

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RAFAEL SCATENA COELHO

**IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM UMA INDÚSTRIA  
SUCROALCOOLEIRA POR MEIO DE MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE  
MODOS E EFEITOS DE FALHA**

SÃO CARLOS - SP  
2025

RAFAEL SCATENA COELHO

**IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA POR MEIO  
DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE MODOS E  
EFEITOS DE FALHA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr Fabrício Tadeu Paziani

São Carlos - SP  
2025

Coelho, Rafael Scatena

Identificação de falhas em uma indústria sucroalcooleira por meio de manutenção centrada em confiabilidade e análise de modos e efeitos de falha / Rafael Scatena Coelho -- 2025.  
85f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Fabrício Tadeu Paziani

Banca Examinadora: Fabrício Tadeu Paziani, Luis

Antonio Oliveira Araujo, Flávio Yukio Watanabe

Bibliografia

1. Manutenção centrada em confiabilidade. 2. Manutenção industrial. 3. Análise de modos e efeitos de falha. I. Coelho, Rafael Scatena. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEMec/CCET

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905  
Telefone: (16) 33519703 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 26/2025/CCEMec/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

RAFAEL SCATENA COELHO

IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA POR MEIO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA.

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 11 de julho de 2025

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Fabício Tadeu Paziani
Membro da Banca 1	Luis Antonio Oliveira Araujo
Membro da Banca 2	Flávio Yukio Watanabe



Documento assinado eletronicamente por **Fabício Tadeu Paziani, Docente**, em 11/07/2025, às 10:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Yukio Watanabe, Docente**, em 11/07/2025, às 10:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Oliveira Araujo, Chefe de Departamento**, em 11/07/2025, às 10:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **1910953** e o código CRC **F1464701**.

Dedico este trabalho, bem como tudo o que ele representa, à minha mãe, a mulher mais forte do mundo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Filomena e Edson, por todo o amor e carinho, por abrirem mão de tanta coisa para que eu pudesse chegar até aqui, por estarem sempre ao meu lado e por serem um porto seguro quando tudo parecia não dar certo.

À minha namorada, Bruna, por acreditar em mim mais até que do que eu mesmo, por ser minha maior motivação todos os dias e por me fazer perceber que o futuro é um mar incrível de possibilidades.

Aos meus tios e primos, por todo o incentivo, apoio e orientação, e por serem exemplos para mim, tanto profissional quanto pessoalmente.

Aos amigos da turma 017 da Engenharia Mecânica da UFSCar, por todo o companheirismo e cooperação, além das risadas, conversas e aflições divididas, fatos que nos tornaram “a melhor turma da MEC”.

Aos amigos da equipe Baja UFSCar, por todas as noites viradas, pelas férias que ficamos em São Carlos, por todas as competições e por terem me ensinado o que é trabalho em equipe de verdade.

Aos meus amigos da escola, que continuaram na minha vida mesmo depois de tantos anos e que me divertem e fazem eu me sentir em casa em todo encontro.

Ao meu orientador, Fabrício, pela paciência e compreensão durante o desenvolvimento do trabalho.

À minha supervisora de estágio, Tauana, pelo exemplo de liderança, pela oportunidade e pelo apoio com este trabalho.

À minha psicóloga, Isabela, por me ajudar a “entrar nos eixos” e por me ensinar a direcionar meus pensamentos para o momento presente e para os meus objetivos.

## RESUMO

A indústria sucroalcooleira é um setor que demanda alta confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, fatores essenciais para assegurar uma produção contínua, eficiente e lucrativa. No entanto, esse ramo enfrenta desafios constantes relacionados a custos elevados de manutenção e riscos de falhas, que podem resultar em paradas inesperadas e prejuízos financeiros. Assim, torna-se crucial aumentar a confiabilidade dos ativos para reduzir os custos de manutenção. Este trabalho aplicou os princípios da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em um equipamento de uma usina sucroalcooleira. A MCC é uma abordagem estratégica que visa otimizar a manutenção, considerando a confiabilidade dos ativos e a gestão dos riscos relacionados a falhas. Para isso, foi utilizada a ferramenta FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) para identificar, classificar e priorizar as falhas. A partir dessa análise, foram desenvolvidos planos de manutenção preventiva e preditiva para o equipamento analisado. Com isso, obteve-se uma melhoria no controle de riscos e falhas, identificando suas principais causas raiz e aumentando a disponibilidade dos equipamentos. A longo prazo, espera-se reduzir significativamente as paradas não programadas durante o período de safra e prolongar a vida útil dos equipamentos. O trabalho buscou demonstrar a importância de aplicar esses conceitos para evitar uma análise subjetiva das falhas. Dessa maneira, buscou-se a estudar a viabilidade de aplicação desse método em outros setores e equipamentos da indústria, garantindo maior confiabilidade em todo o processo produtivo.

Palavras-chave: manutenção; confiabilidade; análise de modos e efeitos de falha.

## **ABSTRACT**

The sugar and ethanol industry is a sector that demands high equipment reliability and availability, essential factors to ensure continuous, efficient, and profitable production. However, this industry constantly faces challenges related to high maintenance costs and the risk of failures, which can lead to unexpected shutdowns and financial losses. Therefore, increasing asset reliability to reduce maintenance costs becomes crucial. This study applied the principles of Reliability-Centered Maintenance (RCM) to a piece of equipment in a sugar and ethanol plant. RCM is a strategic approach aimed at optimizing maintenance by considering asset reliability and managing the risks associated with failures. To achieve this, the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) tool was used to identify, classify, and prioritize failures. Based on this analysis, preventive and predictive maintenance plans were developed for the analyzed equipment. The goal was to improve risk and failure control by identifying root causes and increasing equipment availability. In the long term, the objective is to significantly reduce unplanned downtime during the harvest period and extend the useful life of the equipment. This work aimed to demonstrate the importance of applying these concepts to avoid subjective failure analysis. In doing so, it sought to assess the feasibility of applying this methodology to other sectors and equipment within the industry, ensuring greater reliability throughout the production process.

**Keywords:** maintenance; reliability; failure mode and effect analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Três gerações da manutenção	3
Figura 2 - Classificação dos tipos de manutenção	5
Figura 3 - Ativo passível de manutenção	12
Figura 4 - Intervalo P-F	13
Figura 5 - Consequências das falhas	15
Figura 6 - Etapas do processo FMEA	17
Figura 7 - Escala para classificar a severidade dos modos de falha	18
Figura 8 - Escala para classificar a ocorrência dos modos de falha	19
Figura 9 - Escala para classificar a detecção dos modos de falha	19
Figura 10 - Quantidade de ordens de manutenção abertas por subsistemas	25
Figura 11 - Aplicação do método de Pareto para escolha das esteiras	26
Figura 12 - Esteira 1 do depósito de bagaço	27
Figura 13 - Esteira 2 do depósito de bagaço	28
Figura 14 - Dosador “bico de pato”	28
Figura 15 - Esteira de retorno de bagaço	29
Figura 16 - Esquema do sistema de transporte de bagaço	30
Figura 17 - Subcomponentes das esteiras transportadoras	32
Figura 18 - Alinhador Tracker	41
Figura 19 - Sistema de tubulações com <i>sprinklers</i> em esteiras transportadoras	43
Figura 20 - Tela de Gestão de Ativos no PI Vision	52
Figura 21 - Ordens de Manutenção registradas nos primeiros 60 dias de safra	53
Figura 22 - Comparativo entre o MTBF das esteiras antes e depois do FMEA	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de ocorrência	33
Tabela 2 - Índices de severidade	33
Tabela 3 - Índices de detecção	34
Tabela 4 - Soluções propostas (5W2H)	36
Tabela 5 - Modos de falha com maior RPN para a Esteira de Lona 1	46
Tabela 6 - Modos de falha com maior RPN para a Esteira de Lona 2	47
Tabela 7 - Modos de falha com maior RPN para a Esteira de Retorno	48

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 MOTIVAÇÃO	2
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	3
2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO	3
2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE MANUTENÇÃO	5
<b>2.2.1 Manutenção corretiva</b>	6
<b>2.2.2 Manutenção preventiva</b>	6
<b>2.2.3 Manutenção de rotina</b>	7
<b>2.2.4 Manutenção periódica</b>	8
<b>2.2.5 Manutenção preditiva</b>	8
<b>2.2.6 Manutenção por melhorias</b>	9
2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	10
<b>2.3.1 Histórico</b>	10
<b>2.3.2 Objetivo da MCC</b>	10
<b>2.3.3 Funções</b>	11
<b>2.3.4 Padrões de desempenho</b>	11
<b>2.3.5 Falha</b>	12
<b>2.3.6 Modo de falha</b>	13
<b>2.3.7 Causa da falha</b>	14
<b>2.3.8 Efeito da falha</b>	14
2.4 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA - FMEA	16
<b>2.4.1 Cabeçalho</b>	17
<b>2.4.2 Equipamento</b>	18

2.4.3 Severidade (S)	18
2.4.4 Ocorrência (O)	18
2.4.5 Detecção (D)	19
2.4.6 Índice de Risco	20
2.5 MÉTODO 5W2H	20
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>22</b>
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	22
3.2 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO	24
3.3 DEFINIÇÃO DA EQUIPE	30
3.4 DESENVOLVIMENTO DO FMEA	31
3.5 DEFINIÇÃO DAS MEDIDAS DE CONTROLE	34
<b>3.5.1 Análise termográfica das esteiras e componentes</b>	<b>37</b>
<b>3.5.2 Alterações na rotina de inspeção das esteiras</b>	<b>37</b>
<b>3.5.3 Melhorias na instrumentação</b>	<b>38</b>
<b>3.5.4 Verificação da linha de ar da unidade</b>	<b>39</b>
<b>3.5.5 Instalação de alinhadores nas esteiras de lona</b>	<b>40</b>
<b>3.5.6 Criação de tela no PI Vision para contabilizar falhas nos motores</b>	<b>41</b>
<b>3.5.7 Instalação de tubulação com <i>sprinklers</i> nas esteiras</b>	<b>42</b>
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>45</b>
4.1 CÁLCULO DE RPN	45
4.2 APLICAÇÃO DAS PROPOSTAS	49
<b>4.2.1 Rotina de análise termográfica nas esteiras</b>	<b>49</b>
<b>4.2.2 Atualização da rotina de inspeções diária</b>	<b>50</b>
<b>4.2.3 Verificação e manutenção do sistema de ar comprimido</b>	<b>51</b>
<b>4.2.4 Tela de Gestão de Ativos no PI Vision</b>	<b>51</b>
4.3 IMPACTO NAS ORDENS DE MANUTENÇÃO	52
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>56</b>

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

58

**APÊNDICE A – TABELAS FMEA**

61

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria sucroalcooleira no Brasil destaca-se como uma das mais antigas do país, tendo início com a expansão da cana-de-açúcar no período colonial, em meados do século XVI. Desde então, o setor se destaca como um importante agente no desenvolvimento da economia brasileira. Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA), hoje em dia, o país se posiciona como o maior produtor de açúcar do mundo com expressiva vantagem, e o segundo maior produtor de etanol, atrás apenas dos Estados Unidos (UNICA, 2025). Ainda assim, o setor apresenta um enorme potencial de crescimento e de avanços no quesito de energia sustentável, o que pode ser exemplificado com o recente desenvolvimento de tecnologias de produção do Etanol de Segunda Geração (E2G).

Com o avanço tecnológico da indústria sucroalcooleira, houve também um grande aumento na demanda por confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, além de uma necessidade de melhorar a interface entre novas tecnologias e equipamentos antigos das usinas. Dessa maneira, o setor de manutenção torna-se extremamente importante para garantir tais atributos. No entanto, o setor enfrenta problemas com custos altos e riscos de falhas que podem causar paradas, fatores que afetam a produtividade final de uma usina (Davis *et al*, 2023).

Nesse contexto, surgem conceitos como a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), que é uma abordagem estratégica que tem como pilares mitigação de riscos em Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA), aprimoramento do desempenho geral dos sistemas, gestão de recursos e redução de custos, prolongamento da vida útil dos componentes e sinergia entre áreas de manutenção. Seu estudo e a aplicação de suas ferramentas e metodologias são indispensáveis para garantir que as empresas mantenham a competitividade e perpetuação no mercado.

### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é aplicar conceitos de Engenharia de Confiabilidade associados a ferramenta de Análise de Modos e Efeitos de Falha, do inglês *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA), para identificar as falhas que mais impactam nos equipamentos de uma usina sucroalcooleira, tornando possível a criação de medidas

de controle que minimizem ou eliminem as causas das falhas. A partir da aplicação da ferramenta e dos planos de manutenção propostos a partir da mesma, busca-se analisar o impacto que terão na disponibilidade dos equipamentos e no setor de manutenção como um todo.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

O estudo da Engenharia de Confiabilidade e das suas principais ferramentas é a forma mais eficaz de se minimizar custos e produzir com excelência. Segundo O'Connor (2012), o método de análise de confiabilidade mais usado e efetivo é o FMEA, ferramenta que foi aplicada durante este trabalho.

A justificativa que embasa este trabalho é a necessidade da empresa em questão de reduzir as falhas nos equipamentos de produção que afetam negativamente os indicadores de manutenção da unidade produtora. Encontrar formas adequadas de priorizar a resolução das falhas com altas criticidades do equipamento com maior potencial de ganho em disponibilidade é a principal vertente deste trabalho, na qual posteriormente deve ser avaliada a aplicabilidade das ações de controle (*outputs* do estudo de caso) nos demais equipamentos da empresa.

Apesar do tema Confiabilidade ser bastante abordado internamente na unidade, há poucos planos de manutenção realmente baseados no histórico de falhas e na sua prevenção, sendo assim, ao final deste trabalho buscou-se não só apenas a diminuição das falhas, aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, como também disseminar os impactos positivos das manutenções preventivas e preditivas dentro de uma indústria sucroalcooleira.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente seção tem como objetivo fornecer o embasamento teórico necessário para a compreensão das metodologias aplicadas neste trabalho. Inicialmente, são apresentados os conceitos fundamentais de manutenção industrial, abordando suas principais classificações e destacando suas características, aplicações e limitações. Em seguida, discute-se a MCC, explorando seu histórico, objetivos e os principais elementos que compõem sua lógica analítica. A seção também apresenta a ferramenta FMEA, detalhando sua estrutura, aplicação prática e critérios de priorização. Por fim, é descrita a ferramenta 5W2H, utilizada para estruturar e planejar as ações corretivas propostas.

### 2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

De acordo com Moubray (2000), a evolução da manutenção pode ser dividida em três fases distintas. Cada fase pode ser evidenciada pela maneira como a importância manutenção é tratada pelas partes envolvidas nos processos produtivos (Figura 1).

Figura 1 - Três gerações da manutenção

<p><b>Primeira Geração:</b> * Conserto após avaria</p>	<p><b>Segunda Geração:</b> * Maior disponibilidade de maquinaria * Maior vida útil dos equipamentos * Custos menores</p>	<p><b>Terceira Geração:</b> * Maior disponibilidade e confiabilidade * Maior segurança * Maior qualidade dos produtos * Ausência de danos ao meio-ambiente * Maior vida útil dos equipamentos * Maior custo-eficaz</p>	
1940	1950	1960 1970 1980	1990 2000 2010

Fonte: Moubray, 2000.

Pela divisão de Moubray (2000), a primeira fase, que ocorreu até a Segunda Guerra Mundial, tinha como foco a resolução de falhas após sua ocorrência. Naquele

tempo, a indústria não era altamente mecanizada, portanto, os períodos de paralisação à espera de recuperação de falhas não eram muito importantes. Os equipamentos eram simples e superdimensionados, o que os tornava confiáveis e fáceis de consertar. Conseqüentemente, não eram necessários planos de manutenção elaborados, apenas simples limpeza, assistência e lubrificação.

Ainda de acordo com Moubray (2000), segunda fase, que se estendeu até meados dos anos 1970, foi impulsionada pela necessidade de mecanização para atender à demanda crescente por bens de todos os tipos, causada pelas pressões do período de guerra. Isso levou a uma mecanização aumentada e, conseqüentemente, a uma dependência por máquinas de todos os tipos.

Com o aumento dessa dependência, o tempo de paralisação entrou em foco, levando à ideia de que falhas nos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas. Surgiram então técnicas de manutenção preventiva visando minimizar o impacto das falhas nos processos de produção. Entre os anos 1950 e 1960, isso consistia basicamente em revisões nos equipamentos em intervalos fixos.

O custo com a manutenção também aumentava consideravelmente em comparação com custos operacionais. Além disso, a quantidade de capital investido em ativos (paralelamente ao aumento do custo do capital) levou a uma busca pelo aumento da vida útil dos ativos. Começaram a surgir então os primeiros sistemas de planejamento e controle de manutenção (Moubray, 2000).

Segundo Moubray (2000), a terceira fase foi marcada pela consolidação da mecanização e automação, levantando questões de confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos em todos os setores produtivos. O crescimento da automação faz com que a frequência das falhas afete diretamente os padrões de qualidade, seja na produção de bens de consumo ou na prestação de serviços. No âmbito industrial, a complexidade das instalações fez com que a manutenção se tornasse essencial para manter esses padrões de qualidade e garantir o funcionamento contínuo das máquinas.

O impacto das falhas em segurança e meio ambiente acrescentaram uma nova ordem de grandeza na dependência da integridade dos ativos. Os padrões nessas áreas passaram a ser determinantes no processo produtivo, de modo que uma organização deve se adequar a eles ou deixar de funcionar.

Em contrapartida, a terceira geração foi acompanhada de um grande foco em pesquisa e desenvolvimento. Tornou-se evidente que há cada vez menos relação

entre a idade operacional de um ativo e sua chance de falha. Foram identificados diversos padrões de falha que ocorrem na prática, e na maioria das vezes eles tem uma maior relação com a manutenção aplicada ao longo da “vida” do ativo.

A terceira fase também é marcada por um desenvolvimento explosivo de novas técnicas de manutenção. Esse desenvolvimento pode ser sintetizado em alguns pilares:

- Ferramentas de suporte às decisões, como estudos de riscos e análise de modos e efeitos de falha;
- Projeto visando confiabilidade e facilidade de manutenção;
- Monitoramento de condições;
- Mudança no pensamento empresarial em relação a sinergia e trabalho em equipe (Moubray, 2000).

