



ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA  
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ VINICIUS LIMA SOARES  
MARCOS VINICIOS ALVES SALGADO

**IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA  
SISTEMA DE EXTRAÇÃO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM USINA  
SUCROALCOOLEIRA**

**PUBLICAÇÃO Nº: 01**

GOIANÉSIA  
2022



JOSÉ VINICIUS LIMA SOARES  
MARCOS VINICIOS ALVES SALGADO

**IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA  
SISTEMA DE EXTRAÇÃO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM USINA  
SUCROALCOOLEIRA**

**PUBLICAÇÃO N°:01**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador:** Prof. Dra. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes

GOIANÉSIA  
2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

F333s

Soares, José Vinicius Lima.

Salgado, Marcos Vinicius Alves.

Implantação de manutenção centrada em confiabilidade para Sistema de extração de caldo de cana-de-açúcar em usina sucroalcooleira / José Vinicius Lima Soares e Marcos Vinicius Alves Salgado – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2022 – Faceg, 2022.

45 p.; il. p&b.

Orientador: Profa. Dra. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravos Gomes.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2022.

1. Ferramentas de Qualidade 2. Falhas na produção 3. Confiabilidade.

I. Soares, José Vinicius Lima. II. Salgado, Marcos Vinicius Alves. III. Implantação de manutenção centrada em confiabilidade para Sistema de extração de caldo de cana-de-açúcar em usina sucroalcooleira.

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Soares, J. V. L, Salgado, M. V. A. **Implantação de manutenção centrada em confiabilidade para Sistema de extração de caldo de cana-de-açúcar em usina sucroalcooleira.** Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2022.

### CESSÃO DE DIREITOS

NOME: JOSE VINICIUS LIMA SOARES / MARCOS VINICIOS ALVES SALGADO

GRAU: BACHAREL

ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

---

Nome:

CPF:

Endereço:

Email:

JOSÉ VINICIUS LIMA SOARES  
MARCOS VINICIOS ALVES SALGADO

**IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA  
SISTEMA DE EXTRAÇÃO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM USINA  
SUCROALCOOLEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao Departamento de Engenharia  
Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia -  
FACEG, como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.

Goianésia, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes - Orientador  
Faculdade Evangélica de Goianésia

---

Prof. Me. Alessandro Morais Martins - Avaliador  
Faculdade Evangélica de Goianésia

---

Prof. Me. Ariane Martins Caponi Lima - Avaliador  
Faculdade Evangélica de Goianésia

**“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original”  
Albert Einstein**

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os referidos, os agradecimentos de coração por todo o acompanhamento numa etapa da vida tão importante como esta, estudos por exemplo.

A Deus, pois guia nossa sabedoria neste caminho e aos meus colegas de classe.

Gostaríamos de agradecer a nossa orientadora, Marinés Chinququirá Carvajal Bravos Gomes pelo permanente acompanhamento e desempenho, motivação desde longa data neste tema, todo o material bibliográfico facultado e rigor científico sempre disponibilizado.

Também queremos deixar registrado o reconhecimento aos familiares, pois acredito que teria sido difícil superar este desafio sem apoio.

Finalmente, obrigado a todos que contribuíram para que esse estudo pudesse se concluir.

# **IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA SISTEMA DE EXTRAÇÃO DE CALDO DE CANA-DE AÇÚCAR EM USINASUCROALCOOLEIRA**

## **DEPLOYMENT OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE FOR SUGARCANE JUICE EXTRACTION SYSTEM IN PLANTSUGAR AND ALCOHOL**

**José Vinicius Lima 01<sup>1</sup>**

**Marcos Vinicius Alves 02<sup>2</sup>**

**Profa. Dra. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravos Gomes<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

Com o advento da industrialização mecanizada e a necessidade de alcançar uma maior eficiência de produção, as organizações implementam diretrizes de controle das atividades, a fim de mensurar os índices da produtividade. Dessa maneira, busca-se aproveitar ao máximo os recursos disponíveis, minimizando os desperdícios. Essa característica se torna cada vez mais importante visto o mercado altamente competitivo em que as empresas estão inseridas. Nesse contexto, vários métodos e ferramentas de qualidade foram desenvolvidas após a Segunda Guerra Mundial. A implementação das técnicas de controle de qualidade e produção, tornaram-se essenciais para o desenvolvimento das organizações, em que as medições da qualidade se tornaram fundamentais para a tomada de decisões, detecção de falhas na produção em que maximiza a confiabilidade do processo. Diante disso, o objetivo deste estudo consiste em estudar e aplicar três ferramentas da qualidade no sistema de extração de caldo de cana-de-açúcar de uma usina sucroalcooleira para, posteriormente, propor o tipo de manutenção adequado para cada ativo estudado. Para isso, seguiu-se com uma pesquisa-ação com base em dados extraídos a partir do programa de controle de produção da empresa. Com os dados em mãos, confeccionou-se um gráfico de Pareto do número de paradas e um histograma com o total de horas paradas para cada ativo da planta a fim de se priorizar os mais ofensores à eficiência produtiva da planta. Após a aplicação dessas ferramentas da qualidade, observou-se que 27% dos ativos eram responsáveis por 57% das falhas ocorridas na empresa. Assim, elaborou-se a análise de árvore de falhas destes ativos e identificaram-se as causas-raiz de cada possível falha. Depois, seguiu-se com a confecção do FMEA para o ativo de maior impacto à produção, e após a quantificação do nível de priorização de cada modo de falha, foi possível sugerir o tipo de manutenção mais adequado para correção e/ou prevenção das mesmas, bem como, empregando o 5W1H, sugerir um plano de ação para o mesmo. Com isso, concluiu-se que a utilização de ferramentas da qualidade é muito importante no processo de melhoria contínua do ambiente de produção, possibilitando o estudo e priorização de problemas que impactam diretamente na produção e, portanto, nos lucros da empresa.

**Palavras-chaves:** Ferramentas de Qualidade. Falhas na produção. Confiabilidade.

---

Discente de graduação em Eng. Mecânica.  
Faculdade evangélica de Goianesia, Goiás, Brasil.  
E-mail:marcosvinicius.salgado@hotmail.com/ josevinicius18hotmail.com.

