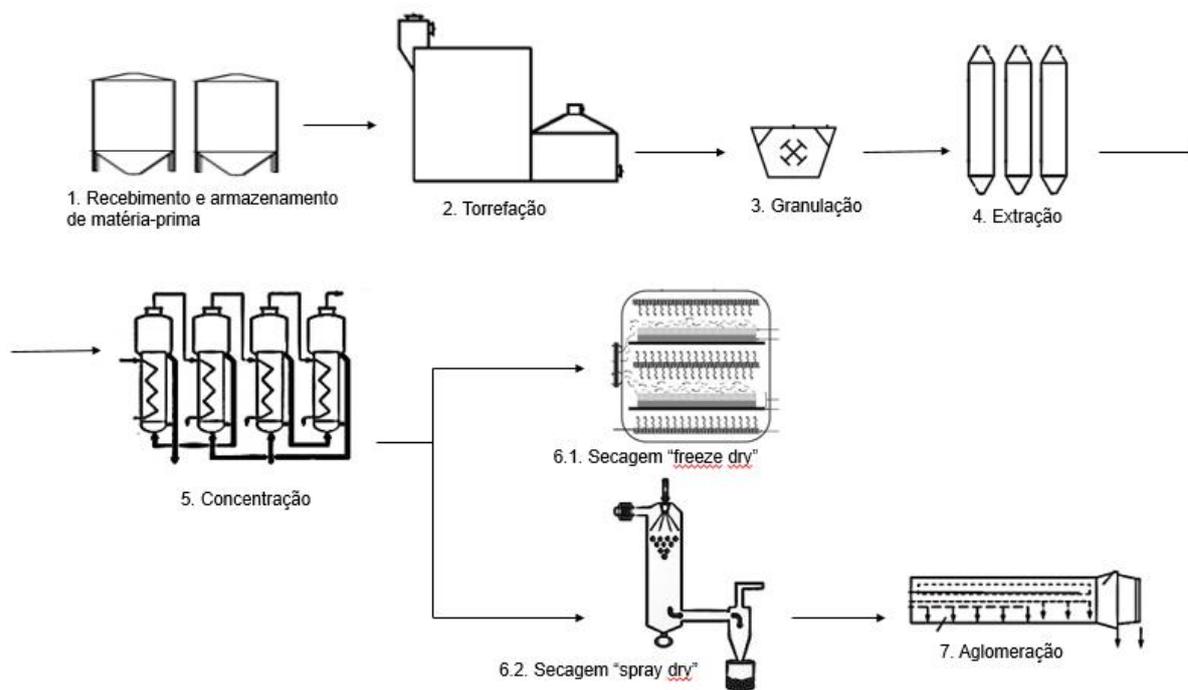
A equipe de projetos, por sua vez, verifica a viabilidade de tais modificações, podendo acatar ou não.

3.1 CONTEXTO OPERACIONAL

A nova fábrica de café para a qual foi realizada a proposta de implementação da MCC, destina-se a produção de café solúvel com foco no Mercado externo, com capacidade de produção de aproximadamente 12 mil toneladas de produto por ano. Iniciou sua operação no segundo semestre de 2021. A fábrica traz toda a experiência de unidade matriz, que conta com mais de 50 anos de experiência, e onde já se encontra implementado sistema de gestão de manutenção com foco em manutenção centrada na confiabilidade. No entanto, a diferente realidade das duas fábricas faz com que a implementação dos sistemas ocorra e seja pensada de forma diferente.

O fluxograma apresentado na Figura 10, representa, de forma simplificada o processo de produção do café solúvel. Em cada etapa do processo existem equipamentos e insumos essenciais para que a cadeia produtiva não pare, conforme mostrado abaixo. Além disso, a disponibilidade vapor saturado na fábrica é essencial, podendo parar a produção caso seja interrompida. Para a geração de vapor é necessário o fornecimento de água desmineralizada e tratada quimicamente para não prejudicar a caldeira; e combustível para queima.

Figura 10 – Representação de processo produtivo de café solúvel



Fonte: Autor (2021).

1 – Recebimento e armazenamento de matéria-prima: sistema de transporte de café cru, composto por roscas transportadoras, moegas, silos, elevadores de canecas. Vale destacar que roscas transportadoras e elevadores de canecas, transportam café por diversas partes da fábrica. Sistema de despoeiramento composto por peneira vibratória e filtro manga. Sistema de seleção de grãos, composto por conjunto de silos e balanças.

