



ConBRepro

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



ESG nas Engenharias

30 a 02
de dezembro 2022

Aplicação da Metodologia FMEA: Análise das Falhas de Motores de Uma Usina Sucroalcooleira

Luis Henrique Nogueira Marinho

Programa de Pós Graduação em Bioenergia – Universidade Estadual de Londrina

João Luiz Kovaleski

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – UTFPR – Campus de Ponta Grossa

Daiane Maria de Genaro Chioli

Departamento de Engenharia Têxtil - UTFPR – Campus de Apucarana

Fernanda Cavichioli Zola

Departamento de Humanidade - UTFPR – Campus de Apucarana

Franciely Velozo Aragão

Departamento de Engenharia Têxtil - UFSC – Campus de Blumenau

Resumo: A metodologia Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA) tem por objetivo evitar, por meio da análise de falhas potenciais e recomendações de melhorias, que falhas ocorram em projetos do produto ou processo. Desta forma este trabalho, que se caracteriza em um estudo de caso, visou aplicar a metodologia FMEA, no setor de manutenção elétrica de uma usina sucroalcooleira localizada no noroeste do estado do Paraná. Com a aplicação desta metodologia foi possível analisar a ocorrência de falhas em motores elétricos, a causa destas falhas e o seu efeito no processo produtivo. Constatou-se que a causa das falhas nos motores vem ocorrendo principalmente pela presença de umidade nos motores, pela alta vibração e travamento dos rolamentos. Neste sentido, foi elaborado um plano de ação, com o objetivo de minimizar a ocorrências de avarias e priorizar as falhas de maior criticidade para o processo

Palavras-chave: Setor sucroalcooleiro, Melhorias de processo, Kaizen.

Application of the FMEA Methodology: Analysis of Engine Failures in a Sugarcane Plant

Abstract: The Failure Type and Effect Analysis (FMEA) methodology aims to avoid, through the analysis of potential failures and recommendations for improvements, failures from occurring in product or process designs. In this way, this work, which is characterized in a case study, aimed to

apply the FMEA methodology, in the electrical maintenance sector of a sugar and alcohol plant located in the northwest of the state of Paraná. With the application of this methodology, it was possible to analyze the occurrence of failures in electric motors, the cause of these failures and their effect on the production process. It was found that the cause of the failures in the motors has been mainly due to the presence of moisture in the motors, the high vibration and locking of the bearings. In this sense, an action plan was prepared, with the objective of minimizing the occurrence of malfunctions and prioritizing the most critical failures for the process.

Keywords: Sugar-alcohol sector, Process improvements, Kaizen.

1. Introdução

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, na safra 2020/21, o Estado de São Paulo, que lidera a produção no país, respondeu por 54,1% da quantidade produzida na safra 2020/21, e foi responsável pela produção de 48,4% de etanol e 63,2% do açúcar. O complexo sucroenergético, açúcar e etanol, ocupa papel de destaque na pauta de exportação, e em 2020 o setor teve participação nacional de 9,9%, sendo o quarto setor mais representativo do país.

As usinas sucroalcooleiras, como qualquer outra empresa, possuem o objetivo de maximizar seus lucros e minimizar seus custos, produzindo em grandes quantidades e alta qualidade. Onde seu processo produtivo deve executar suas funções operacionais, pré-estabelecidas, de maneira confiável (VIOLANTE, 2018).

A metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) ou Análise do Tipo e Efeito de Falha, de acordo com Carpinetti (2016), é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo". Ainda de acordo com este autor, o emprego da metodologia propicia uma maior confiança no planejamento do processo, inclusão de métodos e ações para reduzir possíveis falhas e tomadas de decisões eficientes.

De acordo com Silva e Correia (2018), a falha representa um conceito fundamental para a análise de confiabilidade, sendo a falha definida como o término da habilidade de um item para o desempenho de uma requerida função.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi verificar as falhas ocorridas, no período de abril a maio de 2020, nos motores que chegaram ao Setor de Manutenção Elétrica de uma Usina de Açúcar e Álcool, por meio da aplicação da metodologia FMEA.