## **ABSTRACT**

With the advent of mechanized industrialization and the need to achieve greater production efficiency, organizations implement activity control guidelines in order to measure productivity indices. In this way, we seek to make the most of available resources, minimizing waste. This feature becomes increasingly important given the highly competitive market in which companies are inserted. In this context, several quality methods and tools were developed after the Second World War. The implementation of quality and production control techniques have become essential for the development of organizations, in which quality measurements have become fundamental for decision making, detection of failures in production in which process reliability is maximized. In view of this, the objective of this study is to study and apply three quality tools in the sugarcane juice extraction system of a sugar and alcohol plant, in order to subsequently propose the type of maintenance suitable for each asset studied. For this, an action research was carried out based on data extracted from the company's production control program. With the data in hand, a Pareto chart of the number of downtimes and a histogram with the total number of downtimes for each asset of the plant were created in order to prioritize the most offensive ones to the productive efficiency of the plant. After applying these quality tools, it was observed that 27% of the assets were responsible for 57% of the failures that occurred in the company. Thus, a fault tree analysis of these assets was prepared and the root causes of each possible failure were identified. Afterwards, the FMEA was created for the asset with the greatest impact on production, and after quantifying the level of prioritization of each failure mode, it was possible to suggest the most appropriate type of maintenance for correcting and/or preventing them, as well as, using 5W1H, to suggest an action plan. With this, it was concluded that the use of quality tools is very important in the process of continuous improvement of the production environment, allowing the study and prioritization of problems that directly impact production and, therefore, the company's profits.

**Key words:** Quality Tools. Production Failures. Reliability.



## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivo geral .....	12
2.1.1 Objetivos Específicos .....	12
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>12</b>
3.1 Análise da árvore de falhas (FTA).....	13
3.2 Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA) .....	13
3.3 O 5W1H .....	14
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>17</b>
5.1.1 Árvore de falhas da Esteira 02 .....	19
5.1.2 Árvore de falhas do Terno 06 .....	20
5.2 Aplicação da ferramenta FMEA .....	22
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Antes da revolução industrial, os produtos eram confeccionados de forma artesanal, a produção era pequena assim como a organização do processo produtivo. Com a revolução industrial ocorreram grandes mudanças na organização da produção. Surgiram grandes evoluções tecnológicas, a produção em larga escala, a organização do trabalho, a automatização da produção, a preocupação com a qualidade dos produtos e uma série de mudanças que construíram a indústria atual (MOUBRAY, 1997).

No século XXI, a manutenção vem desempenhando um papel de destaque dentro da empresa, sendo responsável por uma significativa parte dos custos de um produto e, além disso, sendo responsável pela disponibilidade da produção. Por isso, a manutenção é uma forma de se alcançar a competitividade (MOUBRAY, 1997).

Através de estudos de confiabilidade dos equipamentos, as atividades de manutenção podem ser planejadas. Entre as várias ferramentas utilizadas nos estudos de confiabilidade, a análise de falha se destaca como uma ferramenta de grande utilidade para prevenir sua reincidência e identificar as oportunidades de melhorias no sistema de manutenção (MOUBRAY, 1997).

Devido à expansão do mercado sucroalcooleiro e seus desafios na busca da excelência de produtividade, melhorias precisam ser implementadas constantemente visando rentabilidade e redução de custo (MOUBRAY, 1997).

O processo de aumentar a qualidade dos produtos e melhorar o processo de produção é árduo, longo e requer o envolvimento tanto da direção quanto dos operadores das máquinas. Para reduzir com sucesso o nível de falhas, primeiro é preciso analisar minuciosa e objetivamente as causas de suas ocorrências, o que, por sua vez, resultará em medidas de melhoria devidamente formuladas. Essas medidas devem ser, em primeiro lugar, focadas na redução do número de falhas existentes, mas também no aumento da eficiência de detecção. Inúmeras ferramentas e métodos de gestão da qualidade podem ser úteis neste processo, como a análise de Pareto, análise de árvore de falhas, análise do tipo e efeito de falha e algumas ferramentas de Lean Six Sigma. (TAGUE, 2005).

Lean Six Sigma é um método que depende de colaboração dos colaboradores de uma organização para melhorar o desempenho, removendo sistematicamente o desperdício e reduzindo a variação no processo. Ele combina técnicas de Lean, como o 5S e Kaizen, e de Seis Sigma, como cartas de controle, para eliminar os sete tipos de desperdício: espera, produção excessiva, processamento excessivo, transporte desnecessário, movimento desnecessário, estoque e defeitos (SUMMERS, 2011).

## **2. JUSTIFICATIVA**

A produção está inserida em área agrícola e industrial, estando sujeita às condições, primeiro ambientais, que influenciam de forma dramática a qualidade da matéria-prima, provocando ampla variação de seus parâmetros técnicos e de fornecimento. Em segundo, a produção apresenta elevado grau de complexidade, pois envolve equipamentos dos mais variados tipos e tamanho, geração de energia e processos químico, físico e biológico.

Esse ambiente, somado à variação do mercado, exige dos profissionais constantes ações de interferência no processo que, não tendo o conhecimento rápido e preciso do seu efeito nos produtos finais, incorrem em subaproveitamento de equipamentos, perda de eficiência e subfaturamento. Além dos efeitos pontuais na produção, o planejamento da “safra” como um todo carece de ferramentas que auxiliem de forma eficaz.

Para possivelmente alcançar uma maior produtividade e eficiência na produção, diversas empresas buscam utilizar ferramentas que auxiliam no controle da qualidade mediante aplicação de conceitos, métodos e técnicas adequadas a uma nova realidade do mercado.

Devido à expansão do mercado sucroalcooleiro e seus desafios na busca da excelência de produtividade, o presente trabalho visa abordar o sistema de extração do caldo da cana-de-açúcar e identificar os problemas que influenciam na eficiência e qualidade da produção para posteriormente propor ações corretivas no sentido de alcançar a melhoria contínua do processo.

## 2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo estudar o sistema de extração do caldo de cana e identificar possíveis falhas que possam afetar a eficiência para, posteriormente, propor o tipo de manutenção adequado para cada ativo estudado, a fim de promover a melhoria contínua do processo.