2 – Torrefação: tem como elemento principal o torrador e seus subsistemas.

3 – Granulação: após torra, o produto passa por granulador, gerando café torrado granulado.

4 – Extração: tem como elemento principal a coluna de extração onde é produzido o extrato de café, além de aquecedores e resfriadores para tratamento de extrato.

5 – Concentração: tem como elemento principal o evaporador concentrador ("falling film") e seus subsistemas.

6.1 – Secagem por liofilização: tem como elementos principais: unidade de refrigeração, secador a vácuo, bandejas para transporte, entre outros.

6.2 – Secagem por spray: tem como elementos principais: câmara de secagem e seus subsistemas.

7 – Aglomeração: tem como elementos principais aglomerador e seus subsistemas.

3.2 ORGANIZAÇÃO DE DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

Segundo a ISO 55000, sobre gestão de ativos, a gestão da manutenção deve ser uma preocupação desde a etapa de projeto. Dessa forma, toda a documentação técnica de equipamentos e conjuntos de equipamentos foi organizada e arquivada, conforme ocorriam as entregas das máquinas. Por documentação técnica entende-se: manuais de manutenção e operação; desenhos técnicos; fluxogramas, no caso de conjunto de equipamentos; prontuário NR-13, caso o equipamento se enquadre na norma; certificados de calibração de válvulas de segurança e instrumentos; certificados de qualidade e atoxidade, no caso de equipamentos que entram em contato com o produto. Essa documentação técnica é muito importante, pois compõe o banco de dados inicial de cada equipamento.

O arquivamento dos documentos se dá primeiramente de forma digital, separando os equipamentos por área da fábrica e “tag”. A construção de uma planilha de controle é essencial para organizar o recebimento dos documentos. A partir da documentação técnica, é possível realizar o cadastro de equipamentos e peças em software de gestão integrada, e entender melhor a função de cada máquina e sistema, sendo possível a aplicação do FMEA.

3.3 ANÁLISE DE CRITICIDADE DO EQUIPAMENTO

O estudo de criticidade do equipamento consiste em sua classificação em A-B-C, sendo C o menos crítico e A, o mais crítico. A criticidade dos equipamentos, no geral, é determinada via análise de árvore de falha, com a aplicação do FMEA. No entanto, também devem ser levados em consideração normas de segurança alimentar (ISO 22000) e normas de segurança do trabalhador (NR-13).

Teles (2019) apresenta a seguinte metodologia para criação de matriz de criticidade de ativos:

$$CRITICIDADE = NP \times NC \times NQ \times NS \times NB \quad (1)$$

Onde:

NP = fator de produção; NC = fator de custo de manutenção; NQ = fator de qualidade; NS = fator de segurança e meio ambiente; NB = fator de “*back-up*”.

Os valores de cada fator e resultado da criticidade são apresentados na Tabela 6. Teles (2019) ainda reforça que é comum em uma primeira análise, a maioria dos equipamentos apresentarem criticidade A e B. Neste caso, deve-se elaborar plano de ação para atacar os pontos que fizeram aumentar essa criticidade a fim de diminuí-la. É recomendável que no máximo 20% dos ativos tenha criticidade A, entre 30-40% dos ativos tenha criticidade B e entre 40-50% dos ativos tenha criticidade C.

A metodologia apresentada por Teles (2019) é bastante genérica e aplicável a qualquer tipo de indústria. No entanto, por particularidades encontradas no cenário no qual se insere o estudo (indústria alimentícia) deve-se esclarecer:

- Equipamentos pertencentes ao escopo da NR-13 apresentam NS=0, fazendo o valor da criticidade ser zero, logo, sendo classificado como A;
- Equipamentos considerados pontos críticos de controle recebem NQ=0, fazendo o valor da criticidade ser zero, logo, sendo classificado como A;

Tabela 6 – Metodologia para definição de criticidade de equipamento.