A Usina em estudo está presente no mercado sucroalcooleiro desde os anos 60, sendo atualmente o maior grupo sucroalcooleiro do estado do Paraná. Este estudo foi realizado em uma unidade com capacidade de processamento de cana-de-açúcar de 10.500 toneladas/dia, existindo produção de açúcar, etanol hidratado, etanol anidro e outros coprodutos.

O setor estudado conta com 17 colaboradores, sendo responsável pela manutenção de 545 motores em funcionamento e 125 em reserva, realizando manutenção preditiva, como análise de vibração, e análise termográfica, além da manutenção preventiva através de análise visual e registro de anomalias em um coletor de dados.

2. Teoria de Base

A metodologia FMEA – Análise dos Modos de Falha e Efeitos (do inglês Failure Modes and Effects Analysis), foi inicialmente desenvolvida pela NASA (Administração Nacional do

Espaço e da Aeronáutica, do inglês, National Aeronautics and Space Administration) para obter maior confiabilidade nos projetos da indústria aeroespacial. E após seu sucesso, essa técnica foi posteriormente incorporada nas indústrias automobilísticas. (ROSA e GARRAFA, 2009).

Conforme Moreira e Lopes (2018), o FMEA é uma técnica que oferece três funções distintas: 1) O FMEA é uma ferramenta para prognóstico de problemas. 2) O FMEA é um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados. 3) O FMEA é o diário do projeto, processo ou serviço.

Oliveira (2020), sugere uma sequência para se iniciar a elaboração do FMEA:

- 1) Definir uma equipe responsável pela execução do FMEA;
- 2) Definir Itens: identificar os itens que serão considerados, conduzidos por produtos ou processos;
- 3) Coletar dados: reunir todas as informações possíveis sobre o item em estudo;
- 4) Identificar Modos de Falhas e seus Efeitos: todos os possíveis modos de falhas e seus efeitos devem ser identificados e registados a fim de avaliar sua gravidade;
- 5) Identificar as Causas: as “Causas das Falhas” são os eventos que geram o aparecimento do tipo de falha;
- 6) Identificar Modos de Detecção: identificar como possíveis falhas poderiam ser detectadas;
- 7) Determinar os Índices Críticos das Falhas: para cada falha identificada, devem ser determinados os índices de Severidade, a Ocorrência e a Detecção;

Os índices S, O e D podem ser observados nos quadros 1, 2 e 3. O índice de Severidade reflete a gravidade do efeito da falha.

Quadro 1 – Índice de Severidade

Severidade		
Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	Falha imperceptível para o colaborador
2	Pequena	Falha perceptível ao colaborador, mas não afeta o processo
3	Moderada	Falha perceptível ao colaborador, e afeta o processo
4	Alta	Falha perceptível ao colaborador, e o processo deixa de operar.
5	Muito Alta	Idem ao anterior, porém ocasiona descontentamento do cliente

Autor – Adaptado de Zierhut et. al (2009)

O índice de Ocorrência se refere a probabilidade de uma falha acontecer.

Quadro 2 – Índice de Ocorrência

Ocorrência		
Índice	Ocorrência	Critério
1	Remota	Falha nunca acontece
2	Pequena	Falha quase nunca acontece
3	Moderada	Falha acontece esporadicamente
4	Alta	Falha acontece regularmente
5	Muito Alta	Falha sempre acontece

Autor – Adaptado de Zierhut et. al (2009)

O índice de Detecção avalia a probabilidade da falha ser detectada antes que ocorra problemas no processo.

Quadro 3 – Índice de Detecção

Detecção		
Índice	Detecção	Critério
1	Muito grande	Falha certamente será detectada
2	Grande	Grande probabilidade da falha ser detectado
4	Moderada	A falha provavelmente será detectada
7	Pequena	A falha provavelmente não será detectada
9	Muito pequena	Certamente a falha não será detectado

Autor – Adaptado de Zierhut et. al (2009)

O produto da multiplicação destes índices prioriza a gravidade da falha, ou seja, a falha mais grave deve ser priorizada nas ações de melhorias. Os índices S, O e D podem ser observados no Quadro 4, os quais foram adaptados da metodologia de Zierhut et al. (2009) para serem aplicados neste estudo, deve-se ressaltar que as ações recomendadas serão baseadas nos valores de cada índice.