### 2.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar os problemas que deverão ser possivelmente solucionados;
- Avaliar os pontos necessários para implementação de mudanças;
- Demonstrar a utilização de ferramentas da qualidade.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As primeiras mudas da cana-de-açúcar chegaram ao Brasil em 1532, na expedição marítima de Martin Afonso de Souza. A partir disso, surgiram os primeiros engenhos, primeiramente no estado de São Paulo e, depois, em Pernambuco, proliferando-se pelo Nordeste. O engenho era constituído por dois grandes setores: o agrícola, formado pelos canaviais; e o beneficiamento, também chamada de casa-do-engenho, no qual a cana era processada, transformando-se em açúcar e aguardente. A produção aumentou gradativamente e, em torno de 1580 o Brasil já detinha o monopólio mundial de açúcar (RODRIGUES; ROSS, 2020).

Atualmente, os processos de uma usina sucroalcooleira já são altamente mecanizados, o que aumenta a produtividade. Por outro lado, quebras e falhas desses ativos podem acarretar em grandes perdas para a companhia, uma vez que o processo produtivo deve ser interrompido. Assim, foram desenvolvidas técnicas para se identificar as falhas de modo a prevenir que aconteçam (PALLEROSI, 2007).

A falha é definida por uma perda da função requerida de um item, podendo ser parcial ou completa. A falha completa é resultado do desvio de características além dos limites especificados causando perda total da função requerida do equipamento, enquanto a falha parcial não causa a perda total da função requerida (PALLEROSI, 2007).

### 3.1 Análise da árvore de falhas (FTA)

A análise da árvore de falhas FTA (*Fault Tree Analysis*) é uma ferramenta de raciocínio, que parte de um problema e vai desdobrando a sequência de eventos que podem conduzir ao evento topo. Os eventos que têm a causa mais básica, ou seja, que estão em níveis mais baixos na árvore, são considerados a causa fundamental, também conhecida como causa raiz ou causa primária do problema do topo (RELIASOFT BRASIL, 2005).

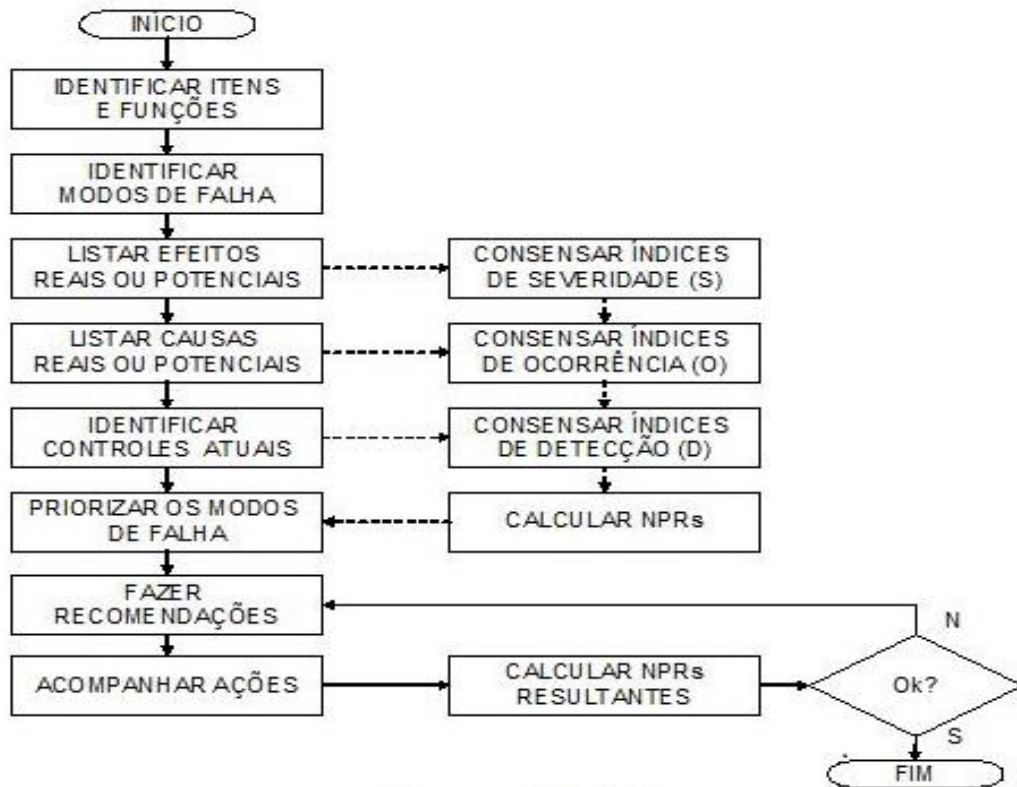
### 3.2 Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA)

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), é uma ferramenta que busca, a princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no processo. Este é o objetivo básico desta técnica, ou seja, detectar falhas previamente à produção. Pode-se dizer que, com sua utilização, as chances do equipamento ou processo falhar é minimizada, ou seja, aumenta a confiabilidade (RELIASOFT BRASIL, 2005).

A utilização da ferramenta consiste, primeiramente, com a utilização dos conhecimentos e criatividade dos participantes da investigação para se definir os índices das falhas e determinar seu índice de prioridade de risco (NPR). Este índice é calculado a partir dos índices de Severidade (S), Ocorrência(O) e Detecção (D) (MOTA; CAVAGNAC, 2019).

O índice de Severidade representa a gravidade do efeito da falha no processo e pode ser determinada através de uma escala levando em consideração os efeitos para a produção, meio ambiente, segurança e qualidade. O índice de Ocorrência expressa a probabilidade de falhas determinada pelo histórico de manutenção do equipamento. O índice de detecção determina a probabilidade de a falha ser detectada antes que ela ocorra e pode ser determinado avaliando as formas de detecção e quais delas realmente são aplicadas no processo. Assim o índice de prioridade de risco (NPR) pode ser definido como sendo o produto dos três índices anteriores. Este índice é a forma de priorizar as ações corretivas que serão geradas. O fluxograma da Figura 1 mostra como abordar cada item do FMEA.

**Figura 1** - Fluxograma do Método.



Fonte: SMAR, 2022.

Apesar de ser uma ferramenta amplamente utilizada, o FMEA apresenta algumas desvantagens, como assumir que as causas dos problemas são eventos únicos em natureza (combinações de eventos são capturados como um único evento inicial), depender de comunicação aberta e cooperação dos participantes e, uma vez que o detalhamento exigido pela ferramenta é alto, torna o processo demorado, podendo levar horas ou dias para completar o FMEA (YOUSEFI *et al.*, 2018).