Assim, alcançar altos níveis de confiabilidade, disponibilidade e facilidade de manutenção dos equipamentos se tornou crucial, buscando maior produtividade e qualidade. A Manutenção Centrada em Confiabilidade tem se tornado a pedra angular da terceira geração.

## 2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE MANUTENÇÃO

Quando se aborda o tema tipos de manutenção, há diversas formas de classificação. Conforme Patton (1995) a manutenção planejada pode ser dividida em: (i) Manutenção Corretiva, (ii) Manutenção Preventiva; e (iii) Manutenção por Melhorias. A Manutenção Preventiva pode ainda ser subdividida em: (i) Manutenção de Rotina, (ii) Manutenção Periódica e (iii) Manutenção Preditiva. Essa divisão está representada na Figura 2.

Figura 2 - Classificação dos tipos de manutenção



Fonte: Zaians, 2003.

### **2.2.1 Manutenção corretiva**

De acordo com a NBR-5462 (1994), a manutenção corretiva é definida como aquela realizada após a ocorrência de uma pane. Aqui, entende-se pane como a incapacidade de um ativo de realizar a função requerida, excluindo-se a incapacidade por manutenção preventiva e outras intervenções planejadas ou por falta de recursos. Zaions (2003) também entende a manutenção corretiva como aquela que ocorre antes da pane, quando ocorre qualquer desempenho diferente do esperado. Seu objetivo é restaurar a função inicial do sistema ou equipamento.

No entanto, esse tipo de manutenção apresenta pontos negativos significativos. Segundo Siqueira (2016), em primeiro lugar, muitas falhas ocorrem de maneira aleatória, tornando difícil sua previsão e planejamento. Em segundo lugar, a falha inesperada de um componente pode ter um impacto negativo em outros componentes, resultando em custos adicionais. Apesar das desvantagens, Bloch e Geitner (1997) argumentam que a manutenção corretiva é inevitável, pois existem modos de falha que não ocorrem de forma sistemática e não são detectados por nenhum tipo de inspeção preventiva. Em outras palavras, algumas falhas não podem ser previstas ou evitadas antecipadamente.

Além disso, Kardec e Nascif (2001) indicam que a manutenção corretiva pode ser intencionalmente aplicada de acordo com a ocorrência de alguns fatores, como: possibilidade de compatibilizar os interesses da produção com a necessidade de intervenção, baixo impacto da falha em questões de segurança ou produtividade, garantia de existência de sobressalentes, equipamentos, ferramentas e recursos humanos compatíveis com a execução da intervenção. Em suma, a manutenção corretiva pode se mostrar bastante efetiva quando há uma preparação dos envolvidos para que seja executada.

### **2.2.2 Manutenção preventiva**

Segundo a NBR-5462 (1994), a manutenção preventiva é definida como aquela realizada em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios estabelecidos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item. Suas principais finalidades são: detectar potenciais falhas,

identificar defeitos em estágios iniciais e manter os componentes em bom estado de uso.

De acordo com Wyrebski (1997), a manutenção preventiva apresenta vantagens e desvantagens. Entre as vantagens, destaca-se que ela assegura a continuidade do funcionamento das máquinas e facilita a execução da programação de produção. Quando realizada de forma adequada, a manutenção preventiva permite a máxima utilização dos equipamentos, reduz o tempo de parada das máquinas e os custos associados à manutenção. Por outro lado, existem desvantagens, como a necessidade de um programa bem estruturado, equipe técnica eficaz e treinada, plano de manutenção adequado e substituição de peças muito antes de atingirem seus limites de vida, o que implica em um desperdício de tempo de vida útil.

Para Zaions (2003), O objetivo final da manutenção preventiva é obter a utilização máxima do equipamento nas tarefas de produção, reduzindo o tempo de máquina parada e custos da manutenção. Por isso, várias são as medidas a serem tomadas: determinar padrões para avaliar a eficiência da manutenção; planejar e configurar ferramentas de gestão com antecedência; melhorar a produtividade de cada colaborador envolvido na operação, diminuindo os atrasos evitáveis e inevitáveis; assegurar-se de que tanto o equipamento quanto a mão-de-obra de manutenção estão disponíveis simultaneamente para realização das inspeções e intervenções preventivas; e assegurar-se de que toda a equipe de manutenção está cooperando para a realização correta, e nos horários previstos, das inspeções preventivas.

### **2.2.3 Manutenção de rotina**

A manutenção de rotina é realizada em períodos curtos (na maior parte das vezes, diariamente) para manter os componentes em bom estado. Segundo Zaions (2003), a manutenção de rotina está relacionada a atividades simples como checar, limpar, lubrificar e reapertar parafusos. Essas tarefas são atribuídas aos operadores, permitindo que a equipe de manutenção se concentre em atividades mais complexas que exigem conhecimento técnico específico.

De acordo com Biehl e Sellitto (2015), a manutenção de rotina, também conhecida como manutenção autônoma, visa reduzir os custos ao longo da vida útil de um equipamento, combinando a manutenção preventiva e melhorias sustentáveis.

Essa forma de manutenção se baseia no aumento da eficiência da equipe de produção, pois as tarefas simples de manutenção podem ser realizadas pelos operadores dos equipamentos. Através do aprimoramento das habilidades dos operadores, é possível melhorar a eficiência dos equipamentos.

#### **2.2.4 Manutenção periódica**

Segundo Zaions (2003), a manutenção periódica pode ser definida como a manutenção efetuada em períodos de tempo pré-definidos. Esse tipo de manutenção é realizado de forma a reduzir ou evitar a falha ou quebra no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado.

É importante destacar que muitos autores não conceituam a subdivisão de manutenção periódica, de modo que suas definições sejam muito próximas ou as mesmas da manutenção preventiva como um todo.

#### **2.2.5 Manutenção preditiva**

A NBR-5462 (1994) define a manutenção preditiva como manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo as manutenções preventiva e corretiva.

Conforme Zaions (2003), a manutenção preditiva consiste em monitorar as condições físicas ou o desempenho dos componentes de um equipamento e intervir quando uma anomalia é detectada. Variáveis como temperatura, vibração, ruídos, condições dos óleos lubrificantes ou pressão de um sistema podem ser monitoradas.

O controle preditivo de manutenção consiste em determinar o ponto ideal para executar a manutenção em um equipamento, ou seja, o ponto em que a probabilidade de falha do equipamento atinge valores indesejáveis (Tavares, 1996).

Kardec e Nascif (2001) também chamam a manutenção preditiva de manutenção sob condição ou Manutenção com base no estado do equipamento. O objetivo da manutenção preditiva é prognosticar falhas e intervir na máquina somente quando houver real necessidade. Porém, para que esse tipo de manutenção seja devidamente aplicada, é necessário atender a algumas condições: o ativo deve permitir algum monitoramento ou medição; a importância do ativo deve justificar os

custos envolvidos na análise preditiva; as falhas devem ser oriundas de causas monitoráveis; deve ser estabelecido e sistematizado um plano de acompanhamento, análise e diagnóstico.

Marim (2013) destaca que a manutenção preditiva também permite: eliminar desmontagens desnecessárias de equipamentos, utilizar os componentes até sua vida útil total e determinar previamente paradas de produção para manutenção. Este último fator é determinante para este trabalho, já que em uma unidade sucroalcooleira uma parada de equipamento afeta diretamente todo o processo produtivo.

Diversos autores entendem a manutenção preditiva como a que oferece melhores resultados na atual conjuntura dos processos produtivos, principalmente no que diz respeito à terceira fase da manutenção definida anteriormente, pois esse tipo é o que menos intervém na planta.

## **2.2.6 Manutenção por melhorias**

A manutenção por melhorias consiste em ações para reduzir ou eliminar totalmente a necessidade de manutenções, conforme Patton (1995), além de ser um método para implementar melhorias visando o aumento da vida útil do equipamento, conforme Zaions (2003). Kardec e Nascif (2001) definem esse tipo de manutenção como Engenharia de Manutenção. Sua aplicação implica em uma quebra de paradigma na manutenção, para corrigir problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, modernizar técnicas de operação, aplicar reprojatos, dentre outros. Pode-se entender como uma “manutenção para evitar manutenções”.

Segundo Lima (2000), a manutenção por melhorias deve ser aplicada nos seguintes casos: equipamentos com baixa vida útil, alta frequência de falhas e alto custo de manutenção; tempo de reparo elevado com probabilidade de propagação da falha; grande dispersão do tempo médio entre falhas, gerando dificuldades de avaliação e inspeção do equipamento.

No contexto deste trabalho, há uma janela bastante propícia para a aplicação da manutenção por melhorias. Na unidade, o ano produtivo está dividido em período de safra e período de entressafra, de acordo com a safra da cana-de-açúcar. A safra corresponde ao período em que a unidade está de fato produzindo, enquanto na entressafra a produção está parada e a unidade se concentra em tarefas de

desmontagem e manutenção dos equipamentos, bem como em preparativos para a próxima safra.

## 2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC), do inglês *Reliability Centered Maintenance*, é definida por Moubray (2000) como uma metodologia para determinar o que deve ser feito para assegurar que um ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente.

### 2.3.1 Histórico

A MCC se originou durante a década de 50, com ferramentas analíticas fundamentais para estimular a confiabilidade de componentes, sistemas mecânicos e, principalmente, elétricos. O conceito só foi de fato criado nas décadas de 1960 e 1970, devido a análises nas políticas de manutenção da indústria americana com o objetivo de gerenciar as funções dos itens físicos e as consequências de suas falhas. Nos últimos 40 anos, a MCC se disseminou no setor industrial devido à constante elevação dos custos de manutenção em comparação aos custos de operação. A atividade de manutenção passou a ser tratada com planejamento e controle, visando aumentar a vida útil dos ativos (Zaions, 2003).

### 2.3.2 Objetivo da MCC

Segundo Moubray (2000), ao implementar a MCC são esperados: menores riscos à segurança e meio ambiente, aumento da capacidade operacional, redução dos custos, prolongamento da vida útil dos componentes de uma máquina, maior sinergia entre as áreas, melhorando o trabalho em equipe. Sua aplicação implica em sete perguntas que devem ser feitas sobre cada um dos itens sob análise:

- I. Quais as funções do equipamento e os padrões de desempenho associados?
- II. Como o sistema pode falhar ao realizar essas funções?
- III. O que pode causar a falha funcional?
- IV. O que acontece quando uma falha ocorre?

V. Quais podem ser as consequências, quando houver ocorrência da falha?

VI. O que pode ser feito para detectar e prevenir a ocorrência da falha?

VII. O que deverá ser feito se uma tarefa de manutenção não pode ser identificada?

Além disso, para a aplicação da MCC, é importante definir os conceitos descritos a seguir.

### **2.3.3 Funções**

A função de um equipamento, processo, produto ou sistema pode ser definida como aquilo que o usuário deseja que ele faça (SAE JA1011, 1999). Para Moubray (2000), a definição de uma função deve consistir de um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado.

As funções de um ativo podem ser divididas em funções primárias e secundárias, devendo-se iniciar o processo da MCC pelas funções primárias. A função primária normalmente está associada ao motivo pelo qual o ativo foi adquirido. Já as funções secundárias são divididas por Moubray (2000) nas seguintes categorias: (i) integridade ambiental; (ii) segurança/integridade estrutural; (iii) controle, contenção e conforto; (iv) aparência; (v) economia e eficiência; e (vi) supérfluas.

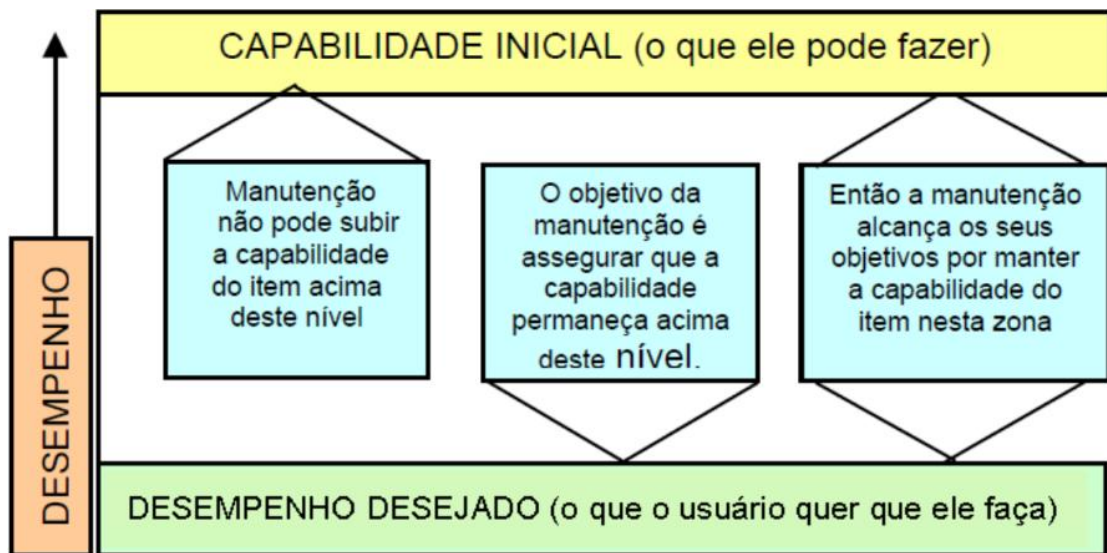
De acordo com Zaions (2003), o principal objetivo da manutenção é assegurar o desempenho mínimo das funções primárias. Porém, embora geralmente sejam menos importantes que as funções primárias, as funções secundárias devem ser muito bem analisadas pois podem trazer sérias consequências em situações específicas, principalmente quando envolvem segurança e integridade de pessoas, estruturas e meio ambiente.

### **2.3.4 Padrões de desempenho**

Relacionados às funções, os padrões de desempenho de um equipamento definem quantitativamente o que é esperado que eles produzam. Segundo Zaions (2003), qualquer máquina ou componente que for colocado em operação deverá ser capaz de produzir mais do que o padrão mínimo de desempenho desejado pelo usuário. Esse limite de produção do equipamento é conhecido como capacidade inicial ou confiabilidade inerente do equipamento.

Para um item físico passível de manutenção, o desempenho desejado deve situar-se na zona compreendida entre o padrão mínimo de desempenho e a capacidade inicial, conforme ilustrado na Figura 3. A manutenção deve manter o desempenho sempre acima do padrão de desempenho mínimo desejado pelo usuário. A determinação da capacidade inicial, bem como do desempenho mínimo que o usuário está preparado para aceitar no contexto do item físico que está sendo utilizado, é de relevante importância quando se deseja desenvolver um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade (Moubray, 2000).

Figura 3 - Ativo passível de manutenção



Fonte: Moubray, 2000.

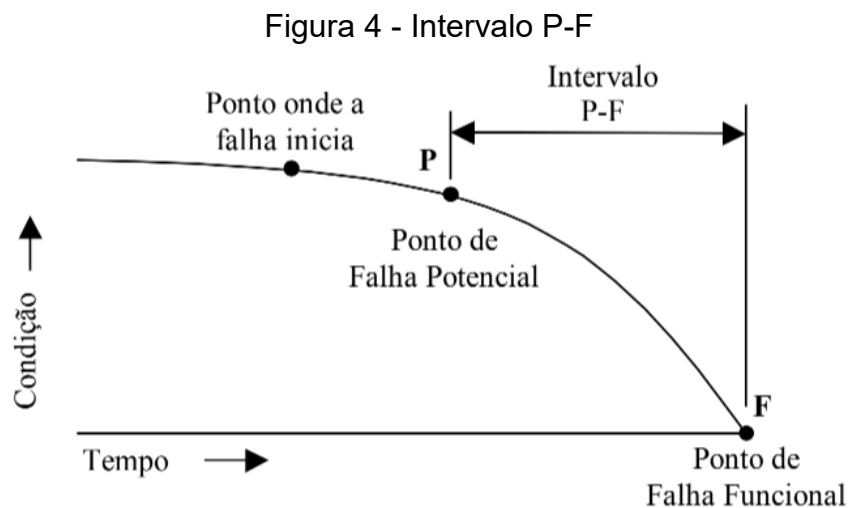
### 2.3.5 Falha

De acordo com a NBR 5462 (1994), a falha é caracterizada pelo término da capacidade de um item em desempenhar sua função requerida. Não é necessário que um item ou equipamento perca sua capacidade total para ser considerada uma falha, uma queda de rendimento indesejada já caracteriza uma falha. Segundo Zaians (2003), essa definição pode ser aprimorada para distinguir claramente o estado de falha (falha funcional) e os eventos (modos de falha) que causam o estado de falha. Após um entendimento dos padrões de desempenho e aplicando-os às funções individuais, a falha enfocada, em termos de falha funcional, é tratada como a

incapacidade de qualquer item físico cumprir uma função para um padrão de desempenho aceitável pelo usuário.

Ao tratar do conceito de falha, Moubray (2000) define ainda o conceito de falha potencial, que pode ser entendido como uma condição identificável que indica se a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência. A falha potencial representa o ponto onde o item físico começa a apresentar perda do desempenho da função.

Na Figura 4, Moubray (2000) identifica a relação entre falha potencial e falha funcional, na qual o ponto P no processo de falha, onde é possível detectar se a falha está ocorrendo ou está para ocorrer, é chamado de falha potencial. O ponto F representa o ponto de falha funcional. Assim, o intervalo P-F corresponde ao intervalo entre o ponto onde a falha torna-se detectável até a sua ocorrência.



Fonte: Moubray, 2000.

### 2.3.6 Modo de falha

O conceito de Modo de falha pode ser definido como uma condição atípica de trabalho, a forma com que o componente não executa sua função corretamente ou então descumpra as especificações para o qual foi projetado. De acordo com a SAE JA1011 (1999), um Modo de Falha é definido como qualquer evento que possa levar um ativo (sistema ou processo) a falhar.

Segundo Marim (2013), grande parte das listas de modos de falha contempla somente as causadas por deterioração e desgaste, mas devem-se incluir nesta lista,

as causadas por operadores e mantenedores, falhas de projeto, assim como todas as prováveis causas de falhas do equipamento que podem ser identificadas.

Segundo Zaions (2003), qualquer estratégia que pretenda certificar as funções de um ativo deve ter uma identificação dos modos de falha dos itens muito bem estruturada, pois conhecendo os modos de falha de um sistema ou processo, é possível se antecipar às consequências e implantar ações ou meios de controle que irão prevenir, minimizar ou corrigir a falha.