FATOR DE PRODUÇÃO (NP)	
Nota	Critério
0	Caso o equipamento falhe, irá interromper o processo de produção, provocar lucro cessante e custos induzidos (multas).
1	Caso o equipamento falhe irá interromper o processo de produção de forma irrecuperável.
2	Se o equipamento falhar irá interromper a produção de forma recuperável.
3	Se o equipamento falhar não interromperá o processo de produção.
FATOR DE CUSTO DE MANUTENÇÃO (NC)	
Nota	Critério
0	Caso o equipamento falhe, o custo de manutenção se eleva em mais que 30% no ano.
1	Se o equipamento falhar, e o custo de manutenção corretiva for maior que 20% do custo total de manutenção.
2	Se o equipamento falhar e o custo de manutenção corretiva for entre 10% e 15% do custo total de manutenção.
3	Se o equipamento falhar e o custo de manutenção corretiva for menor que 10% do custo total de manutenção.
FATOR DE SEGURANÇA (NS)	
Nota	Critério
0	Caso o equipamento falhe, provoca risco de morte e/ou causa danos graves ao meio ambiente.
1	Caso o equipamento falhe, causa lesões corporais não permanentes.
2	Caso o equipamento falhe, causa riscos controláveis a segurança e meio-ambiente.
3	Caso o equipamento falhe, não causa riscos à segurança e meio-ambiente.

(Continuação da Tabela 6)

FATOR DE QUALIDADE (NQ)	
Nota	Critério
0	Caso o equipamento falhe, impactará de forma irreversível a experiência do cliente.
1	Caso o equipamento falhe, comprometerá a qualidade do produto de forma irreversível
2	Se o equipamento falhar e comprometer a qualidade do produto de forma recuperável.
3	Se o equipamento falhar e não irá comprometer a qualidade do produto.
FATOR DE “BACK-UP” (NB)	
Nota	Critério
0	Não há a possibilidade técnica e econômica de se ter e/ou instalar um back-up do equipamento.
1	Não possui back-up.
2	Possui back-up, mas não está instalado em paralelo.
3	Possui back-up instalado em paralelo.
RESULTADO	
Nota	Criticidade
0-55	A = Alta criticidade
56 -161	B = Média criticidade
162-243	C = Baixa criticidade

Fonte: Teles (2019).

3.4 APLICAÇÃO DO FMECA PARA O ESTUDO DE CASO

Conforme explicado no capítulo 2, a aplicação do FMECA é a base para aplicação da MCC. Existem diversas abordagens para essa aplicação, cabendo ao gestor de manutenção decidir o que seria mais adequado a cada caso (TELES, 2019). Após categorizar a criticidade dos equipamentos, deve-se estudar as formas de falha, causa e consequência dos equipamentos com criticidade A e B; e elencar ações preventivas para se evitar cada modo de falha. A Tabela 7 mostra de forma esquemática, como organizar as informações para estudo posterior.

Tabela 7 – Planilha de análise de falhas, efeitos e criticidade.

Equipamento				
Modo de falha	Causa	Efeito	RPN	Ação preventiva

Fonte: Adaptado de Teles (2019).

Posteriormente, deve-se fazer análise de risco de cada modo de falha. Ela pode ser feita de modo quantitativo através do cálculo do RPN (“*Risk Priority Number*”, em português, número de prioridade de risco). Seu cálculo se dá conforme equação a seguir. Quanto maior seu valor, maior a atenção que deve ser dada a falha.

$$RPN = OC \times SEV \times DETEC \quad (2)$$

Onde:

OC = Ocorrência; SEV = Severidade; DETEC = Detecção.

a) Ocorrência: número de 1 a 10, onde 1 significa “muito improvável que ocorra, e 10 significa “muito provável que ocorra”.

b) Severidade: número de 1 a 10 que mede impacto em segurança, produção e custo, caso a falha ocorra, onde 1 significa “sem impacto” e 10 significa “impacto extremo”. Falhas que impactam na segurança devem ter valores de severidade maiores.

c) Detecção: número de 1 a 10 que mostra probabilidade de falha ser detectada caso ocorra, onde 1 significa “muito provável de ser detectado” e 10 significa “muito pouco provável que seja detectado”.