### 3.3 O 5W1H

O 5W1H, basicamente, é um *checklist* de determinadas atividades que precisam ser desenvolvidas com o máximo de clareza possível por parte dos colaboradores da empresa. Ele funciona como um mapeamento destas atividades, onde ficará estabelecido o que será feito, quem fará o quê, em qual período de tempo, em qual área da empresa e todos os motivos pelos quais esta atividade deve ser feita. Em um segundo momento, deverá figurar uma tabela onde será discriminado como será feita esta atividade (KLOCK *et al.*, 2016).

5W1H representa as iniciais, em inglês, das perguntas:

- O quê? (*What*);
- Quem? (*Who*);
- Quando? (*When*);
- Onde? (*Where*);
- Por quê? (*Why*);
- Como (*How*).

Existem algumas variações da ferramenta, acrescentando até mais 2H (*How much* – Quanto custa; *How many* – Quantos), criando 5W2H e 5W3H.

Esta ferramenta é extremamente útil para as empresas, uma vez que elimina por completo qualquer dúvida que possa surgir sobre um processo ou sua atividade. Em um meio ágil e competitivo como é o ambiente corporativo, a ausência de dúvidas agiliza e muito as atividades a serem desenvolvidas por colaboradores de setores ou áreas diferentes (KLOCK *et al.*, 2016).

#### **4. MATERIAIS E METÓDOS**

A construção desse trabalho se deu por meio de uma pesquisa-ação, objetivando-se entender os modos e efeitos das falhas dos ativos empregados na produção de uma empresa do ramo sucroalcooleiro. As investigações foram conduzidas pelos pesquisadores e contaram com a participação de colaboradores da empresa a fim de se ter uma melhor elucidação do caso, dada a experiência dos colaboradores em relação ao processo como um todo.

Segundo Tripp (2005), a “Pesquisa-ação é uma forma de investigação-ação que utiliza técnicas de pesquisa consagradas para informar a ação que se decide tomar para melhorar a prática”. A concepção da pesquisa é realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo. Os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo assim todos os envolvidos no processo estão conscientes às mudanças (TRIPP, 2005).

O primeiro passo para que esse estudo fosse possível de ser realizado, foi a coleta de dados de eficiência de moagem de cana-de-açúcar durante a safra de 2021,





para exposição em gráfico para uma melhor visualização do problema. Os dados foram obtidos a partir do programa de controle de produção da empresa, com a ajuda de um analista da área.

Com esses dados, foi possível construir um gráfico de Pareto com o auxílio do programa Excel, a fim de se seguir com a investigação dos ativos que mais causaram impacto negativo à produção. O gráfico foi construído levando em consideração a quantidade de paradas necessárias para reparo do ativo. Também foi construído um histograma com o total de horas em que o ativo se encontrou parado para manutenção, como método de análise complementar ao Pareto.

Depois de isolados os maiores ofensores à produção, elaborou-se a árvore de falha, para sequenciar os eventos com a intenção de chegar-se às causas-raiz das falhas dos equipamentos mais críticos. Para a identificação das causas das falhas são elaboradas árvores de falhas e são analisadas as causas mais prováveis com base nos dados levantados, pela análise do projeto ou processo, em testes e simulações ou em históricos de manutenção do equipamento.

Durante a preparação da árvore de falhas, utilizam-se símbolos específicos. Alguns símbolos mais utilizados estão ilustrados na Figura 2.

**Figura 2** - Simbologia Árvore de Falhas

<b>Símbolo</b>	<b>Função</b>
	Denota evento de falha básico ou a falha de um componente elementar
	Aponta um evento de falha que é o resultado de uma combinação lógica de eventos de falha
	Quando não há interesse em desdobrar a análise de um item
	Elemento "ou" evento de saída só ocorre se pelo menos um de entrada ocorrer

**Fonte:** SMAR, 2022.

A construção da árvore é feita colocando o problema ou falha no topo da árvore. Utilizando a simbologia apresentada anteriormente, incluem-se os eventos de causa nas ramificações abaixo do evento do topo. É indicado utilizar o menor número possível de ramificações nos níveis mais altos da árvore, expandindo-a nos níveis mais baixos.



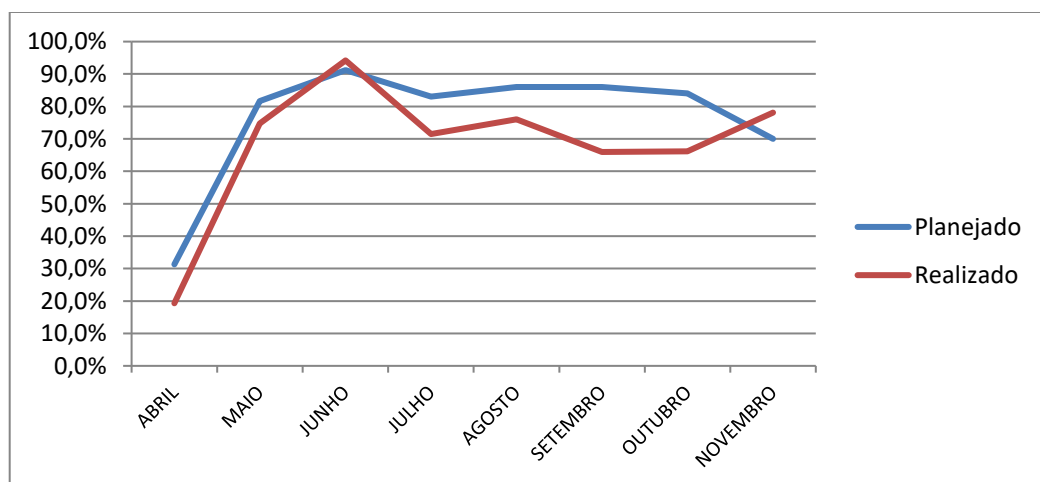
Depois de elucidadas as causas-raiz dos ativos mais ofensores à produção, seguiu-se com a aplicação do FMEA para o ativo que mais apresentou problemas. Para isso, partiu-se de um formulário confeccionado para facilitar a aplicação da ferramenta. No formulário, listaram-se os itens que compõe o ativo, sua função, a descrição das possíveis falhas, seus modos e efeitos, bem como a quantificação dos itens de Ocorrência, Severidade, Detecção e o cálculo do NPR. Com o NPR quantificado para cada item, foi possível, a partir de discussão com os colaboradores da empresa, determinar qual o tipo de manutenção deve ser realizado dependendo do seu grau de priorização.