### **2.3.7 Causa da falha**

De acordo com Bloch e Geitner (1997) a causa da falha representa os eventos que antecedem, geram, provocam ou induzem a ocorrência do modo de falha, e pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações. A causa da falha pode estar associada a: falha de projeto, defeitos do material, deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes, defeitos de instalação e montagem, condições de serviço não previstas ou fora de projeto, deficiências da manutenção ou operação indevida.

### **2.3.8 Efeito da falha**

Conforme Moubray (2000), os efeitos de falhas descrevem o que acontece após a ocorrência de um modo de falha. Podem ser entendidos também como as formas como os modos de falha afetam o desempenho do sistema, do ponto de vista do cliente.

Zaions (2003) salienta o cuidado de não confundir efeito da falha com consequência da falha, sendo o primeiro o que acontece quando o modo de falha ocorre, e o segundo é determinado como as decorrências do modo de falha a partir de uma visão mais ampla no sistema.

Alguns exemplos de efeitos típicos de máquinas e equipamentos em geral são: esforço de operação excessivo, vazamento de ar, desgaste prematuro, consumo excessivo, etc.

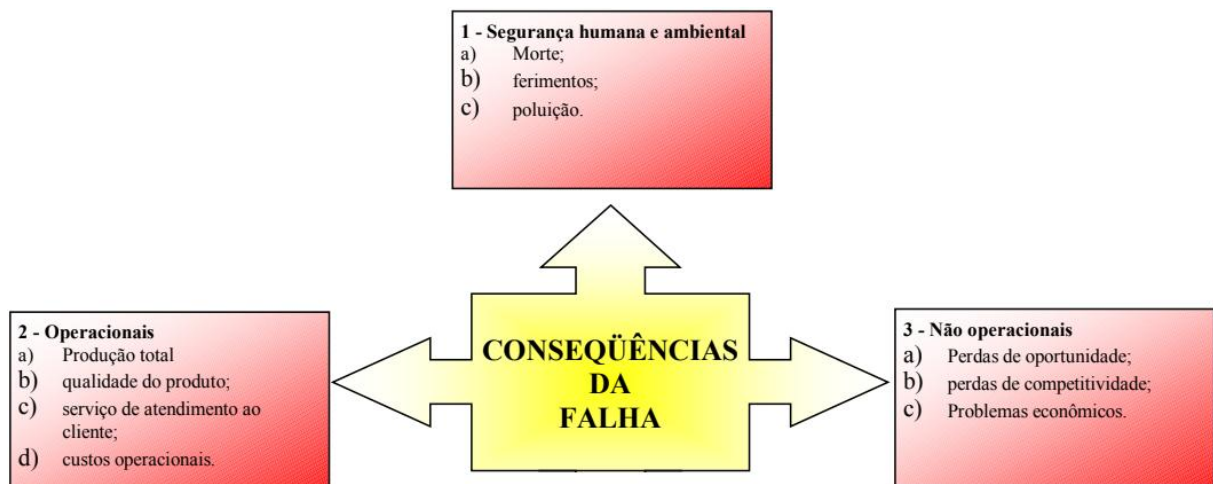
### 2.3.9 Consequências da falha

De acordo com Zaions (2003), cada vez que alguma falha ocorre, a empresa que usa o item é afetada de alguma forma. As falhas podem afetar a produção, a qualidade do serviço ou do produto, a segurança e o meio ambiente, provocar o aumento do custo operacional e do consumo de energia, dentre outras. A natureza e a severidade dessas consequências orientam a maneira como será vista a falha pela empresa.

A definição de qual tipo de manutenção será aplicado em um ativo depende diretamente das consequências das falhas que nele ocorrem. A combinação do contexto operacional, dos padrões de desempenho e dos efeitos indica que cada falha tem um conjunto específico de consequências a ela associadas. Segundo Moubray (2000), se tais consequências forem muito severas para a empresa, grandes esforços deverão ser realizados para evitar ou reduzir a falha. Porém, falhas que provocam pequenas consequências não requerem que medidas proativas sejam tomadas. Nesses casos, é mais sensato corrigir a falha após a ocorrência.

As classificações das consequências de uma falha estão dispostas na Figura 5, em ordem decrescente de importância.

Figura 5 - Consequências das falhas



Fonte: Zaions, 2003.

## 2.4 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA - FMEA

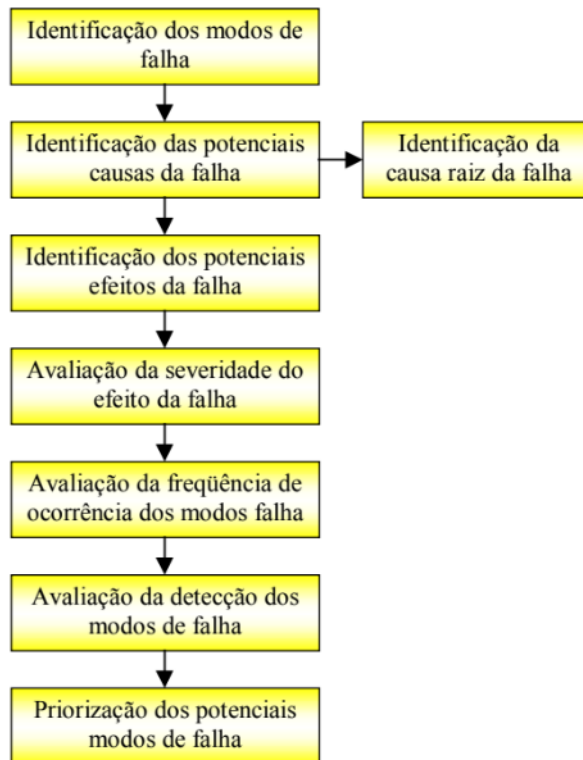
O FMEA, sigla em inglês para Análise de Modos e Efeitos de Falha, tem sua origem um tanto quanto incerta de acordo com as diversas bibliografias, tendo surgido e se consolidado entre o final dos anos 1940 e início dos anos 1960. O que se sabe é que surgiu como um método para avaliar a confiabilidade dos sistemas no exército estadunidense, a partir do Procedimento Militar MIL-P-1629. No entanto, as definições presentes nesse procedimento fazem com que seu surgimento se confunda com o surgimento do FMECA, sigla para Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha, do inglês *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* (Sakurada, 2001).

Segundo a NBR 5462 (1994), a utilização do FMEA permite determinar os efeitos de cada modo de falha para os itens e para a função específica do conjunto, pois ele é um método de análise qualitativo de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item. Siqueira (2016) define o FMEA como uma técnica de análise e de priorização que deve ser utilizada por uma equipe multidisciplinar para mapeamento dos modos potenciais de falha e suas causas, sendo possível, após o estudo da severidade, ocorrência e detecção do modo de falha, atuar naquelas em que o nível de criticidade é mais alto.

De acordo com Lafraia (2001), alguns benefícios da aplicação do FMEA são: redução do tempo de ciclo de um produto; redução do custo global de projetos; melhoria do programa de testes de produtos; redução de falhas potenciais em serviço; redução dos riscos do produto para o consumidor; alocação de mão-de-obra e serviços de maneira mais eficaz; desenvolvimento de uma metodologia para a prevenção de defeitos ao invés de detecção e correção.

Conforme Zaions (2003), após o reconhecimento do sistema a ser analisado, suas funções e falhas, o processo de aplicação do FMEA pode ser resumido pelas atividades descritas na Figura 6.

Figura 6 - Etapas do processo FMEA



Fonte: Zaions, 2003.

Para registro e controle, o processo é monitorado realizando-se o preenchimento do Formulário de FMEA. Porém, é importante destacar que não se deve entender o processo como uma mera formalidade ou preenchimento de padrão. Quando bem executado, o FMEA permite à equipe envolvida realizar reflexões a partir de dados quantitativos sobre eventos que, na maioria das vezes, eram tratados qualitativamente até então.

O modelo do formulário, assim como as informações nele presentes, podem variar de acordo com as necessidades e padrões da empresa. No entanto, alguns itens são cruciais na análise. Além dos já citados anteriormente (funções, modo de falha, causa da falha e efeito da falha), é importante incluir e definir os itens a seguir.

#### 2.4.1 Cabeçalho

O cabeçalho identifica a equipe participante do estudo, o sistema e seus subsistemas em questão, data do documento e local onde está sendo realizado o estudo.

### 2.4.2 Equipamento

Aqui é importante identificar o equipamento por nome e codificação utilizada na empresa.

### 2.4.3 Severidade (S)

A severidade é um índice que irá quantificar a gravidade do efeito sobre o sistema. Um exemplo de escala de classificação de severidade pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Escala para classificar a severidade dos modos de falha

Severidade	Severidade do Efeito	Índice (S)
Muito alta	Envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento dos requisitos legais.	10 9
Alta	Provoca um alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperante. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou descumprimento de requisitos legais.	8 7
Moderada	A falha ocasiona razoável insatisfação ao cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema.	6 5 4
Baixa	A falha causa pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará, provavelmente, leves variações no desempenho do sistema.	3 2
Marginal	A falha não teria efeito real no sistema. O cliente, provavelmente, nem notaria a falha.	1

Fonte: adaptado de Lafraia (2001).

### 2.4.4 Ocorrência (O)

A ocorrência é uma estimativa da frequência esperada de uma causa de falha. Deve ser fundamentada em um histórico de falhas ou dados de fornecedores. Um exemplo de escala de classificação de ocorrência está disposto na Figura 8.

Figura 8 - Escala para classificar a ocorrência dos modos de falha

<b>Frequência de Falha</b>	<b>Possíveis Taxas de Falha</b>	<b>Índice (O)</b>
Muito alta: falha é quase inevitável	1 em 2	10
	1 em 8	9
Alta: falhas repetidas	1 em 20	8
	1 em 40	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 1000	4
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 4000	3
	1 em 200000	2
Remota	$\leq 1$ em $10^6$	1

Fonte: adaptado de Lafraia (2001).

#### 2.4.5 Detecção (D)

A detecção é um índice que quantifica qual a probabilidade da falha ser detectada antes de afetar o sistema ou seu efeito chegar à percepção do cliente. A Figura 9 demonstra um exemplo de escala para classificação de detecção.

Figura 9 - Escala para classificar a detecção dos modos de falha

<b>Detecção</b>	<b>Detecção do Efeito</b>	<b>Índice (D)</b>
Absolutamente indetectável	O modo de falha não será detectável com certeza.	10
Muito baixa	O modo de falha é provavelmente muito pouco detectável.	9
Baixa	Não é provável que o modo de falha seja detectável.	8
		7
Moderada	Há 50% de chance de detectar o modo de falha.	6
		5
Alta	Há boa chance de detectar o modo de falha.	4
		3
Muito alta	O modo de falha será, certamente, detectado durante a operação do sistema.	2
		1

Fonte: adaptado de Lafraia (2001).

### 2.4.6 Índice de Risco

O Índice de Risco, ou *Risk Priority Number* (RPN), é calculado pela multiplicação dos três índices, S, O e D, de acordo com a equação abaixo:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

A análise da criticidade irá quantificar a influência no processo de determinado modo de falha, de maneira a estabelecer prioridade para resolução das falhas, aplicação de medidas de controle e desenvolvimento de planos de manutenção (Lafraia, 2001).

### 2.5 MÉTODO 5W2H

O método 5W2H é uma ferramenta de gestão amplamente utilizada para o planejamento e execução de ações de forma estruturada e eficiente. Seu nome deriva das iniciais de sete perguntas fundamentais em inglês: *What* (o que será feito?), *Why* (por que será feito?), *Where* (onde será feito?), *When* (quando será feito?), *Who* (por quem será feito?), *How* (como será feito?) e *How much* (quanto custará?). Ao responder a essas questões, é possível delinear um plano de ação claro, atribuindo responsabilidades, definindo prazos, métodos e estimando custos, o que facilita a implementação de soluções e o alcance dos objetivos organizacionais.

Originalmente desenvolvida por profissionais da indústria automobilística japonesa como uma ferramenta auxiliar ao ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), o 5W2H tem sido amplamente adotado em diversos setores devido à sua simplicidade e eficácia. O ciclo PDCA é uma ferramenta de gestão voltada à melhoria contínua de processos, baseada em etapas cíclicas de planejamento, execução, verificação e ação corretiva (Werkema, 1995). Ele fornece uma estrutura sistemática para identificar problemas, testar soluções e padronizar melhorias. Ferramentas como o 5W2H podem ser utilizadas dentro da etapa de “*Plan*” do PDCA para estruturar e detalhar as ações planejadas, facilitando a execução e o acompanhamento das medidas propostas. Segundo Silva *et al.* (2013), a ferramenta é especialmente útil na fase de

planejamento, permitindo uma visão abrangente das ações necessárias para a resolução de problemas ou implementação de melhorias.

Além de sua aplicação isolada, o 5W2H pode ser integrado a outras metodologias de gestão, como o FMEA, para detalhar planos de ação voltados à mitigação de falhas identificadas. Nakagawa (2014) destaca que a ferramenta é eficaz tanto para decisões simples quanto para situações que envolvem a implementação de múltiplas decisões, proporcionando clareza e organização ao processo decisório.

Em suma, o método 5W2H é uma ferramenta versátil que contribui significativamente para o planejamento estratégico, a gestão de projetos e a implementação de melhorias organizacionais. Sua aplicação permite uma abordagem sistemática na definição de ações, promovendo maior eficiência e eficácia nos processos organizacionais.

### 3 METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos adotados para a aplicação da ferramenta FMEA na unidade sucroalcooleira estudada. Inicialmente, apresenta-se um breve panorama da unidade industrial, contextualizando o ambiente operacional em que o trabalho foi desenvolvido. Em seguida, são detalhados os critérios utilizados para a escolha do sistema analisado e a composição da equipe multidisciplinar envolvida no estudo. Por fim, são descritas as etapas de identificação, priorização e tratamento dos modos de falha, bem como o desenvolvimento das propostas de controle e melhoria associadas.

#### 3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O trabalho foi desenvolvido em uma indústria sucroalcooleira localizada em Ibaté-SP, uma usina de pequeno porte que desempenha um papel estratégico na produção de biocombustíveis, açúcar e energia. Com uma capacidade diária de produção de 280 m<sup>3</sup> de etanol, 1000 toneladas de açúcar e 200 MWh de energia elétrica, a unidade busca um processo integrado e eficiente, maximizando o aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar.

A extração do caldo começa com a separação da palha e impurezas minerais, seguida pela moagem, onde a cana é triturada e embebida com água, formando o caldo. O bagaço resultante é direcionado para as caldeiras da geração de vapor. O caldo passa por um tratamento para remoção de impurezas, ajuste de pH e decantação, resultando no caldo clarificado. Esse caldo é concentrado por evaporação, transformando-se em xarope para a cristalização do açúcar. Após centrifugação e secagem, o açúcar é armazenado, enquanto o mel remanescente segue para fermentação, gerando etanol e subprodutos (vinhaça, óleo fúsel, dentre outros).

O bagaço e a palha alimentam caldeiras que produzem vapor em alta pressão. Parte do vapor aciona geradores de energia elétrica para consumo interno e exportação, enquanto outra parte movimenta turbinas que operam as moendas e turbobombas da usina. O vapor de escape desses equipamentos tem menor pressão e é aproveitado para aquecimento em diversos processos, como evaporação,

cozimento e destilação. Além disso, parte do bagaço é enviada para produção de etanol de segunda geração, ampliando o aproveitamento energético da biomassa.

Durante o período de safra, a manutenção na usina é predominantemente corretiva, ou seja, as intervenções ocorrem conforme as falhas são identificadas pela operação ou pela gestão. Mesmo assim, algumas manutenções preventivas ainda são realizadas, embora de forma mais limitada, com a maior parte dessa atividade concentrada em atividades de lubrificação. Além disso, há um time especializado em análises preditivas, responsável por antecipar possíveis falhas para evitar paradas não programadas. A execução das manutenções pode ser feita pelos próprios operadores das áreas ou por equipes especializadas nas oficinas independentes, que incluem mecânica, caldeiraria, elétrica, automação, instrumentação e lubrificação.

Um dos principais desafios da manutenção é a falta de uma cultura sólida de prevenção de falhas, embora existam planos de manutenção preditiva. Além disso, a despadronização do processo de abertura de notas de manutenção dificulta a análise eficiente dos dados, e a urgência das intervenções no processo, muitas vezes, leva a soluções paliativas. Outro grande obstáculo é o impacto de uma parada não programada, que afeta significativamente os indicadores da unidade e pode gerar grandes perdas, principalmente devido à interrupção de operações críticas no processo produtivo.

O fluxo de manutenção começa com a identificação de uma falha ou necessidade de intervenção, momento em que uma nota de manutenção é aberta, podendo ser realizada pela gestão, pelos técnicos de manutenção preditiva ou pelos operadores III (mais experientes). Quando a necessidade é emergencial, a nota é enviada diretamente ao setor de Planejamento, Programação e Controle de Manutenção (PPCM), que gera a ordem de manutenção para execução imediata. Caso a falha não seja emergencial, a nota é apresentada na reunião semanal de programação, onde gestores de diversas áreas e membros do PPCM definem as prioridades e organizam as intervenções de acordo com a urgência e as necessidades de produção. Somente após essa avaliação, as ordens de manutenção são geradas a partir das respectivas notas pelos planejadores e direcionadas para as oficinas responsáveis.

Os planejadores têm como responsabilidade estruturar, programar e agendar as tarefas e intervenções que serão executadas pelas equipes de manutenção. Utilizando um sistema de Planejamento de Recursos Empresariais, do inglês

*Enterprise Resource Planning* (ERP), os planejadores definem quem realizará cada tarefa e quando ela será feita, além de garantir a disponibilidade de materiais e peças necessárias, realizando pedidos de compra quando apropriado.

O ERP é a ferramenta central de controle das atividades de manutenção na fábrica, registrando todas as ações executadas. Esse histórico permite estimar os custos de manutenção para os próximos ciclos, analisar a frequência e datas das intervenções, saber quem realizou cada atividade e medir o tempo médio necessário para sua execução, entre outros indicadores importantes para o gerenciamento da manutenção.