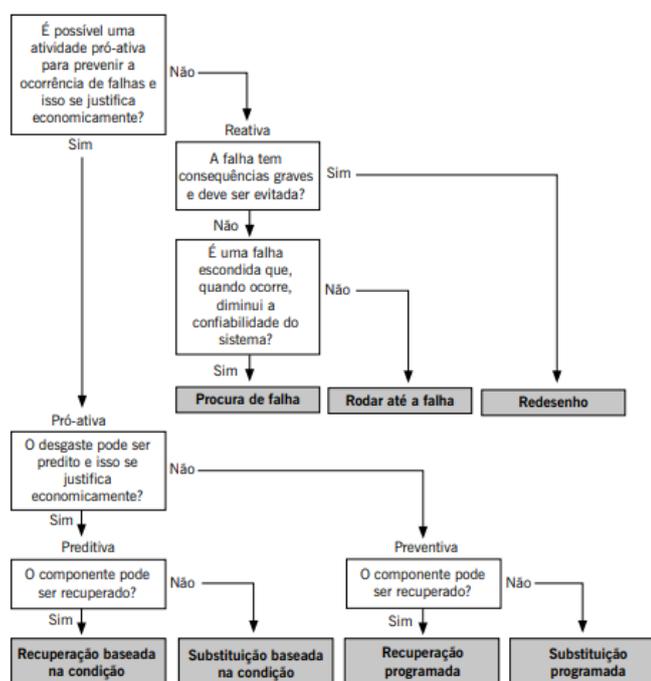
Em uma planta que não se iniciou sua operação como é o caso, os valores são estimados com base em artigos relacionados, recomendações do fabricante e experiência dos colaboradores. Conforme a planta opera, os valores vão sendo revisados e atualizados pela equipe. Por isso, reforça-se a importância de se ter um banco de dados completo e confiável. Esse método funciona bem como uma primeira análise a fim de evitar a falha e montar um plano de manutenção. Após o equipamento em operação, caso uma falha que mereça atenção ocorra, deve-se recorrer a outros métodos como o “método de Ishikawa” ou dos “5 porquês”.

3.5 PLANOS DE MANUTENÇÃO

Plano de manutenção é um documento onde estão presentes as informações mais relevantes para a manutenção de determinado equipamento, como: identificação do equipamento, tarefas que devem ser executadas, recursos materiais e humanos para a execução de cada atividade, tempo de execução (GREGÓRIO, 2018). No entanto, antes da criação de um plano de manutenção de determinado equipamento, deve-se analisar se é vantajoso que o equipamento tenha manutenção planejada, pois em alguns casos, o custo da manutenção preventiva não se justifica economicamente. Para isso, Fogliatto e Ribeiro (2009) elaboraram fluxograma de decisão, apresentado na Figura 11, para decidir o tipo de manutenção mais apropriado ao equipamento.

Equipamentos com criticidade A ou B devem receber manutenção do tipo pró-ativa (preditiva e/ou preventiva). Os planos de manutenção preventiva devem ser elaborados de tal modo a focar na prevenção dos modos de falha levantado a partir de análise de falha (FMEA).

Figura 11 – Fluxograma para decisão de tipo de manutenção.

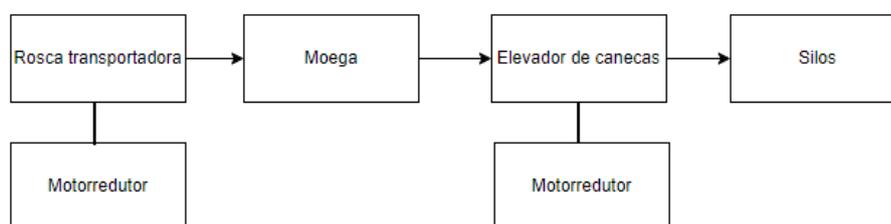


Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados resultados obtidos no presente trabalho. Por questões de confidencialidade industrial, apresenta-se a análise para apenas um trecho da planta. O trecho em questão localiza-se na etapa de “recebimento de matéria prima” e parte do recebimento de grão de café pela rosca transportadora até o armazenamento em silos, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Sistema de transporte de café cru.



Fonte: Autor (2021).

4.1 DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS

Os valores propostos para a criticidade, no presente trabalho, estão apresentados na Tabela 8. Nenhum dos equipamentos apresentado na Figura 12, é ponto crítico de controle ou equipamento NR-13. Com isso, aplica-se a metodologia para a definição de criticidade apresentada na Tabela 4, lembrando que se trata apenas de estimativa inicial.

Tabela 8 – Matriz de criticidade de sistema de transporte de café cru.