Depois de desenvolvida a análise da falha e identificadas as causas-raiz do problema, elaborou-se um plano de ação através da ferramenta 5W1H. O principal objetivo do plano de ação é o de planejar as ações de bloqueio das causas fundamentais do problema para evitar a sua recorrência.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados de eficiência de moagem de cana-de-açúcar durante a safra de 2021 compreendendo o período de abril a novembro, observa-se a produtividade da linha através de um gráfico de acompanhamento, mostrado na Figura 3.

**Figura 3 - Eficiência da Safra 2021.**



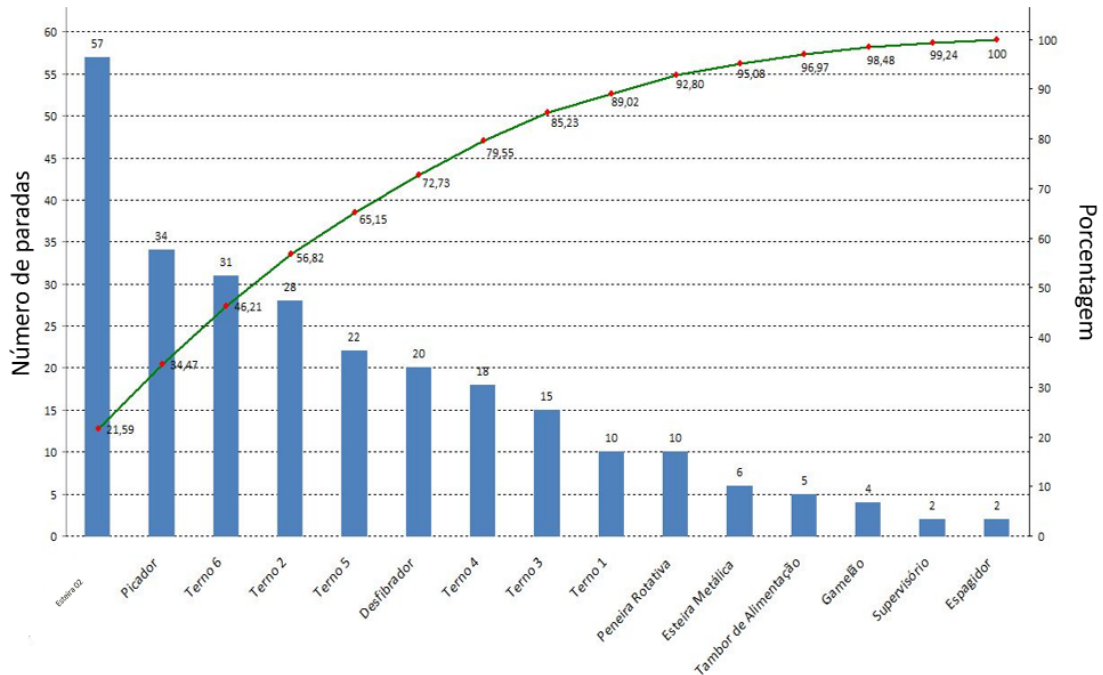
Fonte: Autor, 2022

O percentual acumulado planejado para a safra 2021 é de 86%, e o efetivamente realizado totalizou em 69%. Assim, evidencia-se o problema de

eficiência nos ativos da empresa uma vez que não se atingiu o patamar planejado para o indicador.

A partir dos dados coletados do programa de controle de produção da empresa, seguiu-se então com a confecção do gráfico de Pareto, ilustrado na Figura 4.

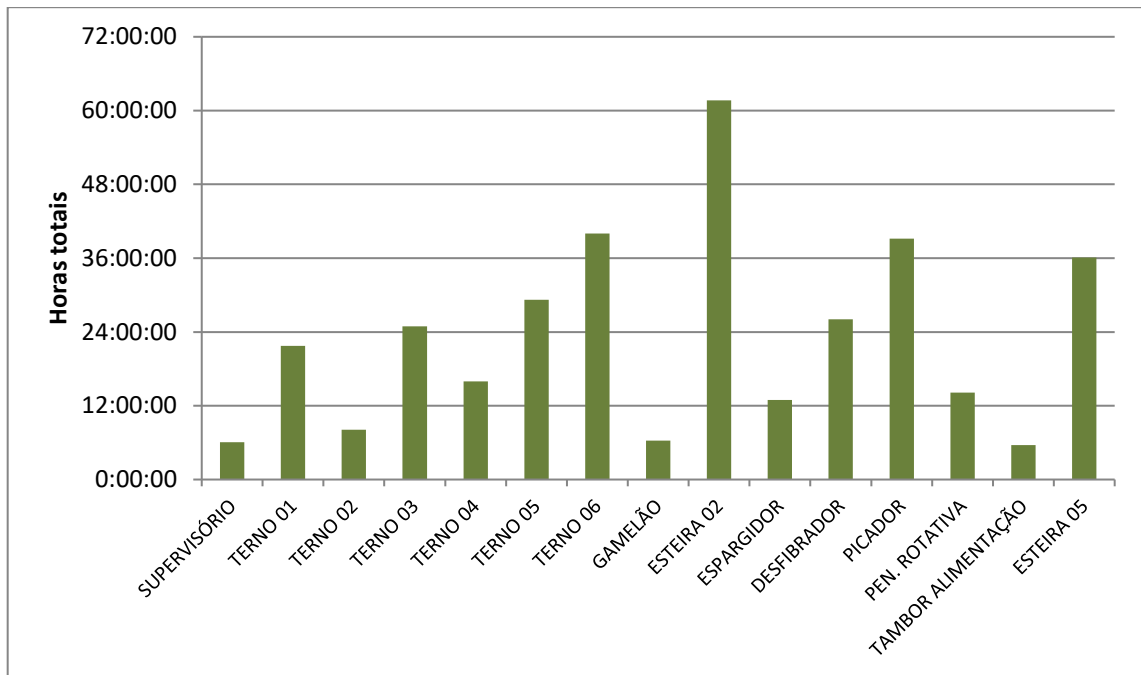
**Figura 4** - Gráfico de Pareto para a quantidade de paradas dos ativos da planta.



Fonte: Autor, 2022.