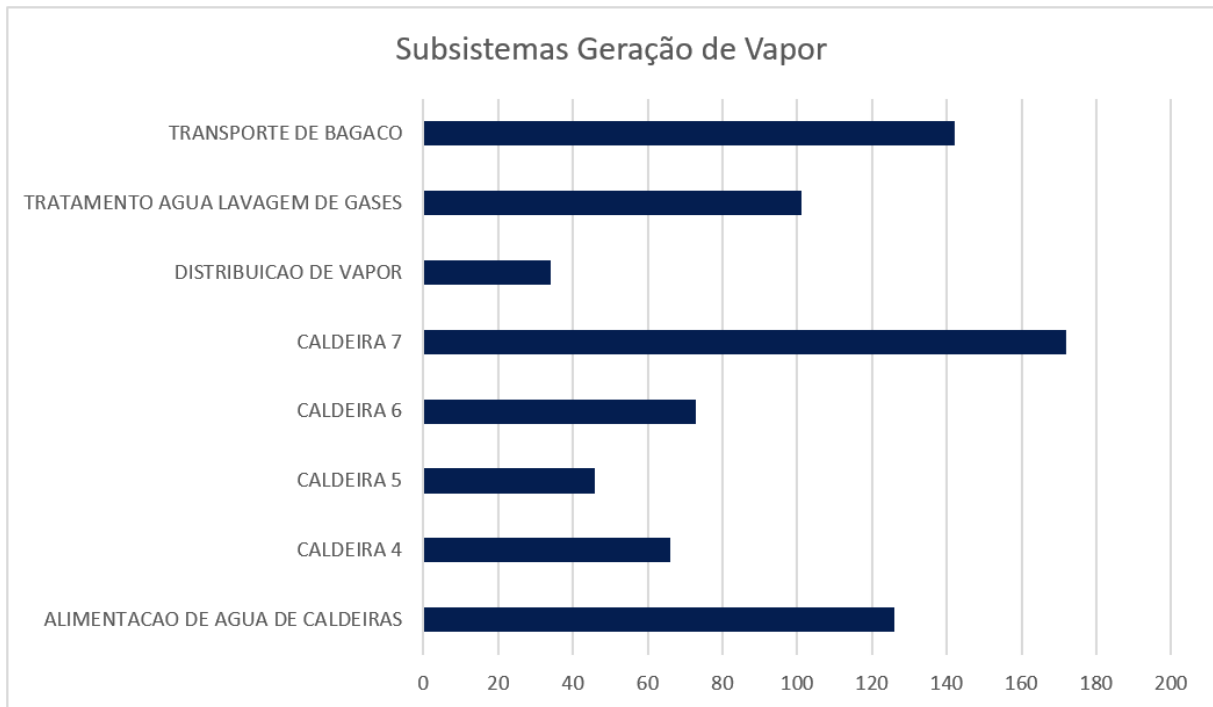
A cada mês, aproximadamente, a usina realiza grandes paradas programadas, que duram entre um e dois turnos. Nesses períodos, são realizadas manutenções mais complexas ou demoradas que não podem ser feitas durante o funcionamento contínuo do processo. Essas paradas devem ser meticulosamente planejadas para garantir que o tempo disponível seja aproveitado ao máximo e que as intervenções sejam realizadas de forma eficiente, minimizando o impacto na produção.

### 3.2 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO

A escolha do equipamento a ser analisado neste estudo seguiu uma abordagem baseada em dados históricos de manutenção e impacto operacional dentro da usina sucroalcooleira. Inicialmente, foi selecionado o setor de geração de vapor, pois essa era a área de atuação do autor dentro da usina. Dentre os diversos sistemas que compõem esse setor, optou-se pelo sistema de transporte de bagaço, responsável por transportar o bagaço da moenda até as caldeiras, onde é utilizado como combustível para geração de vapor e energia.

A definição do subsistema foi baseada na análise da quantidade de ordens de manutenção abertas para o equipamento. Foi solicitado à equipe do PPCM uma relação com todas as ordens de manutenção de safra abertas na área de Geração de Vapor nas últimas três safras. Após um tratamento de dados para separar as ordens em subsistemas e eliminar ordens repetidas, foram ranqueados os que tinham recebido mais ordens de manutenção no período. A comparação entre a quantidade de ordens de manutenção abertas em cada subsistema está demonstrada na Figura 10.

Figura 10 - Quantidade de ordens de manutenção abertas por subsistemas

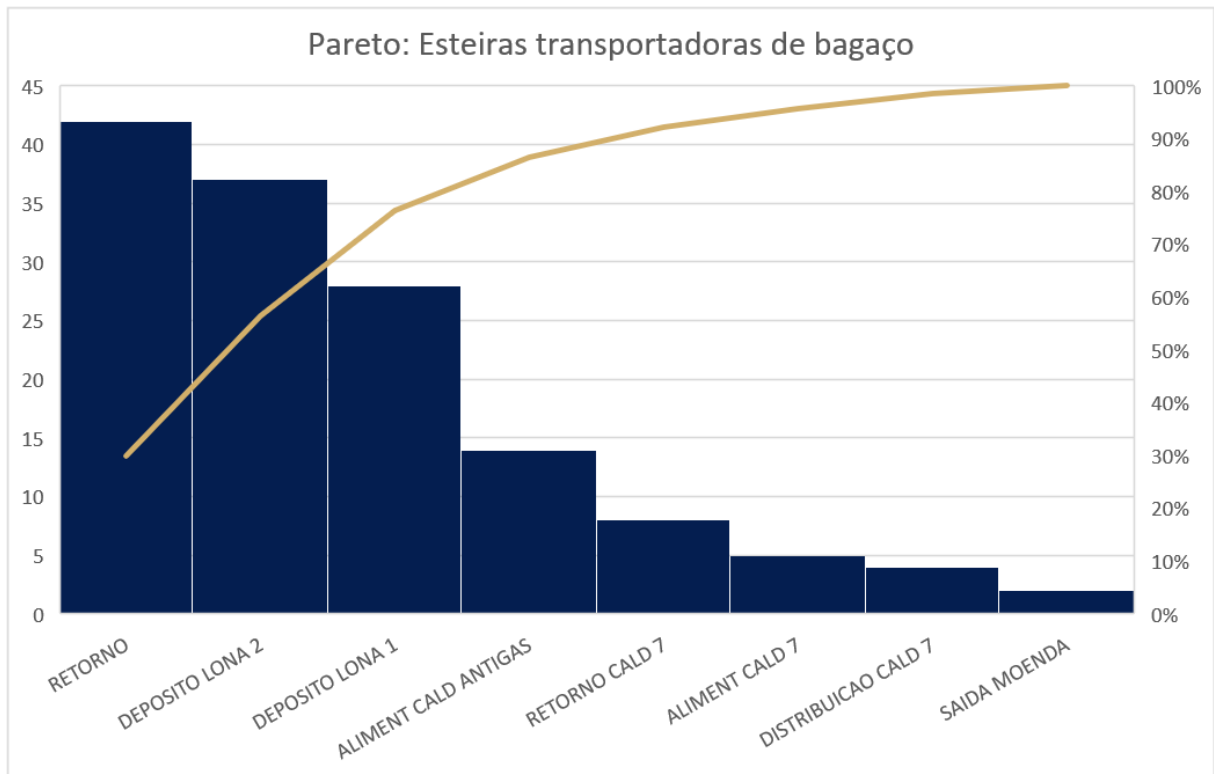


Fonte: Autor.

O Transporte de Bagaço não foi o sistema com maior número de ocorrências (142), ocupando a segunda posição nesse critério. No entanto, o equipamento que registrava a maior quantidade de ordens abertas (172), a Caldeira nº 7, já estava sendo alvo de uma ferramenta de melhoria contínua, o que levou à priorização do transporte de bagaço para esta análise. Além disso, na safra decorrente, a Caldeira nº 7 passou por intervenções de diversas oficinas, como caldeiraria, instrumentação e mecânica, de maneira que os resultados dessas manutenções corretivas não foram avaliados, pois as ordens eram referentes a safras anteriores.

Após a definição do sistema, utilizou-se a análise de Pareto para identificar quais esteiras transportadoras representavam os principais pontos de falha, conforme indicado na Figura 11. A análise de Pareto, também chamada de método de Pareto ou regra 80/20, é uma ferramenta clássica da qualidade muito aplicada no campo da manutenção industrial. Ele parte do princípio de que 80% dos efeitos são originados por 20% das causas, permitindo priorizar as falhas que mais impactam o sistema. Na prática, isso significa identificar poucas causas vitais que concentram a maioria das ocorrências ou custos de manutenção (Silva et al., 2025).

Figura 11 - Aplicação do método de Pareto para escolha das esteiras



Fonte: Autor.

Constatou-se que aproximadamente 80% das ordens de manutenção estavam concentradas em três esteiras específicas:

- Esteira 1 do depósito de bagaço
- Esteira 2 do depósito de bagaço
- Esteira de retorno de bagaço

Essas esteiras desempenham um papel crítico no funcionamento da usina, pois são responsáveis não apenas por transportar o bagaço excedente para o depósito, mas também por alimentar as caldeiras em momentos em que a produção da moenda não é suficiente para suprir a demanda energética. Esse armazenamento estratégico evita que o setor de geração de vapor fique dependente do fluxo contínuo da moenda, garantindo maior estabilidade operacional.

A esteira 1 do depósito de bagaço, mostrada na Figura 12, recebe o bagaço remanescente do esteirão principal, que é o transportador responsável por alimentar as caldeiras operando a 21 kgf/cm<sup>2</sup>. O bagaço que não foi direcionado para a queima segue até o final do esteirão principal e, por meio de um duto de transferência, é descarregado na esteira 1 do barracão de bagaço. Essa esteira, equipada com

taliscas para melhor aderência do material, transporta o bagaço até o final de seu percurso, onde outro duto transfere o material para a esteira seguinte do sistema.

Figura 12 - Esteira 1 do depósito de bagaço



Fonte: Autor.

A esteira 2 do depósito de bagaço, mostrada na Figura 13, também possui taliscas na lona, percorre toda a extensão do barracão e desempenha um papel essencial na separação do material. No meio de seu trajeto, essa esteira conta com um dispositivo chamado “bico de pato”, um dosador que regula o fluxo de bagaço que será armazenado no depósito e o que continuará no transporte. Dependendo da demanda de bagaço no processo, o “bico de pato” libera parte do material para o barracão, enquanto o restante segue para o final da esteira. Ao término do percurso, o bagaço remanescente é transferido para a esteira de retorno. Esse dispositivo é mostrado pela Figura 14.

Figura 13 - Esteira 2 do depósito de bagaço



Fonte: Autor.

Figura 14 - Dosador “bico de pato”



Fonte: Autor.

A esteira de retorno de bagaço, mostrada na Figura 15, é uma esteira de arraste com taliscas metálicas e tem a função de recircular o bagaço de volta para o esteirão principal, garantindo um nível adequado de material no sistema. Essa recirculação é fundamental para manter o que é chamado de "selo" nos dosadores de

bagaço, evitando perdas de pressão nas caldeiras. O nível de bagaço no esteirão precisa ser controlado de forma precisa: se for muito baixo, pode comprometer o fornecimento de combustível às caldeiras, enquanto um nível excessivo pode sobrecarregar o motor da esteira, causando falhas operacionais. Além do bagaço proveniente da esteira 2, a esteira de retorno também recebe material de um dosador no barracão, que é abastecido pelos operadores de movimentação de bagaço conforme a necessidade, com o auxílio de pás carregadeiras.

Figura 15 - Esteira de retorno de bagaço

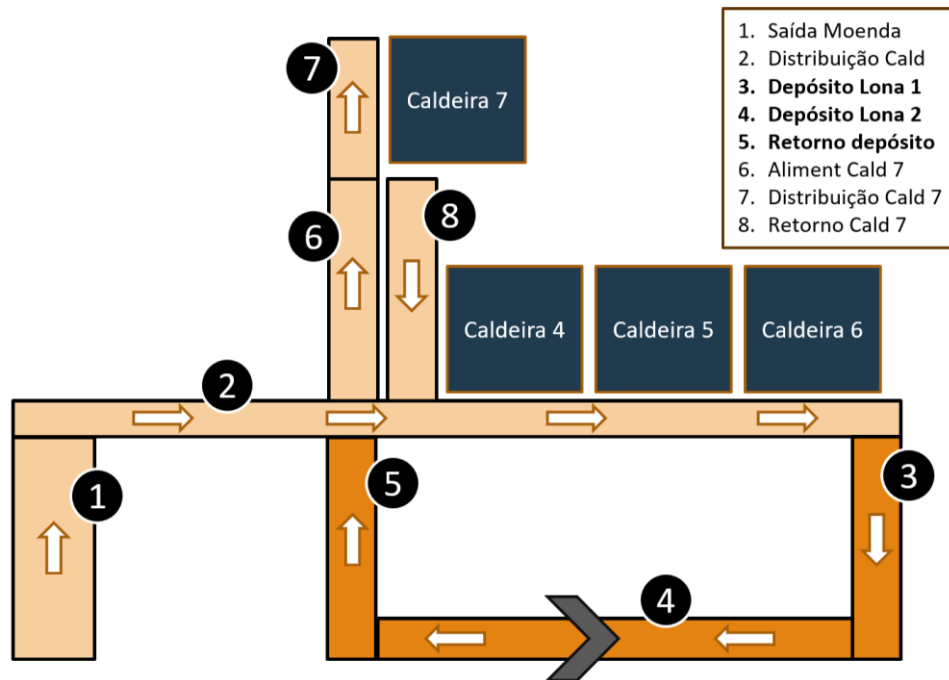


Fonte: Autor.

Além do impacto direto na alimentação das caldeiras, falhas nesse sistema podem comprometer o funcionamento de toda a usina, uma vez que as caldeiras são responsáveis pela geração de energia para a planta industrial. Dessa forma, a escolha desse sistema para aplicação do FMEA se justifica pela sua relevância operacional, pelo histórico de falhas recorrentes e pela possibilidade de melhoria na confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

A Figura 16 demonstra um esquema das esteiras do sistema de transporte de bagaço, com destaque para as esteiras nas quais será aplicado o FMEA.

Figura 16 - Esquema do sistema de transporte de bagaço



Fonte: Autor.

O sistema de transporte de bagaço já conta com algumas rotinas de manutenção preditiva durante a safra, além de manutenção preventiva no período de entressafra. No entanto, ainda ocorrem manutenções corretivas ao longo da safra devido a falhas ou funcionamento inadequado, o que reforça a necessidade de um estudo detalhado dos modos de falha e seus impactos no processo produtivo.

### 3.3 DEFINIÇÃO DA EQUIPE

A aplicação da metodologia FMEA requer a participação de uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais de diferentes áreas que possam contribuir com conhecimentos específicos sobre o sistema analisado. A diversidade da equipe é essencial para garantir uma avaliação abrangente dos modos de falha, suas causas e efeitos, além de permitir a proposição de ações corretivas eficazes.

Para a execução do estudo, foram selecionados profissionais de diferentes setores da empresa, assegurando que todas as etapas do FMEA fossem abordadas de maneira completa e fundamentada.

Representando a área de Geração de Vapor, participaram a supervisora do setor, o gestor de processos, o gestor de operações e um operador de nível III,

garantindo a visão operacional e gerencial do sistema. Da Manutenção Mecânica, foram incluídos o gestor de processos e um mecânico sênior, responsáveis por fornecer detalhes técnicos sobre falhas mecânicas e ações corretivas. A Manutenção Elétrica foi representada por um gestor de processos e um analista de instrumentação, assegurando a avaliação dos componentes elétricos e de automação das esteiras transportadoras. Por fim, o setor de Planejamento, Programação e Controle da Manutenção (PPCM) contou com a participação de um gestor de processos e de um técnico de manutenção preditiva, essenciais para o levantamento de históricos de falhas, tendências de desgaste e definição de estratégias de manutenção preventiva.

A composição dessa equipe permitiu que o FMEA fosse conduzido de forma estruturada e eficaz, garantindo que as falhas fossem analisadas sob diferentes perspectivas – operacional, mecânica, elétrica e estratégica. Dessa forma, foi possível não apenas identificar as principais vulnerabilidades do sistema de transporte de bagaço, mas também desenvolver planos de ação robustos para mitigar riscos e otimizar a confiabilidade dos equipamentos.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DO FMEA

A metodologia adotada neste trabalho foi a pesquisa-ação, que se caracteriza por sua base empírica e por ser desenvolvida com o objetivo de resolver um problema coletivo, com a participação ativa dos envolvidos ao longo de todo o processo. Essa abordagem foi utilizada especificamente para aplicar a ferramenta FMEA no contexto da unidade industrial.

De acordo com Coughlan e Coughlan (2002), a pesquisa-ação segue algumas etapas: planejamento da pesquisa, coleta de dados, análise das informações obtidas, elaboração e execução de planos de ação, e, por fim, avaliação dos resultados, com a elaboração de relatórios que permitam o acompanhamento e a divulgação das conclusões.

No caso deste estudo, as três esteiras de alimentação foram divididas em subconjuntos para possibilitar uma avaliação mais precisa das falhas específicas de cada componente. As esteiras possuem vários subcomponentes parecidos, que foram tratados da mesma maneira. Os subcomponentes estão listados na Figura 17, de acordo com cada esteira em que se encontram.

Figura 17 - Subcomponentes das esteiras transportadoras

<b>Esteira 1</b>	<b>Esteira 2</b>	<b>Esteira de retorno</b>
Motor	Motor	Motor
Redutor	Redutor	Redutor
Estrutura metálica	Estrutura metálica	Estrutura metálica
Tambores	Tambores	Duto de transferência
Roletes	Roletes	Talisco metálica
Duto de transferência	Duto de transferência	
Correia taliscada	Correia taliscada	
Raspas	Raspas	
	Bico de pato	

Fonte: Autor.

Com a identificação dos subconjuntos e componentes e de suas respectivas falhas, foram levantadas as principais causas e suas respectivas ocorrências com base no histórico do sistema de apontamento de paradas da usina. Esse sistema registra cada parada (ou redução na rotação da moenda) com um campo de justificativa que deve ser preenchido com o motivo da indisponibilidade. No entanto, devido às questões trazidas anteriormente com relação aos principais desafios da manutenção, as falhas foram também repassadas e avaliadas junto à equipe do FMEA, considerando também a sensibilidade empírica dos envolvidos.

A sensibilidade empírica dos colaboradores desempenha um papel crucial na identificação e resolução de falhas operacionais, especialmente em contextos industriais complexos. No caso deste trabalho, a equipe inclui profissionais com muitos anos de atuação na unidade e que acumulam um conhecimento prático profundo sobre os equipamentos, suas falhas recorrentes e comportamentos que não são facilmente capturados ou traduzidos em dados, permitindo-lhes perceber nuances de funcionamento que frequentemente escapam aos registros formais.