Quadro 4 – Índice de Detecção

	GRAU	INDICE	CRITERIO
SEVERIDADE	Mínima	1	Falha imperceptível para o colaborador
	Pequena	2	Falha perceptível ao colaborador, mas não afeta o processo
	Moderada	3	Falha perceptível ao colaborador, e afeta o processo
	Alta	4	Falha perceptível ao colaborador, e o processo deixa de funcionar
	Muito Alta	5	Idem ao anterior, porém ocasiona descontentamento do cliente
OCORRÊNCIA	Remota	1	Falha nunca acontece
	Pequena	2	Falha quase nunca acontece
	Moderada	3	Falha acontece esporadicamente
	Alta	4	Falha acontece regularmente
	Muito Alta	5	Falha sempre acontece
DETECÇÃO	Muito grande	1	Falha certamente será detectada
	Grande	2	Grande probabilidade da falha ser detectado
	Moderada	3	A falha provavelmente será detectada
	Pequena	4	A falha provavelmente não será detectada
	Muito pequena	5	Certamente a falha não será detectado
MELHORIA	Na etapa final da execução da metodologia, são estudadas possíveis tomadas de decisões a serem utilizadas para minimizar os riscos de ocorrência de falhas no processo ou produto.		

Fonte: Adaptado de Zierhut et al. (2009)

8) Após calculado o índice de risco para cada falha levantada, deve constar as ações preventivas recomendadas.

3. Metodologia

Este estudo se caracterizou por uma pesquisa descritiva e exploratória. Descritiva, pelo fato de ser necessário descrever o funcionamento do Setor de Elétrica em uma usina sucroalcooleira, para melhor compreensão do estudo. E exploratória pela necessidade de se realizar um levantamento de dados necessários para a aplicação da ferramenta FMEA.

O presente trabalho ainda é classificado como um estudo de caso, realizado em uma Usina de Açúcar e Álcool, a fim de se analisar as falhas que ocorreram no período de abril a setembro de 2021.

Para a aplicação do objetivo deste estudo, foi realizado um Brainstorming juntamente com os coordenadores deste setor, a fim de se preencher o formulário FMEA, posteriormente foi elaborado um plano de ação com a utilização da ferramenta 5W1H, para sugerir melhorias de manutenção dos motores.

Em uma primeira etapa, os coordenadores do setor participaram de um Brainstorming, respondendo as seguintes perguntas:

- 1) Estes equipamentos pertencem a qual etapa do processo produtivo?
- 2) Qual foi a peça trocada, para que o equipamento voltasse a funcionar?
- 3) Qual a função do equipamento no processo?
- 4) Qual o tipo de falha que ocorreu neste equipamento?
- 5) Qual efeito desta falha no processo?
- 6) Quais as causas para a ocorrência desta falha?
- 7) Quais os controles atuais que estão sendo realizados para a prevenção?
- 8) Com base no Quadro 1, qual o grau de severidade desta falha, qual a probabilidade de ocorrência desta falha, qual a probabilidade de detecção desta falha?
- 9) Quais são as ações de melhoria que podem ser adotadas a fim de se tomar medidas mais eficientes contra essas falhas? Esta pergunta é respondida com a aplicação da ferramenta da qualidade 5W1H, apresentada no Quadro 5:

Quadro 5 – Plano de Ação

PLANO DE AÇÃO – 5W1H					Área: Setor de Elétrica
O que? (What)	Quem? (Who)	Onde? (Where)	Quando? (When)	Porque? (Why)	Como? (How)
Esgotar ocorrência de falhas ocasionadas pelo mau funcionamento do motor do equipamento.	Colaboradores do Setor de Elétrica	Setor de Manutenção Elétrica	Assim que a falha ocorrer, ou quando a mesma for detectada.	Para se evitar que falhas decorrentes do mau funcionamento do motor do equipamento não afetem o processo produtivo.	(1) Falta de lubrificação: Realizar lubrificação, e análise de vibração, trimestralmente. (2) Umidade: Proteger o motor, para que o mesmo fique isolado, protegendo-o de jatos de água. Realizar análise termográfica periodicamente. (3) Não identificado: Realizar laudo de avarias dos motores semestralmente.