A partir da Figura 4, pôde-se observar que 57% das paradas da planta estavam sendo causadas por apenas 4 dos 15 ativos (27%). Assim, decidiu-se minimizar os efeitos destes 4 pontos críticos destacados pelo gráfico de Pareto a fim de se ter a melhor relação esforço vs impacto do indicador de eficiência da empresa.

Posteriormente, confeccionou-se um histograma com o total de horas paradas por ativo da empresa, ilustrado na Figura 5, listando os equipamentos que sofreram algum tipo de parada e, por consequência, provocaram a interrupção no processo.

**Figura 5 - Histograma de Paradas dos Equipamentos**

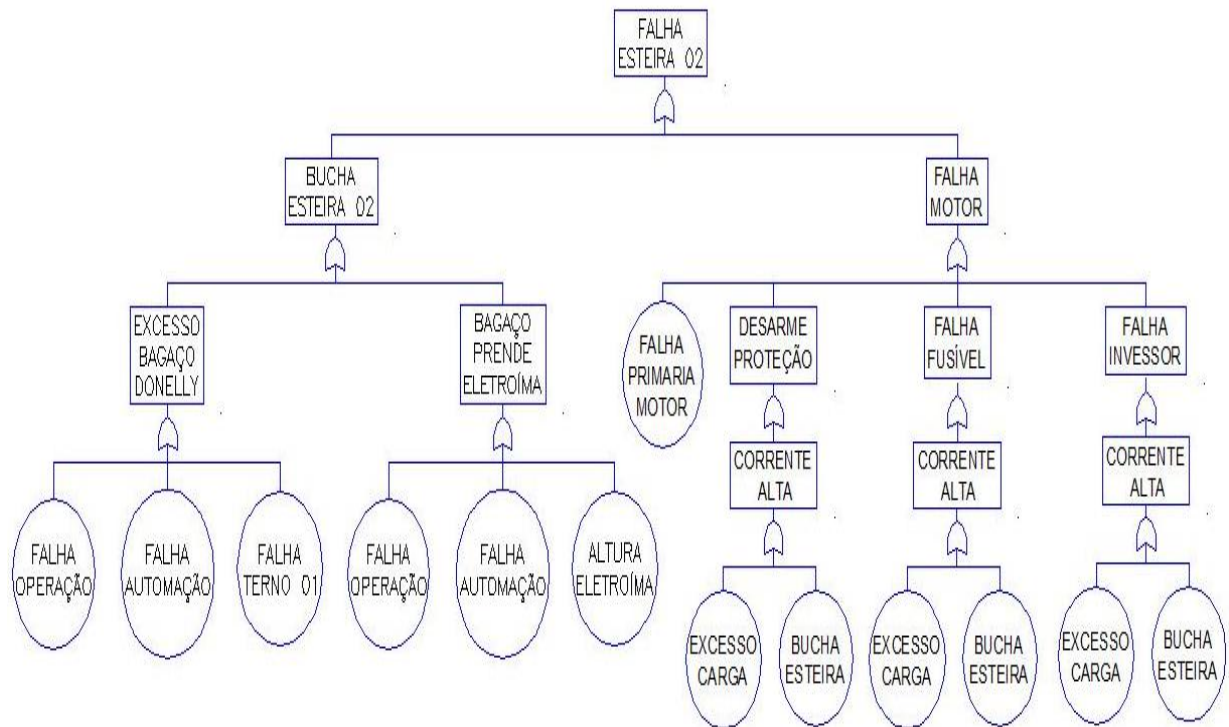
Fonte: Autor, 2022

Com isso, foram identificados os equipamentos que mais interferem na eficiência da produção e a partir dos dados levantados, executar a próxima etapa do processo. Sendo assim, pode-se observar que os equipamentos de maior impacto foram a Esteira 02, Picador, o Terno 02 e o Terno 06, os quais necessitam de uma atenção maior devido sua importância na planta. Assim, seguiu-se com a análise de árvore de falhas destes ativos.

#### 5.1.1 Árvore de falhas da Esteira 02

Através da árvore de falhas da Esteira 02 na Figura 6, está descrito as possíveis falhas que podem impedir que ela exerça a função de levar a matéria prima até os ternos para qual está designada. Foram exercidos estudos para ser minimizado a quantidade de falhas, principalmente por causas já conhecidas no qual podem ser tratadas com métodos preventivos de análises. Estas análises podem ser realizadas por rotinas de inspeções operacionais, aparelhos gráficos, sensores e outros, a fim de se minimizar a quantidade de paradas deste equipamento, no qual exerce uma função primordial no processo de extração de caldo de cana de açúcar.

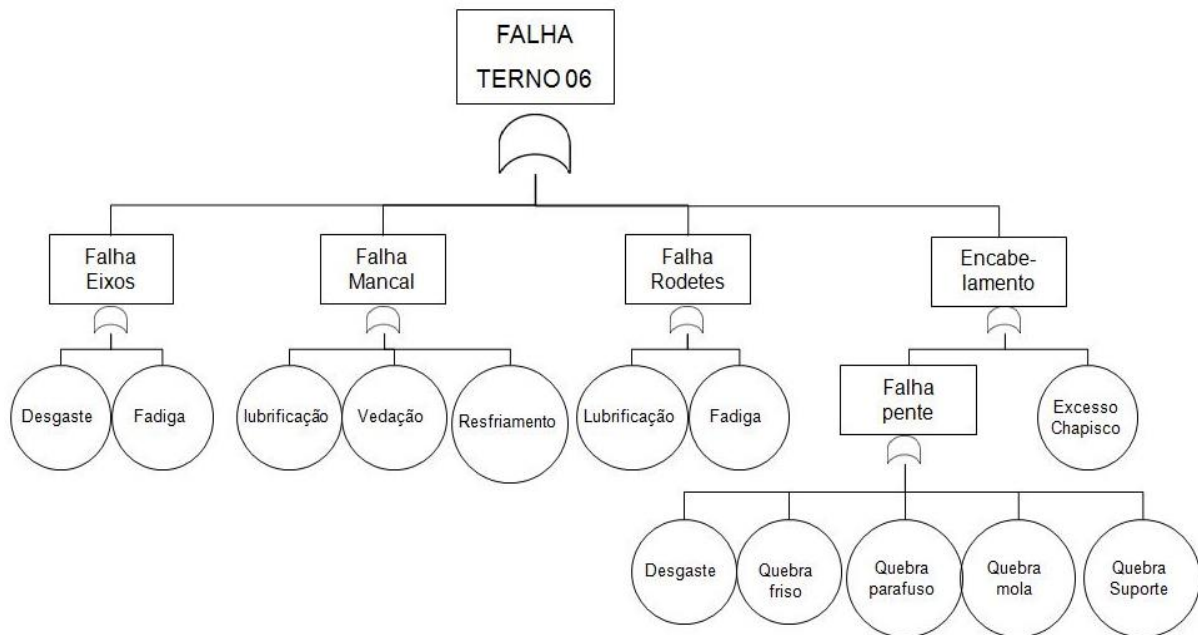
**Figura 6 -** Árvore de falhas da Esteira de Borracha.