Esse tipo de conhecimento, conhecido como conhecimento tácito, é adquirido por meio da experiência direta e é difícil de ser formalizado ou transmitido por meio de documentação convencional. Segundo Nonaka e Takeuchi (1997), o conhecimento tácito é profundamente enraizado nas ações, experiências e valores individuais, sendo essencial para a inovação e a tomada de decisões eficazes nas organizações. Além disso, estudos indicam que a articulação entre conhecimento tácito e inovação

tecnológica é mediada pela educação e pela experiência prática, destacando a importância de ambientes de trabalho que valorizem e integrem esse tipo de saber (Kuenzer *et al.*, 2007). Portanto, reconhecer e incorporar a sensibilidade empírica dos colaboradores experientes é fundamental para aprimorar a análise de falhas e desenvolver estratégias de manutenção mais eficazes.

Para a atribuição de notas aos três critérios ligados ao RPN (ocorrência, severidade e detecção), foram utilizados índices adaptados à realidade operacional da unidade, de forma a refletir com maior precisão as condições específicas de falha, severidade e detecção observadas na prática. Essa personalização dos índices foi fundamental para garantir que a análise fosse aplicada de maneira eficaz e compatível com os processos e recursos disponíveis, resultando em uma priorização mais acurada das falhas e contribuindo para a definição de estratégias de manutenção mais realistas e direcionadas. As tabelas 1, 2 e 3 indicam os índices utilizados e os parâmetros de cada um.

Tabela 1 - Índices de ocorrência

Ocorrência		
Probabilidade de falha	Taxa de ocorrência	Índice (O)
Muito alta: falha quase inevitável	Todos os dias	10
	1 em 7 dias	9
Alta: falha frequente	1 vez em 15 dias	8
	1 vez em 30 dias	7
Moderada: falha ocasional	1 vez em 60 dias	6
	1 vez em 90 dias	5
Baixa: poucas falhas	1 vez por safra	4
	1 vez em 2 safras	3
Improvável	1 vez em 5 safras	2
	Nunca registrada	1

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Índices de severidade

Severidade					
Efeito	Saúde e Segurança	Meio-Ambiente	Tempo de não-produção	Custo de reparação	Índice (S)
Catastrófico	Fatalidade(s) praticamente certa(s)	Grande magnitude, danos irreversíveis	Mais de 24 horas	Maior que 500 mil reais	10
Crítico	Probabilidade de fatalidade ou acidente incapacitante	Alta magnitude, difícil reversão, risco de dano irreversível	6 a 24 horas	Entre 50 mil e 500 mil reais	9
					8
Alto	Baixa probabilidade de acidente incapacitante	Magnitude considerável, difícil reversão	2 a 6 horas	Entre 5 mil e 50 mil reais	7
					6
Moderado	Probabilidade de acidente não incapacitante	Pequena magnitude, reversão com ações mitigadoras	30 minutos a 2 horas	Entre 500 e 5 mil reais	5
					4
Baixo	Baixa probabilidade de qualquer acidente	Pequena magnitude, reversão com ações imediatas	Menos de 30 minutos	Até 500 reais	3
					2
Sem impacto	Sem danos pessoais	Sem danos ambientais	Sem impacto de produção	Sem custo de reparação	1

Fonte: Autor.

Tabela 3 - Índices de detecção

<b>Detecção</b>	
Chance de detecção	Índice (D)
A falha não será detectada	10
Baixa probabilidade de detecção	9
	8
Média probabilidade de detecção	7
	6
Alta probabilidade de detecção	5
	4
Detecção certa e antes das consequências	3
	2
Detecção certa e imediata	1

Fonte: Autor.

A atribuição de notas aos critérios foi realizada com base em dados históricos do sistema de apontamento de paradas da usina, permitindo uma classificação mais condizente com a ocorrência real dos modos de falha. Além disso, foi também considerada a sensibilidade empírica da equipe, para complementar as informações disponíveis, avaliar criticamente a coerência dos dados e realizar ajustes sempre que necessário, assegurando maior precisão na priorização das falhas e maior efetividade nas estratégias de manutenção propostas.

Todos esses dados foram registrados e dispostos em planilhas no software Excel, contendo o equipamento e o componente, o modo de falha, o efeito potencial da falha, a causa potencial, os controles de detecção e prevenção já existentes, as notas de severidade, ocorrência e detecção, o RPN e o plano de ação sugerido. Dessa forma, as planilhas completas dos componentes de cada esteira são apresentadas no Apêndice, com os principais modos de falha analisados na seção Resultados.

### 3.5 DEFINIÇÃO DAS MEDIDAS DE CONTROLE

Para os modos de falha que apresentaram valores de RPN acima de 100, foram propostas medidas de controle que possibilitem à equipe de manutenção antecipar-se à ocorrência do problema. O foco foi desenvolver estratégias mais robustas que as já existentes, com maior grau de confiabilidade na prevenção ou detecção da falha.

Para estruturar e descrever as ações propostas a partir da análise FMEA, foi utilizada a ferramenta 5W2H. A escolha se justifica pela capacidade da metodologia

de organizar de forma clara e objetiva as etapas de implementação das soluções, promovendo maior entendimento por parte dos envolvidos e facilitando o acompanhamento das ações. Além disso, por ser uma ferramenta já consolidada nos processos internos da empresa, sua adoção neste trabalho contribui para a integração dos resultados às rotinas operacionais existentes, garantindo maior aderência e efetividade na aplicação.

As medidas de controle propostas contemplam tanto ações de natureza administrativa quanto intervenções estruturais. As ações administrativas envolvem aprimoramentos nos processos organizacionais e operacionais da manutenção, enquanto as estruturais referem-se a modificações físicas nos equipamentos e sistemas da unidade. Essa abordagem integrada visa não apenas mitigar os modos de falha identificados, mas também promover a padronização das atividades e o aumento da confiabilidade dos ativos, por meio de intervenções planejadas que favorecem a eficiência e a sustentabilidade do processo produtivo.

Além disso, as medidas foram definidas também visando a melhoria dos diferentes tipos de manutenção praticados na unidade. Para a manutenção corretiva, buscou-se reduzir o tempo de resposta e aumentar a assertividade nas intervenções emergenciais. No âmbito da manutenção preventiva, as propostas visam ampliar o escopo e a frequência de inspeções programadas, com base nas falhas mais recorrentes identificadas. Já para a manutenção preditiva, as ações estão direcionadas ao fortalecimento das rotinas de monitoramento e à utilização mais eficaz das técnicas de diagnóstico, permitindo maior antecipação de falhas e, conseqüentemente, a elevação da disponibilidade dos ativos. Essas melhorias foram definidas com base na análise crítica das ocorrências e na experiência prática da equipe técnica envolvida.

O 5W2H com as soluções propostas após a aplicação do FMEA está disposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Soluções propostas (5W2H)

Código	O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Quanto?
01	Análise termográfica das esteiras e componentes	Detectar altas temperaturas nos componentes mecânicos e evitar princípios de incêndio	Sistema SAP	PPCM / Preditiva	Entressafra 24'25	Definir rotas de inspeção termográfica com gestão PPCM e GVAP, verificar necessidade de adquirir equipamentos	-
02	Alterações na rotina de inspeção da operação	Adicionar ações pró-ativas à inspeção para garantir integridade e "ver e agir"	SE Suite	Gestão GVAP	out/24	Definir pontos de inspeção, atualizar POP de Inspeção de esteiras, criar checklist e alinhar com gestores e operação	-
03	Instalação de sensores de subvelocidade nos eixos de acionamento das esteiras	Detectar paradas nas esteiras sem parada no acionamento	Esteiras	Elétrica/Instrumentação	Entressafra 25'26	Aquisição dos sensores e abertura de nota para instalação	R\$ 2.880,00
04	Instalação de sensores de embuchamento nos dutos de transferência	Detectar acúmulo de bagaço nos dutos de transferência para evitar parada no processo	Esteiras	Elétrica/Instrumentação	Entressafra 25'26	Aquisição dos sensores e abertura de nota para instalação	R\$ 1.200,00
05	Instalação de sensores de vibração nos motores	Detectar problemas como: má fixação, rolamentos quebrados, eixo empenado, redutor	Esteiras	Elétrica/Instrumentação	Entressafra 25'26	Aquisição dos sensores e abertura de nota para instalação	R\$ 2.232,00
06	Verificação da linha de ar da unidade	Detectar má-filtragem e vazamentos	Toda a unidade	Elétrica/Instrumentação	Entressafra 24'25	Rotina de limpeza/troca do filtro e verificação de vazamentos	-
07	Instalação de alinhadores de correia nas esteiras de lona	Corrigir desalinhamentos nas esteiras para evitar pontos de fricção e demais danos	Esteiras	Gestão GVAP	Entressafra 25'26	Avaliar alinhadores no mercado e viabilidade, e instalar	Avaliar
08	Criação de tela no PI Vision para contabilizar falhas nos motores	Ter uma visão ampla de quantas falhas ocorrem e com qual frequência	PI Vision	Elétrica/Instrumentação e Gestão GVAP	out/24	Criação das tags de falha e montagem da tela	-
09	Instalação de tubulação com sprinklers nas esteiras	Combater incêndios nas esteiras de maneira mais rápida	Esteiras	Gestão GVAP e Equipe de SSMA	Entressafra 25'26	Solicitação de CAPEX, elaboração do projeto junto a time de SSMA e corporativo, aquisição de materiais e	Avaliar

Fonte: Autor.

### **3.5.1 Análise termográfica das esteiras e componentes**

A análise termográfica das esteiras e seus componentes foi proposta como uma medida preventiva para detectar pontos de aquecimento anormal nos componentes mecânicos, contribuindo diretamente para a mitigação de riscos de falhas e princípios de incêndio. Essa solução se justifica pela sua capacidade de identificar precocemente falhas relacionadas a atrito excessivo, má lubrificação, desalinhamentos ou sobrecarga térmica. Além de já ser uma técnica conhecida e aplicada no contexto da manutenção preditiva industrial, a termografia tem se mostrado eficaz quando integrada com outras práticas, como a análise de vibração e o mapeamento de histórico de falhas, ampliando a assertividade das intervenções (Cardoso, 2020).

A proposta inclui etapas como a definição das rotas de inspeção térmica (a serem detalhadas por esteira ou de forma consolidada por área), inclusão dessas rotas no sistema SAP (*Systemanalyse Programmentwicklung*), mapeamento dos equipamentos que necessitam de análise e, se necessário, aquisição de equipamentos específicos como câmeras termográficas.

### **3.5.2 Alterações na rotina de inspeção das esteiras**

Durante a aplicação do FMEA, foi constatada uma ineficiência na atual rotina diária de inspeção realizada pelos operadores, já que grande parte dos modos de falha identificados possuem essa rotina como medida de detecção. Apesar da existência de um Procedimento Operacional Padrão (POP) para essas inspeções, observou-se que ele não contempla ações suficientemente proativas e não garante a padronização necessária entre os diferentes turnos e profissionais.

Para corrigir essas deficiências, foi proposta uma reformulação da rotina de inspeção, com foco na sistematização e no aumento da eficácia do processo. O primeiro passo consiste na definição dos pontos críticos a serem monitorados, como áreas com risco de fricção, acúmulo de temperatura ou vazamentos. Também foi proposta a padronização da medição de temperatura com termômetros infravermelhos, com marcação dos pontos de leitura nos componentes. Após essas etapas, será elaborada uma nova versão do checklist de inspeção, incorporando essas melhorias e ações proativas, como a limpeza imediata. Por fim, será realizada

a atualização do POP e o treinamento da equipe operacional para garantir a correta aplicação da nova rotina.

Essas mudanças visam não apenas detectar falhas com maior antecedência, mas também fortalecer a cultura de “ver e agir” dentro da operação, promovendo a confiabilidade e a integridade dos ativos.

### **3.5.3 Melhorias na instrumentação**

Com o objetivo de aumentar a confiabilidade e a capacidade de diagnóstico precoce das falhas nos sistemas de transporte de bagaço, foram propostas melhorias significativas na instrumentação das esteiras. A proposta contempla a instalação de três tipos distintos de sensores, cada um com papel fundamental na detecção de falhas específicas, que muitas vezes só são percebidas tardiamente no contexto operacional atual.

A primeira ação envolve a instalação de sensores de subvelocidade nos eixos de acionamento das esteiras. Esses sensores têm a função de identificar variações inesperadas na rotação do eixo, que podem indicar falhas no acionamento, como escorregamento de correia, falha de acoplamento ou até problemas no redutor. Com esse monitoramento contínuo, é possível detectar uma parada iminente mesmo que o motor continue ligado e ativar os intertravamentos relacionados, reduzindo o tempo de resposta e evitando o acúmulo de bagaço ou sobrecarga do sistema.

Em complemento, foi proposta a instalação de sensores de embuchamento nos dutos de transferência entre as esteiras. Esses pontos são críticos, pois o acúmulo de bagaço nesses dutos pode interromper o fluxo do material e causar paradas inesperadas. Os sensores irão atuar como elementos de alarme, permitindo que a operação intervenha antes que a obstrução gere uma falha sistêmica.

Por fim, propõe-se também a instalação de sensores de vibração nos motores das esteiras. Esse tipo de sensor é amplamente utilizado na manutenção preditiva e permite identificar falhas mecânicas como rolamentos danificados, desalinhamento de eixo, desbalanceamento ou fixação inadequada. Ao identificar essas condições com antecedência, é possível planejar intervenções mais seguras e econômicas, reduzindo o risco de falha repentina e prolongando a vida útil dos componentes.

A adoção de sensores de subvelocidade, embuchamento e vibração nas esteiras transportadoras representa um avanço significativo na automação e na

manutenção preditiva dos sistemas industriais. Sensores de subvelocidade são essenciais para detectar variações inesperadas na velocidade das correias transportadoras, indicando possíveis falhas mecânicas ou sobrecargas, permitindo ações corretivas antes que ocorram paradas não programadas (Dal Poço; Souza, 2021). Sensores de embuchamento, por sua vez, monitoram o fluxo de material, identificando obstruções nos dutos de transferência, o que é crucial para evitar acúmulos que podem levar a falhas operacionais (Alves, 2023). Já os sensores de vibração são amplamente utilizados na manutenção preditiva, permitindo o monitoramento contínuo da saúde dos motores e a detecção precoce de falhas mecânicas, como desalinhamentos ou desgaste de rolamentos (Galli, 2017; Silva *et al.*, 2023). A implementação desses sensores contribui para a redução de paradas não programadas, aumento da vida útil dos equipamentos e melhoria na eficiência operacional da unidade.

#### **3.5.4 Verificação da linha de ar da unidade**

A linha de ar comprimido da unidade é responsável por alimentar diversos atuadores pneumáticos utilizados em pontos críticos do processo, como o sistema do dosador “bico de pato” e válvulas de controle. Esse sistema é composto por dois compressores – um em operação e outro reserva – além de filtros de ar e purgadores de umidade. Apesar da sua importância para o funcionamento seguro e eficiente da planta, foram identificados problemas recorrentes relacionados à presença de umidade excessiva na linha, fator que compromete o desempenho dos atuadores e pode causar falhas operacionais.

Além disso, também foram identificados problemas atribuídos à presença de vazamentos, fissuras ou pequenos furos, cuja detecção é dificultada pela extensão da linha e pela complexidade do layout da unidade. Por essa razão, a identificação e correção desses pontos exige uma checagem minuciosa, que demanda tempo e idealmente deve ser realizada durante o período de entressafra, quando há maior disponibilidade para intervenções estruturais.

A manutenção preventiva da linha de ar comprimido é fundamental para garantir a eficiência e a confiabilidade dos sistemas pneumáticos utilizados na indústria. A presença de umidade na rede pode causar corrosão interna, obstrução de componentes e falhas nos atuadores, comprometendo o desempenho operacional e

elevando os custos de manutenção. Vazamentos, por sua vez, são responsáveis por perdas energéticas significativas, podendo representar até 30% do consumo total de ar comprimido em uma planta industrial, segundo a VCP Automação (2023). Práticas como a substituição periódica de filtros, inspeções regulares e a realização de intervenções durante períodos de baixa demanda — como a entressafra — são amplamente recomendadas como parte de uma estratégia de confiabilidade operacional. A aplicação dessas medidas contribui para a integridade do sistema, reduz o consumo energético e prolonga a vida útil dos equipamentos pneumáticos.

### **3.5.5 Instalação de alinhadores nas esteiras de lona**

A aplicação do FMEA trouxe à tona uma alta incidência de falhas associadas ao desalinhamento das correias transportadoras observadas na unidade. O desalinhamento recorrente pode causar desgaste prematuro da correia, danos às estruturas laterais, acúmulo de material nos roletes e, em casos extremos, provocar paradas não programadas do sistema. Para mitigar esses problemas, propõe-se a instalação de alinhadores automáticos nas esteiras da unidade.

Os alinhadores automáticos oferecem uma solução preventiva, capaz de minimizar intervenções manuais e promover a estabilidade operacional das esteiras. Eles proporcionam ajustes contínuos nas correias transportadoras, mantendo-as centralizadas mesmo sob condições adversas. Um exemplo disponível comercialmente é o alinhador *Tracker* (Figura 18). Seu mecanismo detecta e corrige desvios na trajetória da correia a partir da movimentação da mesma no rolete, reduzindo o desgaste das bordas, prevenindo perdas de matéria e estendendo a vida útil da correia. Além disso, o sistema possui um modelo projetado para correias mais amplas e grossas, com alta velocidade, o que atende às necessidades da unidade. (*Martin Engineering*, acesso em 2024).

Figura 18 - Alinhador Tracker



Fonte: Martin Engineering (acesso em 2024).

A instalação desses alinhadores não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para a segurança do ambiente de trabalho, reduzindo a necessidade de intervenções manuais frequentes para correção de desalinhamentos. Com a adoção do *Tracker*, espera-se uma redução nas paradas não programadas e nos custos associados à manutenção corretiva, promovendo uma operação mais estável e confiável das esteiras transportadoras.