Os dados coletados através do Brainstorming foram tratados em quadros utilizados para a aplicação da metodologia FMEA, o qual pode ser observado no Quadro 4.

Os dados foram dispostos em quadros a fim de facilitar o seu entendimento, onde foram apresentadas as falhas ocorridas no setor de estudo, durante o período da pesquisa. Além do tipo, efeito e causas da falha, e seus respectivos índices de severidade, ocorrência e detecção, para que possa ser efetuado o cálculo do Coeficiente de Risco (R).

$$R = S \times D \times O$$

4. Resultados e Discussões

O formulário FMEA foi respondido por etapas, a fim de delinear com detalhes as falhas ocorridas durante o período de estudo. Foram atribuídos os valores dos índices de severidade, ocorrência e detecção. O índice de Severidade faz referência ao impacto da falha sobre o processo produtivo, o índice de Ocorrência analisa a probabilidade de que uma falha ocorra, e pôr fim, o índice de Detecção se refere à probabilidade da falha ser detectada.

Estes valores de ponderação foram atribuídos pela equipe de supervisores do Setor de Manutenção Elétrica, que em comum acordo, julgaram os níveis de relevância de cada tipo de falha apresentada no FMEA, para que fosse possível a realização do cálculo do Coeficiente de Risco de cada falha. Deve-se destacar, que os valores dos índices de S, O e D são independentes, ou seja, o valor de um não afeta o valor do outro.

O índice de S, que varia de 1 a 5, apresenta o grau de gravidade de cada falha em ordem crescente; O índice O apresenta a probabilidade daquela falha ocorrer também variando de 1 a 5. Já o índice de D, que varia de 1 a 5, e tem ordem crescente, indica que quanto maior for este índice, menor é a chance da falha ser detectada. Estes índices foram utilizados para se recomendar que tipo de ação corretiva deveria ser tomada. O valor do Coeficiente de Risco, que mostra o grau de risco de cada falha ou causa, que estipula a priorização do tipo de falha.

O Quadro 6, apresenta o Formulário FMEA desenvolvido no Setor de Manutenção Elétrica de uma Indústria Sucroalcooleira, onde foram analisadas as falhas ocorridas nos motores advindos de diversos setores da empresa estudada. Este quadro contém um período parcial de estudo que engloba somente os meses de abril e maio de 2020. Todas as falhas ocorridas nos motores foram elencadas neste estudo. As falhas dos motores levantadas neste período na indústria foram: queima de motor, umidade no motor, travamento do rolamento e alta vibração.

As falhas apresentadas não afetaram o processo de maneira drástica, mas provocam reduções temporárias de capacidade e paradas de equipamentos. Dessa forma, foram sugeridas melhorias, as quais visam minimizar os efeitos das falhas ocorridas nos motores dos equipamentos presentes na indústria em estudo.

As causas do travamento do motor ou da alta vibração foram identificadas pela falta de lubrificação deste componente no maquinário. A presença de umidade também foi constatada nos motores podendo acarretar na queima destes equipamentos.

A respeito dos controles atuais destas falhas, detectou-se que periodicamente são realizadas manutenções preditivas e preventivas, para que os motores não apresentem

avarias que afetem o processo. Os índices de Severidade, Ocorrência e Detecção foram mensurados, a fim de se realizar o cálculo do Risco das Falhas.