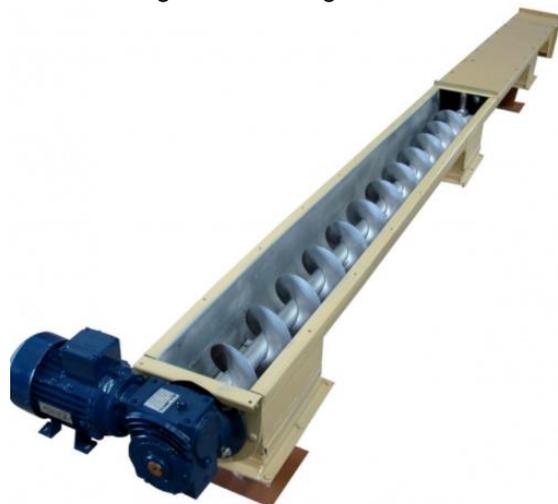
Equipamento	NP	NC	NQ	NS	NB	Criticidade	
Rosca transportadora	3	2	3	2	2	56	B
Moega	2	3	3	3	3	162	C
Elevador de canecas	2	1	3	2	2	24	A
Silos	3	3	3	2	3	162	C

Fonte: Autor (2021).

4.2 RESULTADO DE APLICAÇÃO DA FMECA

A aplicação do FMECA deve-se restringir aos equipamentos com criticidade A e B, baseado na análise de Pareto. A Figura 13 mostra imagem meramente ilustrativa desses dois equipamentos.

Figura 13 – Imagem ilustrativa de rosca transportadora e elevador de canecas.



(a) Rosca transportadora

Fonte:

<https://www.carmomaq.com.br/produtos/trans-portador-helicoidal/>. Acesso em:

novembro/2021.



(b) Elevador de canecas

Fonte:

<http://www.lucato.ind.br/siten/index.php/products/product/44>. Acesso em:

novembro/2021.

Os equipamentos filhos, no caso os motorreduzores, recebem a mesma criticidade dos equipamentos pais, pois são considerados uma extensão do equipamento principal, já definidos pela codificação e cadastramento dos equipamentos e máquinas. A falha da rosca transportadora não para a produção, pois a moega de armazenamento tem capacidade de assegurar a produção por certa quantidade de horas. A falha do elevador de canecas é assegurada pelo armazenamento do silo, no entanto obriga a parar a rosca transportadora para não sobrecarregar a moega, atrasando o sistema de recebimento. Os resultados obtidos na aplicação do FMECA para o sistema proposto são apresentados na Tabela 9, contendo o estudo dos possíveis modos de efeito e falhas de cada componente e respectiva ação proposta para melhor tipo de manutenção a ser aplicada. A Figura 13 mostra imagem meramente ilustrativa desses dois equipamentos.

Tabela 9 – FMECA para sistema de transporte de café cru.

Rosca transportadora de café cru				
Modo de falha	Causa	Efeito	RPN	Ação preventiva
Falha no eixo principal: fratura ou empenamento	Fadiga, excesso de vibração do redutor, desalinhamento, desgaste excessivo do rolamento/ mancal	parada de máquina	6x8x3 = 144	Lubrificação adequada de mancais e rolamentos, verificar o alinhamento do eixo, análise de vibração de vibração
Falha do motorreductor	Sobrecarga de operação, excesso de temperatura, fadiga em engrenagens	Parada de máquina	5x8x4 = 160	Análise termográfica, plano de lubrificação adequado.
Falha do sensor de velocidade	Excesso de temperatura, contaminação por poeira e outros	Pode levar a falhas de outros componentes	2x5x5 = 50	Análise termográfica, verificar visualmente presença de poeira no sensor
Elevador de canecas de café cru				
Modo de falha	Causa	Efeito	RPN	Ação preventiva
Falha no eixo principal de acionamento	Fadiga, excesso de vibração do redutor, desalinhamento, desgaste excessivo do rolamento/ mancal	parada de máquina, falha de outros componentes	6x8x3 = 144	Lubrificação adequada de mancais e rolamentos, verificar o alinhamento do eixo, análise de vibração de vibração
Falha do motorreductor	Sobrecarga de operação, excesso de temperatura, fadiga em engrenagens	Parada de máquina	5x8x4 = 160	Análise termográfica, plano de lubrificação adequado.
Falha do sensor de velocidade	Excesso de temperatura, contaminação por poeira e outros	Pode levar a falhas de outros componentes	4x5x5 = 100	Análise termográfica, verificar visualmente presença de poeira no sensor
Ruptura da correia	Tensão excessiva, desgaste ou umidade na emenda, desalinhamento dos eixos, sobrecarga de operação	parada de máquina, falha de outros componentes	2x9x6 = 108	Lubrificação adequada de eixos e mancais, verificar alinhamento dos eixos

Fonte: Autor (2021).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou proposta de implementação de sistema de manutenção centrada em confiabilidade em nova fábrica de café solúvel, resumida na Tabela 10. Um dos motivos da escolha da implementação antes da fábrica iniciar sua operação, é o de evitar perdas de informações sobre os equipamentos e sistemas. Tal problema é bastante comum em fábricas que decidem implementar um sistema de gestão de manutenção após anos de operação.