### 3.5.6 Criação de tela no PI Vision para contabilizar falhas nos motores

O PI Vision é uma ferramenta de visualização e construção de telas de monitoramento de processo em tempo real, desenvolvida para atender demandas de análise operacional nas indústrias. A plataforma permite a criação de telas personalizadas e fornece acesso seguro e estruturado a dados de ativos e processos, viabilizando uma análise rápida de eventos, falhas e tendências. Também é possível configurar alarmes visuais, realizar comparações entre períodos e eventos operacionais, e compartilhar displays com diferentes níveis de permissão, promovendo colaboração e agilidade na tomada de decisão (Aveva, 2024). O PI Vision já é uma ferramenta consolidada em todas as unidades da companhia e bem aceita por operadores e gestores. A aquisição de dados é feita a partir de integrações com o sistema SAP (para dados de análises laboratoriais e indicadores de fechamento diário) e com os sistemas dos supervisórios (para dados de instrumentação gerais).

A criação de uma tela de monitoramento no PI Vision foi proposta com o objetivo de contabilizar e tornar visíveis as falhas recorrentes em motores das esteiras da geração de vapor. A iniciativa surgiu da necessidade de registrar eventos que, embora impactassem diretamente a operação, não eram formalmente documentados. Em muitos casos, os próprios operadores ou a equipe de manutenção elétrica realizavam o religamento dos equipamentos diretamente pelo sistema supervisório ou manualmente, sem a abertura de notas de manutenção no sistema de gestão. Essa ausência de rastreabilidade dificultava a identificação de falhas crônicas e o planejamento de ações corretivas mais estruturadas. A proposta consistiu na criação de uma tela que apresentasse, em tempo real, o status dos motores e contabilizasse a quantidade de falhas por períodos, contribuindo para a análise de tendência e para a tomada de decisão baseada em dados.

### **3.5.7 Instalação de tubulação com *sprinklers* nas esteiras**

Uma das medidas mais relevantes no âmbito da segurança industrial propostas neste trabalho é a instalação de um sistema fixo de combate a incêndio por meio de *sprinklers* nas esteiras da unidade. A iniciativa visa mitigar os riscos associados à ignição acidental do bagaço de cana, um material altamente inflamável que, em contato com partes aquecidas ou em caso de atrito excessivo, pode gerar focos de incêndio com potencial de se alastrar rapidamente por toda a correia transportadora e pelo depósito de bagaço.

A proposta de sistema é inspirada em uma solução já implementada com sucesso em outra unidade da mesma empresa, conforme mostrado na Figura 19. Trata-se de um sistema composto por tubulações pressurizadas com *sprinklers* instalados ao longo da esteira, sendo uma linha na parte superior e outra na parte inferior, garantindo a cobertura de toda a lona.

Figura 19 - Sistema de tubulações com *sprinklers* em esteiras transportadoras



Fonte: Autor.

O acionamento pode ocorrer de forma manual, remota ou automatizada, a depender do projeto técnico a ser desenvolvido. Esse projeto será elaborado pelo time corporativo da empresa, em conjunto com a equipe interna de SSMA (Segurança, Saúde e Meio Ambiente) e a gestão da geração de vapor, que participarão da definição dos critérios técnicos e requisitos de segurança. A implantação do sistema visa atender às boas práticas de segurança industrial, protegendo não apenas os ativos físicos da empresa, mas também os operadores envolvidos na rotina de produção.

A adoção de sistemas fixos de combate a incêndio como esse está alinhada às recomendações de órgãos reguladores e normas técnicas para ambientes com risco de combustão de materiais fibrosos ou inflamáveis, sendo considerada uma medida essencial de proteção passiva. De acordo com o Instituto Sprinkler Brasil, a norma ABNT NBR 14608 estabelece os requisitos para a proteção de transportadores de correia, considerando os riscos associados não apenas ao material transportado, mas também à própria correia, que, sendo composta por elastômeros de borracha, pode ser altamente combustível quando exposta a temperaturas elevadas. A instalação de *sprinklers* ao longo das esteiras transportadoras, incluindo a parte

inferior da correia, permite a atuação rápida em casos de superaquecimento ou ignição acidental, mitigando riscos de incêndio e protegendo tanto os ativos físicos quanto a segurança dos operadores envolvidos na produção.

## 4 RESULTADOS

A presente seção apresenta os principais resultados obtidos a partir da aplicação da ferramenta FMEA nas esteiras transportadoras. Inicialmente, são expostos os valores do RPN calculados para os modos de falha identificados, permitindo a priorização das ocorrências mais críticas. Em seguida, são detalhadas as ações corretivas e preventivas efetivamente implementadas. Por fim, são discutidos os impactos observados nas ordens de manutenção, com destaque para as mudanças no número de falhas registradas e no tempo médio entre falhas, do inglês *mean time between failures* (MTBF), fornecendo indícios quantitativos da efetividade das medidas adotadas.

### 4.1 CÁLCULO DE RPN

A primeira etapa dos resultados deste trabalho diz respeito à aplicação prática da metodologia FMEA, conforme definida na seção de metodologia. A partir da atribuição dos índices de severidade, ocorrência e detecção aos modos de falha identificados para cada esteira, foi possível calcular o RPN, obtido por meio da multiplicação desses três fatores. Esse indicador permitiu a priorização objetiva dos modos de falha mais críticos, orientando a definição das ações corretivas, preventivas e de controle propostas posteriormente. Nas tabelas x, y e z, são apresentados os 10 modos de falha com maior RPN de cada uma das esteiras analisadas, com o objetivo de destacar os pontos com maior criticidade dentro do sistema de transporte de bagaço. As análises de FMEA completas para cada componente das esteiras estão dispostas no apêndice A.

Tabela 5 - Modos de falha com maior RPN para a Esteira de Lona 1

Equipamento	Componente	Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Esteira de Lona 1	Correia	Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com estrutura	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Esteira de Lona 1	Roletes	Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Travamento do rolamento	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Esteira de Lona 1	Correia	Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com roletes travados	POP Inspeção visual		10	6	7	420
Esteira de Lona 1	Roletes	Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Acúmulo de bagaço	POP Inspeção visual		10	8	5	400
Esteira de Lona 1	Redutor	Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		7	6	9	378
Esteira de Lona 1	Motor	Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de umidade/ temperatura no motor			7	7	7	343
Esteira de Lona 1	Correia	Superaquecimento	Princípios de incêndio	Alta temperatura ambiente	POP Inspeção visual		10	6	5	300
Esteira de Lona 1	Motor	Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Alta temperatura do motor			7	6	7	294
Esteira de Lona 1	Duto de transferência	Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Esteiras patinando, sem parada do motor	POP Inspeção visual		7	5	8	280
Esteira de Lona 1	Motor	Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		5	9	6	270

Fonte: Autor.

Tabela 6 - Modos de falha com maior RPN para a Esteira de Lona 2

Equipamento	Componente	Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Esteira de Lona 2	Correia	Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com estrutura	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Esteira de Lona 2	Roletes	Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Travamento do rolamento	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Esteira de Lona 2	Correia	Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com roletes travados	POP Inspeção visual		10	6	7	420
Esteira de Lona 2	Roletes	Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Acúmulo de bagaço	POP Inspeção visual		10	8	5	400
Esteira de Lona 2	Redutor	Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		7	6	9	378
Esteira de Lona 2	Motor	Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de umidade/ temperatura no motor			7	7	7	343
Esteira de Lona 2	Correia	Superaquecimento	Princípios de incêndio	Alta temperatura ambiente	POP Inspeção visual		10	6	5	300
Esteira de Lona 2	Motor	Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Alta temperatura do motor			7	6	7	294
Esteira de Lona 2	Duto de transferência	Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Esteiras patinando, sem parada do motor	POP Inspeção visual		7	5	8	280
Esteira de Lona 2	Motor	Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		5	9	6	270

Fonte: Autor.

Tabela 7 - Modos de falha com maior RPN para a Esteira de Retorno

Equipamento	Componente	Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Esteira de retorno	Redutor	Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		7	6	9	378
Esteira de retorno	Motor	Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de umidade/ temperatura no motor			7	7	7	343
Esteira de retorno	Motor	Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Alta temperatura do motor			7	6	7	294
Esteira de retorno	Duto de transferência	Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Esteiras patinando, sem parada do motor	POP Inspeção visual		7	5	8	280
Esteira de retorno	Motor	Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		5	9	6	270
Esteira de retorno	Redutor	Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		8	4	8	256
Esteira de retorno	Motor	Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de sujeira			7	6	5	210
Esteira de retorno	Redutor	Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra de eixos	POP Inspeção visual		8	4	6	192
Esteira de retorno	Motor	Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Obstrução da ventilação do motor			5	6	6	180
Esteira de retorno	Estrutura metálica	Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Vibração excessiva	Rota preditiva vibração		8	5	4	160

Fonte: Autor.

## 4.2 APLICAÇÃO DAS PROPOSTAS

Embora este trabalho tenha resultado em diversas propostas de melhoria para o sistema de transporte de bagaço da unidade, nem todas as ações puderam ser implementadas até o momento. Isso se deve a fatores operacionais e administrativos relacionados, principalmente, à disponibilidade orçamentária e ao cronograma de planejamento da entressafra. A instalação dos alinhadores nas esteiras de lona e do sistema de *sprinklers* nas esteiras não foi realizada, pois ambas as iniciativas dependem da solicitação e aprovação de investimentos junto ao setor corporativo da companhia. Cabe destacar que as solicitações de recursos para investimentos de entressafra são feitas ainda durante a safra anterior, e grande parte do desenvolvimento e aplicação deste trabalho ocorreu após esse período, o que inviabilizou a inclusão dessas propostas no ciclo vigente de investimentos.

As propostas de instalação dos sensores de embuchamento nos dutos de transferência e de sensores de vibração nos motores também não foram executadas. Durante a entressafra, a equipe de instrumentação teve como prioridade a manutenção de sensores já existentes na planta, dado o tempo reduzido disponível para intervenções – consequência de uma safra anterior prolongada devido a fatores climáticos. Além disso, a gestão da unidade optou por redirecionar a verba inicialmente prevista para melhorias em instrumentação para ações corretivas voltadas à operação durante a safra, priorizando assim a continuidade do processo produtivo. Dentre as soluções instrumentais previstas, apenas a instalação dos sensores de subvelocidade nas esteiras foi efetivamente realizada nas três esteiras, conforme sugerido. A instalação dos demais sensores permanecem em avaliação para inclusão no planejamento de investimentos da próxima entressafra.

As demais soluções propostas, com exceção daquelas já justificadas anteriormente, foram implementadas e encontram-se em funcionamento na unidade.

### 4.2.1 Rotina de análise termográfica nas esteiras

A proposta de análise termográfica foi totalmente aplicada na unidade. Foram mapeados os principais pontos das esteiras com potencial de superaquecimento, e as rotas de inspeção foram estabelecidas com base nesses levantamentos. As áreas de Geração de Vapor e PPCM foram envolvidas no planejamento das rotas, de modo a

garantir a integração com o planejamento da safra. As análises térmicas passaram a ser realizadas regularmente pela equipe de manutenção preditiva, utilizando os recursos já disponíveis na unidade. As rotas foram integradas ao sistema SAP, permitindo o registro e rastreamento das inspeções realizadas.

Além disso, os técnicos responsáveis passaram por treinamento interno, assegurando que os resultados das medições e a interpretação dos dados sejam efetivamente incorporados às rotinas preditivas já existentes e ao planejamento de manutenção como um todo. A ação contribuiu para ampliar a sensibilidade da equipe quanto aos riscos térmicos e já vem sendo utilizada como ferramenta de apoio para tomadas de decisão em paradas e intervenções corretivas.

#### **4.2.2 Atualização da rotina de inspeções diária**

A nova rotina de inspeção visual das esteiras, conforme proposta na metodologia, foi implementada ainda durante a safra, sendo a primeira proposta a ser aplicada. A seguir, são descritos os principais ajustes realizados e os recursos incorporados à rotina, com foco em melhorar a eficiência e a padronização das inspeções executadas pela equipe operacional.

A primeira etapa foi a definição de pontos críticos de inspeção, como pontos de possível fricção nas esteiras, equipamentos com risco de aumento de temperatura, e regiões sujeitas a acúmulo de bagaço. Uma vez definidos esses pontos, foram elaboradas ações proativas a serem realizadas durante a realização da inspeção, como a limpeza com sopradores. Para facilitar essa prática, foi também sugerida a aquisição de bandoleiras específicas, permitindo que os operadores transportem os sopradores de forma prática e segura, com as mãos livres.

Outra ação importante foi a padronização da medição de temperatura com o uso de termômetros infravermelhos, conhecidos como “*hitech*”. Os pontos exatos de medição (como mancais, roletes e extremidades laterais das esteiras) foram definidos e sinalizados nos componentes, garantindo a repetibilidade e a confiabilidade dos dados coletados. Isso também está em acordo com a utilização de indicadores visuais de monitoramento, ação comumente sugerida nos programas de melhoria contínua da empresa.

Após a definição dos pontos de inspeção e da aquisição dos materiais de apoio, foi elaborado um checklist de inspeção, de modo a padronizar e formalizar a

coleta de dados, que nem sempre eram registrados. Foi feita também a atualização formal do POP de inspeção de esteiras, assegurando que todas as práticas estejam documentadas e difundidas entre os colaboradores. A última etapa foi o treinamento da equipe operacional para garantir o correto entendimento e aplicação da nova rotina.

#### **4.2.3 Verificação e manutenção do sistema de ar comprimido**

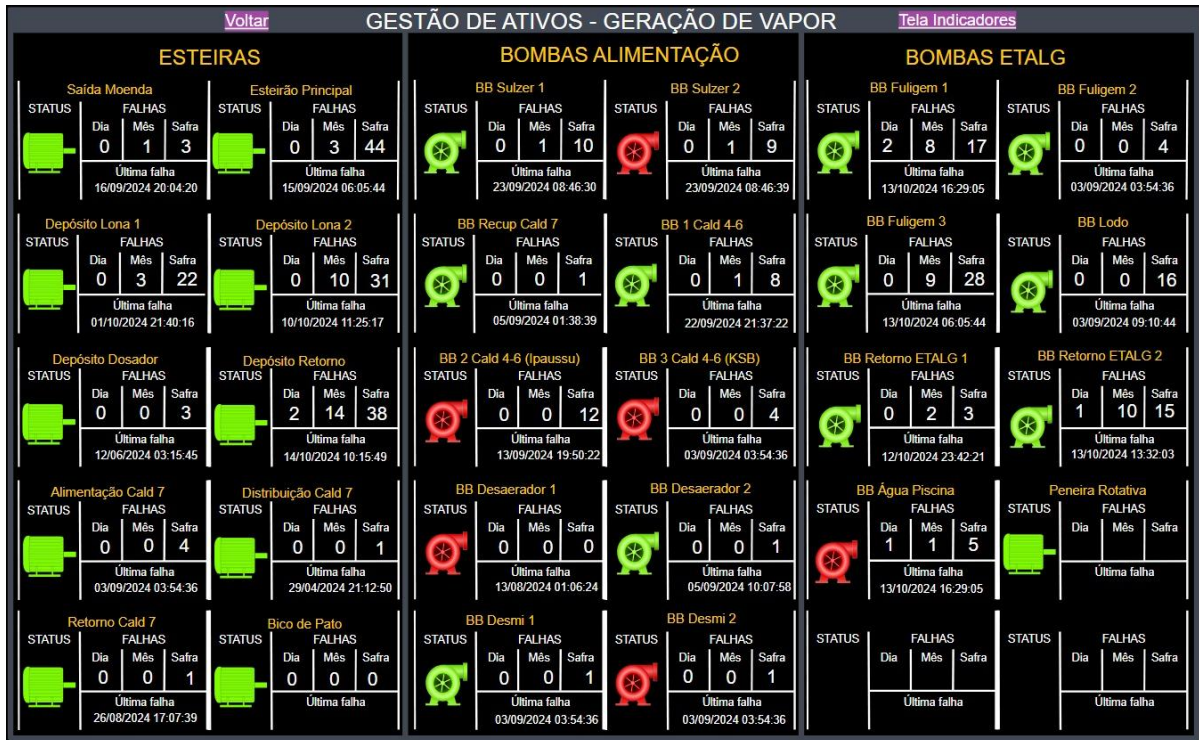
Durante a entressafra, a verificação da linha de ar comprimido foi realizada conforme o planejamento definido na etapa metodológica. A inspeção incluiu todo o trajeto da tubulação, com a identificação e correção de vazamentos e pontos críticos de acúmulo de umidade. Os filtros de ar antigos foram substituídos por novos elementos, e uma rotina de limpeza preventiva foi formalizada junto aos times do PPCM e da Instrumentação.

A adoção dessas medidas já contribuiu para a melhoria do desempenho dos atuadores pneumáticos, especialmente nos sistemas críticos como o dosador “bico de pato”, que não apresentou nenhuma necessidade de intervenção até o momento na safra vigente.

#### **4.2.4 Tela de Gestão de Ativos no PI Vision**

Uma das ações de maior impacto visual e prático desenvolvidas como resultado da análise FMEA foi a criação de uma tela dedicada no sistema PI Vision (Figura 20), com o objetivo de contabilizar e monitorar as falhas nos motores e motobombas do setor de geração de vapor. A tela desenvolvida apresenta, de forma clara e padronizada, o status atual de cada equipamento (verde para funcionamento, vermelho para parada e amarelo para falha), além da quantidade de falhas acumuladas por dia, mês e safra. Também é exibido o registro do horário da última falha, o que permite identificar padrões operacionais e antecipar possíveis falhas crônicas. Essa visibilidade facilita o diagnóstico técnico e auxilia no planejamento de ações preventivas mais eficazes, como inspeções direcionadas ou substituições programadas.

Figura 20 - Tela de Gestão de Ativos no PI Vision



Fonte: Autor.

Embora o estudo tenha como foco três esteiras do setor, a aplicação da solução foi ampliada para incluir todo o sistema de transporte de bagaço e também as principais bombas do sistema, promovendo uma abordagem mais abrangente e integrada de monitoramento. Essa padronização das informações operacionais em tempo real possibilita maior assertividade na tomada de decisão e fortalece a comunicação entre as áreas de operação e manutenção. O uso do PI Vision, por ser uma ferramenta de fácil visualização e já consolidada na unidade, garantiu a rápida aceitação da solução pelas equipes envolvidas.