Desta forma, a queima do motor apresentou Risco 9, que representa o maior valor de risco dentre as outras falhas encontradas, pois, este tipo de avaria acontece quando o equipamento foi sobrecarregado, ou quando não houve manutenção adequada. Deve ser priorizada a ação de melhoria, pois, a queima do motor acarreta na troca da peça, sendo um custo elevado perante as outras falhas. Para este tipo de falha, o índice de severidade foi do tipo 3, pois a falha é perceptível ao colaborador; sua Ocorrência apresentou-se como do tipo 3, pois acontece esporadicamente; e a Detecção apresentou-se como do tipo 1, pois, a falha pode ser detectada rapidamente.

A respeito das falhas ocorridas pelo travamento e pela alta vibração do rolamento, constatou-se o Risco de valor 8. Estas falhas apresentaram um valor de risco para o processo inferior a primeira, mas também devem ser corrigidas imediatamente para evitar a queima do motor. Nestes casos, o índice de severidade do tipo da falha foi do tipo 2, pois, o colaborador pode perceber a anomalia ocorrida; a Ocorrência foi do tipo 4, pois a falha ocorre regularmente; e a Detecção apresentou tipo 1, pois, a falha é detectada rapidamente.

Já a presença de umidade no motor de alguns equipamentos apresentou Risco 6, não sendo uma falha de alta gravidade, mas que também deve ser corrigida, pois pode acarretar na queima do motor. Desta forma, o índice de Severidade desta falha foi do tipo 3, pois através da análise termográfica, o colaborador consegue identificá-la; a Ocorrência foi do tipo 2, pois a falha quase nunca acontece; e a Detecção apresentou o tipo 1, pois quando há ocorrência desta falha, ela é detectada com rapidez.

Quadro 6 – Formulário FMEA para o Setor de Manutenção Elétrica

Formulário – Análise do tipo e Efeito de Falha

Descrição do Processo. Usina de cana de açúcar										Data: 20/06/2021		
Setor: Elétrica										Página:1/1		
Data (2022)	Setor	Peça Trocada	Função no Processo	Tipo de Falha	Efeito da Falha	Causas da falha	Controle atual	Índice				Ações de melhoria
								S	O	D	R	
11/04	Fábrica de açúcar	Queima de motor	Mexedor Cristalizador	Queima de motor	Afeta o processo	Não identificado	Manutenção Preventiva	3	3	1	9	Realizar laudo de avarias dos motores semestralmente.
18/04	Fábrica de açúcar	Rolamento	Bomba de Mel	Travamento	Afeta o processo	Falta de lubrificação	Manutenção Preditiva	2	4	1	8	Realizar lubrificação, e análise de vibração, trimestralmente.
21/04	Fábrica de Álcool	Queima de motor	BB Ciclo Hexano	Umidade	Afeta o processo	Umidade	Manutenção Preditiva	3	2	1	6	Proteger o motor, para que o mesmo fique isolado, protegendo-o de jatos de água. Realizar análise
23/04	Geração de ar Comprimido	Queima de motor	Ventilador do ar adiabático	Umidade	Afeta o processo	Umidade	Manutenção Preditiva	3	2	1	6	Proteger o motor, para que o mesmo fique isolado, protegendo-o de jatos de água. Realizar análise termográfica periodicamente.
11/05	Caldeira	Rolamento	Limpeza de Dorna	Travamento	Afeta o processo	Falta de lubrificação	Manutenção Preditiva	2	4	1	8	Realizar lubrificação, e análise de vibração, trimestralmente.
19/05	Fábrica de Álcool	Queima de motor	Centrifuga de fermento	Queima de motor	Afeta o processo	Umidade	Manutenção Preventiva	3	3	1	9	Proteger o motor, para que o mesmo fique isolado, protegendo-o de jatos de água. Realizar análise termográfica periodicamente.
22/05	Fábrica de Álcool	Queima de motor	Sulfato de alumínio ETA	Queima de motor	Afeta o processo	Não identificado	Manutenção Preventiva	3	3	1	9	Realizar laudo de avarias dos motores semestralmente.
24/05	Moenda	Queima de motor	Limpeza Geral da Moenda	Umidade	Afeta o processo	Umidade	Manutenção Preditiva	3	2	1	6	Proteger o motor, para que o mesmo fique isolado, protegendo-o de jatos de água. Realizar análise termográfica periodicamente.
24/05	Caldeira	Rolamento	Compressor de ar da vinhaça	Vibração	Afeta o processo	Falta de lubrificação	Manutenção Preditiva	2	4	1	8	Realizar lubrificação, e análise de vibração, trimestralmente.