Tabela 10 – Resumo do Modelo.

Etapa de projeto da fábrica
1 – Organização da documentação técnica, gerando banco de dados inicial;
2 – Utilização de software de gestão integrada para cadastro de árvore de ativos;
3 – Aplicação de método FMECA;
4 – Elaboração de planos de manutenção com base em documento FMECA.
Etapa operacional
1 – Revisão e atualização do FMECA, conforme necessidade;
2 – Revisão e atualização de planos de manutenção criados

Fonte: Autor (2021).

Com o sistema implementado e a fábrica em operação, deve-se atualizar com certa frequência a planilha de FMECA e os planos de manutenção. Um grande desafio na implementação do sistema é a perda de informações que acontece entre um setor e outro, ou entre um turno e outro; podendo fazer com que o engenheiro ou analista tenha conclusões erradas ou superficiais. Portanto, uma análise crítica das análises anteriores deve ser realizada de tempos em tempos. Com isso, destaca-se a importância de manter o banco de dados dos ativos sempre atualizado. A utilização de softwares de gestão integrada é essencial, sendo também recomendada para a FMEA/ FMECA. Por fim, observou-se como benefícios principais da implementação do presente modelo, o rápido desenvolvimento da fábrica, sendo possível a obtenção de certificações importantes em poucos meses de operação; a diminuição de paradas não previstas típicas de início de operação; maior segurança para os colaboradores, pela quantidade de informação organizada e compartilhada para toda a equipe.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial - Princípios Técnicos e Operações**. 1ª ed. Saraiva. 2015.

AMARAL, Fernando Dias. **Gestão da Manutenção na Indústria**. Lidel. 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 22000: Sistema de gestão de segurança alimentar. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 55000: Sistema de gestão de ativos. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

CERVEIRA, Diego Santos; SELLITTO, Miguel Afonso. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção. Florianópolis-SC, 2015.

FOGLIATTO, Flávio Sanson. RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Elsevier, 2009.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Pereira. **Engenharia de manutenção**. SAGAH. 2018.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Pereira. SILVEIRA, Aline Moraes da. **Manutenção Industrial**. SAGAH. 2018.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção – Função Estratégica**. 5ª Edição. Qualitymark. 2013.

NASCIF, Júlio. DORIGO, Luiz Carlos. **Manutenção Orientada Para Resultados**. 1ª ed. QualitMark. 2010.

SILVA, Maria Isabela de Almeida. PASQUIM, Thaís Bruna Sala. **Indústria de Café Solúvel Acoffee**. 2018. 190 f. Trabalho de Conclusão de Curso 2 (Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2018.

TELES, Jhonata. **Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0**. ENGETELES Editora, 2019.

TELES, Jhonata. **Planejamento e controle de manutenção descomplicado: uma metodologia passo a passo para a aplicação do PCM**. ENGETELES Editora, 2019.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, planejamento e controle de manutenção**. QualitMark. 2002.

“**Café Solúvel (ABICS)**”. Disponível em: <https://www.abics.com.br/cafe-soluvel.php>. Acesso em: novembro/2021.

“**Relatório do café solúvel do Brasil (ABICS)**”. Disponível em: <https://agenciap1.files.wordpress.com/2021/01/relatorio-cafe-soluvel-janeiro2021.pdf>. Acesso em: novembro/2021.

“**PCM. O que é e como aplicar**”. Disponível em: <https://www.produttivo.com.br/blog/gerenciamento/2019/04/23/pcm-planejamento-e-controle-da-manutencao-o-que-e-e-como-aplicar.html>. Acesso em: novembro/2021.

“**Conheça os principais pontos da norma ISO 22000**”. Disponível em: <http://blogdasegurancaalimentar.volkdobrasil.com.br/norma-iso-22000/>. Acesso em: novembro/2021.

“O que é, e para que serve o ‘tal’ HACCP?” Disponível em: <https://alimentusconsultoria.com.br/o-que-e-para-que-serve-tal-haccp/>. Acesso em: novembro/2021.