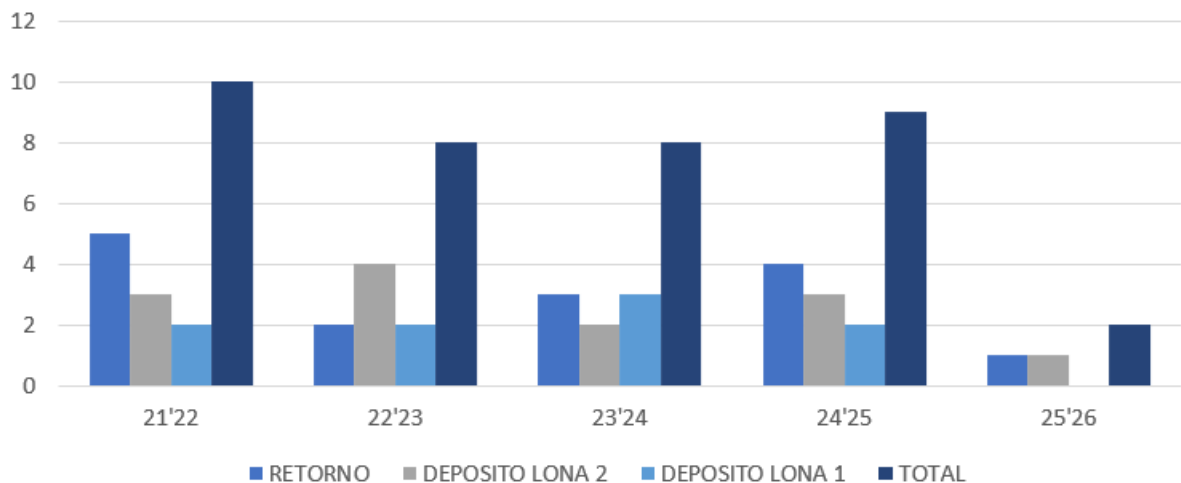
#### 4.3 IMPACTO NAS ORDENS DE MANUTENÇÃO

Apesar da recente aplicação das ações, realizadas entre o final da safra e a entressafra subsequente, já é possível observar os primeiros indicadores de desempenho relacionados à sua eficácia. No entanto, é importante destacar que o intervalo considerado para esta análise ainda é limitado: até o momento da análise dos dados, transcorreram apenas dois meses de safra, o que representa um período significativamente mais curto quando comparado à base de dados utilizada na escolha

dos equipamentos e subsistemas críticos, que compreendeu as três safras anteriores completas.

Para tornar a análise mais condizente com o período de aplicação das soluções, optou-se por concentrar a avaliação nos primeiros 60 dias da safra atual, que correspondem ao intervalo decorrido desde a implementação das ações até o momento da análise. Dessa forma, foram levantadas a quantidade de ordens de manutenção abertas nesse período para cada uma das esteiras analisadas. Esses dados foram comparados aos números registrados no mesmo intervalo (primeiros 60 dias) das quatro safras anteriores. Essa abordagem permite uma comparação proporcional mais fiel, considerando o mesmo recorte de tempo em diferentes ciclos operacionais, o que minimiza distorções associadas à duração total da safra ou a fatores sazonais externos. Ainda que a análise não reflita o desempenho total das soluções ao longo de toda a safra, ela fornece indícios iniciais relevantes sobre os efeitos das melhorias implementadas. A Figura 21 mostra o comparativo.

Figura 21 - Ordens de Manutenção registradas nos primeiros 60 dias de safra

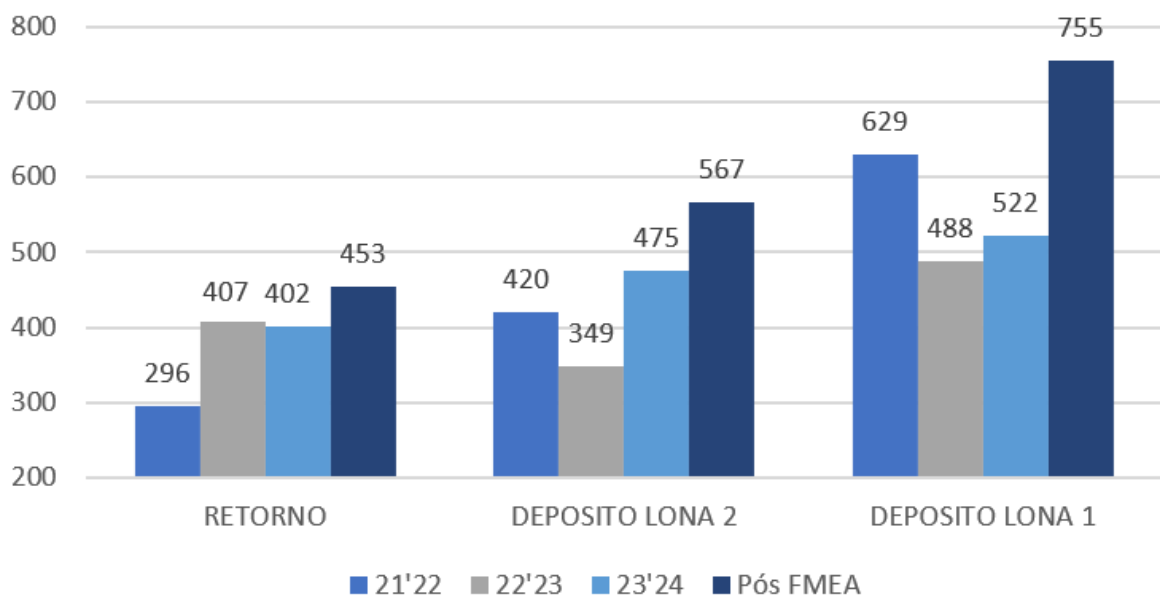


Fonte: Autor.

Como complemento à análise da quantidade de ordens de manutenção, foi realizado um comparativo do MTBF das esteiras, visando mensurar o impacto das melhorias implementadas na frequência das falhas. Para isso, foram considerados dois períodos distintos: o primeiro abrange as três safras completas anteriores às ações (21'22, 22'23 e 23'24), enquanto o segundo compreende os três últimos meses da safra 24'25 e os dois primeiros meses da safra 25'26 — intervalo que corresponde

ao período posterior ao início da aplicação das soluções propostas no FMEA. O cálculo do MTBF foi realizado com base nos registros de ordens de manutenção e funcionamento das esteiras, disponíveis no sistema de gestão da manutenção, permitindo avaliar se houve aumento no tempo médio entre falhas e, conseqüentemente, um indicativo de maior confiabilidade operacional das esteiras após a adoção das medidas corretivas e preventivas. A Figura 22 mostra o comparativo entre o MTBF das esteiras nos períodos descritos.

Figura 22 - Comparativo entre o MTBF das esteiras antes e depois do FMEA



Fonte: Autor.

Mesmo com o tempo reduzido de análise, os dados dos primeiros 60 dias da safra 25'26 indicam uma redução expressiva nas ordens de manutenção registradas nas esteiras analisadas. Comparando com o mesmo período das safras anteriores, observa-se uma queda significativa: de um patamar entre 8 e 10 ordens por safra, o número caiu para apenas 2 nesta safra, uma redução de 77%. Em relação ao MTBF, observa-se um aumento considerável em todas as esteiras. A esteira de retorno passou de valores que variaram entre 296 e 407 horas, para 453, um aumento de 19% em relação à média dos anos anteriores. A esteira de lona 2 saltou de uma faixa entre 349 e 475 horas para 567 horas, o que representa um aumento de 27%. Já a esteira de lona 1, que já apresentava os maiores tempos médios entre falhas, registrou o

maior ganho relativo: de 505 horas (média nos dois últimos anos) para 755 horas, um aumento de 28%.

Esse resultado preliminar sugere que as melhorias implementadas contribuíram de forma efetiva para o aumento da confiabilidade dos equipamentos, reforçando o potencial da metodologia aplicada como ferramenta de prevenção de falhas.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo aplicar a metodologia FMEA, integrada a conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), em um conjunto de esteiras transportadoras de bagaço de uma unidade sucroalcooleira. A escolha do sistema analisado foi embasada em critérios históricos de falhas e ordens de manutenção, bem como pela relevância estratégica do transporte de bagaço para o funcionamento contínuo do setor de geração de vapor da planta industrial.

A análise possibilitou a identificação estruturada dos principais modos de falha e de suas causas raízes, considerando tanto o histórico técnico da unidade quanto o conhecimento empírico de colaboradores com longa vivência no processo. A partir dessa etapa, foram propostas soluções distribuídas entre melhorias administrativas, estruturais e de instrumentação, todas voltadas à redução de falhas, aumento da disponibilidade dos ativos e fortalecimento da capacidade de prevenção.

Apesar das limitações impostas pelo ciclo orçamentário da empresa e pela curta duração da entressafra, parte significativa das ações foi aplicada e já apresentou indicadores iniciais de efetividade. Algumas propostas que não foram executadas — por exigirem aprovação de investimento ou por dependerem de recursos priorizados para outras frentes — permanecem em avaliação para implementação futura, a partir do novo ciclo de planejamento.

A abordagem adotada demonstrou ser viável, prática e adaptável à realidade da unidade, sobretudo por integrar ferramentas consolidadas de confiabilidade, como o FMEA e o 5W2H, com o conhecimento técnico da equipe de operação e manutenção. A metodologia utilizada proporcionou ganhos não apenas técnicos, mas também organizacionais, ao promover o alinhamento entre diferentes áreas da empresa, como planejamento, manutenção e operação.

Além dos efeitos técnicos e operacionais, observou-se também uma mudança sutil, porém relevante, na forma como operadores e gestores passaram a perceber e discutir as falhas. Especialmente entre aqueles que participaram ativamente da aplicação do FMEA, foi notado um amadurecimento na análise dos eventos de manutenção, com maior atenção aos fatores de severidade, ocorrência e detecção. Esse efeito, ainda que qualitativo, aponta para um fortalecimento da cultura de confiabilidade na unidade, demonstrando que a metodologia contribuiu também para o desenvolvimento da mentalidade analítica entre os envolvidos.

Dada a simplicidade, objetividade e flexibilidade do FMEA, recomenda-se a aplicação dessa abordagem também em outros sistemas críticos da unidade, como o preparo de cana, o tratamento do caldo e a área de bombeamento de vinhaça. Tal expansão poderia promover maior sinergia entre as áreas e padronizar a forma como falhas são analisadas e tratadas na planta, contribuindo para uma cultura organizacional mais voltada à confiabilidade e à prevenção de falhas.

Como sugestão para trabalhos futuros, destaca-se a importância de reavaliar o FMEA após a implementação das soluções propostas, com o objetivo de verificar se houve efetiva redução dos RPNs dos modos de falha identificados inicialmente. Essa reanálise permitiria validar as ações implementadas, identificar pontos de melhoria e promover um ciclo contínuo de aperfeiçoamento da manutenção na unidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. Z. **Manutenção centrada na confiabilidade: uma pesquisa-ação com aplicação da metodologia FMEA**. 2023. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.

AVEVA. **Datasheet AVEVA PI Vision**. [S. l.]: Aveva, 2024. 7 p. Disponível em: <[https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet\\_AVEVA\\_PIVision\\_24-01.pdf](https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet_AVEVA_PIVision_24-01.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2025.

BIEHL, N. C.; SELBITTO, M. A. TPM e manutenção autônoma: estudo de caso em uma empresa da indústria metal-mecânica. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 1123–1147, 2015. DOI: 10.14488/1676-1901.v15i4.1632. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1632>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BLOCH, H. P.; GEITNER, F. K. **Machinery failure analysis and troubleshooting**. Houston: Gulf Publishing Company, 1997, 677 p. v. 2.

CARDOSO, K. A. D. **Manutenção preditiva - análise de vibração e análise termográfica alinhadas na redução de quebras e custos em uma indústria**. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

COUGHLAN, P; COUGHLAN D. Action Research. Action research for operations management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DAL POÇO, L.; SOUZA, V. S. **Análise dos tipos de sensores utilizados na automação de esteiras transportadoras**. 2021. 21 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Faculdade de Tecnologia Dep. Julio Julinho Marcondes de Moura, Garça, 2021.

DAVIS, M.; DIZON, F. F.; ROCHA, L. B.; SGARBI, F. Pathways for Brazil to sustainably transform its sugar industry. **Agriculture & Food Blog, World Bank**, 6 dez. 2023. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/en/agfood/pathways-brazil-sustainably-transform-its-sugar-industry> . Acesso em: 25 mai. 2025.

GALLI, V. B. **Manutenção preditiva por análise de vibração mecânica em máquinas rotativas: estudo de caso**. 2017. 96 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

INSTITUTO SPRINKLER BRASIL. Prevenção de incêndios em transportadores de correia industriais exige atenção das empresas, alerta especialista. **Instituto Sprinkler Brasil**, 28 fev. 2025. Disponível em: <<https://sprinklerbrasil.org.br/imprensa/prevencao-de-incendios-em-transportadores-de-correia-industriais-exige-atencao-das-empresas-alerta-especialista/>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001, 341 p.

KUENZER, A. Z.; ABREU, C. B. M.; GOMES, C. M. A. A articulação entre conhecimento tácito e inovação tecnológica: a função mediadora da educação. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 36, p. 462–473, set./dez. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbedu/a/TqmVydfHQysQwyF9ZbDKBzg/?lang=pt>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001. 388 p.

LIMA, R. S. **TPM: Total Productive Maintenance: curso de formação de multiplicadores**. Belo Horizonte: Advanced Consulting and Training, 2000. 218 p.

MARIM, E. **Implantação da metodologia RCM na manutenção preventiva de máquinas gergalo**. 2013. 77 f. Relatório (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

MARTIN ENGINEERING. Tracker – Alinhador de correia transportadora. **Martin Engineering Brasil**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.martin-eng.com.br/content/product/3698/tracker>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade**. São Paulo: Aladon LTDS, 2000, 426 p.

NAKAGAWA, M. **Planejamento e controle com o 5W2H: o que é, como funciona e como usar**. Disponível em: <https://blog.frstfalconi.com/5w2h>. Acesso em: 10 maio 2025.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação**. Rio de Janeiro: Campus, 1997, 358p.

O'CONNOR, P. D. T. **Practical reliability engineering**. 5ª. ed. New York: John Wiley and Sons, 2012. 505 p.

PATTON, J. D. **Maintainability and maintenance management**. 3ª ed. New York: Instrument Society of America, 1994, 452 p.

SAE INTERNATIONAL. **SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes**. Warrendale, 1999. 12 p.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SILVA, I. S. da; LIMA, L. G. de; GOMES, J. A. Aplicação da ferramenta 5W2H como metodologia de gestão no planejamento de ações estratégicas. **Revista Espacios**, v. 37, n. 20, p. 19, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n20/16372019.html>. Acesso em: 10 mai. 2025.

SILVA, J. A.; MARQUES, M.; PAIVA, G.; FERREIRA, F. L. T. Ferramentas da qualidade aplicadas à manutenção industrial. **Revista FT**, v. 29, n. 147, 2025. Disponível em: <https://revistaft.com.br/ferramentas-da-qualidade-aplicadas-a-manutencao-industrial/>. Acesso em: 28 jun. 2025.

SIQUEIRA, T. B. O. **Aplicação dos conceitos de engenharia de confiabilidade e da ferramenta FMEA em uma indústria de bebidas**. 2016. 65 p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2016.

TAVARES, L. A. **Excelência na manutenção: estratégias, otimização e gerenciamento**. Salvador: Casa da Qualidade Editora Ltda., 1996, 147p.

UNICA. 2024: a landmark year for ethanol and sugar production. **SugarCane.org**, 28 fev. 2025. Disponível em: <https://www.sugarcane.org/news/2024-a-landmark-year-for-ethanol-and-sugar-production/>. Acesso em: 25 mai. 2025.

VCP AUTOMAÇÃO. Detecção de vazamento de ar comprimido: guia completo. **VCP Automação**, 10 out. 2023. Disponível em: <https://www.vcpautomacao.com.br/blog/categorias/artigos/deteccao-de-vazamento-de-ar-comprimido-guia-completo>. Acesso em: 23 abr. 2025.

WERKEMA, Cristina. **Ferramentas da qualidade: no gerenciamento de processos**. 1ª ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995, 302p.