**Fonte:** SMAR, 2022.

### 5.1.2 Árvore de falhas do Terno 06

A árvore de falhas da Terno 06 está demonstrada na Figura 7, descrevendo as possíveis falhas que podem impedir que ele exerça a função para qual foi projetado, realizar a extração de caldo da cana de açúcar. O terno é composto de vários equipamentos que realiza-se um papel fundamental nesta extração de caldo, equipamentos e peças nas quais estão sujeitas a diversas falhas, sejam elas por fadiga, falta de lubrificação correta ou especificada pelo equipamento em questão, forma na qual os componentes são operados, todas estas hipóteses e muitas outras podem levar a parada deste conjunto, muitos desses pontos têm sido estudados para minimizar o número de falhas, principalmente devido a causas conhecidas que podem ser tratadas com análise preventiva, seja essa análise realizada por meio de rotinas de checagem operacional, dispositivos gráficos, sensores e outros que possam aumentar a eficiência do ativo.

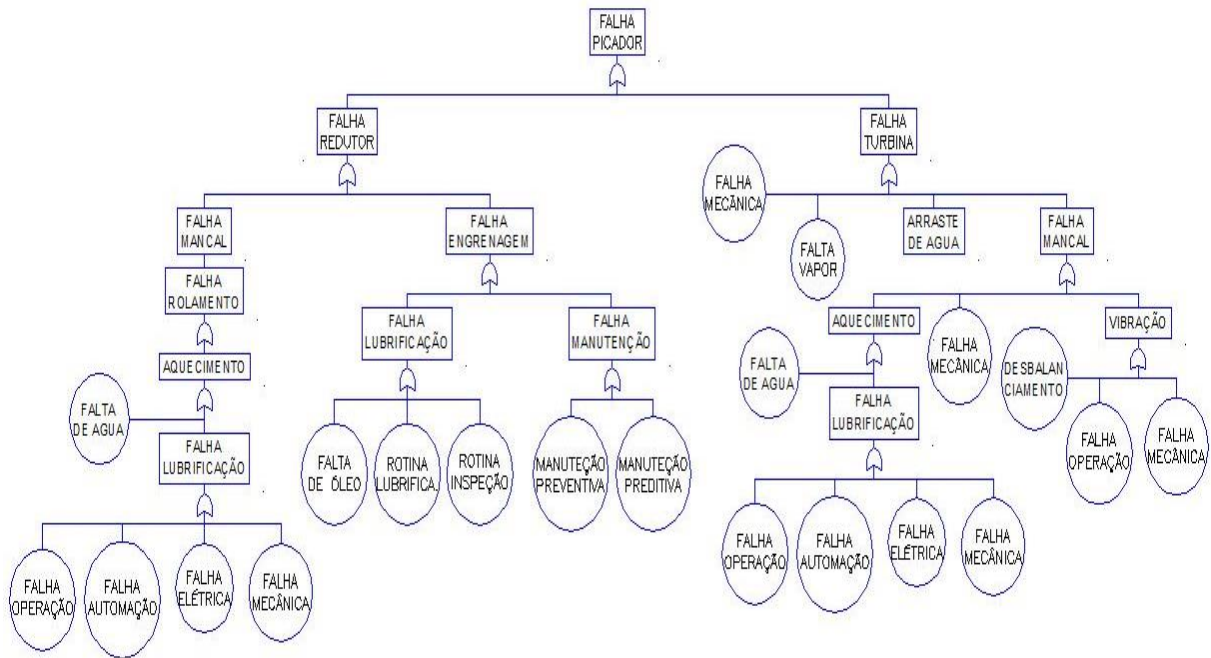
**Figura 7** - Árvore de falha do Terno 06.

**Fonte:** Autor, 2022.

### 5.1.3 Árvore de falhas do picador

A árvore de falhas do picador está demonstrada na Figura 8, descrevendo as possíveis falhas que podem impedir que ele exerça a função para qual foi projetado, realizar o corte da cana de açúcar em pedaços menores com a finalidade de facilitar o desfibramento da cana de açúcar e conseqüentemente a melhor extração do caldo da cana de açúcar por parte dos ternos. Este equipamento exerce um papel fundamental em todo processo, o mesmo é composto de equipamentos e peças nas quais estão sujeitas a diversas falhas, sejam elas por fadiga, falta de lubrificação correta, falta de vapor, falha elétrica, forma na qual os componentes são operados, todas estas hipóteses e muitas outras podem levar a parada deste conjunto, como expresso na árvore de falhas.

Figura 8 - Árvore de falhas do picador.



Fonte: Autor, 2022.

### 5.2 Aplicação da ferramenta FMEA

A Tabela 1 representa o formulário do FMEA referente a Esteira 02, ativo com maior criticidade de acordo com o gráfico de Pareto, com toda sua estruturação e indicação de qual tipo de manutenção é o mais adequado para corrigir e/ou prevenir as falhas.

Tabela 1 - Formulário do FMEA.

(continua)

Item	Função	Falha	Modo de Falha	Efeitos da Falha	O	S	D	NPR	Manutenção
Acionamento	Acionar a Esteira, promover sua operação	Não aciona a Esteira	Motor Elétrico queimado	Parada do equipamento	4	10	4	160	Corretiva
			Sobrecarga do Motor Elétrico	Possível parada do equipamento e diminuição da vida útil do motor	8	9	6	432	Preventiva
			Acoplamento Motor x Redutor desalinhado	Possível parada do equipamento e diminuição da vida útil dos componentes	6	9	8	432	Preventiva
			Sobressalentes do Redutor danificados	Possível parada do equipamento e diminuição da vida útil dos componentes	6	9	7	378	Preventiva

Tabela 2 - Formulário do FMEA.