Em relação as ações de melhorias, foram pontuadas ações específicas que devem ser realizadas periodicamente, com o intuito de prevenir a ocorrência de falhas em equipamentos em decorrência do mal funcionamento do motor. Desta forma, sugeriu-se que quinzenalmente, deve haver a verificação do nível do óleo lubrificante nos motores, pois, a sua falta provoca o travamento do motor, e o seu excesso provoca um aquecimento. Também deve ser realizada de forma mais frequente a análise de vibração com equipamentos específicos para este fim.

Em relação a umidade, notou-se que esta anomalia é mais frequente em motores antigos, os quais não possuem isolamento físico, ficando vulnerável aos jatos de água decorrentes da limpeza do piso da fábrica. Desta forma, sugeriu-se que há a necessidade de proteção física dos motores. Já para a queima de motores, não há um laudo documental que forneça a causa da falha, desta forma, sugeriu-se que a manutenção preventiva deve ser aplicada periodicamente, para que esta falha seja minimizada.

Salienta-se que todos estes controles devem ser documentados em uma planilha contendo: a data da manutenção realizada, o tempo gasto pelo colaborador para realização da tarefa, e a próxima data em que o motor será submetido ao controle de falhas. Este documento se faz importante para obter um controle das avarias que estão ocorrendo com os motores dos equipamentos.

5. Conclusões

Neste estudo analisou-se as falhas que ocorreram com os motores ao setor de manutenção de elétrica de uma usina sucroalcooleira. A análise foi realizada através da aplicação da metodologia FMEA, a qual tem o intuito de identificar o modo e efeito da falha no processo produtivo.

No período abrangido, foram constatadas falhas como: presença de umidade nos motores, alta vibração e travamento de rolamentos, e queima do motor. Com a análise dessas falhas, foi possível definir ações de melhorias para minimizar a sua ocorrência, priorizando as falhas com maior risco para o processo.

Salienta-se que o processo produtivo de uma indústria sucroalcooleira possui alta complexidade em suas instalações, o que implica na necessidade de um processo rigoroso e eficiente de manutenção de seus equipamentos, fazendo com que a ocorrência de avarias seja minimizada e não prejudique o processo produtivo.

Referências

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade – Conceitos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 2016.

CONAB - Acompanhamento da safra Brasileira. Companhia Nacional de Abastecimento, 2022. **Apresenta informações sobre a safra da cana-de-açúcar 2022/2023**. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar> >. Acesso em: 25 maio, 2022.

MOREIRA, J. P. S.; LOPES, C..A.. Utilização da metodologia Design Review Based on Failure Mode (DRBFM) para o aumento da qualidade de fabricação dos sidecars em uma empresa do setor automotivo. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 5, p. 1867-1880, 2018.

OLIVEIRA, Otávio J. **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. Cengage Learning, 2020.

ROSA, C.; GARRAFA, M. Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: sub-processo colheita da canola. **Gestão & Produção**. São Carlos (SP), V. 16, p. 63-73, jan.-mar. 2009.

SILVA, D. C. S.; CORREIA, A. M. M.. Análise das falhas no serviço de manutenção de uma petroquímica por meio das ferramentas da qualidade. **Exacta**, v. 19, n. 4, p. 817-842, 2021.

VIOLANTE, A. de C. **Avaliação dos indicadores de sustentabilidade de usinas sucroalcooleiras da região de Sertãozinho, São Paulo, Brasil: estudo de caso**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ZIERHUT, R.; SOUZA, T.; KRAMA, M.; JUNIOR, O. **Proposta de um modelo conceitual para a previsão de falhas em serviços baseado na FMEA**. Simpósio de Engenharia de Produção – SIMPEP. XVI, 2009. Botucatu (SP). Anais... Botucatu (SP). Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho (UNESP), 2009.