WYREBSKI, J. **Manutenção produtiva total: um modelo adaptado**. 1997. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de celulose e papel**. 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

## APÊNDICE A – TABELAS FMEA

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Correia					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Desgaste das extremidades	Acúmulo de bagaço no interno	Contato com a estrutura por desalinhamento	POP Inspeção visual		5	6	4	120
Desgaste das extremidades	Acúmulo de bagaço no interno	Desalinhamento	POP Inspeção visual		4	4	4	64
Rasgo na emenda	Perda de bagaço/dano a outros componentes	Tempo de cura baixo	POP Inspeção visual		4	2	7	56
Rasgo na emenda	Perda de bagaço/dano a outros componentes	Danos nos roletes	POP Inspeção visual		4	2	4	32
Rasgo na emenda	Perda de bagaço/dano a outros componentes	Má execução da emenda	POP Inspeção visual		3	2	5	30
Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com estrutura	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com roletes travados	POP Inspeção visual		10	6	7	420
Superaquecimento	Princípios de incêndio	Alta temperatura ambiente	POP Inspeção visual		10	6	5	300

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Duto de Transferência					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Esteiras patinando, sem parada do motor	POP Inspeção visual		7	5	8	280
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Rejeição de carga do gerador (desarme CPFL)	POP Inspeção visual		6	3	3	54
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Excesso de bagaço	POP Inspeção visual		6	2	4	48
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Falha no intertravamento das esteiras	POP Inspeção visual	Testes pré-partida	7	2	3	42

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Estrutura Metálica					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Colapso da estrutura	Parada total do carregamento de bagaço	Danos mecânicos por impacto			10	1	1	10
Colapso da estrutura	Parada total do carregamento de bagaço	Corrosão			10	1	1	10
Deformação na estrutura	Má condução do bagaço	Sobrecarga	Sensitiva mecânica		7	2	2	28
Deformação na estrutura	Má condução do bagaço	Danos mecânicos por impacto	Sensitiva mecânica		7	1	2	14
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Vibração excessiva	POP Inspeção visual		6	5	3	90
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Parafusos e porcas espanados			6	3	2	36
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Fixações soltas			5	2	2	20

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Motor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		5	9	6	270
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Obstrução da ventilação do motor			5	6	6	180
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Quebra da ventoinha	POP Inspeção visual		5	4	3	60
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de umidade/ temperatura no motor			7	7	7	343
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Alta temperatura do motor			7	6	7	294
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de sujeira			7	6	5	210
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de partidas			6	3	4	72
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Corrente muito acima do fator de serviço			6	4	1	24
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Queima do fusível do motor			4	5	3	60
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Curto circuito			4	3	5	60
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Isolamento dos contatos do contator			4	3	5	60
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Falha no comando elétrico			4	4	2	32
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Desgaste da tampa	Rota preditiva vibração		5	8	4	160
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Quebra da aleta	Rota preditiva vibração		5	4	4	80
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Desgaste do eixo	Rota preditiva vibração		5	5	3	75
Desequilíbrio da tensão do motor	Aquecimento do motor	Desequilíbrio na rede elétrica			5	4	3	60
Falha no freio motor	Perda de sincronismo	Desgaste da lona do freio			3	5	5	75
Falha no freio motor	Perda de sincronismo	Perda de tensionamento das molas			5	3	4	60
Queima do motor	Parada da esteira	Alta temperatura do motor			8	3	3	72
Queima do motor	Parada da esteira	Sobrecarga mecânica			8	3	3	72
Queima do motor	Parada da esteira	Aterramento ineficiente			7	2	1	14
Travamento do rotor	Parada da esteira	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		6	5	3	90
Travamento do rotor	Parada da esteira	Sobrecargas mecânicas pontuais			5	5	3	75
Travamento do rotor	Parada da esteira	Falta de fase			5	3	3	45
Travamento do rotor	Parada da esteira	Quebra do rolamento			6	5	1	30

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Raspas					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Falha na vedação	Acúmulo de bagaço na estrutura	Ajuste mal feito			1	3	3	9
Falha na vedação	Acúmulo de bagaço na estrutura	Material muito resistente			1	2	3	6

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Redutor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Utilização de óleo de lubrificação incorreto		Rota de lubrificação	5	2	4	40
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Lubrificação deficiente		Rota de lubrificação	5	2	3	30
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Vibração	Rota preditiva vibração		3	4	2	24
Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		7	6	9	378
Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra de eixos	POP Inspeção visual		8	4	6	192
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		8	4	8	256
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Contaminação do óleo lubrificante		Rota de lubrificação	8	3	5	120
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Quebra da engrenagem	POP Inspeção visual		8	2	4	64
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Má fixação	POP Inspeção visual		7	2	3	42
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Eixo empenado	POP Inspeção visual		4	4	5	80
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Selo mecânico danificado	POP Inspeção visual		5	3	5	75
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Utilização de óleo de lubrificação incorreto		Rota de lubrificação	5	2	3	30
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Folga no rolamento	Rota preditiva vibração		6	3	2	36
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Deslinhamento do eixo	Rota preditiva vibração		5	3	2	30
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Empenamento do eixo	Rota preditiva vibração		5	2	2	20

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Roletes					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Ângulação incorreta do suporte	Desalinhamento da lona	Sobrecarga	POP Inspeção visual		5	2	4	40
Ângulação incorreta do suporte	Desalinhamento	Erro de projeto			5	1	3	15
Quebra do corpo do rolete	Rasgos na lona	Impactos	POP Inspeção visual		6	3	4	72
Quebra do corpo do rolete	Rasgos na lona	Sobrecarga	POP Inspeção visual		5	2	4	40
Quebra do eixo	Perda de bagaço/desalinhamento	Travamento do rolamento	POP Inspeção visual		6	3	4	72
Quebra do eixo	Perda de bagaço/desalinhamento	Impactos			7	2	4	56
Quebra do eixo	Perda de bagaço/desalinhamento	Sobrecarga			4	2	5	40
Quebra do suporte	Desalinhamento da lona	Impactos			4	4	5	80
Quebra do suporte	Desalinhamento da lona	Sobrecarga			3	4	5	60
Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Travamento do rolamento	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Acúmulo de bagaço	POP Inspeção visual		10	8	5	400

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 1			Componente: Tambor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Quebra do corpo do tambor	Danos na lona	Sobrecarga	POP Inspeção visual		6	3	6	108
Quebra do corpo do tambor	Danos na lona	Material incorreto	POP Inspeção visual		6	1	5	30
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Desalinhamento	POP Inspeção visual		8	4	6	192
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Tensionamento inadequado	POP Inspeção visual		8	2	5	80
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Ajuste de folga incorreto	POP Inspeção visual		6	3	4	72
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Falha de lubrificação	POP Inspeção visual	Rota de lubrificação	7	2	3	42
Travamento do tambor	Parada da esteira	Quebra de rolamento	POP Inspeção visual		6	4	6	144
Travamento do tambor	Parada da esteira	Acúmulo de bagaço	POP Inspeção visual		4	4	5	80
Travamento do tambor	Parada da esteira	Quebra de suporte	POP Inspeção visual		5	3	4	60
Travamento do tambor	Parada da esteira	Quebra de mancal	POP Inspeção visual		6	2	4	48

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Bico de Pato					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Acúmulo de palha	Desarme da esteira	Excesso de palha na mistura			5	5	3	75
Acúmulo de palha	Desarme da esteira	Desgaste dos martelos do picador de palha			5	4	2	40
Falha no atuador	Má performance do equipamento	Desgaste do cilindro			5	4	4	80
Falha no atuador	Má performance do equipamento	Má qualidade do ar (umidade/corpo estranho)			5	3	5	75
Falha no atuador	Má performance do equipamento	Desgaste no kit de reparo			4	3	2	24
Falha no posicionador	Má performance do equipamento	Ar na linha muito úmido			7	4	7	196
Falha no posicionador	Má performance do equipamento	Falha eletrônica por pico de tensão			6	4	2	48
Falha no posicionador	Má performance do equipamento	Falha eletrônica por vida útil			7	2	1	14
Pressão baixa de ar	Má performance do equipamento	Vazamento de ar na linha			4	4	5	80

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Correia					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Desgaste das extremidades	Acúmulo de bagaço no interno	Contato com a estrutura por desalinhamento	POP Inspeção visual		5	6	4	120
Desgaste das extremidades	Acúmulo de bagaço no interno	Desalinhamento	POP Inspeção visual		4	4	4	64
Rasgo na emenda	Perda de bagaço/dano a outros componentes	Tempo de cura baixo	POP Inspeção visual		4	2	7	56
Rasgo na emenda	Perda de bagaço/dano a outros componentes	Danos nos roletes	POP Inspeção visual		4	2	4	32
Rasgo na emenda	Perda de bagaço/dano a outros componentes	Má execução da emenda	POP Inspeção visual		3	2	5	30
Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com estrutura	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Superaquecimento	Princípios de incêndio	Atrito com roletes travados	POP Inspeção visual		10	6	7	420
Superaquecimento	Princípios de incêndio	Alta temperatura ambiente	POP Inspeção visual		10	6	5	300

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Duto de Transferência					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Esteiras patinando, sem parada do motor	POP Inspeção visual		7	5	8	280
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Rejeição de carga do gerador (desarme CPFL)	POP Inspeção visual		6	3	3	54
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Excesso de bagaço	POP Inspeção visual		6	2	4	48
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Falha no intertravamento das esteiras	POP Inspeção visual	Testes pré-partida	7	2	3	42

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Estrutura Metálica					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Colapso da estrutura	Parada total do carregamento de bagaço	Corrosão			10	1	2	20
Colapso da estrutura	Parada total do carregamento de bagaço	Danos mecânicos por impacto			10	1	1	10
Deformação na estrutura	Má condução do bagaço	Sobrecarga	Sensitiva mecânica		7	2	2	28
Deformação na estrutura	Má condução do bagaço	Danos mecânicos por impacto	Sensitiva mecânica		7	1	2	14
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Vibração excessiva	POP Inspeção visual		6	5	3	90
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Parafusos e porcas espanados			6	2	3	36
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Fixações soltas			5	2	2	20

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Motor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		5	9	6	270
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Obstrução da ventilação do motor			5	6	6	180
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Quebra da ventoinha	POP Inspeção visual		5	4	3	60
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de umidade/ temperatura no motor			7	7	7	343
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Alta temperatura do motor			7	6	7	294
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de sujeira			7	6	5	210
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de partidas			6	3	4	72
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Corrente muito acima do fator de serviço		Controle	6	4	1	24
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Curto circuito			4	4	4	64
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Queima do fusível do motor			4	5	3	60
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Isolamento dos contatos do contator			4	3	5	60
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Falha no comando elétrico			4	4	2	32
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Desgaste da tampa	Rota preditiva vibração		5	8	4	160
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Quebra da aleta	Rota preditiva vibração		5	4	4	80
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Desgaste do eixo	Rota preditiva vibração		5	5	3	75
Desequilíbrio da tensão do motor	Aquecimento do motor	Desequilíbrio na rede elétrica			5	4	3	60
Falha no freio motor	Perda de sincronismo	Desgaste da lona do freio			3	5	5	75
Falha no freio motor	Perda de sincronismo	Perda de tensionamento das molas			5	3	4	60
Queima do motor	Parada da esteira	Alta temperatura do motor			8	3	3	72
Queima do motor	Parada da esteira	Sobrecarga mecânica			8	3	3	72
Queima do motor	Parada da esteira	Aterramento ineficiente			7	2	1	14
Travamento do rotor	Parada da esteira	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		6	5	3	90
Travamento do rotor	Parada da esteira	Sobrecargas mecânicas pontuais			5	5	3	75
Travamento do rotor	Parada da esteira	Falta de fase			5	3	3	45
Travamento do rotor	Parada da esteira	Quebra do rolamento			6	5	1	30

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Raspas					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Falha na vedação	Acúmulo de bagaço na estrutura	Ajuste mal feito			1	3	3	9
Falha na vedação	Acúmulo de bagaço na estrutura	Material muito resistente			1	2	3	6

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Redutor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Utilização de óleo de lubrificação incorreto		Rota de lubrificação	5	2	4	40
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Lubrificação deficiente		Rota de lubrificação	5	2	3	30
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Vibração	Rota preditiva vibração		3	4	2	24
Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		7	6	9	378
Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra de eixos	POP Inspeção visual		8	4	6	192
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		8	4	8	256
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Contaminação do óleo lubrificante		Rota de lubrificação	8	3	5	120
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Quebra da engrenagem	POP Inspeção visual		8	2	4	64
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Má fixação	POP Inspeção visual		7	2	3	42
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Eixo empenado	POP Inspeção visual		4	4	5	80
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Selo mecânico danificado	POP Inspeção visual		5	3	5	75
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Utilização de óleo de lubrificação incorreto		Rota de lubrificação	5	2	3	30
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Folga no rolamento	Rota preditiva vibração		6	3	4	72
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Deslinhamento do eixo	Rota preditiva vibração		5	3	2	30
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Empenamento do eixo	Rota preditiva vibração		5	2	2	20

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Roletes					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Ângulação incorreta do suporte	Desalinhamento da lona	Sobrecarga	POP Inspeção visual		5	2	4	40
Ângulação incorreta do suporte	Desalinhamento	Erro de projeto			5	1	3	15
Quebra do corpo do rolete	Rasgos na lona	Impactos	POP Inspeção visual		6	3	4	72
Quebra do corpo do rolete	Rasgos na lona	Sobrecarga	POP Inspeção visual		5	2	4	40
Quebra do eixo	Perda de bagaço/desalinhamento	Travamento do rolamento	POP Inspeção visual		6	3	4	72
Quebra do eixo	Perda de bagaço/desalinhamento	Impactos			7	2	4	56
Quebra do eixo	Perda de bagaço/desalinhamento	Sobrecarga			4	2	5	40
Quebra do suporte	Desalinhamento da lona	Impactos			4	4	5	80
Quebra do suporte	Desalinhamento da lona	Sobrecarga			3	4	5	60
Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Travamento do rolamento	POP Inspeção visual		10	6	8	480
Travamento do rolete	Aquecimento da lona	Acúmulo de bagaço	POP Inspeção visual		10	8	5	400

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Lona 2			Componente: Tambor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Quebra do corpo do tambor	Danos na lona	Sobrecarga	POP Inspeção visual		6	3	6	108
Quebra do corpo do tambor	Danos na lona	Material incorreto	POP Inspeção visual		6	1	5	30
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Desalinhamento	POP Inspeção visual		8	4	6	192
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Ajuste de folga incorreto	POP Inspeção visual		6	3	4	72
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Tensionamento inadequado	POP Inspeção visual		7	2	4	56
Quebra do mancal do tambor	Parada da esteira	Falha de lubrificação	POP Inspeção visual	Rota de lubrificação	7	2	3	42
Travamento do tambor	Parada da esteira	Quebra de rolamento	POP Inspeção visual		6	4	6	144
Travamento do tambor	Parada da esteira	Quebra de mancal	POP Inspeção visual		6	4	4	96
Travamento do tambor	Parada da esteira	Acúmulo de bagaço	POP Inspeção visual		4	4	5	80
Travamento do tambor	Parada da esteira	Quebra de suporte	POP Inspeção visual		5	3	4	60

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Retorno			Componente: Duto de Transferência					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Esteiras patinando, sem parada do motor	POP Inspeção visual		7	5	8	280
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Rejeição de carga do gerador (desarme CPFL)	POP Inspeção visual		7	3	3	63
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Excesso de bagaço	POP Inspeção visual		6	2	4	48
Entupimento do duto	Parada no fornecimento de bagaço para o sistema	Falha no intertravamento das esteiras	POP Inspeção visual	Testes pré-partida	7	2	3	42

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Retorno			Componente: Estrutura Metálica					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Colapso da estrutura	Parada total do carregamento de bagaço	Danos mecânicos por impacto			10	1	1	10
Colapso da estrutura	Parada total do carregamento de bagaço	Corrosão			10	1	1	10
Deformação na estrutura	Má condução do bagaço	Sobrecarga	Sensitiva mecânica		7	2	2	28
Deformação na estrutura	Má condução do bagaço	Danos mecânicos por impacto	Sensitiva mecânica		7	1	2	14
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Vibração excessiva	Rota preditiva vibração		8	5	4	160
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Parafusos e porcas espanados			6	3	2	36
Estrutura solta	Danos aos outros componentes	Fixações soltas			5	2	2	20

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Retorno			Componente: Motor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		5	9	6	270
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Obstrução da ventilação do motor			5	6	6	180
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento do estator e queima do motor	Quebra da ventoinha	POP Inspeção visual		5	4	3	60
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de umidade/ temperatura no motor			7	7	7	343
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Alta temperatura do motor			7	6	7	294
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de sujeira			7	6	5	210
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Excesso de partidas			6	3	4	72
Degradação do isolamento do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	Corrente muito acima do fator de serviço			6	4	1	24
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Curto circuito			4	4	5	80
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Isolamento dos contatos do contator			4	4	5	80
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Queima do fusível do motor			4	5	3	60
Desarme elétrico no motor	Parada da esteira	Falha no comando elétrico			4	4	2	32
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Desgaste da tampa	Rota preditiva vibração		5	8	4	160
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Quebra da aleta	Rota preditiva vibração		5	4	4	80
Desbalanceamento / excentricidade do rotor	Alta vibração no eixo	Desgaste do eixo	Rota preditiva vibração		5	5	3	75
Desequilíbrio da tensão do motor	Aquecimento do motor	Desequilíbrio na rede elétrica			5	4	3	60
Falha no freio motor	Perda de sincronismo	Desgaste da lona do freio			3	5	5	75
Falha no freio motor	Perda de sincronismo	Perda de tensionamento das molas			5	3	5	75
Queima do motor	Parada da esteira	Alta temperatura do motor			8	3	3	72
Queima do motor	Parada da esteira	Sobrecarga mecânica			8	3	3	72
Queima do motor	Parada da esteira	Aterramento ineficiente			7	2	1	14
Travamento do rotor	Parada da esteira	Sobrecargas mecânicas pontuais			6	4	4	96
Travamento do rotor	Parada da esteira	Acúmulo de sujeira	POP Inspeção visual		6	5	3	90
Travamento do rotor	Parada da esteira	Falta de fase			5	3	3	45
Travamento do rotor	Parada da esteira	Quebra do rolamento			6	5	1	30

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Retorno			Componente: Redutor					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Utilização de óleo de lubrificação incorreto		Rota de lubrificação	5	2	6	60
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Lubrificação deficiente		Rota de lubrificação	5	2	3	30
Aquecimento	Alteração nas propriedades lubrificantes	Vibração	Rota preditiva vibração		3	4	2	24
Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		7	6	9	378
Falha na transmissão sem parada do motor	Embuchamentos por excesso de alimentação	Quebra de eixos	POP Inspeção visual		8	4	6	192
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Quebra do rolamento	POP Inspeção visual		8	4	8	256
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Contaminação do óleo lubrificante		Rota de lubrificação	8	3	5	120
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Quebra da engrenagem	POP Inspeção visual		8	2	4	64
Quebra/travamento do redutor	Perda de sincronismo e parada da esteira	Má fixação	POP Inspeção visual		7	2	3	42
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Eixo empenado	POP Inspeção visual		4	4	5	80
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Selo mecânico danificado	POP Inspeção visual		5	3	5	75
Vazamento de óleo	Desgaste prematuro dos componentes	Utilização de óleo de lubrificação incorreto		Rota de lubrificação	5	2	2	20
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Folga no rolamento	Rota preditiva vibração		6	3	2	36
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Deslinhamento do eixo	Rota preditiva vibração		5	3	2	30
Vibração excessiva	Aumento da temperatura do redutor	Empenamento do eixo	Rota preditiva vibração		5	2	2	20

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis								
Equipamento: Esteira de Retorno			Componente: Talisca					
Modo de falha	Efeito potencial da falha	Causa Potencial	Controle atual de detecção	Controle atual de prevenção	SEVERIDADE (modo+efeito)	OCORRÊNCIA (modo+causa)	DETECÇÃO (causa)	RPN
Descarrilhamento/pulso de elo	Parada de equipamento	Corrente não tensionada	POP Inspeção visual		4	5	4	80
Descarrilhamento/pulso de elo	Parada de equipamento	Desgaste da corrente	POP Inspeção visual		6	4	3	72
Descarrilhamento/pulso de elo	Parada de equipamento	Acúmulo de bagaço	POP Inspeção visual		3	5	4	60
Entortamento das taliscas	Má condução do bagaço	Presença de materiais indesejados	POP Inspeção visual		4	3	7	84
Entortamento das taliscas	Má condução do bagaço	Sobrecarga	POP Inspeção visual		3	5	2	30
Parafusos soltos	Descarrilhamento / pulso de elo	Vibração excessiva	POP Inspeção visual		4	6	3	72
Parafusos soltos	Vibração	Parafusos não apropriados	POP Inspeção visual		5	2	7	70
Parafusos soltos	Vibração	Montagem incorreta	POP Inspeção visual		5	2	4	40