(conclusão)

Item	Função	Falha	Modo de Falha	Efeitos da Falha	O	S	D	NPR	Manutenção
Raspador	Prover a limpeza da lona	Não limpa a lona	Lâminas com danos	Excesso de sujidade na lona	8	7	6	336	Corretiva
				Desgaste prematuro dos tambores	6	9	3	162	Corretiva
Esticador Gravimétrico	Tensionar a lona	Não tensiona a lona	Danos nos tambores	Parada da Esteira por sobrecarga	5	10	5	250	Corretiva
Lona	Conduzir o material do chute de alimentação até o chute de descarga	Não conduz o material até o chute de descarga	Rasgo na lona	Vazamento do material e possível desalinhamento	8	10	5	400	Preventiva
			Lona desalinhada	Parada da Esteira e danos aos demais componentes	8	10	6	480	Preventiva
			Lona travada por excesso de material	Parada da Esteira por embuchamento	7	10	8	560	Preventiva
Sustentação/ Estrutura	Sustentar a Esteira	Não sustenta a Esteira	Danos na estrutura por corrosão	Parada da Esteira	6	8	4	192	Corretiva
Chute de alimentação	Alimentar a esteira com o material advindo de outro equipamento	Não recebe o material ou não alimenta bem a esteira	Danos estruturais e nas vedações	Vazamento do material e/ou possível excesso de alimentação	9	9	4	324	Corretiva

Legenda: O – Ocorrência;  
S – Severidade;  
D – Detecção;  
NPR – índice de Prioridade de Risco.

Fonte: Autor, 2022.

Depois de se quantificar o NPR em conjunto com os colaboradores da empresa, decidiu-se, conforme acordado pela equipe de confiabilidade, que itens com NPR menor que 350 poderiam seguir com manutenção corretiva, enquanto que itens com NPR maior ou igual a 350 deveriam contar com um plano de manutenção preventiva, uma vez que ocasionariam impactos maiores à produção.

Assim, seguiu-se com o desenvolvimento de um plano de ação para a Esteira 02 empregando-se a ferramenta 5W1H na Tabela 3.

**Tabela 3** - Plano de ação utilizando 5W1H para a Esteira 02

O quê (What)	Porque (Why)	Quem (Who)	Quando (When)	Onde (Where)	Como (How)
Dados do projeto	Altura do eletroímã	Manutenção	Início da safra	Moagem	Regulagem
Manter os rolos de chapiscados	Falha no Terno 01	Soldadores	Quando necessário	Rolos	Solda arco elétrico
Supervisor ajustar controles	Excesso de carga	Instrumentação	Imediato	Supervisor	Software
Manut. Preventiva	Falha primária	Elétrica	Entre safra	Motores	Revisão
Treinamento da equipe / criação de rotinas	Falha na operação	RH/PPCM	Imediato	Operação	Treinamento dos operadores
Manut. Preventiva	Falha automação	PPCM	Imediato	Sondas Donelly	Limpeza nos sensores a cada parada programada

Fonte: Autor, 2022.

## 6. CONCLUSÃO

No cenário do mercado atual, de grande competitividade entre as empresas em nível mundial, é sempre importante buscar formas de gestão que levem as empresas a se tornarem mais atrativas e competitivas. A gestão da manutenção teve uma grande mudança de conceito ao longo dos últimos anos e modificou os objetivos da atividade, passando do conceito de consertar a falha para prevenir sua ocorrência.

O estudo apresentado neste trabalho possibilitou a demonstração de métodos e ferramentas que identificam os problemas que afetam de maneira significativa a eficiência do sistema de moagem da cana-de-açúcar em usina sucroalcooleira. Nesse sentido, a ferramenta de análise e efeito da falha, bem como a análise da árvore de falhas, permitiu que fosse desenvolvido o planejamento do estudo dos problemas de maneira eficiente, sobretudo refletindo qualidade dos planos de manutenção. Destaca-se ainda que a utilização das ferramentas corretas auxilia a encontrar as causas fundamentais e possibilita atuação sobre elas.

Assim, entende-se que o objetivo inicial foi atingido, uma vez que, através da utilização de ferramentas da qualidade, foi possível identificar as possíveis falhas do processo de extração do caldo de cana, quantificar suas criticidades e propor o tipo de manutenção a ser realizado para cada item, de maneira a garantir a melhoria contínua do processo.



Como sugestão para trabalhos futuros, se acredita ser de grande relevância medir o impacto que as sugestões de manutenção causaram no indicador de eficiência e número de paradas dos ativos após a aplicação das ferramentas de qualidade. Assim, será possível constatar o impacto positivo gerado para a empresa objeto do estudo.

Com isso, conclui-se que a análise de falhas é uma ferramenta muito importante no processo de melhoria do ambiente de produção, pois possibilita realização de investigação de problemas que impactam diretamente a segurança, qualidade, produção e custos de uma empresa.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1995.

KLOCK, Ana Carolina Tomé *et al.* 5W2H Framework. **Proceedings Of The 15Th Brazilian Symposium On Human Factors In Computing Systems**, [S.L.], p. 1-10, 4 out. 2016. ACM. <http://dx.doi.org/10.1145/3033701.3033715>.

MOTA, C. P. A.; CAVAINAC, A. L. de O. Avaliação de risco ocupacional em obras de pequeno porte de unidades unifamiliares com aplicação do FMEA: uma investigação sobre trabalho em altura e escavações. **Brazilian Journal of Production Engineering**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 25–35, 2019. DOI: 10.0001/%x

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. 2 ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

OAKLAND, John S. **Gerenciamento da Qualidade Total**. Tradução de Adalberto Guedes Pereira. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1994.

PALLEROSI, C. **Confiabilidade: A quarta dimensão da qualidade**. Vol. Manutenibilidade e Disponibilidade. ReliaSoft Brasil, 2007.

RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil [recurso eletrônico]: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: EDUFU, 2020.

SUMMERS, Donna C. S. **Lean Six Sigma: Process improvement tools and techniques**. New Jersey: Prentice Hall, 2011.

TAGUE, Nancy R. **The Quality Toolbox**. 2. ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2005.

TRIPP, D. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005.

YOUSEFI, Samuel *et al.* HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with

undesirable outputs: a study of automotive parts industry in iran. **Safety Science**, [S.L.], v. 102, p. 144-158, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.015>.